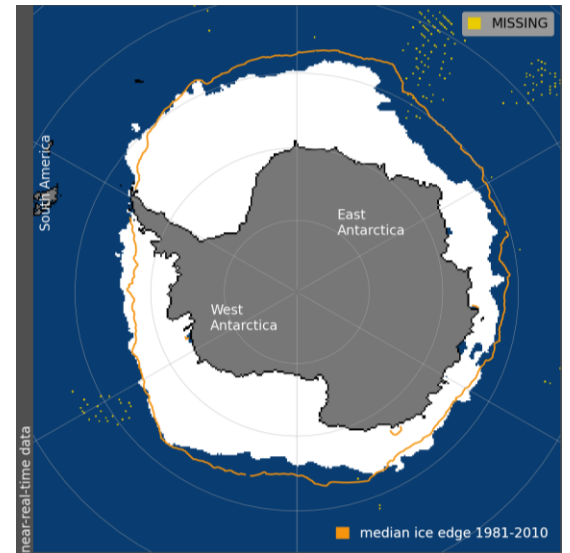


“While changes in sea ice have been dramatic in the Arctic over several decades, Antarctic sea ice was relatively stable. But that has changed. It appears that global warming has come to the Southern Ocean.”
- Walt Meier, a sea ice scientist at NSIDC

Eteläisen Valtameren jäättilanne nyt ja tulevaisuudessa



Sisältö

1. Motivaattori

2. Perustietoja merijäädästä

2.1 Merijään muodostuminen

2.2 Ominaisuudet

3. Eteläisen valtameren tunnuspiirteet

3.1 Batymetria

3.2 Oseanografinen asetelma

4. Jäättilanne nyt

5. Napa-alueiden välisiä eroavaisuuksia ja niiden merkitys

6. Eteläisen valtameren jäättilanne tulevaisuudessa

6.1 Miten merten jäättilanne heijastuu muualle?

7. Yhteenveto

8. Lähteet

Motiivi

- Eteläisen Valtameren merijään merkitys:
 - Muokkaa merivirtoja ja ominaisuuksia
 - Vaikutus merijään luontoon ja esiintymiseen
- Eteläinen Valtameri on kriittinen osa globaalia ilmastosysteemiä
 - Ilmakehä ja meret yhdessä määrittävät maapallon lämpötilan ja tasapainottavat sitä
- Merijään häviäminen voi nopeuttaa ilmastonlämpenemistä sekä aiheuttaa muutoksia ilmastomalleihin



