
Antopäivä: 1.7.2021	Voimaantulopäivä: 5.7.2021	Voimassa: toistaiseksi
------------------------	-------------------------------	---------------------------

Säädöserusta
Laki alusten jääluokista ja jäänmurtaaja-avustuksesta (1121/2005) 4 §:n 1 momentti

Määräyksen vastaisen toiminnan seuraamuksista säädetään:

Täytäntöönpantava EU-lainsäädäntö:

Muutostiedot:
Jääluokkamääräykset ja niiden soveltaminen TRAFI/494131/03.04.01.00/2016

Jääluokkamääräykset ja niiden soveltaminen

SISÄLTÖ

1	YLEISTÄ	5
1.1	Määräysten tarkoitus.....	Error! Bookmark not defined.
1.2	Vuoden 2017 jääluokkamääräysten soveltaminen	5
1.3	Vuoden 2010 jääluokkamääräysten soveltaminen	5
1.4	Vuoden 2008 jääluokkamääräysten soveltaminen	5
1.5	Vuoden 2002 jääluokkamääräysten soveltaminen	5
1.6	Vuoden 1985 jääluokkamääräysten soveltaminen	5
1.7	Vuoden 1971 jääluokkamääräysten soveltaminen	6
1.8	Jääluokat.....	6
2	JÄÄLUOKKASYVÄYS	6
2.1	Ylempi ja alempi jäävesiviiva.....	6
2.2	Suurin ja pienin syväys keulassa ja perässä	7
3	KONETEHO	7
3.1	Konetehon määritelmä	7
3.2	Vaadittu konetehto jääluokissa IA Super, IA, IB ja IC	7
3.2.1	Määritelmät.....	8
3.2.2	Uudet alukset	8
3.2.3	Olemassa olevat jääluokkiin IB tai IC kuuluvat alukset.....	10
3.2.4	Olemassa olevat jääluokkiin IA Super tai IA kuuluvat alukset	10
3.2.5	Muita menetelmiä määrittää K_e tai R_{CH}	11
4	RUNGON RAKENTEELLINEN SUUNNITTELU.....	11
4.1	Yleistä	11
4.1.1	Rungon alueet	13
4.2	Jääkuormitus	14
4.2.1	Jääkuormituksen korkeus.....	14
4.2.2	Jääpaine	14
4.3	Laidoitus.....	16
4.3.1	Laidoituksen jäävahvistuksen (jäävyöhykkeen) ulottuvuus pystysuunnassa	16
4.3.2	Levyn paksuus jäävyöhykkeessä	17

4.4	Kaaret	18
4.4.1	Kaarten jäävahvistuksen pystysuora ulottuvuus	18
4.4.2	Poikittaiskaaret	18
4.4.2.1	Taivutusvastus ja leikkauspinta-ala	18
4.4.2.2	Poikittaiskaarituksen yläpää	19
4.4.2.3	Poikittaiskaarituksen alapää	20
4.4.3	Pitkittäiskaaret	20
4.4.4	Yleistä kaarituksesta.....	21
4.4.4.1	Kaarten liittäminen kantaviin rakenteisiin	21
4.4.4.2	Kaarten tuenta epävakauden ja erityisesti kaatumisen varalta	21
4.5	Jääjäykkäjäät	22
4.5.1	Jäykkäjäät jäävyöhykkeessä.....	22
4.5.2	Jäävyöhykkeen ulkopuolella olevat jäykkäjäät	22
4.5.3	Kansikaistaleet	23
4.6	Kehyskaaret.....	23
4.6.1	Jääkuormitus.....	23
4.6.2	Taivutusvastus ja leikkauspinta-ala	24
4.7	Keula	24
4.8	Perä	25
5	PERÄSIN JA OHJAUSLAITTEET	26
6	PROPULSIOKONEISTO	26
6.1	Soveltamisala	26
6.2	Määritelmät	27
6.3	Mitoitusjääolosuhteet	32
6.4	Materiaalit	32
6.4.1	Merivedelle altistuvat materiaalit.....	32
6.4.2	Meriveden lämpötilalle altistuvat materiaalit	32
6.5	Mitoituskuormat	32
6.5.1	Potkurin lapojen mitoituskuormat.....	33
6.5.1.1	Avopotkurin lavan suurin voima taaksepäin F_b	33
6.5.1.2	Avopotkurin lavan suurin voima eteenpäin F_f	33
6.5.1.3	Avopotkurin kuormitustapaukset.....	33
6.5.1.4	Suulakepotkurin lavan suurin jäävoima taaksepäin F_b	35
6.5.1.5	Suulakepotkurin lavan suurin jäävoima eteenpäin F_f	35
6.5.1.6	Suulakepotkurien lapojen kuormitustapaukset	35
6.5.1.7	Avo- ja suulakepotkureiden lapojen suurin kääntömomentti Q_{smax}	36
6.5.1.8	Lapakuormien kuormitusjakautuma.....	36
6.5.1.9	Jääkuormitusten lukumäärä	37
6.5.2	Avo- ja suulakepotkurien aksiaalikuormat	38
6.5.2.1	Avo- ja suulakepotkurien enimmäisjäätymä T_f ja T_b	38
6.5.2.2	Avo- ja suulakepotkurillisten akselilinjojen mitoitusjäätymä	38
6.5.3	Akselijohdon mitoitusväntökuormat	39
6.5.3.1	Avopotkurien mitoitusjäätymämomentti Q_{max}	39
6.5.3.2	Suulakepotkurien mitoitusjäätymämomentti Q_{max}	40
6.5.3.3	Mitoitusväntömomentti ei-lapataajuisissa akselilinjoissa	40
6.5.3.4	Mitoitusväntömomentti lapataajuisissa akselilinjoissa	41
6.5.3.4.1	Vääntövasteen aikataulun laskelma	41
6.5.3.4.2	Vääntövasteen taajuustason laskelma	45
6.5.3.4.3	Ohjeita vääntövärähtelyn laskemiseen	46
6.5.4	Lavan taivutuskuorma	46
6.5.4.1	Taivutusvoima F_{ex}	46
6.5.4.2	Kääntömomentti Q_{sex}	47
6.6	Mitoitus	48
6.6.1	Mitoitusperiaate	48

