

Plovidba brodom u područjima leda i ledenih santi

Gavranić, Ante

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:542254>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-28**

Repository / Repozitorij:

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for
permanent storage and preservation of digital
resources of the institution](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU

ANTE GAVRANIĆ

PLOVIDBA BRODOM U PODRUČJIMA
LEDA I LEDENIH SANTI

ZAVRŠNI RAD

SPLIT, 2023.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU

STUDIJ: POMORSKA NAUTIKA

PLOVIDBA BRODOM U PODRUČJIMA
LEDA I LEDENIH SANTI

ZAVRŠNI RAD

MENTOR:

Kap. Marijan Zujić, dipl.inž.

STUDENT:

Ante Gavranić

(MB:0171278769)

SPLIT, 2023.

SAŽETAK

Plovidba brodom u području leda i ledenih santi jedna je od najzahtjevnijih plovidbi. Ona zahtjeva posebnu izvedbu brodova, razna pravila i restrikcije, pripremu te spremnost posade. Vrlo je bitno poznavati neka osnovna svojstva i vrste leda na moru. Najvažniji dokument koji je donesen o ovom tipu plovidbe jest *Kodeks o plovidbi polarnim područjima* koji sadrži sve bitne upute o pripremi broda i posade. Ovaj rad predstavlja plovidbu polarnim područjima, kratku povijest i najnovije statističke podatke, kodeks o plovidbi polarnim područjima, općenite podatke o ovim područjima te opremu potrebnu brodovima da bi uspješno plovili u području s ledom i ledenim santama.

Ključne riječi: *polarna navigacija, polarna područja, kodeks o plovidbi polarnim područjima, led*

ABSTRACT

Sea navigation around ice and icebergs is one of the most demanding types of navigation. It requires an exceptional design of ships, various rules and restrictions, preparation, and great readiness of the crew. It is also especially important to know some basic properties of ice and types of ice at sea. The most important document that was adopted on this type of navigation is the Polar Code, which contains all the essential instructions on the preparation of the ship and the crew. This paper presents navigation in the polar regions, a brief history and the latest statistical data, the Polar Code, general information about these regions and the equipment needed by ships to successfully navigate areas with ice and icebergs.

Keywords: *polar navigation, polar areas, Polar Code, ice*

SADRŽAJ

1. UVOD.....	6
2. OPĆENITO O POMORSKOJ NAVIGACIJI.....	7
3. NAVIGACIJA U PODRUČJIMA POLARNIH UVJETA.....	8
3.1. KONVOJI.....	11
3.2. TEGLJENJE	12
3.3. MJERE ZAŠTITE BRODA [19].....	13
4. POLARNA NAVIGACIJA U 21. STOLJEĆU	14
5. MORSKI LED I POLARNI KRAJEVI	15
5.1. MORSKI LED.....	15
5.2. VRSTE MORSKOG LEDA.....	17
5.3. POLARNI KRAJEVI	18
5.3.1. Arktik.....	19
5.3.2. Antarktika	20
6. KODEKS O PLOVIDBI POLARNIM PODRUČJIMA.....	22
7. BRODOVI ZA PLOVIDBU ZALEĐENIM MORIMA.....	24
7.1. LEDOLOMCI	24
7.1.1. Dimenzije i oblik trupa ledolomca	25
7.1.2. Plovidba ledolomca	26
8. KLASSE LEDA [6]	28
8.1. BALTIČKA PRAVILA	28
8.2. OSTALE KLASSE LEDA [11]	29
9. NAVIGACIJSKA OPREMA ZAPOVJEDNIČKOG MOSTA.....	31
9.1. UREĐAJI ZA KONTROLU BRZINE	31
9.2. UREĐAJI ZA KONTROLU KURSA.....	32
9.3. UREĐAJI ZA KONTROLU DUBINE	33
9.4. OPREMA ZA ODREĐIVANJE POLOŽAJA BRODA.....	34
9.5. OPREMA ZA DOBIVANJE METEOROLOŠKIH PODATAKA O VREMENSKIM UVJETIMA	35
9.6. POSEBNOST NAVIGACIJSKE OPREME NA BRODOVIMA NAMIJENJENIMA ZA POLARNU NAVIGACIJU	36

10. ZAKLJUČAK	38
LITERATURA	39
INTERNET IZVORI	39
POPIS TABLICA	43
POPIS KRATICA	44

1. UVOD

Navigacija u polarnim zaleđenim područjima uvijek se smatrala vrlo teškom i zahtjevnom. Područja s ledom i ledenim santama nalaze se na Zemljinim polovima, odnosno oko Sjevernog pola, Arktika, i Južnog pola, Antarktika. Plovidba u ovakvim područjima započela je već s prvim potrebama za pomorstvom, međutim ona nije bila učestala, a većinom i nije bila uspješna kako zbog loše konstrukcije i kvalitete brodova, tako i zbog nedostatka navigacijske opreme. Brojne pomorske nesreće zabilježene su upravo u ovim područjima, a uzrokovane su ledenim santama. Postupnim razvojem pomorstva i brodogradnje te upoznavanjem ovih krajeva, plovidba je postala sve uspješnija i lakša, iako je ovakav tip plovidbe još uvijek smatran izazovom. Također, osim razvitka pomorstva i brodogradnje, doneseni su brojni zakoni i uredbe za plovidbu polarnim morima koji su još više olakšali pomorcima. U ovakvom tipu plovidbe vrlo je bitno slijediti upute nadležnih, a posada mora biti stalno na oprezu. Posebna vrsta broda koji uvelike pomaže u polarnim krajevima jest ledolomac. On oslobađa put drugim brodovima, a često i spašava brodove koji su zapeli u ledu. Danas veliki utjecaj ima globalno zatopljenje koje je smanjilo opseg polarnih krajeva i proširilo područje lakše i nesmetane plovidbe.

U ovom radu analizirat će se plovidba u polarnim područjima u 9 poglavlja gdje će se detaljno prikazati pomorska navigacija i navigacija u polarnim područjima, svojstva leda, polarna navigacija u 21. stoljeću, polarna područja, kodeks o plovidbi polarnim područjima, klase leda te navigacijska oprema.

2. OPĆENITO O POMORSKOJ NAVIGACIJI

Pomorska navigacija (lat. navigare, kretanje) skup je vještina i tehnika kojima se brod od jednog mjesta meteorološkim izabranim rutama i uporabom brodskih, danas ponajviše električnih instrumenata različite specifične namjene, dovodi ka drugom mjestu [14]. Pomorska navigacija započela je još od najranijih razdoblja povijesti. Predkompasno razdoblje je prvo razdoblje u kojem su se pomorci koristili okolinom, a kasnije, otkrivanjem astronomskih spoznaja, zvijezdama. Drugo razdoblje započinje pojavom kompasa i naziva se kompasno razdoblje. Od tog razdoblja kompas postaje dijelom neizostavne brodske opreme. Nakon kompasa slijedi izum radiogoniometra i prelazak u razdoblje elektroničke navigacije. U brodove se ugrađuju računala i razne automatizacije. Četvrto razdoblje obilježio je satelitski sustav i još bolja i naprednija navigacija. Posljednje, peto razdoblje, potpuna je automatizacija broda, odnosno plovidbom se upravlja pomoću daljinske i senzorne tehnologije i predstavlja autonomnu navigaciju [3].

Navigacija se može podijeliti u više kategorija. Prema sredstvima za dobivanje položaja broda, navigacija se dijeli na: terestričku navigaciju (temelji se na praćenju kutne udaljenosti – azimuta), astronomsku navigaciju (temelji se na određivanju kuta između horizonta i astronomskih objekata - sekstantu), elektroničku navigaciju (uz pomoć elektromagnetskih valova) i zbrojenu navigaciju (na prethodni položaj uračunavaju se uvjeti kojima brod plovi).

Prema području plovidbe navigacija se dijeli na: obalnu (plovidba uz obalu koja je vidljiva tijekom cijelog putovanja), oceansku (plovidba otvorenim morem, odnosno oceanom) i polarnu [3].

3. NAVIGACIJA U PODRUČJIMA POLARNIH UVJETA

Plovidba polarnim područjima smatra se vrlo teškom i opasnom, a uvelike se razlikuje od standardnih uvjeta plovidbe. Priprema za ovakav tip plovidbe zahtijeva pripremu, posebnu opremu, obučenu posadu i sl. Vrlo je bitan i odabir pomorske rute kod koje se mora paziti na mnogo parametara poput: debljine leda, meteorološke prognoze, godišnjeg doba, prohodnosti, ledolomaca itd. Uvjeti zahtijevaju i dodatnu stražu koja će pratiti stanje i kretanje leda na moru. Straža se nalazi na najvišem mjestu broda, a led se može otkriti i na udaljenosti od 20 milja zbog *blistanja leda* (*ice blink*). Danju je nebo iznad leda svijetlo i blijedo, dok se za vedrih noći zapaža poseban sjaj. Nužno je i proučavanje priručnika koji sadrže podatke o određenom području. Hidrometeorološke službe redovito izvještavaju brodove o vremenskoj prognozi, a dobiju kratkoročnu (24 sata) i dugoročnu prognozu (najmanje 2 tjedna). Također obavijesti o stanju leda brodovi dobiju putem radija na određenim valnim duljinama. Svaki brod koji uoči plutajući led koji je opasan za plovidbu i može ugroziti brod dužan je dati obavijest putem radija te obvezno navesti podatke o uočenom ledu: tip, poziciju, vrijeme i datum. U pravilu, led se zaobilazi na sigurnoj i što većoj udaljenosti. Veće ledenjake zaobilazi se s njihove privjetrinske strane. Nužno je i korištenje radara koji povećava sigurnost zbog ranog otkrivanja ledenih brjegov (veliki – 12-20 m.; srednji – 5-8 m; komadi leda – 3-5 m; plivajući led i staze – 1-2 m). Brod može imati i sonar koji može otkriti led i na većoj udaljenosti zbog podvodnog dijela brijega i hladnog sloja površine mora. Prolaznost broda kroz led izražava se u stupnjevima prohodnosti na *skali prohodnosti kroz led*. Skala se sastoji od 7 stupnjeva, od 0 do 6 [23].