<https://www.flickr.com/photos/danielenchey/40871821083>

Sisältö

1.Motivaattori

2. Perustietoja merijäästä

2.1 Merijään muodostuminen

2.2 Ominaisuudet

3. Eteläisen valtameren tunnuspiirteet

3.1 Batymetria

3.2 Oseanografinen asetelma

4. Jäättilanne nyt

5. Napa-alueiden välisiä eroavaisuuksia ja niiden merkitys

6.Eteläisen valtameren jäättilanne tulevaisuudessa

6.1 Miten merten jäättilanne heijastuu muualle?

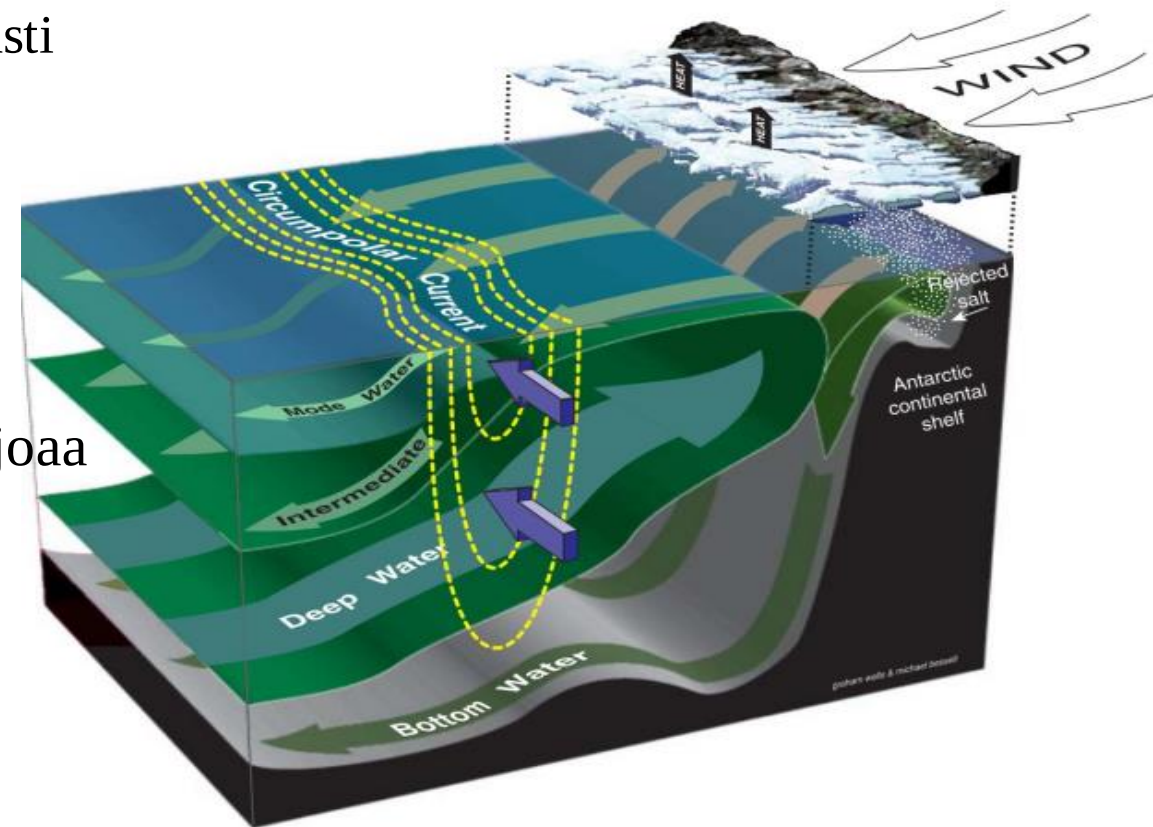
7. Yhteenveto

8. Lähteet

Merijään muodostumisprosessi

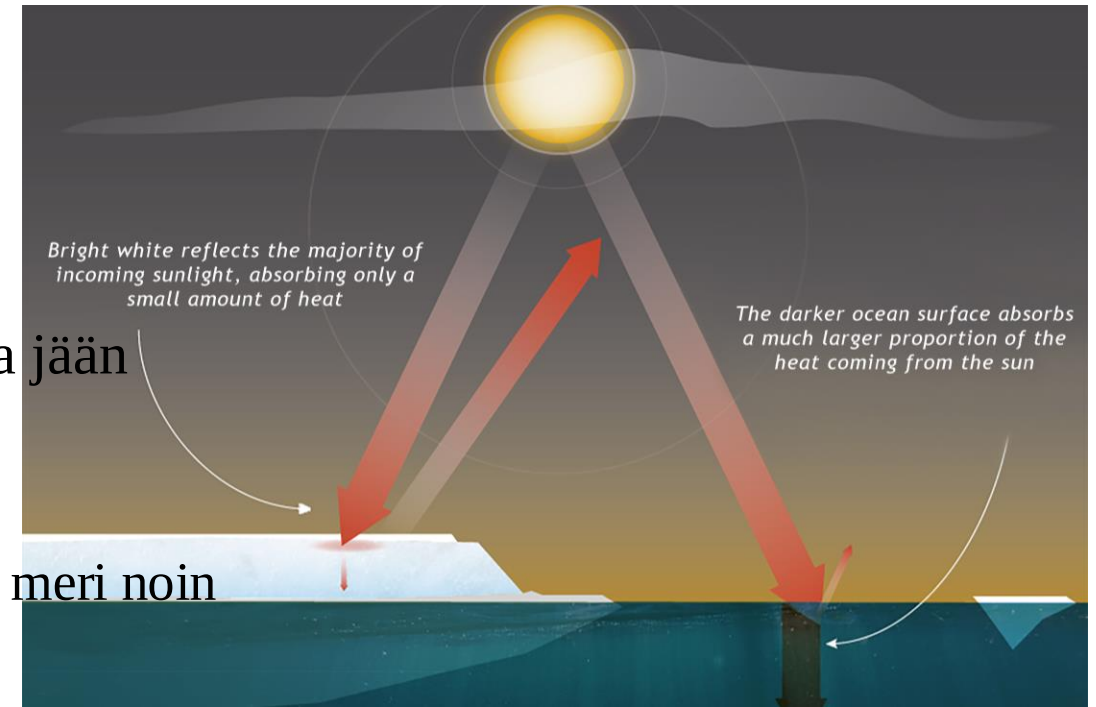
Source: From Rintoul, 2000. Reproduced with permission of the Royal Society of Tasmania, <https://eprint.utas.edu.au/13587/>

- Meriveden suolaisuus alentaa tiheysmaksimin lämpötilaa
 - Makeassa ja murtovedessä jäätymispiste on pienempi kuin tiheysmaksimin lämpötila eli vesi kevenee juuri ennen jäätymistään
 - Suolaisessa vedessä tiheys kasvaa jäätymispisteeseen asti
 - Vesirungossa tapahtuu konvektiota
 - Pohjavesien muodostumisalueilla yltää pohjaan asti
 - Tärkeimpiä Weddelinmeri sekä Rossinmeri
- Jäättyessään vesi hylkii suolaa → suola vajoaa alaspäin ja tekee vesikerroksesta raskaamman
 - Valtamerten pohjaveden muodostuminen
 - Termohaliinikierto



Merijään ominaisuuksia

- Merijää ajelehtii
- Meriveden suolaisuus vaikuttaa jäätymisprosessiin ja jään rakenteeseen
- Albedo
 - Merijää heijastaa n. 50-70%, lumi noin 90% ja paljas meri noin 6% siihen osuvasta säteilystä
- Merijäessä on suolataskuja
- Jää on jäykkä lautta
- Jääpeite eristää meren kylmältä talvi-ilmalta ja säilöö talven kylmyyttä