6.6.2	Potkurin lapa	48
6.6.2.1	Lavan jännitysten laskeminen	48
6.6.2.2	Hyväksyttävyysskriteeri	49
6.6.2.3	Potkurin lavan väsymismitoitus	49
6.6.2.4	Hyväksymiskriteeri väsymiselle	52
6.6.3	Potkurin napa ja nousun säätömekanismi	52
6.6.4	Akselilinja	52
6.6.4.1	Akselit ja niiden komponentit	53
6.6.5	Ruoripotkuri pääpropulsiolaitteena	53
6.6.5.1	Mitoitusperiaate	53
6.6.5.2	Äärimmäiset jääniskun aiheuttamat kuormitukset	53
6.6.5.3	Äärimmäiset jääkuormitukset potkurilaitteen runkoon sen työntyessä jäävalliin	58
6.6.5.4	Hyväksyntäkriteeri staattisille kuormituksille	62
6.6.5.5	Potkurilaitteen rungon globaali värähtely	62
6.7	Vaihtoehtoiset mitoitusmenetelmät	63
6.7.1	Soveltamisala	63
6.7.2	Kuormitus	63
6.7.3	Mitoitustasot	63
7	MUUT KONEISTOVAATIMUKSET	63
7.1	Käynnistysjärjestelyt	63
7.2	Pohjakaiivot ja jäähdytysvesijärjestelmät	63
8	VOIMAANTULO	64

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 3-1:	Kertoimen K_e arvot tavanomaisille kuljetuskoneistoille	9
Taulukko 3-2:	Kertoimien f_1-f_4 ja g_1-g_3 arvot kertoimien C_1 ja C_2 määrittämiseen	9
Taulukko 3-3:	Kertoimien f_1-f_4 sekä g_1-g_3 arvot kertoimien C_1 ja C_2 määrittämiseen	11
Taulukko 4-1:	$h_i:n$ ja $h:n$ arvot eri jääluokille	14
Taulukko 4-2:	Eri rungon alueita koskevat tekijöiden a ja b arvot	15
Taulukko 4-3:	Eri rungon alueita koskevat tekijän c_p arvot	15
Taulukko 4-4:	Eri rakenne-elementtejä koskevat tekijän l_a arvot	16
Taulukko 4-5:	Jäävyöhykkeen ulottuvuus pystysuunnassa	16
Taulukko 4-6:	Kaarten jäävahvistuksen pystysuora ulottuvuus	18
Taulukko 4-7:	Kertoimen m_o arvot eri reunaehdoille	19
Taulukko 4-8:	Tekijöiden α ja γ arvot	24
Taulukko 6-1:	Kuormitusten määritelmät	30
Taulukko 6-2:	Käyttötavat eri jääluokissa	32
Taulukko 6-3:	Mitoitusjäällohkareen paksuus	32
Taulukko 6-4:	Avopotkurien kuormitustapaukset	34
Taulukko 6-5:	Suulakepotkurien kuormitustapaukset	36
Taulukko 6-6:	N_{class} :in arvot	37
Taulukko 6-7:	Potkurin paikkakertoimen k_1 arvot	37
Taulukko 6-8:	Hydrodynaamisen paalutyönnön T oletusarvot	39
Taulukko 6-9:	Potkurin oletuspyörimisnopeus jatkuvalla enimmäisteholla paaluvetotilanteessa	39
Taulukko 6-10:	Pääkoneen enimmäisvääntömomentin Q_{emax} oletusarvot	41
Taulukko 6-11:	Jäävaikutuksen laajuuteen ja kestoon vaikuttavat tekijät eri lalalukumäärille	42
Taulukko 6-12:	Kertoimien arvot taajuustason herätelaskelmissa	45
Taulukko 6-13:	Kertoimien B_1 , B_2 ja B_3 arvot	49
Taulukko 6-14:	Määrittäysparametrit arvolle ρ	51
Taulukko 6-15:	Parametrin G arvo eri m/k -suhteissa	52

Taulukko 6-16: Kuormitustapaukset jään aiheuttamista iskuista ympärikääntyvään potkurilaitteeseen	55
Taulukko 6-17: Parametrien arvot jään mitoille ja dynaamiselle vahvistukselle	57
Taulukko 6-18: Iskunopeudet potkurilaitteissa, jotka sijaitsevat perän keskilinjalla.....	58
Taulukko 6-19: Iskunopeudet potkurilaitteeseen sivussa perässä, potkurilaitteeseen keskilinjalla keulassa ja potkurilaitteeseen sivussa keulassa	58
Taulukko 6-20: Kuormitustapaukset jäävallien jääkuormituksille	60
Taulukko 6-21: Parametrit enimmäiskuormitusten laskemiseen potkurilaitteen työntyessä jäävalliin. Peräpotkurit. Keula ensin -toiminta	62
Taulukko 6-22: Parametrit enimmäiskuormitusten laskemiseen potkurilaitteen työntyessä jäävalliin. Tunkeutuminen potkurilaitte edellä esimerkiksi kaksitoimisissa aluksissa.....	62
Taulukko I-1: Eri tyyppialuksia koskevia parametreja ja näiden tyyppialusten laskettu vähimmäiskoneteho	65

KUVALUETTELO

Kuva 3-1. Rungon geometrinen suureiden määrittely. Jos aluksella on bulbi, $\varphi_1 = 90^\circ$	8
Kuva 4-1. Jääkuormituksen jakautuminen aluksen kyljessä	12
Kuva 4-2. Kaaren jännevälin (vas.) ja kaarivälin (oik.) määrittely kaareville rakenne-elementeille	13
Kuva 4-3. Rungon jäävahvistetut alueet	14
Kuva 4-4. Esimerkkejä asianmukaisista keuloista	25
Kuva 6-1. Taaksepäin vaikuttavan lapavoiman suunta on kohtisuorassa profiilin jänneviivaan nähden säteellä 0,7R. Jääpaine johtoreunassa on esitetty pienillä nuolilla.	31
Kuva 6-2. Weibull-jakaumat (sen todennäköisyys, että F_{ice} on suurempi kuin $(F_{ice})_{max}$), joita käytetään väsymismitoitukseen	37
Kuva 6-3. Yhden lavan jääniskusta johtuva jäämomenttikaavio kuvattuna potkurin rotaatiokulman funktiona	42
Kuva 6-4. Potkurin momenttiherätejaksojen muoto potkureille, joissa on 3, 4, 5 tai 6 lapaa .	44
Kuva 6-5. Kaaviokuva lavan taittumiskuormasta ja siihen liittyvästä kääntömomentista voiman kohdistuessa eri kohtiin jänneviivalla 0,8R-säteellä	48
Kuva 6-6. Kaksikaltevuuksinen SN-käyrä.....	50
Kuva 6-7. Vakiokaltevuuksinen SN-käyrä	50
Kuva 6-8. Esimerkkejä kuormitusskenaariotyypeistä.....	53
Kuva 6-9. Arvona R_c käytetyt mitat.....	57
Kuva 6-10. Kaaviokuva kosketusalueen rajoittumisesta jäävallin enimmäispaksuuteen	61
Kuva III-1. Jääluokasyväysmerkintä.....	67

LIITELUETTELO

Liite I	Eri tyyppialuksia koskevia parametreja ja näiden tyyppialusten laskettu vähimmäiskoneteho	65
Liite II	Vaadittu koneteho alukselle, jonka jääluokka on IB tai IC ja jonka köli on laskettu tai joka oli samankaltaisessa rakennusvaiheessa ennen 1. syyskuuta 2003	66
Liite III	Jääluokasyväysmerkintä.....	67

1 YLEISTÄ

1.1 Vuoden 2021 jääluokkamääräysten soveltaminen

Vuoden 2021 jääluokkamääräyksiä sovelletaan aluksiin, joiden rakentamisesta sovitaan 5 päivänä heinäkuuta 2021 tai sen jälkeen.