Tablica 1. Skala prohodnosti kroz led

Stupanj prohodnosti	Uvjeti plovidbe
0	Brod plovi po čistoj vodi ili vodi s komadićima leda, ne treba mijenjati kurs.
1	Brod lako zaobilazi velike komade leda, plovi uz male promjene kursa i ne mijenja brzinu.
2	Brod manevrira između komada leda, s vremenom mijenja brzinu.
3	Brod udara o ledenu branu, plovi, ali često manevrira te mijenja brzinu i hod motora („kretanje naprijed“, „stoj“, „krmom“).
4	Brod udara o led i odstranjuje ga polako se krećući, ne pridržava se kursa te mijenja brzinu.
5	Brod napreduje udarima u led, njegovo je kretanje iznimno sporo, a napredovanje se mjeri dužinom broda.
6	Brod je potpuno zarobljen u ledu, pokušava napredovati, ali bezuspješno.

Osnovni uvjet plovidbe jest zadržavanje sposobnosti manevriranja i upravljanja brodom. Do problema ponekad dolazi jer led nosi brod u smjeru svog kretanja. Ovaj tip plovidbe nameće tri bitna pravila, a ona su:

- ne zaustavljati okretanje vijka, odnosno stalno ga držati barem na minimalnim okretajima,
- kretanje broda uvijek držati u smjeru kretanja leda te
- brzina kretanja mora biti prilagođena uvjetima, odnosno treba se kretati umjerenom brzinom jer povećana brzina može dovesti do oštećivanja broda.

Opće preporuke plovidbe polarnim područjima su:

- brodovi bez ojačanja i bez pomoći ledolomaca ne smiju ulaziti u područje leda ako za njih postoji alternativa,
- u područje leda ulazi se sa smanjenom brzinom (zbog udara u led) koja se zatim postupno povećava da bi se održao kurs plovidbe,
- brodski strojevi trebaju biti cijelo vrijeme pripralni za vožnju krmom,

- u slučaju da se udarac u led ne može izbjeći, on mora biti pod pravim kutom u odnosu na uzdužnu simetralu broda jer bočni udarac može oštetiti oplatu broda ili ga zanijeti te na taj način oštetiti krmu, vijak i kormilo,
- reflektor noću je obavezan, a u slučaju nulte vidljivosti brod treba zaustaviti i vijke držati na minimalnom radu kako ne bi došlo do oštećenja
- brod se mora propisno balastirati do gaza da bi lomio led, odnosno do razine koja će zaštititi bulb pramac, kormilo ili vijak,
- brod bi morao biti opremljen sustavom unutrašnjeg hlađenja da bi spriječio začepljenje usisa hlađenja glavnog motora ledom,
- brod koji se zaustavi u ledu u blizini obale treba biti okrenut pramcem prema moru,
- u velikoj koncentraciji leda sidrenje bi trebalo izbjegavati jer snaga leda može pokidati lanac sidra, a ako se sidrenje ne može izbjeći, sidreno vitlo treba biti u stalnoj pripravnosti za podizanje sidra,
- puni otklon kormila moguće je koristiti samo u nuždi jer to može dovesti do oštećenja kormila i odbacivanja krme u led,
- u slučaju odsutnosti ledolomca ne treba slijediti liniju obale ako vjetar puše prema obali te
- ako brod dođe u situaciju potpune opkoljenosti ledom u pomoć mu dolazi ledolamac, međutim brod u balastu može se i sam pokušati osloboditi na način da uz pomoć pumpanja i razmještaja balasta s jedne na drugu stranu razbije led.

Promjena kursa u ledu zahtijeva veću snagu pa bi promjene kursa trebalo izvoditi na otvorenom moru ili u području manje koncentracije leda. Okretanje kursa u ledu dovodi do problema jer brod više ne lomi led svojom snagom i pramcem, već ga lomi duljinom. Kod okretanja kursa u otvorenom moru vrlo je bitno pratiti kretanje broda i stanje leda na krmi, na lijevoj i na desnoj strani broda jer ga može zanijeti prema području leda.

Osim promjene kursa u ledu, vrlo je opasna i plovidba krmom u ledu. U tom slučaju oštećenju su izloženi i kormilo i vijak. Ovaj manevar se koristi u iznimnim situacijama. Ako dođe do manevra, brod se mora kretati iznimno sporo i s izravnatim kormilom. Ako brod plovi s kormilom koje nije izravnato, sila na kormilo koja nastaje nakon udarca u led je mnogo veća. Kormilo je često zaštićeno ledenim rogom koji je ugrađen na krmi broda. Također treba paziti na nakupljanje leda ispod krme. U tom slučaju brod treba zavoziti naprijed da bi se uklonio nakupljeni led. Pritom treba paziti na preglednost prema krmi broda i prema granici leda. Ako krma nije pregledna, člana posade se treba postaviti na pregledno

mjesto. Potrebno je pratiti stanje vjetera i morskih struja koje mogu gurnuti led prema brodu te ga pritom oštetiti.

Ako brod ostane zarobljen u ledu, to može dovesti do većih oštećenja. Prilikom oslobađanja zarobljenog broda potrebno je:

- ići brodom naprijed-natrag punom snagom, a pritom okretati kormilo lijevo-desno, dok brod vozi krmom potrebno je paziti da ne dođe do oštećenja,
- izmjena balasta lijevo-desno da bi se brod nagnuo i promijenio podvodni dio trupa broda
- puniti i prazniti prednje i stražnje zatežne tankove (manje učinkovit, ali sigurniji način nego izmjena balasta).

Zabijanje u led je učinkovita metoda jedino ako je led tanak. Prvo je potrebno krenuti sporije da bi se provjerila debljina, ali i čvrstoća leda. Zabijanje u led nije preporučljivo za brodove koji nemaju ojačanja za led i bulb pramac.

Kod privezivanja broda u ledu preporuča se postavljanje člana posade na pramac kako bi pratio udaljenost od gata ili obale. Bitno je osigurati minimalno nakupljanje leda između gata ili obale i broda. Tijekom stajanja broda motori moraju biti u stalnoj pripravnosti zbog moguće nagle promjene vremenskih uvjeta [1].

3.1. KONVOJI

Kada je koncentracija leda visoka svi brodovi koji nisu posebno građeni za plovidbu u ledu moraju koristiti oblik plovidbe u konvoju uz pomoć ledolomca. Ledolomac vodi konvoj te je njegov zapovjednik ujedno i zapovjednik cijelog konvoja. Prilikom plovidbe u konvoju brodovi moraju dostaviti određene podatke: duljinu broda preko svega, najveću širinu broda, maksimalan gaz broda, radijus kružnice okreta broda, vrstu pogona, snagu pogonskog stroja, osovine vijka, iskustvo zapovjednika itd.

Konvoji se većinom sastoje od 3-4 broda, ali ponekad ih može biti i više pa se nazivaju dugački konvoji. U slučaju da se u konvoju nalaze brodovi različite pogonske snage dolazi do podjele. Prvi idu veći brodovi s jačim pogonom, zatim idu slabiji i manji brodovi. U dugačkim konvojima odmah nakon ledolomca moraju se nalaziti snažni brodovi s velikim manevarskim sposobnostima. Manji brodovi i brodovi manje pogonske jačine nalaze se u sredini konvoja. Ako se u konvoju nalazi više od jednog ledolomca, njihov položaj je na početku, u sredini i na kraju konvoja. Zapovjednik broda dužan je poštovati definirani

razmak te određenu poziciju. Svi brodovi obavezni su imati užad za tegljenje. Kurs i brzinu određuje zapovjednik konvoja, odnosno zapovjednik ledolomca koji predvodi konvoj. Koncentracija leda određuje brzinu kretanja konvoja. U otvorenom pločnom ledu konvoj doseže brzinu od 6-7 čvorova. Osim koncentracije leda brzinu konvoja određuju i ostali čimbenici poput: debljine i čvrstoće leda, vidljivost, vjetar, hidrometeorološki uvjeti, pritisak leda itd.



Slika 1. Konvoj predvođen ledolomcem [15]

3.2. TEGLJENJE

Svi ledolomci moraju biti opremljeni vitlima za tegljenje. Uže je namotano na vitlo, a kraj užeta je osiguran dugim remenom koji se postavlja u utor na krmi broda. Na brodu vitla se nalaze što više naprijed da bi se smanjio vertikalni kut tegljenja. Međutim, kod tegljenja ledolomac gubi svoju snagu za razbijanje leda te je potreban dodatni ledolomac koji će probiti kanal u ledu. Kod tegljenja postoji i poseban protokol i raspored brodova koji se tegle. Prije nego se uđe u područje leda, brodska sidra moraju biti podignuta i osigurana na palubi. U sidreno oko potom nastaje prostor u koji se postavlja tegleće uže u slučaju nužde. Neki brodovi imaju opremu za montiranje teglećeg užeta pa pritom ne trebaju sklanjati sidra. Kod osiguravanja teglećeg konopa postoje dvije temeljne metode:

Prva metoda koristi se kod tegljenja u čvrstom ledu kada je nemoguće izbjeći nagle trzaje. Iznad sidrenog oka potrebno je staviti komad drveta na kojeg se pričvršćuje omča teglećeg užeta. Prilikom otpuštanja komad drveta se samo izvuče. Druga metoda se koristi

tako da se tegleće uže učvrsti pomoću konopa. Prilikom otpuštanja pomoćni konop se odreže.

3.3. MJERE ZAŠTITE BRODA [19]

Prilikom pogoršanja vremenskih uvjeta brod mora slijediti neke obvezne upute:

- potrebno je obavijestiti zapovjednika i strojarnicu kako bi brodski motori bili pripralni za reagiranje, odnosno manevriranje,
- potrebno je postaviti dodatnu stražu,
- potrebno je postaviti rad kormila na ručno upravljanje i uključiti sve potrebne kormilarske uređaje,
- potrebno je pratiti i ucrtavati poziciju broda,
- potrebno je pratiti izvješća i upozorenja o vremenskim uvjetima, o stanju leda i navigaciji,
- potrebno je savjetovati se sa Službom za plovidbu u ledu u slučaju nepovoljnih uvjeta,
- potrebno je držati sidra u stanju pripravnosti ako je brod u blizini obale,
- u slučaju nepovoljnih vremenskih uvjeta treba osigurati sidra, evakuacijske prolaze, opremu i užad, sva vodonepropusna vrata i okna, te sve otvore na palubi,
- posada u svakom trenutku mora biti obaviještena o uvjetima,
- testirati svjetlosnu opremu, signalizirajuću opremu i zviždaljke te
- potrebno je slijediti sve postupke navigacije u ledu i odredbe donesene raznim zakonima.