Sisältö

1. Motivaattori

2. Perustietoja merijäädästä

2.1 Merijään muodostuminen

2.2 Ominaisuudet

3. Eteläisen valtameren tunnuspiirteet

3.1 Batymetria

3.2 Oseanografinen asetelma

4. Jäättilanne nyt

5. Napa-alueiden välisiä eroavaisuuksia ja niiden merkitys

6. Eteläisen valtameren jäättilanne tulevaisuudessa

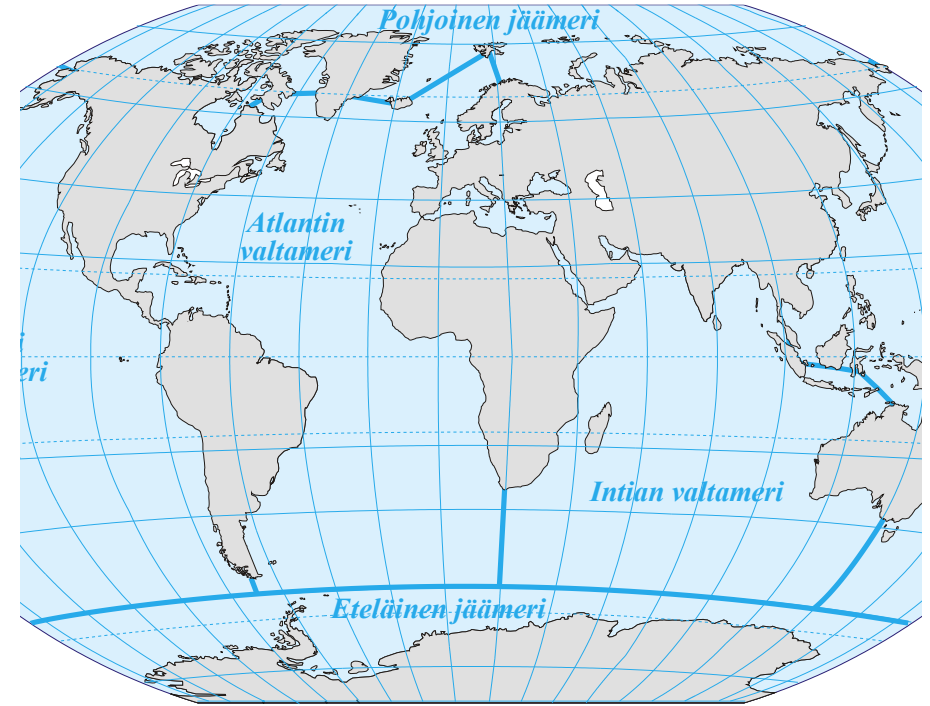
6.1 Miten merten jäättilanne heijastuu muualle?

7. Yhteenveto

8. Lähteet

Eteläinen Valtameri - perustiedot

- Eteläinen Valtameri alkaa 60. Eteläisen leveysasteen jälkeen
 - Suunnilleen se alue, jolla esiintyy talvisin jäätä
- Pinta-ala 22. Milj. km², keskisyvyys 3270m
 - Vastaavat Pohjoiselle Jäälle A=16 milj. km², d=1210m
- Totaalisen jääpeitteen suuruus (referenssi-periodi 1981-2010):
 - Kesän lopussa jäljellä n. 2.5 milj. km²
 - Talvella maksimi n. 18.5 milj. km²
 - Sulaa lähestulkoon kokonaan pois kesän aikana



Kuva:

Tekijä: World_map_ocean_locator-en.svg:

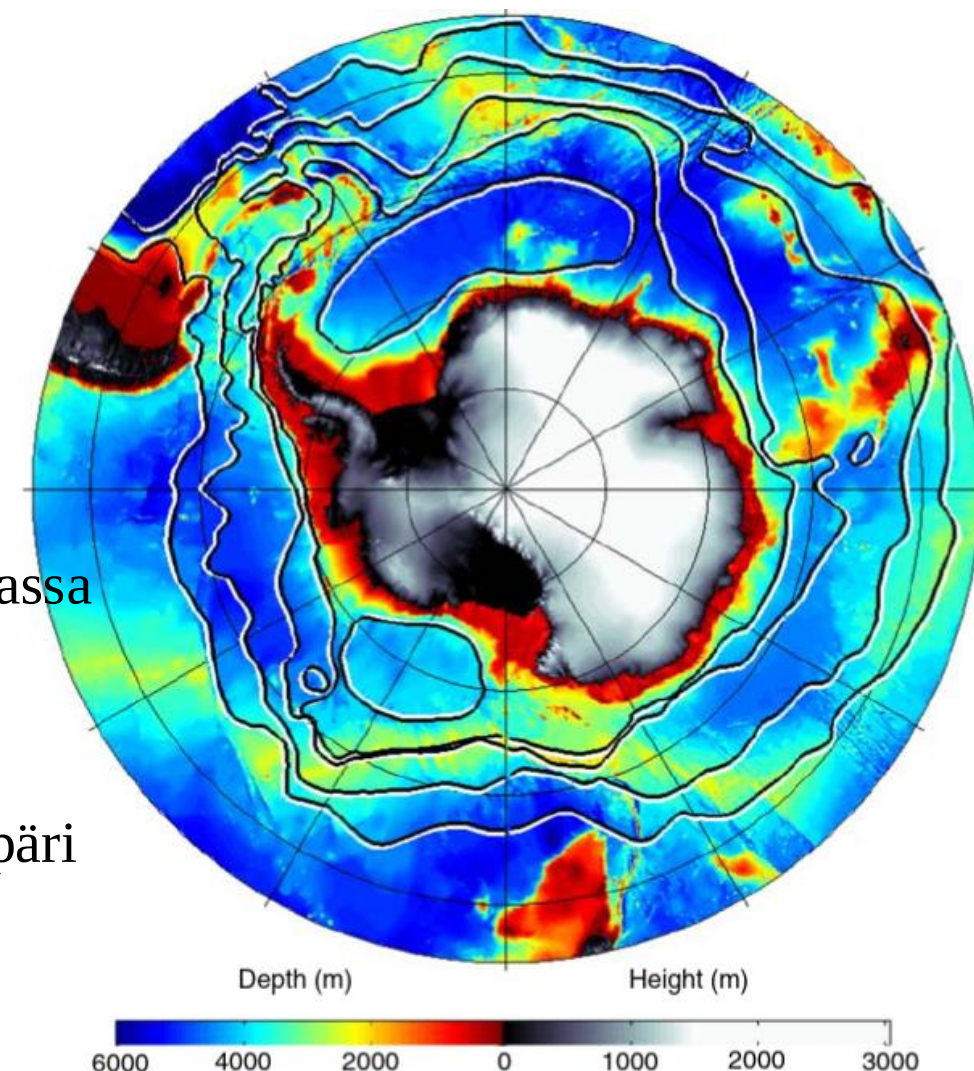
Pinpinderivative work: Haltiamieli (talk) -

World_map_ocean_locator-en.svg, CC BY-SA 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10979275>