Vuoden 2021 jääluokkamääräysten kohtien 1.8 (Jääluokat) ja 2 (Jääluokkasyväys) määräyksiä sovelletaan kaikkiin aluksiin niiden rakentamisajankohdasta riippumatta.

1.2 Vuoden 2017 jääluokkamääräysten soveltaminen

Vuoden 2017 jääluokkamääräyksiä sovelletaan aluksiin, joiden rakentamisesta sovitaan 1 päivänä tammikuuta 2019 tai sen jälkeen mutta ennen 5 päivää heinäkuuta 2021

Vuoden 2017 jääluokkamääräyksiä voidaan kuitenkin myös soveltaa 1 päivästä joulukuuta 2017 lukien sellaisiin aluksiin, joiden rakentamisesta sovitaan 1 päivänä joulukuuta 2017 tai sen jälkeen mutta ennen 5 päivää heinäkuuta 2021.

1.3 Vuoden 2010 jääluokkamääräysten soveltaminen

Vuoden 2010 jääluokkamääräyksiä (TRAFI/31298/03.04.01.00/2010) sovelletaan aluksiin, joiden rakentamisesta sovitaan 1 päivänä tammikuuta 2012 tai sen jälkeen, mutta ennen 1 päivää tammikuuta 2019.

1.4 Vuoden 2008 jääluokkamääräysten soveltaminen

Alukseen, jonka rakentamisesta on sovittu 1 päivänä tammikuuta 2010 tai sen jälkeen, mutta ennen 1 päivää tammikuuta 2012, sovelletaan Merenkululaitoksen vuoden 2008 jääluokkamääräyksiä (8.12.2008 Dnro 2530/30/2008).

1.5 Vuoden 2002 jääluokkamääräysten soveltaminen

Alukseen, jonka köli on laskettu tai joka on ollut vastaavassa rakennusvaiheessa 1 päivänä syyskuuta 2003 tai sen jälkeen, mutta jonka rakentamisesta on sovittu ennen 1 päivää tammikuuta 2010, sovelletaan Merenkululaitoksen vuoden 2002 jääluokkamääräyksiä (20.9.2002 Dnro 5/30/2002) niihin myöhemmin tehtyine muutoksineen.

1.6 Vuoden 1985 jääluokkamääräysten soveltaminen

Alukseen, jonka köli on laskettu tai joka on ollut vastaavassa rakennusvaiheessa 1 päivänä marraskuuta 1986 tai sen jälkeen, mutta ennen 1 päivää syyskuuta 2003, sovelletaan Merenkuluhallituksen vuoden 1985 määräyksiä alusten lukemisesta eri jäämaksuluokkiin (2.9.1985 Dnro 2575/85/307) niihin myöhemmin tehtyine muutoksineen. Laivanisännän pyynnöstä tällaiseen alukseen voidaan kuitenkin soveltaa Merenkululaitoksen vuoden 2008 jääluokkamääräyksissä esitettyjä konetehovaatimuksia.

Jääluokkaan IA Super tai IA kuuluvan aluksen, jonka köli on laskettu tai joka on ollut samankaltaisessa rakennusvaiheessa ennen 1 päivää syyskuuta 2003, tulee kuitenkin täyttää Liikenteen turvallisuusviraston vuoden 2017 jääluokkamääräysten kohdan 3.2.2 tai 3.2.4 vaatimukset viimeistään 1 päivänä tammikuuta sinä vuonna, jolloin on kulunut 20 vuotta siitä, kun alus on luovutettu.

1.7 Vuoden 1971 jääluokkamääräysten soveltaminen

Alukseen, jonka köli on laskettu tai joka on ollut vastaavassa rakennusvaiheessa ennen 1 päivää marraskuuta 1986, sovelletaan aluksen iästä riippuen Merenkulkuhallituksen vuoden 1971 alusten lukemisesta eri jäämaksuluokkiin antaman päätöksen (6.4.1971 Dnro 1260/71/307) liitteessä I tai päätöksen 10 §:ssä asetettuja vaatimuksia niihin myöhemmin tehtyine muutoksineen. Laivanisännän pyynnöstä tällaiseen alukseen voidaan kuitenkin soveltaa Merenkulkuhallituksen vuoden 1985 määräyksissä alusten lukemisesta eri jäämaksuluokkiin tai Merenkululaitoksen vuoden 2008 jääluokkamääräyksissä esitettyjä konetehovaatimuksia.

Jääluokkaan IA Super tai IA kuuluvan aluksen, jonka köli on laskettu tai joka on ollut samankaltaisessa rakennusvaiheessa ennen 1 päivää syyskuuta 2003, tulee kuitenkin täyttää Liikenteen turvallisuusviraston vuoden 2017 jääluokkamääräysten kohdan 3.2.2 tai 3.2.4 vaatimukset viimeistään 1 päivänä tammikuuta sinä vuonna, jolloin on kulunut 20 vuotta siitä kun alus on luovutettu.

1.8 Jääluokat

Alusten jääluokista ja jäänmurtaja-avustuksesta annetun lain (1121/2005) 3 §:n mukaan alukset kuuluvat jääluokkiin seuraavasti:

1. jääluokkaan IA Super alus, jonka rakenne, konetehto ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan vaikeissa jääolosuhteissa pääsääntöisesti ilman jäänmurtajan avustusta;
2. jääluokkaan IA alus, jonka rakenne, konetehto ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan vaikeissa jääolosuhteissa tarpeen mukaan jäänmurtajan avustamana;
3. jääluokkaan IB alus, jonka rakenne, konetehto ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan keskivaikeissa jääolosuhteissa tarpeen mukaan jäänmurtajan avustamana;
4. jääluokkaan IC alus, jonka rakenne, konetehto ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan helpoissa jääolosuhteissa tarpeen mukaan jäänmurtajan avustamana;
5. jääluokkaan II alus, joka on teräsrunkoinen ja rakenteeltaan avomerikelpoinen ja joka siitä huolimatta, että alusta ei ole vahvistettu jäissä kulkua varten, pystyy omalla kuljetuskoneistolla kulkemaan erittäin helpoissa jääolosuhteissa;
6. jääluokkaan III alus, joka ei kuulu 1–5 kohdassa tarkoitettuun jääluokkaan.