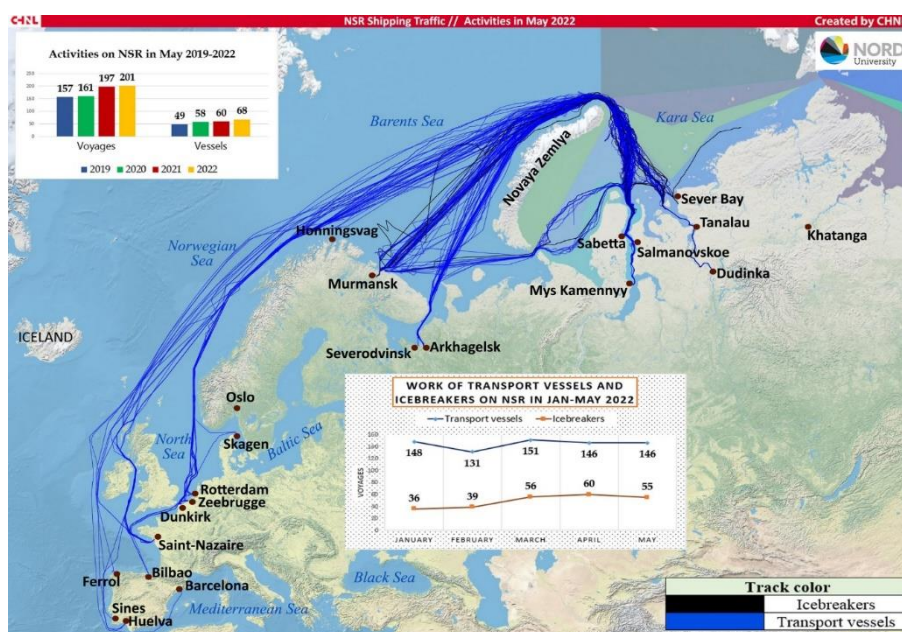
Svrha Standardnih postupaka upravljanja (*engl. Standard Operating Procedures*) je osigurati ispravno djelovanje tijekom plovidbe u ledu. Zapovjednik je obavezan postupati prema sljedećim odrednicama:

- mora omogućiti sigurnu plovidbu koristeći sve dostupne upute, uređaje i vještine,
- plan putovanja mora pripremiti prema mogućnostima, odnosno prema meteorološkoj prognozi i izvješćima o stanju leda,
- mora obavijestiti posadu o sigurnosnim mjerama zaštite,
- u području leda mora tražiti pomoć službenih tijela,
- mora obavijestiti posadu o ulasku u područje s prisutnošću leda,
- ako je potrebno, mora povećati broj osmatrača te voditi bilješke u brodski dnevnik.

4. POLARNA NAVIGACIJA U 21. STOLJEĆU

Nakon brojnih bezuspješnih pokušaja plovidbe polarnim područjima, razvojem mnogih tehnologija i novih saznanja, navigacija ovim krajevima postala je uobičajena. Brojna donesena pravila omogućila su brodovima da plove sa što većom sigurnosti i uspjehom. Ipak, ovaj tip plovidbe još uvijek se smatra najtežim. Dvije rute, sjeverna i južna, postale su bitne velikim skraćivanjem putovanja, a što za sobom povlači i ekonomsko pitanje, odnosno smanjenje troškova. Južna ruta je nešto manje poznata jer je dosta duža od sjeverne pa ovim područjem većinom plove istraživači, ali i poneki turisti. Sjeverna ruta je poznatija jer je značajnije skratila put ka istočnim zemljama, odnosno ka Aziji. Danas njima plove razni tipovi brodova, među kojima: tankeri, brodovi za prijevoz tereta, brodovi za prijevoz kontejnera, brodovi za krstarenja, vrlo bitni ledolomci, brodovi istraživači i ostali.

Na idućoj slici prikazana je statistika iz svibnja 2022. godine koju vodi *Northern Sea Route Information Office*. Ukupna aktivnost je 201 putovanje 68 brodova. Kada se broj uspoređi sa svibnjem prethodnih godina (2019-2022 godina), dobije se stalan porast. U 2019. godini putovanja je bilo 157, a brodova 49 što je porast od 44 putovanja, odnosno 19 brodova. Najveći broj putovanja odvio se u sklopu projekta *Yamal LNG*, njih 47. Drugi po redu je projekt izvoza naftnih proizvoda s terminala *Arctic Gate*, ukupno 34 putovanja. Pomoć ovim brodovima osiguravalo je 10 ledolomaca od kojih 4 na dizelski pogon i 6 na nuklearni pogon [27].



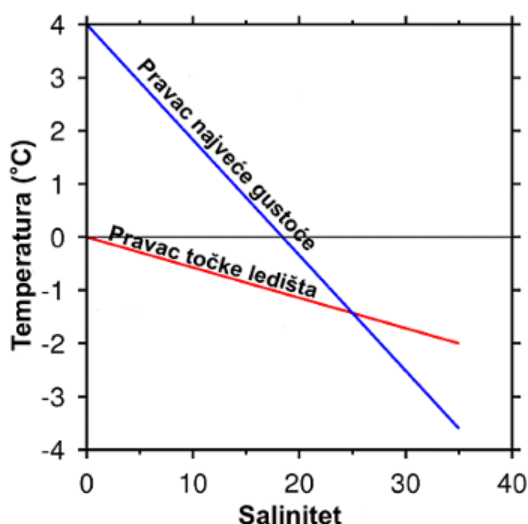
Slika 2. Statistika plovidbe sjevernom rutom u svibnju 2022. [27]

5. MORSKI LED I POLARNI KRAJEVI

5.1. MORSKI LED

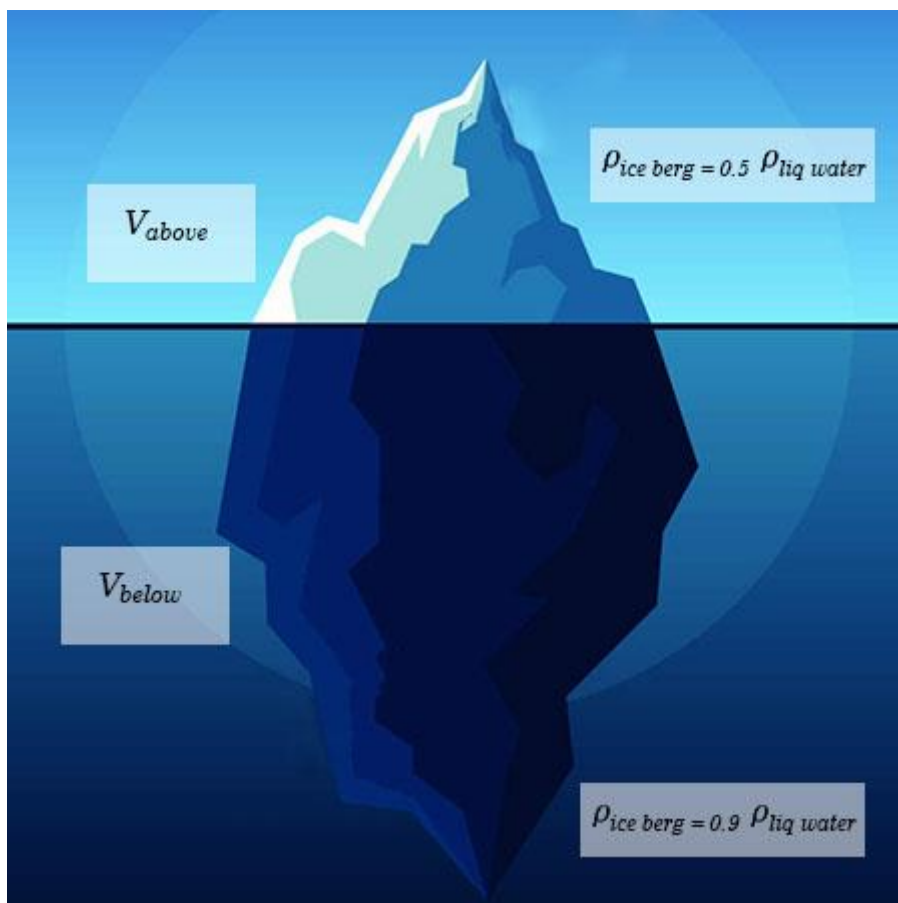
Led je čvrsto agregatno stanje koje nastaje kada voda dosegne temperaturu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, odnosno točku ledišta. Nastaje spajanjem zrnaca zamrznute vode u kristale leda. Morski led je nešto drugačijeg nastanka, odnosno zbog velikog saliniteta i gustoće morske vode temperatura ledišta se snižava. Prema tome, s višim salinitetom (promili (‰)), temperatura ledišta (Celzijevi stupnjevi ($^{\circ}\text{C}$)) se više snižava. Iako slatka voda najveću gustoću doseže na $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, gustoća morske vode ovisi o salinitetu. Morska voda se leđi na temperaturi $-1.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ kada je razina saliniteta 35 ‰ [24]. U tablici su prikazane su vrijednosti temperature i saliniteta te linije ledišta i gustoće.

Tablica 2. Linije najviše gustoće i točke ledišta, ovisne o temperaturi i salinitetu [26]



Salinitet nije jednak u svim morima, promjenjiv je i postoje i veće oscilacije koje mogu biti uvjetovane npr. miješanjem slatke i slane vode. Na Antarktici, salinitet mora je $33\text{--}34\text{ ‰}$, a slanost leda jest $14,9\text{--}22,5\text{ ‰}$. Za razliku od Antarktike, salinitet na Arktiku je dosta manji. U ovom procesu nastanka leda, veliku ulogu ima i brzina zaleđivanja – ako se more polako smrzavalo, led ima manju razinu saliniteta, međutim ako se more naglo smrzavalo, sol se nije izdvojila iz leda, skupila se i ostala zarobljena u ledu. Također, što je led stariji, njegov salinitet sve više opada jer se taloži snijeg koji se potom pretvara u led. Salinitet leda opada i otapanjem jer se oslobađaju čestice soli. Slatki morski led čest je na Arktiku dok se na Antarktici može naći samo slani morski led zbog jako niskih temperatura i starog leda koji je zadržao svoju slanost [24]. Vrlo je bitna i činjenica da *iako je morski*

led slan, gustoća mu se odnosi prema gustoći mora kao 9:10, a prema slatkoj vodi između 9:10 i 9,5:10. Zbog toga led od najslanijeg zaleđenog mora uvijek pliva čak i na slatkoj vodi [24]. Također vrlo bitni podaci su i odnos visine i gaza, odnosno nadvodne i podvodne mase leda. Ako je prva $G_l = 0,9150$, a druga $G_m = 1,0268$, odnos će biti $9150:10268 = 0,891$ ili 89 %. To znači, da će u tom slučaju 89 % ledene mase biti uronjeno, a samo će 11 % stršiti iz vode [24].