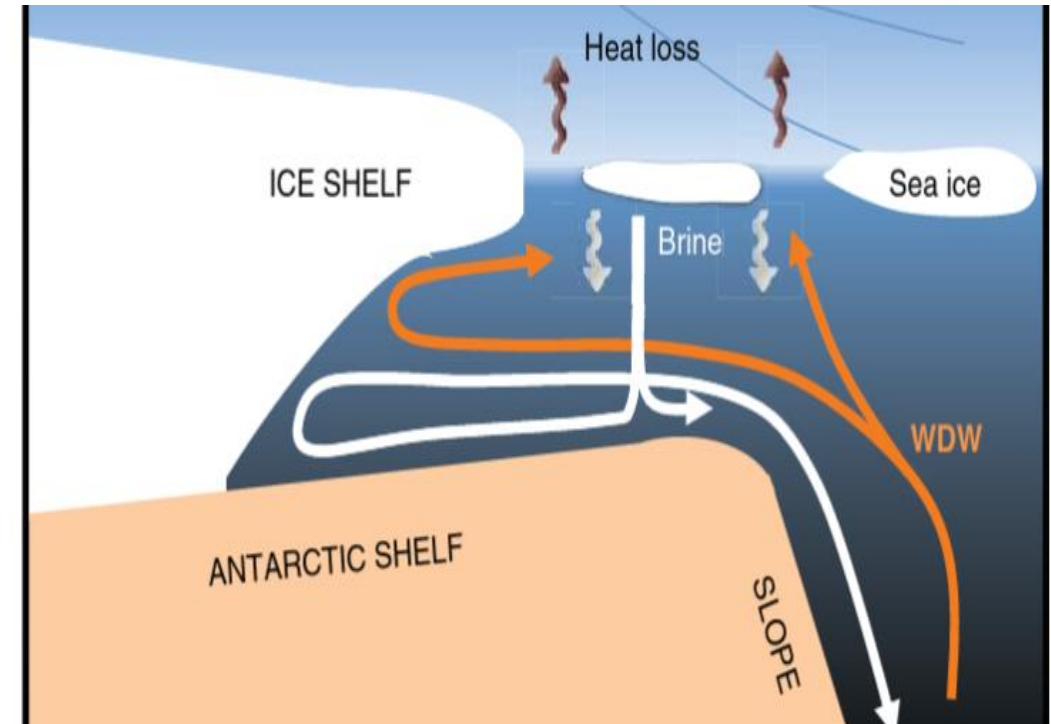
Batymetria

- EV:llä sekoitus tasaista merellistä abyssaalivyöhykettä, joita erottavat toisistaan matalat harjusysteemit
 - Synnyttää sirkumpolaarisen väylän
maailman ympäri → kuljettaa vettä
- Mannerjalusta syvempi kuin suuressa osassa muualla maailmassa
- Voimakkaat länsituulet kiertävät Etelämannerta ympäri
- Yhdessä aikaansaavat Länsituulten virran
 - Suurin virtaussysteemi 130Sv itäänpäin Antarktiksensa ympäri



Pintavesien lämpötilajakauma

- Mannerjalustan vedet jakautuvat kylmiin ja lämpimiin alueisiin
 - Lämpimiä etenkin Bellingshausen sekä Amundsenin meret
- Etenkin länsituulten virran läheisyys vaikuttaa
 - Lämpimillä vyöhykkeillä länsituulten virta lähes mannerjalustan vieressä
 - Muilla alueilla subpolaariset virtauspyörteet erottavat virran lämpimämmän veden jalustasta
- Merkittävä vaikutus etenkin jäänmuodostukseen