2 JÄÄLUOKKASYVÄYS

2.1 Ylempi ja alempi jäävesiviiva

Ylempi jäävesiviiva (UIWL) on niiden ylimpien vesiviivojen korkeimpien pisteiden yläreuna, jolla aluksen on tarkoitus kulkea jäissä. Viiva voi olla murtoviiva.

Alempi jäävesiviiva (LIWL) on niiden alimpien vesiviivojen alimpien pisteiden alareuna, jolla aluksen on tarkoitus kulkea jäissä. Viiva voi olla murtoviiva.

2.2 Suurin ja pienin syväys keulassa ja perässä

Suurin ja pienin jääluokkasyväys keula- ja peräpystysuorien kohdalla on määritettävä ylemmän ja alemman jäävesiviivan mukaisesti. Aluksen syvyyksen keula- ja peräpystysuorien kohdalla on oltava aina ylemmän ja alemman jäävesiviivan välissä, kun jääolosuhteet edellyttävät aluksen vahvistamista jäissä kulkua varten.

Syvyyksen rajoitukset jäissä kuljettaessa on dokumentoitava. Kyseiset asiakirjat on pidettävä mukana aluksella päällikön saatavilla. Suurin ja pienin jääluokkasyväys keulassa, keskilaivalla ja perässä on merkittävä luokitustodistukseen. Jos alus on rakennettu 1 päivänä heinäkuuta 2007 tai sen jälkeen, on sen kylkiin kiinnitettävä varoituskolmio ja jääluokkasyväysmerkki keskilaivan suurimman sallitun jääluokkasyvyyksen kohdalle (katso liite III), jos sen suolattoman veden kesälastiviiva sijaitsee jossakin kohdin korkeammalla kuin UIWL. Jos UIWL sijaitsee kesälastiviivan alapuolella, alukset, jotka rakennettu ennen 1 päivää heinäkuuta 2007, on varustettava vastaavalla merkinnällä viimeistään ensimmäisen 1 päivänä heinäkuuta 2007 jälkeen suunnitellun kuivatelakoinnin yhteydessä.

UIWL:n rajoittama syväys ja viippaus ei saa ylittyä aluksen kulkiessa jäissä. Meriveden suolapitoisuus suunnitellun reitin varrella on otettava huomioon alusta lastattaessa.

Jäissä kulkua varten alus on aina lastattava vähintään LIWL:n määräämään syvyykseen keskilaivalla. Painolastitankki, joka sijaitsee LIWL:n yläpuolella ja joka on tarpeen aluksen saattamiseksi LIWL:ää vastaavalle vesiviivalle, on varustettava laitteilla, jotka estävät veden jääytymisen tankissa. LIWL:ää määritettäessä on kiinnitettävä huomiota siihen, että aluksella on oltava kohtuullinen jäissäkulkukyky painolastissa kulkiessaan. Potkurin ylimmän kohdan on oltava vedenpinnan alapuolella ja mahdollisuuksien mukaan vähintään h_i syvyydellä veden pinnasta kaikissa lastitilanteissa. Syvyyksen on oltava keulassa vähintään:

$$(2 + 0,00025 \Delta)h_i \text{ [m]}, \text{ mutta sen ei tarvitse ylittää } 4h_i, \quad (2.1)$$

jossa

Δ on aluksen uppouma [t] UIWL:n vesiviivasta määritettynä (katso kohta 2.1). Kun UIWL:n määrittämiseen käytetään useaa vesiviivaa, uppouma on määritettävä vesiviivasta, joka vastaa suurinta uppoumaa.

h_i on tasaisen jään paksuus [m] kohdan 4.2.1 mukaan.

3 KONETEHO

3.1 Konetehon määritelmä

Koneteho P on suurin kokonaisteho, minkä kuljetuskoneisto pystyy jatkuvasti välittämään potkuriin/potkureille. Jos koneiston tehoa on teknisin toimenpitein tai alusta koskevin määräyksiin rajoitettu, P :n arvona käytetään tätä rajoitettua tehoa. Jos aluksessa käytetään päämoottorin tai -moottoreiden tuottaman tehon lisäksi muita lisävoimanlähteitä (esimerkiksi akselimoottoreita), myös niiden tuottama teho on lisättävä kokonaiskonetehoon.

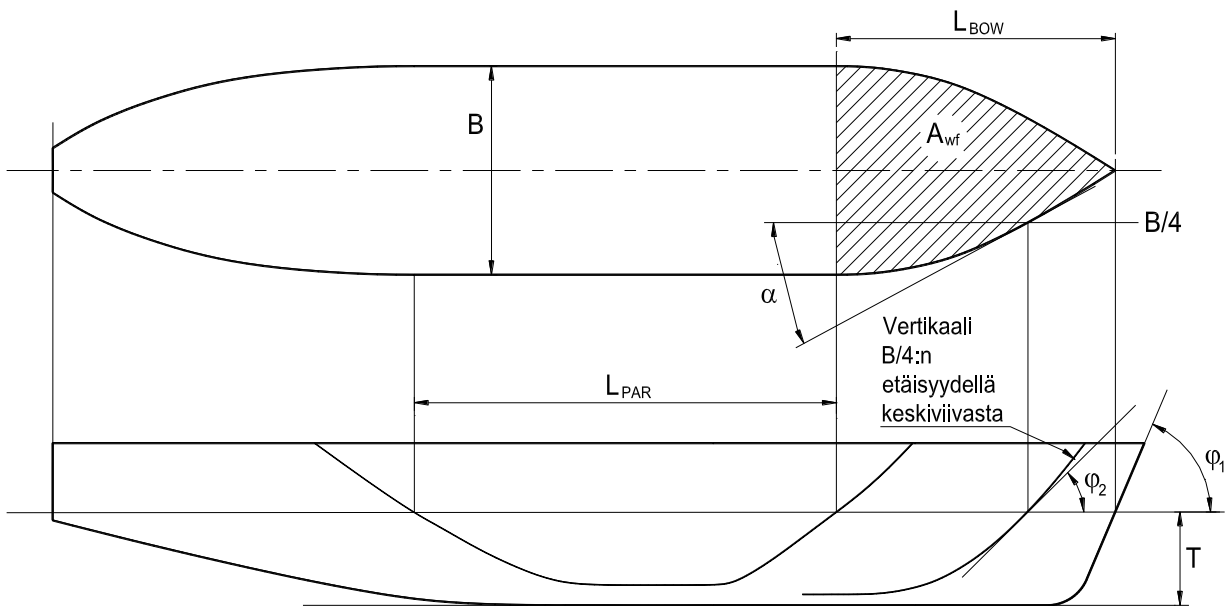
3.2 Vaadittu koneteho jääluokissa IA Super, IA, IB ja IC

Koneteho ei saa olla alhaisempi kuin alla olevan kaavan mukaan määritetty arvo eikä missään tapauksessa alle 1 000 kW jääluokassa IA, IB ja IC eikä alle 2 800 kW jääluokassa IA Super.