Slika 3. Odnos nadvodne i podvodne mase leda [8]

S nižom temperaturom, led se širi i nastoji se odvojiti i rastaviti, a sve to uvjetovano je velikim brojem različitih kemijskih elemenata i spojeva u morskoj vodi. Ovakve promjene uzrokuju brojne zvukove poput tutnjave, praskanja i slično. Osim što se led širi, također i ishlapljuje pa pri temperaturama ispod nule dnevno ishlapi od 1-4 mm [24].

5.2. VRSTE MORSKOG LEDA

Nastanak morskog leda proces je prilikom kojeg more gubi svoj sjaj te mijenja boju površine, a kao rezultat nastaje ledena kaša (*slush ice*). Ledena kaša može dosegnuti debljinu i do 5 cm. Prilikom nastajanja leda također je prisutno i izdizanje pare iz mora, a nastaje zbog velike razlike u temperaturama mora i zraka. Valovi vrlo lako lome ledenu kašu te tvore komade, odnosno tiganjce (*pancake ice*), koji su u obliku pločica sa zarobljenom soli u sredini. Iako je njihova maksimalna debljina 10 cm, njihov promjer može biti između 30 i 100 cm, a ponekad dosegne i 2 m. Ovisno o vremenskim uvjetima, led se nastavlja stvarati i spaja se u čvrsto ledeno polje (*ice field*) čija površina može biti na stotine kilometara [24].

Nadalje, postoje različite vrste leda – obalni led (*fast ice*), žalni led (*ice foot*) te ledene ploče (*floes*). Obalni led nastaje u blizini kopna, odnosno uz obalu, u zaljevima i kanalima. Njegova debljina se povećava zimi, a ovisno o toj debljini i temperaturama, ponekad se zadržava i tijekom ljeta. Žalni led nastaje otkidanjem od većinom nepomičnog obalnog leda. Otkidanje žalnog leda većinom uzrokuju plima i oseka. Obalni led seže duboko u pučinu, ali završava s odvojenim ledenim pločama. U prosjeku su debele od 30 do 60 cm, a ako su deblje od navedenog, onda se nazivaju ledene sante (*heavy floes*). Ukoliko i ledene sante postanu deblje, u prosjeku 10 m, pa i više, nazivaju se ledene gromade (*floebergs*). Ukoliko su ledene ploče široko razmaknute i tvore prolaze, takav oblik naziva se *drift*. Ledene ploče mogu se i spojiti te tvoriti pločni led (*pack ice*). Pločni led može biti zatvoren (*close pack*) – neprohodan za brodove i prolazan (*open pack*) – odnosno prohodan za brodove. U uvjetima niskih temperatura, jakih vjetrova i struja, ledene ploče se sudaraju i gomilaju te tvore ledene humce (*hummocks*) s visinom od 10 m. U Sibiru humci mogu doseći čak i 20 m, a nazivaju se *torosi*. Spajanjem humaca pod utjecajem tlakova nastaju teško prohodni tlačni hrptovi (*pressure ridges*) [24].



Slika 4. Pack ice [20]

Osim prethodno navedenih površinskih vrsta leda, postoji i posebna vrsta leda koji se nalazi na morskom dnu i naziva se pridneni led (*ground ice*). Većinom nastaje u plitkim polarnim morima koji imaju nisku slanoću (npr. Baltičko more). Nastajanje ovog leda uvjetovano je spuštanjem hladne vode na dno gdje se ona zatim ledi. Često se u takvom ledu mogu pronaći morske alge, morska trava, kamenje i drugi objekti s dna mora [24].

Morski led se može dijeliti i s obzirom na njegovu starost. Led koji je nastao tijekom jedne zime te dosega debljinu od 30 cm do 2 m naziva se jednogodišnji led (*first-year ice*). Jednogodišnji led može se dalje podijeliti u 3 podvrste s obzirom na debljinu: tanki jednogodišnji led debljine 30-70 cm (*thin first-year ice / white ice*), jednogodišnji led srednje debljine 70-120 cm (*medium first-year ice*) i jednogodišnji led velike debljine preko 120 cm (*thick first-year ice*). Led koji je izdržao jedno ljetno otapanje naziva se dvogodišnji led (*second-year ice*). Led koji je izdržao barem dva ljetna otapanja, a prelazi 3 m, naziva se višegodišnji led (*multiyear ice*) [4].

5.3. POLARNI KRAJEVI

Polarnim se u matematičkom smislu smatraju krajevi na sjevernoj polutki sjeverno od sjeverne polarnice ($66^{\circ} 33' \text{ s.g.š.}$) te na južnoj polutki južno od južne polarnice ($66^{\circ} 33' \text{ j.g.š.}$) [5]. Sjeverni polarni krajevi, odnosno Arktik, razlikuju se od južnih polarnih krajeva, Antarktika.

5.3.1. Arktik

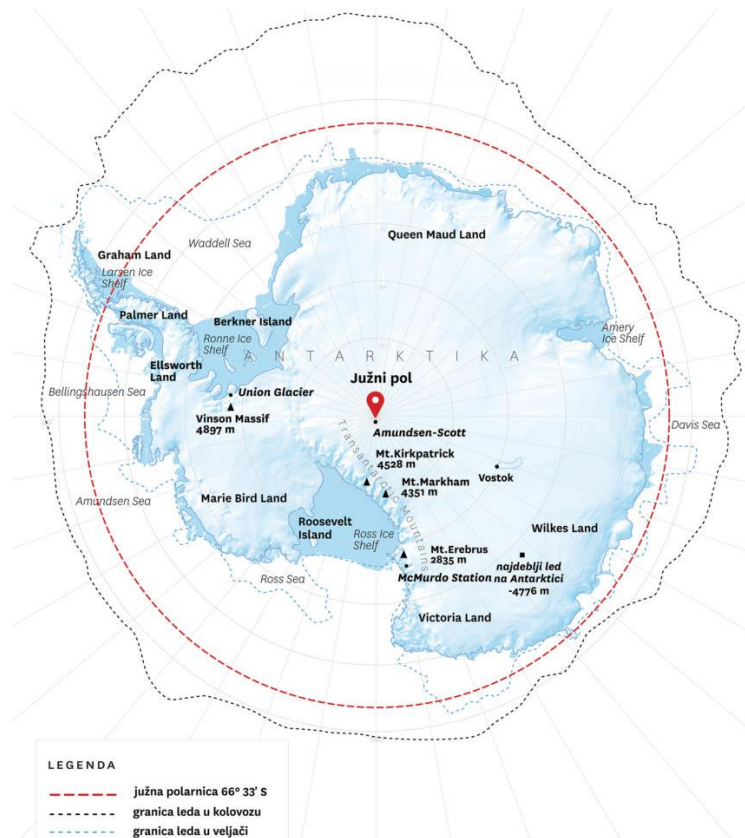
Područje Arktika obuhvaća rubne sjeverne dijelove kontinenta Europe, Azije i Sjeverne Amerike te dio Islanda. Arktiku pripadaju i Sjeverno ledeno more, odnosno Arktički ocean s pripadajućim otocima, ali i sjeverni dio Atlantskog oceana te Tihog oceana. Iz navedenog se dolazi do zaključka kako 70% Arktičkog područja čini more. *Morski led prekriva od 7,5 do 15 mil. km² Arktičkog oceana i ima prosječnu debljinu od oko 3 m* [5]. Arktički led dijeli se u tri vrste: obalni led (5 %), pločni led (25 %) i polarni led (70 %). Obalni led stvara se unutar izobate od 20 m, a ljeti nestaje topljenjem ili odvajanjem prema pučini. Većinom ima debljinu do 2 m. Pločni led pokriva manja prostranstva, a ljeti se topi pa se pojavljuju veće površine nezaleđena mora. Arktički polarni led ima najveću debljinu (2m). Gomilanjem i sudaranjem ploča, led je pun hrptova koji mogu biti visoki i do 20m, ali i uskih pukotina. Ovaj led je star više godina, a nalazi se u sredini Sjevernog ledenog mora te se led većinom ne topi zbog temperature koja je većinom ispod 0 °C. *Na granicama obalnog, pločnog i polarnog leda prostiru se široki i nepravilni kanali nezaleđena mora, koji su, čini se, prilično stalni* [18]. Kanali se nalaze sjeverno od sibirске obale (Veliko sibirsko polinje) i sjeverno od Grantove Zemlje i Grenlanda (Pearyevo polinje). Ipak njihov oblik mijenjaju struje, vjetrovi, oštre zime, tlakovi koji stvaraju mnoge gromade, humke i hrptove [5].



Slika 5. Sjeverni pol, Arktik [28]