Sisältö

1.Motivaattori

2. Perustietoja merijäästä

2.1 Merijään muodostuminen

2.2 Ominaisuudet

3. Eteläisen valtameren tunnuspiirteet

3.1 Batymetria

3.2 Oseanografinen asetelma

4. Jäätilanne nyt

5. Napa-alueiden välisiä eroavaisuuksia ja niiden merkitys

6.Eteläisen valtameren jäätilanne tulevaisuudessa

6.1 Miten merten jäätilanne heijastuu muualle?

7. Yhteenveto

8. Lähteet

Jää-/lumitilanne nyt

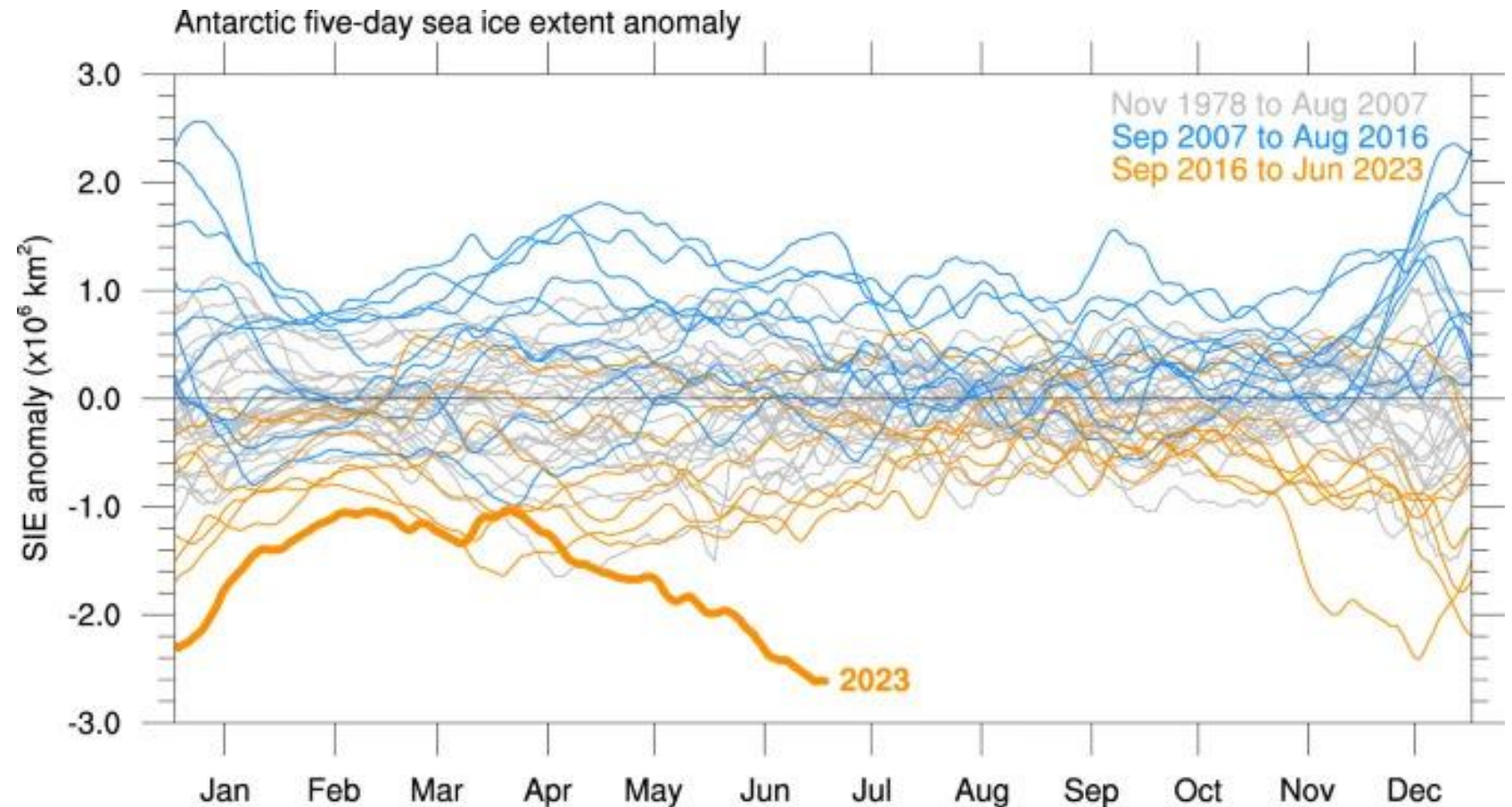
- Laaja lämpenemistrendi havaittavissa etenkin Antarktiksien niemimaalla, läntisellä puolella Etelämannerta sekä joissain Itäisissä osissa
- Lunta satanut enemmän 2000-luvulla
 - Länsi-Antarktiksien jäätiköiden massahäviöt suurempia → lumipeite pienenee
- Eteläisen Jäämeren jäätilanteessa ei ole sateliiteissä huomattavia eroavaisuuksia 1979- 2020 vuosien välissä kesällä tai talvella
 - Eri alueiden tilanteet erilaiset (toisilla jäätä ollut enemmän, toisilla vähemmän)
 - Suuri sisäinen vaihtelu

Jäänpeittävyys minimissään

- Jään vuotuinen minimi helmikuun puolivälissä - maaliskuun alussa
- Helmikuussa 2023 Antarktiksien merijään levinneisyys ennätyspieni
 - Vain n. 1.77 milj. Km²
 - Tulos 1.02 milj. Km² vähemmän (36%) kuin ka. Vuosina 1979-2022
 - Kolme uutta ennätystä viimeisen 7 vuoden aikana
- Osaltaan vaikutti minimijäätilanne joulukuussa 2022
 - Toiseksi alhaisin vuoden 2016 jälkeen
- Jäätilanne pysynyt läpi vuoden 2023 ja 2024 lähes ennätysminimeissä
- Kesäkuussa poikkeama n. 2.33 milj. Km²
 - Suurin negatiivinen poikkeama koko mittaushistoriassa

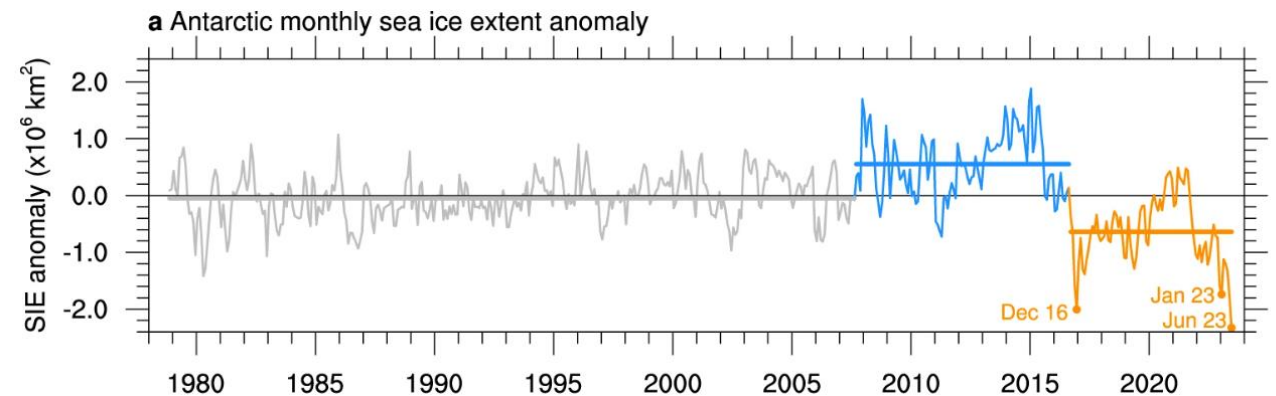
Jääpeitteen levinneisyyden poikkeamat

- Kuvaajassa nähdään jäänpeittävyys muutosten suuruus
- 2023 kesäkauden poikkeamat huomattavia
- Lähes kaikkien 2016 jälkeen mitattujen vuosien levinneisyydet negatiivisia



Vallitsevan jäätilanteen tutkimus

- Eteläisen Valtameren jäädatasta tehtiin aikasarja-analyysi
 - Huomattiin kaksi muutoskohtaa
 - Ensimmäinen jakso 1978-2007, toinen 2007-2016 ja nykyinen 2016-
 - Ensimmäisessä vuotuinen vaihtelevuus pienin
- Jaksojen löytyminen vahvistaa epäilystä, ettei viime vuosien ääri-ilmiöt ole olleet vain satunnaista vaihtelua
- Muutoskohdat eivät vastaa mitään suuremman kaavan ilmastotilaa tai poikkeamaa
 - ENSO yms.
 - Vaikuttavat tyypillisesti paikallisesti, kun taas nykyiset alhaiset jäätilat ovat havaittavissa sirkumpolaarisesti