3.2.1 Määritelmät

Aluksen mitat ja eräät muut parametrit on määritetty alla seuraavasti:

L	m	aluksen perpendikkelipituus
L_{BOW}	m	keulan pituus
L_{PAR}	m	keskilaivan yhdensuuntaisen osan pituus
B	m	aluksen suurin leveys
T	m	aluksen kohdan 3.2.2 mukainen jääluokkasyväys
A_{wf}	m ²	keulan vesiviivan pinta-ala
α	aste	vesiviivan kulma kohdassa $B/4$
φ_1	aste	keulan kallistuskulma keskiviivan kohdalla
φ_2	aste	keulan vertikaalin kallistuskulma kohdassa $B/4$
ψ	aste	rungon kyljen kallistuskulma laskettuna siten, että $\psi = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi}{\sin \alpha} \right)$ käyttäen kulmien α ja ϕ paikallisia arvoja. Kohdassa 3 kallistuskulma on laskettu siten, että $\phi = \phi_2$.
D_P	m	potkurin halkaisija
H_M	m	jäämurskan paksuus keskiuomassa
H_F	m	keulan syrjään työntämän jäämurskakerroksen paksuus



Kuva 3-1. Rungon geometrinen suureiden määrittely. Jos aluksella on bulbi, $\varphi_1 = 90^\circ$.

3.2.2 Uudet alukset

Saadakseen jääluokan IA Super, IA, IB tai IC on aluksen, jonka köli on laskettu tai joka on vastaavassa rakennusvaiheessa 1 päivänä syyskuuta 2003 tai sen jälkeen, täytettävä konetehonsa osalta seuraavat vaatimukset. Konetehovaatimus lasketaan kahdelle eri syväykselle kaavan 3.1 mukaisesti. Käytettävät syväykset ovat UIWL:n mukainen suurin syväys keskilavalla ja LIWL:n mukainen pienin syväys keskilavalla, kuten ne on määritetty kohdassa 2.2. Laskelmissa sellaiset aluksen parametrit, jotka riippuvat syväyksestä, on määritettävä vastaavalla syväyksellä. L ja B määritetään kuitenkin vain UIWL:n mukaan. Konetehto ei saa olla alhaisempi kuin suurin näistä kahdesta tehosta.

$$P_{min} = K_e \frac{(R_{CH}/1000)^{3/2}}{D_p} \text{ [kW]}, \quad (3.1)$$

jossa kertoimen K_e arvo annetaan taulukon 3-1 mukaan.

Taulukko 3-1: Kertoimen K_e arvot tavanomaisille kuljetuskoneistoille

Potkureiden lukumäärä	Säätösiipipotkuri tai hydraulinen kuljetuskoneisto	Kiinteäsiipinen potkuri
1 potkuri	2,03	2,26
2 potkuri	1,44	1,60
3 potkuri	1,18	1,31

Näitä kertoimen K_e arvoja sovelletaan tavanomaisiin kuljetuskoneistoihin. Määritettäessä kone-tehovaatimuksia kehittyneemmille kuljetuskoneistoille voidaan käyttää myös muita menetelmiä (katso kohta 3.2.5).

R_{CH} on aluksen aiheuttama jäävastus newtoneina murretussa jääuomassa, jossa on jäätynyt pintakerros.

$$R_{CH} = C_1 + C_2 + C_3 C_\mu (H_F + H_M)^2 (B + C_\psi H_F) + C_4 L_{PAR} H_F^2 + C_5 \left(\frac{LT}{B^2}\right)^3 \frac{A_{wf}}{L}, \quad (3.2)$$

jossa

$$C_\mu = 0,15 \cos \varphi_2 + \sin \psi \sin \alpha, \quad C_\mu \text{ on suurempi tai yhtä suuri kuin } 0,45$$

$$C_\psi = 0,047\psi - 2,115 \text{ ja } C_\psi = 0 \text{ jos } \psi \leq 45^\circ$$

$$H_F = 0,26 + (H_M B)^{0,5}$$

$$H_M = 1,0 \text{ m jääluokissa IA ja IA Super} \\ = 0,8 \text{ m jääluokassa IB} \\ = 0,6 \text{ m jääluokassa IC}$$

C_1 ja C_2 huomioivat jäämurskan yhteenjäätynneen ylemmän kerroksen. $C_1=0$ ja $C_2=0$ jääluokille IA, IB ja IC.

Jääluokalle IA Super:

$$C_1 = f_1 \frac{BL_{PAR}}{T} + (1 + 0,021\phi_1)(f_2 B + f_3 L_{BOW} + f_4 BL_{BOW}),$$

$$C_2 = (1 + 0,063\phi_1)(g_1 + g_2 B) + g_3 \left(1 + 1,2 \frac{T}{B}\right) \frac{B^2}{\sqrt{L}}$$

Bulbikeulaisella aluksella $\phi_1 = 90^\circ$.

Kertoimet f_1-f_4 ja g_1-g_3 annetaan taulukossa 3-2.

Taulukko 3-2: Kertoimien f_1-f_4 ja g_1-g_3 arvot kertoimien C_1 ja C_2 määrittämiseen

$$\underline{f_1 = 23 \text{ N/m}^2 \quad g_1 = 1 \text{ 530 N}}$$

$f_2 = 45,8 \text{ N/m}$	$g_2 = 170 \text{ N/m}$
$f_3 = 14,7 \text{ N/m}$	$g_3 = 400 \text{ N/m}^{1,5}$
$f_4 = 29 \text{ N/m}^2$	

$$C_3 = 845 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s}^2)$$

$$C_4 = 42 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s}^2)$$

$$C_5 = 825 \text{ kg}/\text{s}^2$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi_2}{\sin \alpha} \right)$$

Jos termin $\left(\frac{LT}{B^2}\right)^3$ arvo on vähemmän kuin 5, käytetään arvoa 5, ja jos termin arvo on enemmän kuin 20, käytetään arvoa 20.