5.3.2. Antarktika

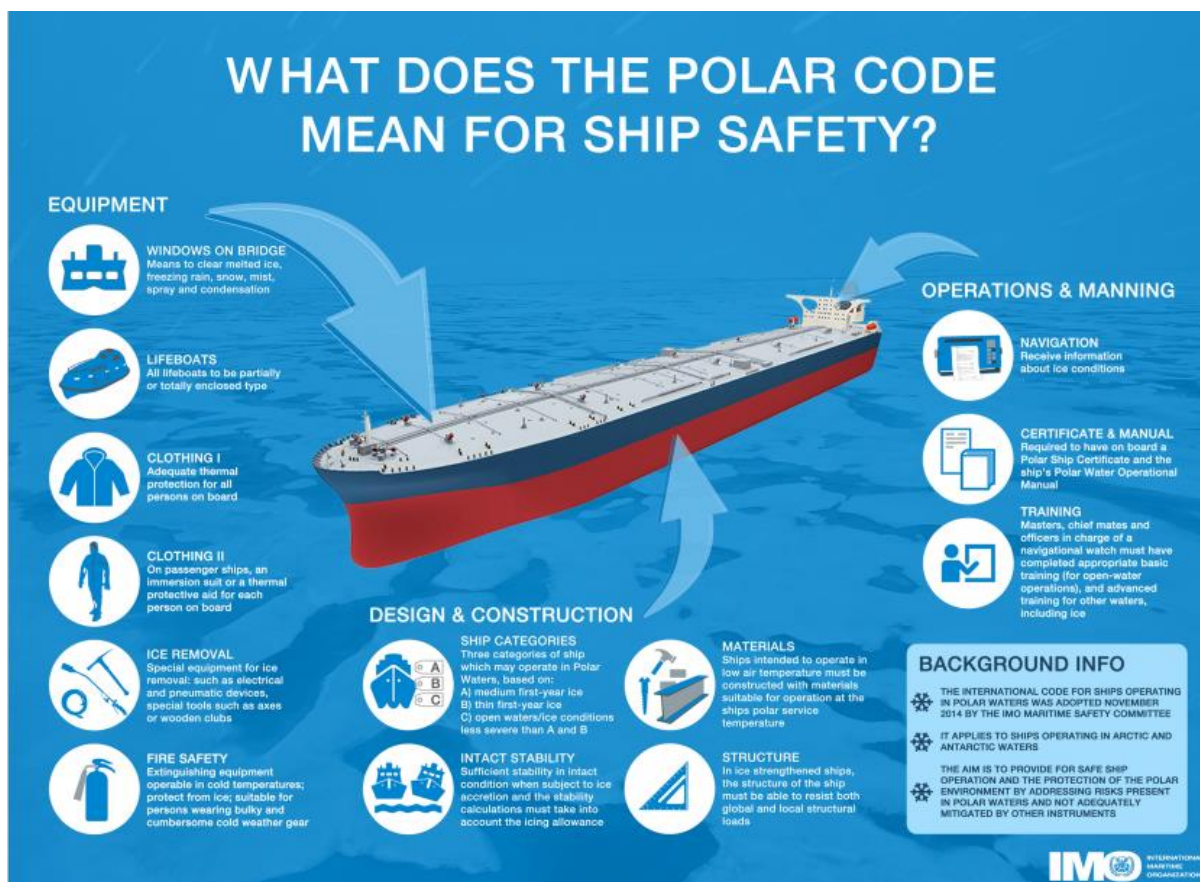
Antarktika, odnosno Južni pol, obuhvaća kontinent Antarktiku zajedno s okolnim morem. *Sjeverna granica Antarktičkih voda najčešće je određena antarktičkom konvergencom, pojasom gdje ponire hladna antarktička voda ispod toplije subantarktičke* [5]. Cijeli prostor Antarktike prekriven je ledom, a čini ukupno 90 % ledenih pokrova Zemlje. Led, debljine u prosjeku 2000 metara pruža se u more gdje tvori ledene police od kojih se često odlamaju ledene sante koje tvore probleme upravo pomorcima. Obalni led na Antarktici ne topi se svakog ljeta, već se može nakupljati više godina, a zatim se i pretvoriti u ledeni prag (*shelf ice*). Pločni led je vrlo sličan onome na Arktiku, vodoravne i odvojene ploče koje su debljinom i površinom manje. Također zbog otvorenijeg mora gomilanje je slabije i ledeni humci ne dosežu veličinu kao u Arktiku. I u morima oko Antarktike ima polinja (Rossovo more, Amundsenovo more itd.) [5].



Slika 6. Južni pol, Antarktika [28]

6. KODEKS O PLOVIDBI POLARNIM PODRUČJIMA

Kodeks o plovidbi polarnim područjima međunarodni je kodeks odobren od SOLAS-a i MARPOL-a. Kodeks je stupio na snagu 2017. godine. On uvjetuje dizajn, konstrukciju, opremu, rad, obuku, potragu i spašavanje te zaštitu okoliša. Odnosi se na polarna područja, odnosno na Sjeverni i na Južni pol. Kodeks se dijeli na obvezne mjere sigurnosti (I-A), mjere zaštite okoliša (II-A) i preporučene odredbe (I-B i II-B) [18]. Na slici 6. prikazane su odredbe polarnog kodeksa:



Slika 7. Odredbe polarnog kodeksa [18]

Polarni kodeks odredio je tri kategorije brodova: A, B i C kategorija. U A kategoriju pripadaju brodovi koji mogu ploviti u uvjetima jednogodišnjeg leda srednje debljine, odnosno od 70 do 120 cm. Brodovi koji pripadaju B kategoriji mogu ploviti u polarnim područjima s tankim prvogodišnjim ledom debljine od 30 do 70 cm. Kategorija C određuje brodove koji mogu ploviti u manje opasnim uvjetima, za razliku od brodova A i B kategorije

Kodeks u poglavljima postavlja razne ciljeve i zahtjeve koji se odnose na strukturu broda, stabilnost, vodonepropusnost, strojeve, sigurnost pri rukovanju opremom, zaštitu od požara, opremu za spašavanje, sigurnost, komunikaciju, planiranje plovidbe, obuku posade, sprečavanje raznih onečišćenja s brodova [18].

Vrlo bitna regulativa jest struktura brodske oplata prilagođena da izdrži iznimno niske temperature, a ona važi za sve kategorije brodova. Što se tiče stabilnosti broda, vrlo je bitno da tijekom cijele plovidbe zadrži stabilnost, čak i u slučaju oštećenja brodske strukture. Na stabilnost broda utječe i mogućnost srastanja leda, prema tome i tu su potrebna ograničenja. Na palubi je dozvoljeno maksimalno 30 kg/m², a na bočnim stranama do 7.5 kg/m². Bitno je da se brodovima pri izgradnji minimizira srastanje, ali i da budu opremljeni opremom za uklanjanje leda (električni i pneumatski uređaji, drveni čekić). Sve instalacije i strojevi na brodu moraju nastaviti ispunjavati svoje funkcije bez obzira na uvjete niskih temperatura i leda. Za suzbijanje leda u strojevima posada mora redovito pregledavati, održavati i zadržati viskoznost tekućina. Međutim, svi ovi strojevi prvobitno bi morali biti zaštićeni od hladnoće, odnosno ako uređaju treba usis vode, njegove instalacije trebale bi onemogućiti zamrzavanje ili usis leda [18].

U slučaju požara, potrebna je sva protupožarna oprema koja mora biti zaštićena od utjecaja hladnoće i leda koji mogu narušiti njihovu funkcionalnost. Cjelokupan sustav zaštite morao bi biti dizajniran tako da je prilagođen navedenim uvjetima. Posada i u ovom slučaju redovito mora kontrolirati mlaznice, ventile i sl. Sva oprema mora biti smještena na lako dostupnim mjestima, ali obvezno izolirana od mogućih vanjskih utjecaja [18].

7. BRODOVI ZA PLOVIDBU ZALEĐENIM MORIMA

Navigacija u polarnim područjima zahtijeva posebne brodove koji su pažljivo građeni, a zatim i pregledani. Pomorske nesreće u povijesti ukazale su na propuste koji su danas uređeni mnogim pravilima kako bi brod mogao nesmetano ploviti polarnim područjima. Prema tome, pravila određuju njegov izgled i opremu. Vrlo je važno da brod ispuni kodeks o plovidbi polarnim područjima, a nakon što ispuni uvjete izdaje mu se svjedodžba s kojom je službeno spreman za plovidbu.

7.1. LEDOLOMCI

Brod ledolomac siječe led na površini mora i tako u njemu otvara plovni kanal za plovidbu [23]. Moderni ledolomci mogu se podijeliti u 3 skupine: veliki ledolomci otvorena mora (led debljine oko 4 m), manji brodovi koji prevoze putnike i teret (led tanji od 1 m), brodovi za prijevoz vozila i vlakova (zaleđeni tjesnaci).



Slika 8. Američki ledolomci obalne straže [7]

Prema konstrukciji trupa mogu se podijeliti u dvije skupine: europski tip i američki tip. Europski ledolomci sijeku led vodoravnim pritiskom, a njihov je pramac oštar, kos i zaobljen. Na krmi imaju 2 ili 3 vijka. Američki ledolomci ne sijeku led već sisanjem vode ispod leda nastaje prazan prostor i na taj način se led lomi. Njihov pramac je oštar i kos, ali

ispod vodene linije. Osim onih na krmi, postoji još jedan vijak na pramcu. *Nagib konture pramca europskih ledolomaca iznosi $\approx 25^\circ$, a američkih 30° - 33° [23].*

Pogon ledolomaca u povijesti bio je na parne stapne strojeve, dok moderni brodovi voze na motorni ili dizel-električni pogon, a postoje neki i na nuklearni pogon. Ledolomac može imati i 6 takvih motora po 1490 kw (*Mackinaw*). Njihova brzina ovisi isključivo o debljini leda – u ledu debljine 4 m plovit će brzinom od 2 čv, a u moru bez leda brzinom od 15-16 čv [23].

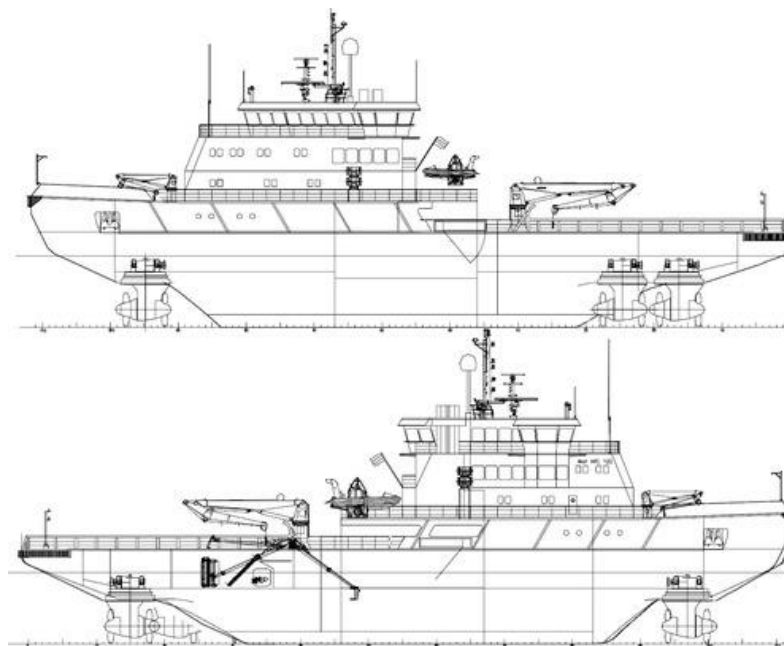
7.1.1. Dimenzije i oblik trupa ledolomca

Dužina ledolomaca nije određena nikakvim pravilom već ona ovisi o tipu ledolomca i parametrima broda. Zbog velike važnosti uspješnih manevara, preferira se manja dužina i velika širina broda. Međutim, veća dužina poboljšava sposobnost lomljenja leda i osigurava stabilnost kursa. *Dosadašnja iskustva pokazuju da je omjer između dužine i širine uspješnih ledolomaca približno ovaj: ledolomci od ~ 2000 t istisnine: $L/B \approx 3,75$; ledolomci od $10\,000$ t istisnine: $L/B \approx 4,5$; ledolomci preko $10\,000$ t istisnine: $L/B \approx 5$ [23].* Kod projektiranja broda širina je uvijek važniji parametar od dužine te se ona određuje sukladno širini. Odabir širine često je određen kao malo veća širina od širine broda kojem će ledolomac osloboditi put. Gaz ledolomca mora biti što veći, odnosno dublji da bi se zaštitio od razbijenog leda. Ograničenje i smanjenje gaza dozvoljeno je samo u vodama male dubine. *Po pravilu, trebalo bi da manji ledolomci određeni za rad u zdrobljenom ledu na rijekama i u lukama imaju omjer širine i gaza $B/T \approx 3$, a veliki polarni ledolomci $B/T \approx 2,5$ [23].* Navedeni omjeri su optimalni i ne bi trebali biti drugačiji od navedenog.