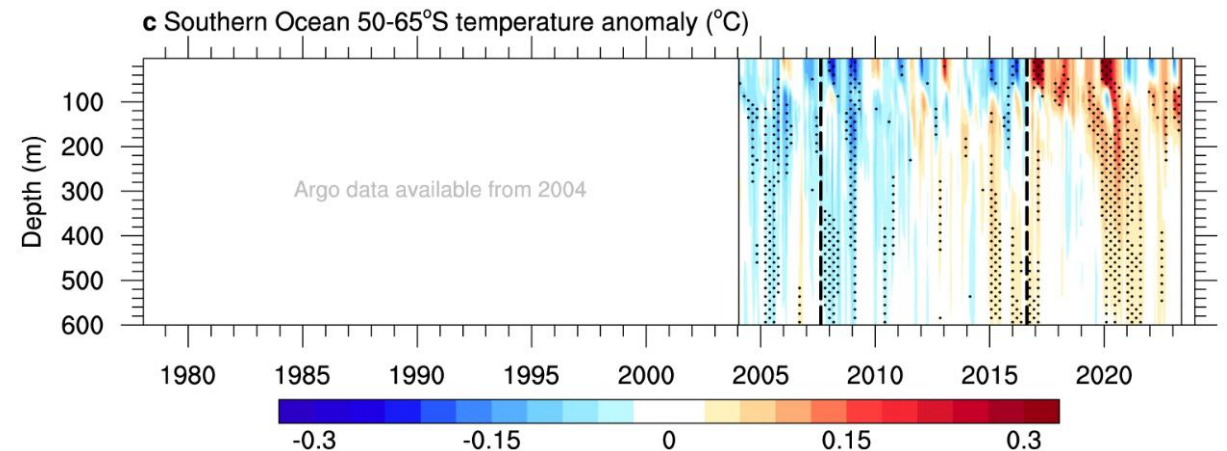
Kuva: lähde [4]

Vallitsevan jäätilanteen tutkimus: 2007-2016

- Jään peittävyys kasvoi merkittävästi
- Epäillään johtuneen mm. tuulioloista sekä Antarktiksens sulamisvesistä
 - Positiiviset jää-meri-ilma-palautteet
- Keväällä 2016 Eteläisen Jäämeren havaittiin kuitenkin siirtyneen uuteen, matalan jääpeitteen, tilaan
 - Ilmastotilat ja SAM (Southern Annular Mode) eivät selitä tätä
 - Antarktiksens merijää on voinut edetä uuteen tilaan, jossa entiset suhteet eivät enää dominoi merijään vaihtelevuutta

Eteläisen Valtameren lämpeneminen

- Johtuu etenkin kasvaneista kasvihuonepäästöistä sekä otsonikadosta
- Mahdollisesti linkittynyt alhaiseen jääpeitteeseen & jäätilan muutokseen
- Tutkimuksessa havaittu sirkumpolaarinen poikkeama 50-65 ° leveyksillä keskilämpötiloissa
- Alle 100m syvyyksillä muutos lämpötiloissa havaittu vuotta ennen toista aikasarjan muutospistettä
 - Vastaavia muutoksia havaittu myös 100-200m syvyyksillä
 - Syyllinen uuden jäätilan syntyyn?



Eteläisen Valtameren lämpeneminen

- Ennen uusimman jäätilan alkamista kevään maksimi jääpeittävyys korreloi seuraavan kesän minimi kanssa
 - Tekijöinä jään/meren albedojen eroavaisuus sekä meren lämmönottopalautteet
- Nykyisessä jäätilassa tämä ei enää vaikuta pätevän, vaan kesän minimi vaikuttaa korreloivan seuraavan kevään jäätilanteen kanssa
 - Aikaisemmin ei mahdollista, sillä talvella talvivesikerroksen "muisti" häviää keskitalvella sirkumpolaarisen syväveden kulkeutuessa pinnan sekoittuneeseen kerrokseen
 - Muuttuneet merenpinnanalaiset olosuhteet keskeisessä asemassa nykyisessä merijääjärjestelmässä
 - Prosessien ymmärtämiseksi tarvitaan mittausdataa jään alta

Sisältö

1.Motivaattori

2. Perustietoja merijäätä

2.1 Merijään muodostuminen

2.2 Ominaisuudet

3. Eteläisen valtameren tunnuspiirteet

3.1 Batymetria

3.2 Oseanografinen asetelma

4. Jäätilanne nyt

5. Napa-alueiden välisiä eroavaisuuksia ja niiden merkitys

6.Eteläisen valtameren jäätilanne tulevaisuudessa

6.1 Miten merten jäätilanne heijastuu muualle?

7. Yhteenveto

8. Lähteet

Mitä on jo tapahtunut Pohjoisella Jäämerellä?