3.2.3 Olemassa olevat jääluokkiin IB tai IC kuuluvat alukset

Voidakseen pitää jääluokan IB tai IC on aluksen, jota koskevat vuoden 1985 jääluokkamääräykset (2.9.1985, Dnro 2575/85/307 niihin myöhemmin tehtyine muutoksineen), täytettävä vuoden 1985 jääluokkamääräysten kohdassa 3.2.1 määritelty vähimmäiskonetehto. Vuoden 1985 jääluokkamääräysten kohdan 3.2.1 mukaiset jääluokkia IB ja IC koskevat vähimmäiskonetehomääräykset on annettu näiden määräysten liitteessä II.

3.2.4 Olemassa olevat jääluokkiin IA Super tai IA kuuluvat alukset

Voidakseen pitää jääluokan IA Super tai IA on aluksen, jonka köli on laskettu tai joka on ollut samankaltaisessa rakennusvaiheessa ennen 1 päivää syyskuuta 2003, täytettävä kohdan 3.2.2 vaatimukset viimeistään 1 päivänä tammikuuta sinä vuonna, jolloin on kulunut 20 vuotta siitä kun alus on luovutettu.

Jos alus ei täytä kohdan 3.2.2 vaatimuksia edellä mainittuna päivämääränä, alukselle voidaan vahvistaa korkein alempi jääluokka, johon konetehto on riittävä.

Jos osaa niistä olemassa olevan aluksen runkoparametrien arvoista, jotka vaaditaan kohdassa 3.2.2 mainittua laskentamenetelmää varten, on vaikea määrittää, voidaan käyttää seuraavaa vaihtoehtoista kaavaa:

$$R_{CH} = C_1 + C_2 + C_3(H_F + H_M)^2(B + 0,658H_F) + C_4LH_F^2 + C_5 \left(\frac{LT}{B^2}\right)^3 \frac{B}{4}, \quad (3.3)$$

jossa jääluokassa IA $C_1=0$ ja $C_2=0$.

Jääluokassa IA Super, jos aluksella ei ole bulbia, kertoimet C_1 ja C_2 lasketaan seuraavasti:

$$C_1 = f_1 \frac{BL}{2\frac{T}{B}+1} + 1,84(f_2B + f_3L + f_4BL),$$

$$C_2 = 3,52(g_1 + g_2B) + g_3 \left(1 + 1,2 \frac{T}{B}\right) \frac{B^2}{\sqrt{L}}$$

Jääluokassa IA Super bulbikeulaisella aluksella kertoimien C_1 ja C_2 arvot lasketaan seuraavasti:

$$C_1 = f_1 \frac{BL}{2\frac{T}{B}+1} + 2,89(f_2B + f_3L + f_4BL),$$

$$C_2 = 6,67(g_1 + g_2B) + g_3 \left(1 + 1,2 \frac{T}{B}\right) \frac{B^2}{\sqrt{L}}$$

Kertoimien f_1 - f_4 sekä g_1 - g_3 arvot annetaan taulukossa 3-3.

Taulukko 3-3: Kertoimien f_1 - f_4 sekä g_1 - g_3 arvot kertoimien C_1 ja C_2 määrittämiseen

$f_1 = 10,3 \text{ N/m}^2$	$g_1 = 1 530 \text{ N}$
$f_2 = 45,8 \text{ N/m}$	$g_2 = 170 \text{ N/m}$
$f_3 = 2,94 \text{ N/m}$	$g_3 = 400 \text{ N/m}^{1,5}$
$f_4 = 5,8 \text{ N/m}^2$	

$$C_3 = 460 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s}^2)$$

$$C_4 = 18,7 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s}^2)$$

$$C_5 = 825 \text{ kg}/\text{s}^2$$

Jos termin $\left(\frac{LT}{B^2}\right)^3$ arvo on vähemmän kuin 5, käytetään arvoa 5, ja jos termin arvo on enemmän kuin 20, käytetään arvoa 20.

3.2.5 Muita menetelmiä määrittää K_e tai R_{CH}

Yksittäiselle alukselle voidaan hyväksyä kohdissa 3.2.2 ja 3.2.3 määritettyjen K_e :n tai R_{CH} :n arvojen sijasta sellaiset K_e :n tai R_{CH} :n arvot, jotka perustuvat tarkempiin laskelmiin tai malliko-keisiin. Tällaisen hyväksynnän ehtona on, että se voidaan peruuttaa, jos kokemukset aluksen suorituskyvystä antavat siihen aihetta.

Suunnitteluvaatimuksena eri jääluokille on 5 solmun vähimmäisnopeus seuraavanlaisissa mur-
retuissa jääuomissa:

IA Super	$H_M = 1,0 \text{ m}$ sekä 0,1 metrin vahvuinen jäätynyt pintakerros
IA	= 1,0 m
IB	= 0,8 m
IC	= 0,6 m.

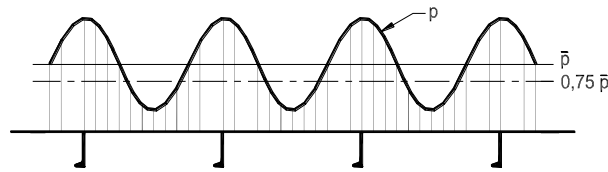
4 RUNGON RAKENTEELLINEN SUUNNITTELU

4.1 Yleistä

Menetelmä, jolla rungon mitoitus määritetään, perustuu tiettyihin oletuksiin, jotka koskevat rakenteeseen kohdistuvan jääkuormituksen ominaisuuksia. Nämä oletukset perustuvat pohjoi-
sen Itämeren alueella tehtyihin täysmittakaavakokeisiin.

On havaittu, että pienellä kuormitusalueella paikallinen jääpaine voi saavuttaa melko suuria arvoja. Paine saattaa olla selvästi suurempi kuin merijään normaali yksiaksiaalinen murtolu-
juus. Tämä johtuu siitä, että jännitystila on todellisuudessa moniaksiaalinen.

Lisäksi on havaittu, että kaareen kohdistuva jääpaine voi olla suurempi kuin kaarten välissä olevaan laidoitukseen kohdistuva jääpaine. Tämä johtuu siitä, että kaarten ja laidoituksen tai-
vutusjäykkyys on erilainen. Kuormitusjakauman on oletettu olevan kuvan 4-1 mukainen.