Osobitost ledolomaca je njihova plosnata kobilica, odnosno njihovo je dno potpuno ravno. Ispod vodene linije imaju oble bokove o kojima ovisi efikasnost lomljenja, odnosno ovisi o njihovu kutu nagiba prema vertikali i o kutu što ga zatvara statva s vodenom linijom. *Dizanjem i spuštanjem pramca on cijepa led oštrom i kosom statvom. Radi toga svaki ledolomac ima velike balasne tankove i veoma snažne sisaljke, koje mogu za tri minute prebaciti oko 400 t vode s pramca na krmu i obratno. Takav brod može mijenjati pretegu i do 10° , i tako razbijati ledene ploče i olakšavati napredovanje [23].* Pramac i krma na ledolomcu moraju biti dodatno pojačani, a podvodni dio trupa ima dvostruke bokove i čvrsto dvostruko dno. Vrlo su bitne i nepropusne pregrade u trupu. Krma je također dio koji je posebno napravljen za potrebe ovog broda. Njegove manevarske sposobnosti od velike su

važnosti jer treba prolaziti kroz uske kanale, obavljati pomoć brodovima opkoljenim ledom, ali isto tako i pri razbijanju leda.

Ledolomci imaju široku krmu koja štiti propeler i služi kao rezervna istisnina. Na krmu se nalazi i snažan rog koji štiti kormilo prilikom manevriranja kada brod mora voziti krmom. Krmeni dio pod vodom je zaoštren sa blagim i dugim prijelazom u srednji dio trupa [23].



Slika 9. MS Aker Arctic ARC100 [16]

7.1.2. Plovidba ledolomca

Ledolomac je brod projektiran na način da je njegova optimalna plovidba upravo u ledu, a ne u nezaleđenom moru. Tijekom plovidbe u ledu njegov otpor se mijenja, a to ovisi o stanju i uvjetima leda. Čvrsto ledeno polje ledolomac razbija na način da se zaleti, pramcem udari u led te se izdigne na njega. u ovom slučaju dolazi do smanjenja brzine, ali povećanja otpora te se led slomi. Nakon pucanja pod težinom, pramac pada u vodu, otpor broda se smanjuje dok se brzina ponovno povećava sve dok opet ne naleti na ledeno polje. Ovaj proces se konstantno ponavlja, a u slučaju da je debljina leda takva da ledolomac plovi konstantnom brzinom, njegov otpor se može odrediti empirijskom formulom: $R = (C_1 + C_2 V^2) e B$. U navedenoj formuli R je otpor ledolomca koji plovi konstantnom brzinom kroz homogeno ledeno polje, C_1 konstanta oblika trupa broda, čija vrijednost za

normalne forme ledolomca iznosi $\sim 0,23$; C_2 konstanta inercijskih sila, za normalne forme ledolomca iznosi $\sim 0,0135$; V brzina broda (u čvorovima); e debljina leda koji ledolomac lomi a B širina broda (oboje u metrima) [23].

8. KLASSE LEDA [6]

DNV (Det Norske Veritas) je svjetski priznato klasifikacijsko i savjetničko društvo za pomorsku industriju. *DNV* je donio i niz pravila koja se odnose na polarna područja. Brodovi koji plove ovim područjima posjeduju klase leda koje su sastavni dio baltičkih i arktičkih pravila. Baltička pravila *DNV*-a uključuju pravila koja su donijele finske i švedske vlasti, a namijenjena su brodovima koji plove u područjima s ledom. Također je *DNV* donio i niz pravila za područje Arktika.

8.1. BALTIČKA PRAVILA

Podjela klasa leda prema baltičkim pravilima sastoji se od 4 klase – 1A*, 1A, 1B, 1C. U tablici (Tablica 2.) prikazane su klase leda, mogućnost plovidbe brodova i debljina leda iskazana u metrima (m).

Tablica 3. Klase leda – baltička pravila

Klase leda	Mogućnost plovidbe	Debljina leda (m)
Ice (1A*)	Sposoban za plovidbu u teškim uvjetima leda, bez pomoći ledolomca	Oko 1 m
Ice (1A)	Sposoban za plovidbu u teškim uvjetima leda, uz pomoć ledolomca ako je to potrebno	Oko 0.8 m
Ice (1B)	Sposoban za plovidbu u uvjetima umjerenog leda, uz pomoć ledolomca ako je to potrebno	Oko 0.6 m
Ice (1C)	Sposoban za plovidbu u uvjetima slabog leda, uz pomoć ledolomca ako je to potrebno	Oko 0.4 m

Postoji i dodatna oznaka klase leda – Ice (1A*F). Odnosi se na brodove s velikom snagom motora koji su dizajnirani za redoviti promet Baltikom (fiksni raspored plovidbe bez obzira na uvjete) te im nije potrebna pomoć ledolomaca.

Također je navedena još jedna klasa leda – ICE-C. Ona se odnosi na brodove koji plove u najlakšim uvjetima leda. Nemaju potpuno ojačanje za led, a slični su klasifikaciji finske vlasti.

8.2. OSTALE KLASSE LEDA [11]

Osim navedenih baltičkih pravila klase leda koje je donijela DNV, postoje još mnoge klase leda koje donose razna društva i slično koja se bave pomorskom industrijom. U idućoj tablici prikazane su usporedbe raznih društava koja su donijela klasifikaciju leda. U prvom retku nalazi se DNV-ova klasifikacija objašnjena u prethodnom poglavlju.

Tablica 4. Klase leda prema raznim društvima

Klasifikacijsko društvo	Klasa leda				
<u>Det Norske Veritas</u>	<u>Ice (1A*)</u>	<u>Ice (1A)</u>	<u>Ice (1B)</u>	<u>Ice (1C)</u>	<u>Ice-C</u>
Finnish-Swedish Ice Class Rules	IA Super	IA	IB	IC	Category II
Russian Maritime Register of Shipping (Rules 2007)	Arc 5	Arc 4	Ice 3	Ice 2	Ice 1
Russian Maritime Register of Shipping (Rules 1995)	UL	L1	L2	L3	L4
Russian Maritime Register of Shipping (Rules 1999)	LU5	LU4	LU3	LU2	LU1
American Bureau of	IAA	IA	IB	IC	ID

Shipping	A1	Ao			
Bureau Veritas	IA SUPER	IA	IB	IC	ID
CASPPR, 1972	A	B	C	D	E
China Classification Society	Ice Class B1*	Ice Class B1	Ice Class B2	Ice Class B3	Ice Class B
Germanischer Lloyd	E4	E3	E2	E1	E
Korean Register of Shipping	ISS	IS1	IS2	IS3	IS4
Lloyd's Register of Shipping	1SS	1A	1B	1C	1D
Nippon Kaiji Kyokai	IA Super	IA	IB	IC	ID
Registro Italiano Navale	IAS	IA	IB	IC	ID

9. NAVIGACIJSKA OPREMA ZAPOVJEDNIČKOG MOSTA

Brod za praćenje svog položaja, brzine i kretanja mora imati potrebnu opremu. Sva oprema i uređaji potrebni za to smješteni su na zapovjedničkom mostu, a odredila ih je Međunarodna pomorska organizacija (IMO – eng. *International Maritime Organization*). Većina današnje opreme je elektronička i zahtijeva vrlo dobro poznavanje opreme i spretno rukovanje. Minimalna brodska oprema sastoji se od: uređaja za kontrolu brzine, kursa, dubine, položaja broda i opreme za dobivanje podataka meteoroloških postaja o vremenskim uvjetima. Osim navedene obvezne opreme, brodovi moraju imati i ostale uređaje koji ovise o veličini broda, vrsti broda, njegovoj namjeni i slično [2].

9.1. UREĐAJI ZA KONTROLU BRZINE

Vrlo bitan podatak kod plovidbe je brzina te ona za vrijeme cijelog putovanja mora biti stalno dostupna. Na brzinu utječu razni čimbenici poput snage motora, trenja na podvodnom trupu broda, deplasman i dubina. Postoje dvije odrednice brzine – brzina preko dna i brzina kroz vodu. Brzina preko dna je brzina koju je brod prošao uz uračunate vanjske utjecaje – valove, struju, vjetrove i brzinu kroz vodu. Brzina kroz vodu je brzina koju bi brod postigao u uvjetima mirne vode. Uređaji za izračun i kontrolu brzine nazivaju se brzinomjeri. Dijele se na apsolutne (mjere brzinu preko dna) i relativne (mjere brzinu kroz vodu). Po načinu rada mogu se podijeliti u više vrsta: rotirajući, hidrodinamički, električni, elektromagnetski i ultrazvučni. Rotirajući brzinomjer sastoji se od užeta i malog propelera. Okretaji propelera prenose se na užu, a potom na mehanizam koji zabilježava prevaljeni put pomoću kojeg se dobiva brzina broda. Hidrodinamički brzinomjer mjeri brzinu na temelju razlike hidrostatičkih tlakova na dnu broda i u vodi. Smješten je u blizini kobilice. Električni brzinomjer se nalazi na trupu broda te je u obliku turbine. Brzinom strujanja vode dobiva podatke o brzini broda. Najpoznatiji tipovi električnog brzinomjera su Forbesov i Chernikijev brzinomjer. Elektromagnetski brzinomjer sastoji se od elektroda kojima mjeri indukciju uzrokovanu strujanjem vode. Strujanje mijenja inducirani napon kojeg prepoznaje senzor te na taj način mjeri brzinu. Ultrazvučni brzinomjer je najprecizniji tip brzinomjera, a temelji se na Dopplerovom efektu [2].