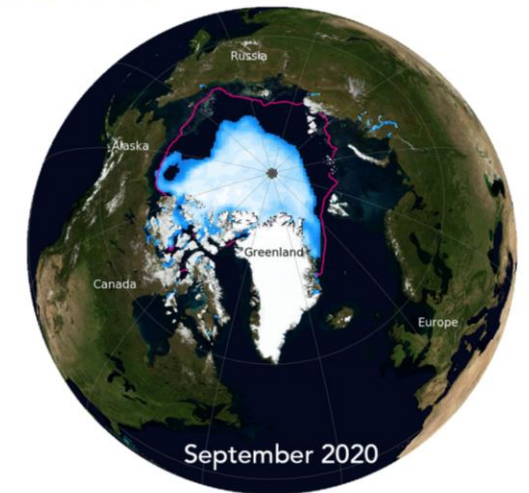
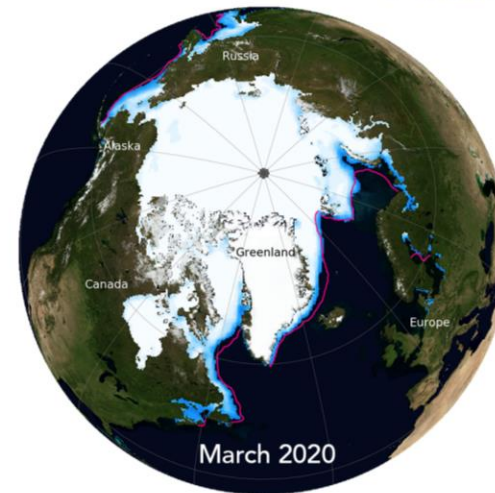
- Arktis on lämmennyt jopa 2 kertaa maailmanlaajuista keskiarvoa nopeammin 50 vuoden aikana
- Vuotuinen sekä kesän minimikattavuus alhaisimmillaan vuoden 1850 jälkeen
 - Ennusteiden mukaan minimijäätilanne tulee olemaan jopa 0 ennen vuotta 2050 kaikilla esimerkkiskanaarioilla
- Pohjoisen Jäämeren lämpötila on noussut
- Jäätikön paksuus pienentynyt nopeammin kuin laajuus
 - Ohut jää sulaa nopeammin kuin paksumpi jääkerros
 - Häiritsee Arktiksen eliöitä sekä ihmistoimintaa



Geografiset eroavaisuudet

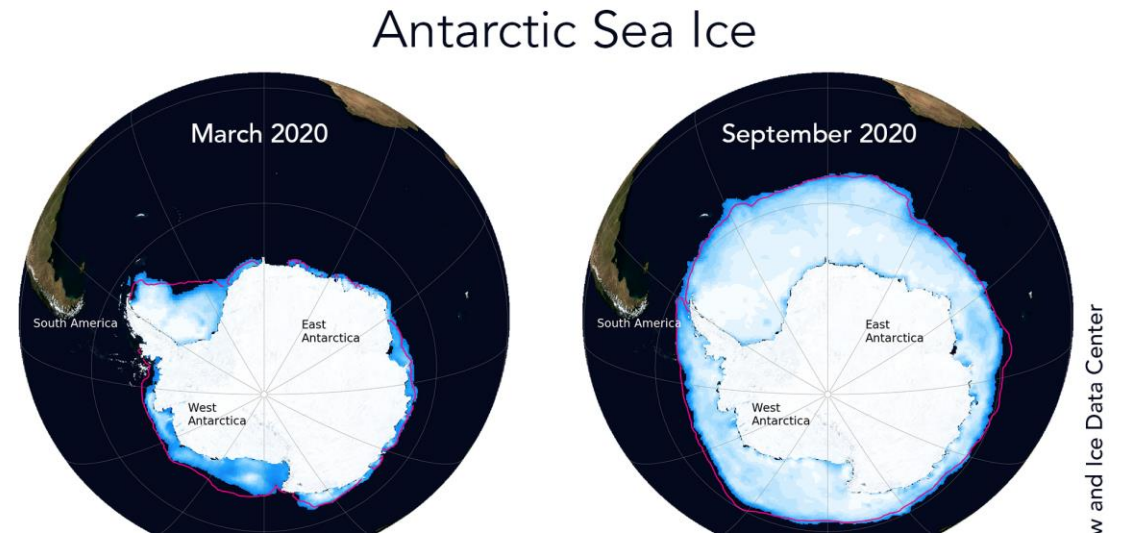
- Arktis osittain suljettu systeemi mantereiden takia
 - Muodostuva merijää ei ole yhtä liikkuvaista kuin Antarktiksella
 - Jäälautat tyypillesesti törmäilevät toisiinsa → muodstuu tiheitä ahtojäävalleja
 - Jää pysyy kylmällä Pohjoisen valtamereren vesillä → Selviää pidemmän aikaa kuin Eteläisellä jäämerellä
 - Jopa 1/3 talven jäädä ylivuotista

Arctic Sea Ice



Geografiset eroavaisuudet

- Antarktis manner, jota ympäröi aava meri
 - Jää voi kasvaa niin kauas, kunnes jokin rajoittava tekijä tulee vastaan
- Jäiden ajautumisnopeudet ovat suurempia kuin Arktiksella
 - Avomeren muodostama rajapinta ei sido jäälauttoja samalla tavalla kuin mantereet pohjoisissa → Vähemmän ahtojäävalleja
- Jäästä suuri osa sulaa liikuttuaan pohjoiseen lämpimille vesille
- Ei juuri ylivuotista jäätä



Sisältö

1.Motivaattori

2. Perustietoja merijäästä

2.1 Merijään muodostuminen

2.2 Ominaisuudet

3. Eteläisen valtameren tunnuspiirteet

3.1 Batymetria

3.2 Oseanografinen asetelma

4. Jäättilanne nyt

5. Napa-alueiden välisiä eroavaisuuksia ja niiden merkitys

6.Eteläisen valtameren jäättilanne tulevaisuudessa

6.1 Miten merten jäättilanne heijastuu muualle?

7. Yhteenveto

8. Lähteet

Albedon muutos

- Merijää on ilman lumipeitettäkin hyvin vaalea (suuri albedo)
 - Auringonsäteily heijastuu tehokkaasti takaisin → pinta ei juuri lämpene säteilyn vaikutuksesta
- Jos merijäät sulavat:
 - Keskimääräinen napa-alueiden albedo laskee
 - Meret imevät enemmän Auringon lyhytaaltoista lämpösäteilyä --> syntyy positiivinen takaisinkytkentä
 - Vaikuttaa myös mm. Ilmakehän kiertoliikkeeseen