Kuva 4-1. Jääkuormituksen jakautuminen aluksen kyljessä

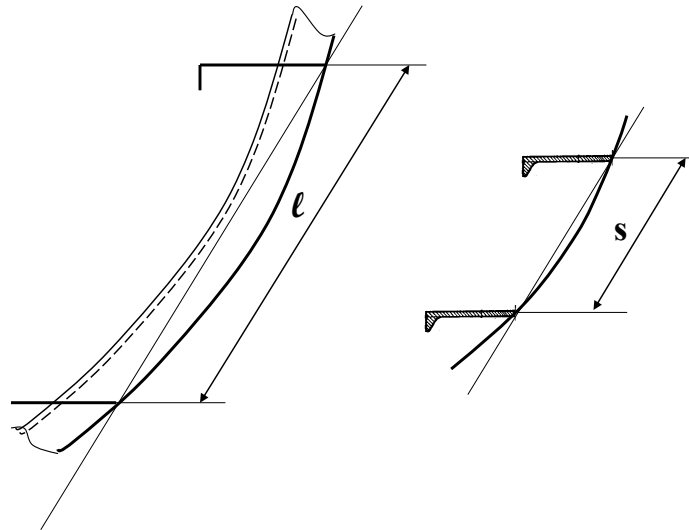
Tässä kohdassa annetut kaavat ja arvot voidaan korvata suoralla laskentamenetelmällä, jos hallinto tai luokituslaitos katsoo, etteivät ne kelpaa tai sovellettu tiettyyn rakennejärjestelyyn tai yksityiskohtaan. Muussa tapauksessa suoraa laskentamenetelmää ei pidä käyttää vaihtoehtona kohtien 4.3–4.5 nimenomaisten vaatimusten mukaisille analyttisille menetelmille.

Suorassa laskentamenetelmässä käytetään kohdassa 4.2 määriteltyä jääkuormitusta (p , h ja l_a). Käytettävä paine on $1,8p$, jossa p on määritetty kohdan 4.2.2 mukaisesti. Jääkuormitusta on sovellettava kohdissa, joissa rakenteen lujuus taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutuksesta on pienin. Rakenteen on erityisesti tarkastettava siten, että kuorma on keskitetty ylemmälle jäävesiviivalle UIWL, $0,5h_o$ alemman jäävesiviivan LIWL alle sekä sijoitettuna useaan pystysuoraan kohtaan niiden välille. Useampi vaakasuora kohta on myös tarkistettava, erityisesti keskijänneväliin tai keskiväliin keskitetyt kohdat. Jollei kuormapituutta l_a voida määrittää suoraan rakenteen kokoonpanosta, lisäksi on tarkistettava useampi l_a :n arvo käyttäen vastaavia c_a :n arvoja.

Suunnitelmien/mallien hyväksymiskriteerinä on, että taivutuksesta ja leikkauksesta johtuva kokonaisjännitys von Misesin myötökriteeriä käyttäen on alhaisempi kuin myötöraja σ_y . Kun suora laskenta perustuu palkkiteoriaan, sallittu leikkausjännitys ei saa olla suurempi kuin $0,9 \cdot \tau_y$, jossa $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$.

Jos näiden määräysten mitoitusvaatimukset ovat pienempiä kuin luokituslaitoksen vaatimukset jäävahvistamattomalle alukselle, on käytettävä luokituslaitoksen vaatimuksia.

Huomautus 1. Seuraavassa tekstissä määritetyt kaarivälit ja jännevälit on normaalisti oletettu mitattavan (luokituslaitoksen kyseistä alusta koskevien sääntöjen mukaisesti) levyn suuntaisesti ja kohtisuoraan levyjen jäykkääjien akseleita vastaan, laipan myötäisesti, jos levyillä on laippa, ja vapaan reunan myötäisesti, jos kyseessä ovat lattateräsjäykisteet. Kaarevien rakenne-elementtien ollessa kyseessä kaariväli (tai jänneväli) määritetään kaariväliden (tai jänneväliden) päätepisteiden väliseksi pituudeksi. Jänneväliden päätepisteet määritetään levyn laipan tai yläreunan leikkauspisteen ja tukena olevan rakenne-elementin leikkauspisteenä (jäykkääjä, kehyskaari, kansi tai laipio). Kuvasta 4-2 ilmenevät kaaren jännevälän ja kaarivälän määritykset kaareville rakenne-elementeille.



Kuva 4-2. Kaaren jännevälin (vas.) ja kaarivälin (oik.) määritelmä kaareville rakenne-elementeille

Huomautus 2. Levykentän tehollisen laipan leveys valitaan luokituslaitoksen sääntöjen mukaisesti laskettaessa kaaren, jäykkääjän ja kehyskaaren ja siihen liittyvän levyn taivutusvastusta. Tehollisen laipan leveys ei saa olla suurempi kuin mitä annetaan kyseistä alusta koskevissa luokituslaitoksen säännöissä.

Huomautus 3. Kohdissa 4.4, 4.5 ja 4.6 esitetyt vaatimukset kaarien, jäykkääjien ja kehyskaarien taivutusvastuksesta ja leikkauspinta-alasta koskevat tehollista jäykisteen poikkipinta-alaa. Niissä tapauksissa, joissa jäykiste ei ole kohtisuorassa levyä vastaan, jäykisteen taivutusvastus ja leikkauspinta-ala on laskettava kyseistä alusta koskevien luokituslaitoksen sääntöjen mukaisesti.

4.1.1 Rungon alueet

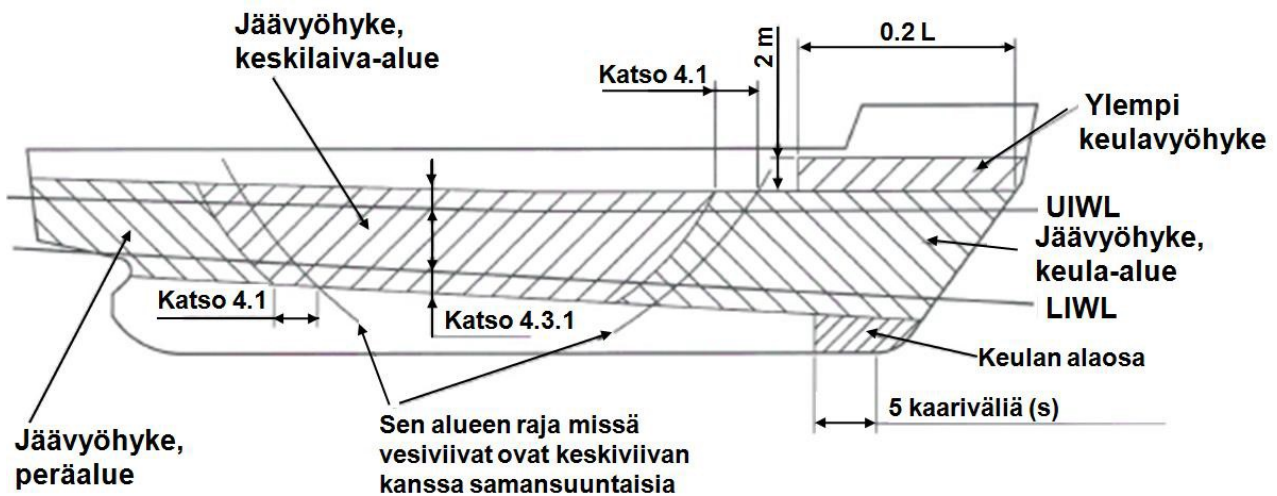
Aluksen runko jaetaan alueisiin seuraavasti (katso myös kuva 4-3):