Slika 10. Ekran brzinomjera [14]

9.2. UREĐAJI ZA KONTROLU KURSA

Osim brzine, vrlo je bitno pratiti i kurs broda te orijentaciju. Kurs je horizontalni kut s vrhom u šiljku ruže kompasa između sjevera odnosno meridijana pravog i uzdužnice broda u smjeru pramca [2]. Kurs se održava kormilom i kormilarskim uređajem. Kompasna kontrola kursa tijekom navigacije prati otklon igle na ruži kompasa. Kompas može biti magnetski i žirokompas. Magnetski kompas sastoji se od igle i ruže kompasa. Na iglu kompasa djeluju Zemljine magnetske silnice pa ona pokazuje Zemljin sjever. Radi utjecaja feromagnetskog materijala i električnih instalacija kompasna igla ima određeni otklon te ne pokazuje pravi sjever, već kompasni, a ne magnetski meridijan. Taj efekt zove se devijacija [2]. Osim devijacije, javlja se i deklinacija, odnosno kut između pravog (geografskog) i magnetskog meridijana.



Slika 11. Magnetski kompas [17]

Žirokompas (eng. gyro – compass) jest sačinjen od žiroskopa koji se rotira velikom brzinom oko osi simetrije spojenog zajedno sa kompasom. Os žiroskopa ovješena je i podešena tako da se uvijek okreće prema sjeveru [2]. Dok je magnetski kompas neovisan o napajanju, žirokompas mora biti spojen na brodsko napajanje. Na njega ne utječu nikakve magnetske silnice.

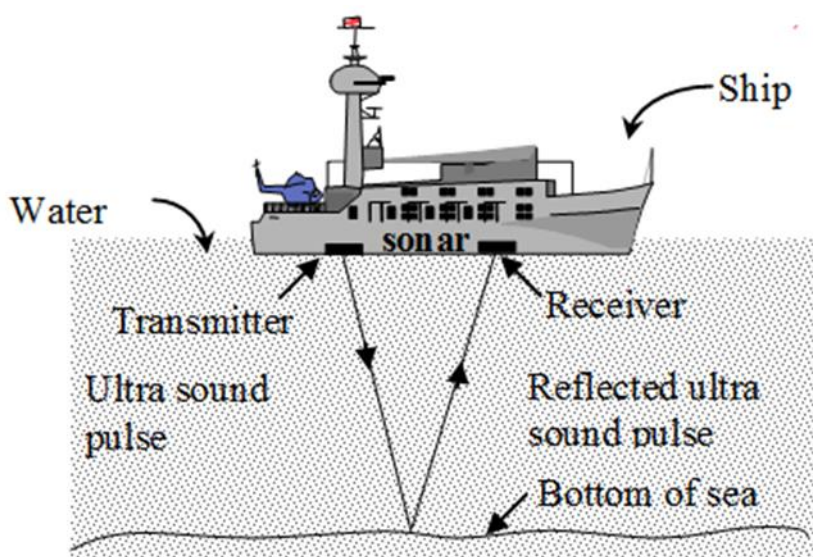


Slika 12. Žirokompas [10]

9.3. UREĐAJI ZA KONTROLU DUBINE

Još jedan vrlo važan element o kojem se posada mora brinuti jest kontrola dubine. O dubini ovisi ulazak u neku luku, sidrenje, pličine i sl. Uređaj kojim se mjeri brzina naziva se

dubinomjer. Prije se koristilo uža na kojem je bio olovni plovak koji se spuštao do dna, a zatim bi se s baždarenog užeta očitavala dubina. Danas, dubinomjer radi na principu ultrazvučnih valova i naziva se ultrazvučni dubinomjer ili sonar (sonar – eng. *SOund NAvigation Ranging*). Nalazi se na dnu broda odakle šalje ultrazvučne valove koji odlaze do dna te se reflektiraju i na taj način očitava dubinu, a očitani podaci prikazuju se na ekranu uređaja na zapovjedničkom mostu. Sonar emitira do 600 kratkih impulsa koji se reflektiraju od dna ili leda te na temelju vremena koje je potrebno da se vrati u prijamnik izračunava dubinu [2].



Slika 13. Princip rada sonara [13]

9.4. OPREMA ZA ODREĐIVANJE POLOŽAJA BRODA

Vrlo je bitno da posada zna i položaj broda, a za određivanje položaja osnovna oprema je pomorska karta. Ako je pomorska karta u fizičkom obliku, položaj se određuje tako da se ucrtavaju očitane pozicije. Prvi način određivanja pozicije jest uz pomoć azimuta. Dalekozorom se pronađu neki terestrički objekti, zatim se isti pronađu na karti i naposljetku se ucrtaju azimuti. U sjecištima azimuta dobiva se pozicija broda. Drugi način je uz pomoć sekstanta i astronomije, odnosno položaja nebeskih tijela. Oba navedena načina su stariji oblici određivanja položaja, a danas se većinom koriste elektroničke karte. One su povezane sa satelitskim sustavima te na taj način dobivaju precizan položaj broda. Oprema koja se koristi za dobivanje položaja broda je: radar (eng. *Radio Detection And Ranging*), ARPA (eng. *Automatic Radar Plotting Aids*) i ECDIS (eng. *Electronic Chart Display and*

Information System). Radar služi za otkrivanje i određivanje udaljenosti. On dobiva položaj broda uz pomoć elektromagnetskih valova. Oni se emitiraju iz radarske antene, reflektiraju se od objekta i na taj način prikazuju sliku na zaslonu računala na zapovjedničkom mostu. Dobivena slika na zaslonu prikazuje položaj broda.



Slika 14. Ekran radara [9]

Kao pomoć radaru služi ARPA koja pruža podatke o položaju brodova u blizini te se na temelju položaja brodova u blizini može dobiti i položaj vlastitog broda. ECDIS je informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata koji nastaje tako da objedinjuje navigacijske karte unutar geografskog informacijskog sustava (GIS – eng. *Geographic Information System*) i globalnog sustava za određivanje položaja (GPS – eng. *Global Positioning System*). Uz pomoć svih ovih elektroničkih pomagala pomorci imaju stalno prikazanu poziciju svog broda koja je brža i sigurnija od ručnih metoda [2].

9.5. OPREMA ZA DOBIVANJE METEOROLOŠKIH PODATAKA O VREMENSKIM UVJETIMA

Meteorološki podaci moraju biti poznati posadi broda još prije odlaska na putovanje, ali i stalno dostupni tijekom cijele plovidbe. Brod dobiva meteorološke podatke o vremenskim uvjetima od obalnih meteoroloških stanica. U slučaju pogreške te manjka službenih informacija, posada može sama prognozirati kratkoročnu vremensku prognozu uz

pomoć instrumenata koji se nalaze na brodu – barometar (instrument za mjerenje tlaka zraka), termometar (instrument za mjerenje temperature zraka), kišomjer ili ombrometar (instrument za mjerenje količine oborina), anemometar (instrument za mjerenje jačine vjetra) i vlagomjer ili higrometar (instrument za mjerenje vlažnosti u zraku).

Ako brod prima meteorološke podatke elektronički, one pristiže putem faksimila ili na NAVTEX (eng. *Navigational Telex*). *Faksimil jest razmjena pomorskih meteoroloških karata. To je foto- i/ili električni- i/ili mehanički postupak koji je moguć žičanim ili bežičnim putem* [2]. Faksimil prima na određenoj frekvenciji koje su unaprijed određene te se dijele ovisno o dobu dana. NAVTEX je navigacijski uređaj za slanje i primanje informacija. *NAVTEX poruke odašiljane od strane sudionika pomorskog prometa su na frekvenciji od 518 kHz, a ukoliko ih šalju državne NAVTEX službe su na frekvenciji od 490 kHz ili 4209,5 kHz. NAVTEX poruke podijeljene su u tri velike kategorije: vital (ukoliko je u opasnosti život posade), important (potencijalne opasnosti na moru) i routine (rutinske obavijesti)* [2]. Informacije koje su poslane mogu biti raznog karaktera, npr. meteorološke obavijesti i upozorenja, izvješća o ledu, opasnosti na moru, informacije o drugim brodovima itd.

9.6. POSEBNOST NAVIGACIJSKE OPREME NA BRODOVIMA NAMIJENJENIMA ZA POLARNU NAVIGACIJU

Kodeks o plovidbi polarnim područjima odredio je navigacijsku opremu te posebnosti i način rada navigacijske opreme. Najbitnije je da sva navigacijska oprema na brodu bude prilagođena vremenskim uvjetima u prostorima polarne navigacije.

Sva svjetlosna oprema na krmi mora biti u skladu s Međunarodnim pravilnikom o izbjegavanju sudara na moru (COLREG – engl. *International Regulations for Preventing Collisions at Sea*). Ako se plovi u konvoju ili je u tijeku tegljenje, brod mora imati svjetlosne uređaje koji jasno pokazuju stanje broda za vrijeme određene radnje, odnosno plovi li ili je zaustavio motore. Za taj oblik svjetlosnih signala koristi se crveno svjetlo smješteno na krmi. Njegova svjetlina mora biti vidljiva najmanje 2 nautičke milje.

Za određivanje brzine, brod mora imati najmanje dva uređaja. Jedan uređaj mora određivati brzinu preko dna, a drugi brzinu kroz vodu. Pametno je brzinu pratiti preko GPS sustava jer nije pod utjecajem vremenskih uvjeta, a brzinomjer često može prestati funkcionirati zbog utjecaja leda na njegove senzore.

Uređaji za kontrolu kursa su vrlo bitni, a na brodu se trebaju nalaziti dva nemagnetska uređaja i dva žirokompasa. Brod mora imati i barem jedan satelitski kompas (zbog plovidbe iznad 80° geografske širine). Magnetski kompas u područjima zemljopisnih polova ne može funkcionirati zbog silnica koje nisu paralelne. Zbog toga magnetski kompas ne pokazuje sjever i praktički je neupotrebljiv. Žirokompas zbog svoje neovisnosti o magnetizmu i dalje pokazuje točan smjer sjevera. Ipak, najviše se preporuča korištenje navigacijskog satelitskog sustava.

Svaki brod izgrađen nakon 1. siječnja 2007., a poštovana su pravila kodeksa, mora imati dva posebna uređaja za mjerenje dubine (sonara) i detekciju podvodnog leda. Može biti i jedan uređaj, ali onda mora imati dva samostalna transduktora. Led se vrlo dobro otkriva sonarom jer je njegov volumen puno veći nego na površini. Treba obratiti pažnju na moguće probleme poput pogreške zbog višestrukog vraćanja ultrazvučnog vala ili pogreška o dubini zbog leda koji samo prolazi ispod trupa.