Antarktiksens mannerjäätikön tulevaisuus

- Antarktiksens on ennustettu jatkavan lämpenemistään globaalia keskiarvoa nopeammin
- Jos ilman lämpötilan nousu 2-3 °C
Länsi-Antarktiksens jäätikkö tulee sulamaan lähes kokonaan seuraavien vuosikymmenten aikana
 - Totaalisen tuhon mahdollisuus sekä sen nopeus kasvavat kasvavien pintalämpötilojen myötä



<https://www.flickr.com/photos/cmichel67/1189017747>

4

Mannerjäätikön sulamisvesien vaikutus merijäähän

- Sulamisvedellä kyllästynyt meren pintavesi makeampaa kuin tavallinen merivesi
 - Kasvattaa pintaveden kerrostuneisuutta
 - Vähentää pystysuuntaista kiertoa ja lämpimän pinnanalaisen veden kulkeutumista pintakerrokseen
- Tästä seuraa pinnan viileneminen → jääpeite kasvaa
- Merijään vasteen suuruuteen liittyy monia epävarmuustekijöitä
 - Mahdollisesti estää globaalin lämpötilannousun vaikutuksen jääpeitteen laajuuteen



Eteläisen Valtameren lämpötilan muutos

- Vielä epäselvää, onko Jäämeren lämpeneminen ilmentymä pitkäaikaisesta lämpenemisvaiheesta vai meren uusi tila
 - Kytkeytyissä ilmastomalleissa liittyy pitkään jatkuneeseen länsituulten voimistumiseen
- Ferreira et. al [4] tekemä tutkimus ehdotti Eteläisen Valtameren reagoivan siihen kahdella eri aikaskaalalla:
 - Nopea jäähtyminen
 - Pitkäaikainen lämpeneminen
- Tämän aiheuttavaa mekanismia kuitenkin kyseenalaistettu ja eri ilmastomallit antavat hyvin erilaisia vastauksia
- Meren lämpötilan nousun tiedetään kuitenkin alkaneen ennen jääpeitteen pienenemistä

Jos nykyinen jääpeitteen levinneisyyden trendi jatkuu

- Ei voida poistaa mahdollisuutta, että järjestelmämuutoksessa olisi kyse vaihtelevuudesta
 - Tarvitaan lisää mittausdataa
- Meren kerrostuneisuus ja kierto tulevat muuttumaan
 - Basaalinen sulaminen jäähyllysten alta lisääntyy
- Rannikoita paljastuu enemmän, kun jäätä vähemmän
 - Enemmän rantaeroosiota → jäähyllyt epävakampia
- Muutokset tiheässä hyllyjen alapuolisen veden tuotannossa muuttavat pohjaveden muodostumista ja syvän veden ilmanvaihtoa

Miten merten jäätilan muutos heijastuu muualle?

- Merivirtojen heikkeneminen
 - Lämmön ja aineiden kuljetus heikkenee
- Jää auttaa säätelemään maapallon ilmastoa
 - Säteilytase
- Vaikuttaa maailmanlaajuisiin ilmastojärjestelmiin
 - Merten ja ilmakehän välinen kiertoliike
- Ilmakehä ja meret yhdessä määrittävät maapallon lämpötilan ja tasapainottavat sen lämpötilaa
- Havaittu merenpinnan nousu tulee ennusteiden mukaan jatkumaan → rannikkotulvat yleistyvät

Sisältö

1.Motivaattori

2. Perustietoja merijäästä

2.1 Merijään muodostuminen

2.2 Ominaisuudet

3. Eteläisen valtameren tunnuspiirteet

3.1 Batymetria

3.2 Oseanografinen asetelma

4. Jäätilanne nyt

5. Napa-alueiden välisiä eroavaisuuksia ja niiden merkitys

6.Eteläisen valtameren jäätilanne tulevaisuudessa

6.1 Miten merten jäätilanne heijastuu muualle?

7. Yhteenveto

8. Lähteet

Yhteenveto

- Useita vuosia Eteläisen Valtameren jäätilanne pysyi vakaana/kasvoi huolimatta kasvaneista kasvihuonepäästöistä
 - Arktiksella lämpeneminen alkanut jo n. 50 vuotta sitten
 - Tilanne on muuttunut ja meri alkanut lämpenemään
- Merijäässä on havaittu järjestelmämuutos, jonka vuoksi jäätilanne huonontunut vuoden 2016 jälkeen
 - Uuden jäätilanteen tuntemiseksi tarvitaan lisää mittausdataa tulevilta vuosilta sekä mittauksia jääkerroksen alta
- Merijään häviämisellä on kauaskantoiset seuraukset
 - Korostavat tarvetta vähentää kasvihuonekaasuja kiireellisesti



Lähteet

- What is sea ice? <https://nsidc.org/learn/parts-cryosphere/sea-ice> [1]
- Oceanography and sea ice in the Southern Ocean. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/helsinki-ebooks/reader.action?docID=4774271&ppg=230> [2]
- IPCC Polar Regions Fact sheet: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC_AR6_WGI_Regional_Fact_Sheet_Polar_regions.pdf [3]
- Purich, A. and Doddridge, E. W.: Record low Antarctic sea ice coverage indicates a new sea ice state, Commun Earth Environ, 4, 1–9, <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00961-9> , 2023. [4]
- <https://nsidc.org/sea-ice-today> [5]
- <https://tc.copernicus.org/articles/14/1519/2020/> [6]
- <https://nsidc.org/learn/ask-scientist/how-thick-is-sea-ice> [7]
- <https://nsidc.org/learn/parts-cryosphere/sea-ice/why-sea-ice-matters#anchor-sea-ice-and-the-environment> [8]
- <https://www.nasa.gov/earth/arctic-sea-ice-near-historic-low-antarctic-ice-continues-decline/> [9]
- <https://nsidc.org/learn/parts-cryosphere/sea-ice/quick-facts-about-sea-ice> [10]
- <https://worldoceanreview.com/en/wor-6/the-polar-regions-as-components-of-the-global-climate-system/ice-floes-ice-sheets-and-the-sea/> [11] kuva