Oprema za određivanje položaja u ovom slučaju se koristi i za dobivanje udaljenosti od leda i identifikacije ledenih santi. U današnje vrijeme postoji i poseban radar koji je namijenjen samo navigaciji u području leda (engl. *ice radar*). Radar može otkriti velike komade leda na udaljenosti od 12 do 20 nautičkih milja, a manje komade leda uočava na udaljenosti od 2 do 5 nautičkih milja. Međutim nije se dovoljno oslanjati samo na radar. Na njega, od vanjskih utjecaja, može djelovati vlaga koja će skratiti ili produljiti duljinu emitiranog vala. Također zbog glatkoće i molekularne građe leda, veliki dio vala može proći kroz led i na taj način ga ne detektirati. Radar se tijekom putovanja mora i podešavati, odnosno njegova valna dužina i frekvencija na kojoj radi. Vrlo je bitno i korištenje AIS sustava.

Za razliku od standardnog radara, radar za polarna područja mnogo bolje može raspoznati led. On kroz duži period emitira valove i prikuplja podatke te zato i prikazuje jasniju i kvalitetniju sliku leda. U njega može biti i ugrađena infracrvena kamera. Novije tehnologije omogućile su detekciju, ali i praćenje tristotinjak ledenih masa istovremeno [2].

Tokom plovidbe polarnim područjima potrebno se služiti i raznim priručnicima koji daju dodatne informacije o ledu. Ti priručnici su: Pilot, Mjesečne karte leda, Lloyds lista za dnevna kretanja ledenjaka, atlas za sjeverno područje, pilotska karta, lista oceanskih ruta i ostale publikacije o ledu i njihovim kretanjima koje izdaju instituti [2].

10. ZAKLJUČAK

Jačanjem i širenjem pomorske trgovine kao i željom za skraćivanjem rute i vremena putovanja, došlo je do uspostavljanja novih tokova pomorsko-trgovinske razmjene. Rezultat toga je pojava novih pomorskih pravaca koji su, najprije zbog svojih geografskih položaja i uvjeta plovidbe, predstavljali pravi izazov u pomorskoj navigaciji. Plovidba u područjima leda i ledenih santi jedan je od takvih izazova i upravo to je tema ovog završnog rada.

Sudar RMS *Titanic-a* sa ledenjakom u sjevernom Atlantskom oceanu, 1912. godine, koji je u to vrijeme slovio kao nepotopiv, bio je povijesni događaj, ali i prekretnica u shvaćanju izgradnje brodova, njihovoj opremljenosti te izobrazbi pomoraca za navigaciju u takvim izazovima. Međunarodna pomorska organizacija je nakon ovog događaja, 1914. godine izdala konvenciju o zaštiti života na moru, *SOLAS*, koja postavlja minimalne standarde u konstrukciji, opremi i radu broda. U želji za sigurnošću ljudi, okoliša i broda, 1974. godine na snagu stupa Međunarodni kodeks za brodove koji plove u polarnim krajevima, *Polarni kodeks*. On obuhvaća zahtjeve koje su brodovi i pomorci dužni zadovoljiti radi uspješne navigacije u izazovnim područjima.

Plovidba u područjima leda i ledenih santi zasigurno je jedna od najzahtjevnijih i najopasnijih navigacija. Promjenjivi vremenski uvjeti i iznimno niske temperature čine ovaj tip plovidbe vrlo rizičnim za posadu i opasnim za brod. Procjena rizika posade, detaljna priprema prije planiranja putovanja te za vrijeme njegovog izvršavanja su, uz opremljenost broda uređajima i opremom za operacije u područjima leda, najbitnije stavke koje omogućuju ljudima da održe sigurnost putovanja u najzahtjevnijim plovidbenim područjima.

LITERATURA

- [1] Jašić, D., Belamarić, G., Trošić, Ž.: *Planiranje pomorskog putovanja*, Sveučilište u Zadru, Zadar, 2011.
- [2] Jurki, D.: *Upotreba i pouzdanost navigacijske opreme u područjima polarne navigacije*, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2020.
- [3] Kos, S., Zorović, D., Vranić, D.: *Terestrička i elektronička navigacija*, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2010.

INTERNET IZVORI

- [4] American Geophysical Union: *Appendix A. Glossary of Ice Terminology*. 1992. URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781118663950.app1>, (pristupljeno 20.8.2022.).
- [5] Čanjevac, I.: *Polarni krajevi*. 2007. URL: <https://geografija.hr/polarni-krajevi-2/>, (pristupljeno 12.8.2022.).
- [6] DNV GL: Rules for classification. Ships. 2015. URL: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/RU-SHIP/2015-10/DNVGL-RU-SHIP-Pt6Ch6.pdf>, (pristupljeno 22.8.2022.).
- [7] Hammit, R.: *Icebreakers: an overview*. 2017. URL: <https://polarconnection.org/icebreakers/>, (pristupljeno 20.8.2022.)
- [8] <https://homework.study.com/explanation/volume-of-an-iceberg-above-the-ocean-surface-is-vabove-and-below-the-surface-of-the-ocean-it-is-vbelow-assume-that-the-density-of-iceberg-above-sea-surface-is-0-5-of-density-of-liquid-seawater-why.html>, (pristupljeno 12.8.2022.)
- [9] https://secure.touchnet.net/C20049_ustores/web/product_detail.jsp?PRODUCTID=86 (pristupljeno 22.8.2022.)
- [10] <https://www.britannica.com/technology/gyrocompass> (pristupljeno 22.8.2022.)
- [11] https://www.bsis-ice.de/material/table_iceclasses.pdf, (pristupljeno 22.8.2022.).
- [12] <https://www.jw.org/hr/biblioteka/casopisi/g201010/Plovidba-dalekim-sjevernim-morima/>, (pristupljeno 25.8.2022.)
- [13] <https://www.knowledgeuniverseonline.com/ntse/Physics/sonar.php> (pristupljeno 22.8.2022.)

- [14] <https://www.ninglutech.com/Doppler-Speed-log-DS99-pd40657385.html>
(pristupljeno 22.8.2022.)
- [15] <https://www.sfgate.com/science/article/Great-Lakes-become-nearly-covered-with-ice-5236971.php> (pristupljeno 10.9.2022.)
- [16] https://www.the-blueprints.com/blueprints/ships/shipsother/89280/view/ms_aker_arctic_arc100_icebreaker/ (pristupljeno 16.8.2022.)
- [17] <https://zir.nsk.hr/islandora/object/pfst:545/preview> (pristupljeno 22.8.2022.)
- [18] IMO: *International code for ships operating in polar waters (Polar code)*. 2016. URL: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/HotTopics/Documents/POLAR%20CODE%20TEXT%20AS%20ADOPTED.pdf>, (pristupljeno 20.8.2022.).
- [19] Government of Canada: Navigation in ice covered waters <https://www.ccg-gcc.gc.ca/publications/icebreaking-deglacage/ice-navigation-glaces/page05-eng.html>
(pristupljeno 10.9.2022.)
- [20] Jeffries, M. O.: *Pack ice*. URL: <https://www.britannica.com/science/pack-ice>,
(pristupljeno 15.8.2022.).
- [21] Leksikografski zavod Miroslav Krleža: *Hrvatska enciklopedija. Antarktika*. 2021.
URL: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=2928>, (pristupljeno 25.8.2022.)
- [22] Leksikografski zavod Miroslav Krleža: *Hrvatska enciklopedija. Sjeverni morski put*. 2021. URL: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=56339>, (pristupljeno, 25.8.2022.)
- [23] Leksikografski zavod Miroslav Krleža: *Pomorska enciklopedija. Brodovi specijalni*. URL: <https://pomorska.lzmk.hr/Natuknica?id=1096>, (pristupljeno 20.8.2022.).
- [24] Leksikografski zavod Miroslav Krleža: *Pomorska enciklopedija. Led*. URL: <https://pomorska.lzmk.hr/Natuknica?id=3763>, (pristupljeno 15.8.2022.).
- [25] Leksikografski zavod Miroslav Krleža: *Tehnička enciklopedija (2. svezak). Brodovi specijalni, istraživački brod — ledolamac*. 1963.-1997. URL: https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/brodovi_specijalni_4_ledolamac.pdf,
(pristupljeno 20.8.2022.).
- [26] Mala Internet škola oceanografije. URL: http://skola.gfz.hr/d3_1.htm, (pristupljeno 15.8.2022.)

- [27] NSR information office. *NSR Shipping Traffic – Activities in May 2022*. URL: <https://arctic-lio.com/nsr-shipping-traffic-activities-in-may-2022/>, (pristupljeno 25.8.2022.).
- [28] *Uvod u polarne krajeve*. <https://www.kek.hr/uvod-u-polarne-krajeve/>, (pristupljeno 15.8.2022.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Konvoj predvođen ledolomcem [15].....	12
Slika 2. Statistika plovidbe sjevernom rutom u svibnju 2022. [27]	14
Slika 3. Odnos nadvodne i podvodne mase leda [8]	16
Slika 4. <i>Pack ice</i> [20].....	18
Slika 5. Sjeverni pol, Arktik [28]	20
Slika 6. Južni pol, Antarktika [28].....	21
Slika 7. Odredbe polarnog kodeksa [18]	22
Slika 8. Američki ledolomci obalne straže [7]	24
Slika 9. MS Aker Arctic ARC100 [16]	26
Slika 10. Ekran brzinomjera [14]	32
Slika 11. Magnetski kompas [17].....	33
Slika 12. Žirokompas [10]	33
Slika 13. Princip rada sonara [13]	34
Slika 14. Ekran radara [9].....	35

POPIS TABLICA

Tablica 1. Skala prohodnosti kroz led	9
Tablica 2. Linije najviše gustoće i točke ledišta, ovisne o temperaturi i salinitetu [26].....	15
Tablica 3. Klase leda – baltička pravila.....	28
Tablica 4. Klase leda prema raznim društvima	29

POPIS KRATICA

ARPA	Automatic Radar Plotting Aids
COLREG	International Regulations for Preventing Collisions at Sea
DNV	Det Norske Veritas
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
ICS	International Code of Signals
MARPOL	The international Convention for the Prevention of Pollution from Ships
NAVTEX	Navigational Telex
RADAR	Radio Detection and Ranging
SOLAS	The International Convention for the Safety of Life at Sea
SONAR	Sound Navigation Ranging