Keula-alue: Alue ulottuu keulasta perään päin keula-alueen takarajaan. Takaraja sijaitsee etäisyydellä $0,04 \cdot L$ perään päin sellaisesta takarajan kanssa yhdensuuntaisesta viivasta, jonka peräpuolella aluksen vesiviivat ovat yhdensuuntaiset keskilinjän kanssa. Jääluokissa IA Super ja IA rajaviivan ylityksen ei tarvitse olla suurempi kuin 6 metriä ja jääluokissa IB ja IC ylityksen ei tarvitse olla suurempi kuin 5 metriä.

Keskilaiva-alue: Alue ulottuu keula-alueen takarajasta keskilaiva-alueen takarajaan. Keski-laiva-alueen takaraja sijaitsee etäisyydellä $0,04 \cdot L$ perään päin sellaisesta takarajan kanssa yhdensuuntaisesta viivasta, jonka keulapuolella aluksen vesiviivat ovat yhdensuuntaiset keskilinjän kanssa. Jääluokissa IA Super ja IA rajaviivan ylityksen ei tarvitse olla suurempi kuin 6 metriä ja jääluokissa IB ja IC ylityksen ei tarvitse olla suurempi kuin 5 metriä.

Peräalue: Alue on keskilaiva-alueen takarajasta perään ulottuva osa.

Pituutena L käytetään luokituslaitoksen käyttämää pituutta.



Kuva 4-3. Rungon jäävahvistetut alueet

4.2 Jääkuormitus

4.2.1 Jääkuormituksen korkeus

Jäävahvistetun aluksen oletetaan liikennöivän avomerellä tasaisessa jäässä, jonka paksuus ei ylitä arvoa h_i . Sen alueen, joka todellisuudessa on milloin tahansa jääpaineen vaikutuksen alaisena, mitoitusjääkuormituskorkeuden (h) on kuitenkin oletettu olevan ainoastaan osa jään paksuudesta. h_i :n ja h :n arvot on annettu taulukossa 4-1.

Taulukko 4-1: h_i :n ja h :n arvot eri jääluokille

Jääluokka	h_i [m]	h [m]
IA Super	1,0	0,35
IA	0,8	0,30
IB	0,6	0,25
IC	0,4	0,22

4.2.2 Jääpaine

Mitoitusjääpaine saadaan seuraavalla kaavalla:

$$p = c_d c_p c_a p_0 \text{ [MPa]}, \quad (4.1)$$

jossa

c_d on tekijä, joka huomioi aluksen koon ja konetehon. Tämän tekijän suurin arvo on $c_d = 1$. Se lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$c_d = \frac{ak+b}{1000}, \quad (4.2)$$

jossa

$$k = \frac{\sqrt{\Delta P}}{1000}. \quad (4.3)$$

Tekijöiden a ja b arvot on annettu taulukossa 4-2.

Taulukko 4-2: Eri rungon alueita koskevat tekijöiden a ja b arvot

	Keula		Keskilaiva ja perä	
	$k \leq 12$	$k > 12$	$k \leq 12$	$k > 12$
a	30	6	8	2
b	230	518	214	286

Δ on uppouma aluksen suurimmalla jääluokkasyväyksellä [t] (katso kohta 2.2).

P on aluksen todellinen jatkuva koneteho [kW] (katso kohta 3.1) jäissä kulkua varten. Jos aluksessa käytetään päämoottorin tai -moottoreiden tuottaman tehon lisäksi muita lisävoimanlähteitä (esimerkiksi akselimoottoreita), myös niiden tuottama teho on lisättävä kokonaiskonetehtoon, jota käytetään rungon mitoituslaskelmien perustana. Rungon mitoituslaskelmissa käytetty koneteho on ilmoitettava selkeästi laidoituksen laajennuspiirroksessa.

c_p on kerroin, joka kuvaa kyseiselle rungon alueelle odotetun kuormituksen suuruutta suhteessa keula-alueen kuormitukseen.

Tekijän c_p arvot on annettu taulukossa 4-3.

Taulukko 4-3: Eri rungon alueita koskevat tekijän c_p arvot

	Keula	Keskilaiva	Perä
IA Super	1,0	1,0	0,75
IA	1,0	0,85	0,65
IB	1,0	0,70	0,45
IC	1,0	0,50	0,25

c_a on tekijä, joka huomioi sen todennäköisyyden, että tarkasteltava alue on koko pituudeltaan jääpaineen alaisena samana ajankohtana. Se lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$c_a = \sqrt{\frac{l_0}{l_a}}, \text{ enintään } 1,0, \text{ vähintään } 0,35, l_0 = 0,6 \text{ m}. \quad (4.4)$$

Tekijän l_a arvot on annettu taulukossa 4-4.

p_o on nimellisjääpaine, jonka arvona käytetään 5,6 MPa.

Taulukko 4-4: Eri rakenne-elementtejä koskevat tekijän I_a arvot

Rakenne	Kaarityyppi	I_a [m]
Laidoitus	Poikittainen	Kaariväli
	Pitkittäinen	1,7 × kaariväli
Kaaret	Poikittainen	Kaariväli
	Pitkittäinen	Kaaren jänneväli
Jääjäykkääjä		Jäykkääjän jänneväli
Kehyskaari		2 × kehyskaariväli

4.3 Laidoitus

4.3.1 Laidoituksen jäävahvistuksen (jäävyöhykkeen) ulottuvuus pystysuunnassa

Jäävyöhykkeen ulottuvuus pystysuunnassa on annettu taulukossa 4-5 (katso kuva 4-3).

Taulukko 4-5: Jäävyöhykkeen ulottuvuus pystysuunnassa

Jääluokka	Rungon alue	UIWL:n yläpuolella	LIWL:n alapuolella
IA Super	Keula		1,20 m
	Keskilaiva	0,60 m	
	Perä		1,0 m
IA	Keula		0,90 m
	Keskilaiva	0,50 m	0,75 m
	Perä		
IB ja IC	Keula		0,70 m
	Keskilaiva	0,40 m	0,60 m
	Perä		

Lisäksi on vahvistettava seuraavat alueet:

Keulan alaosa: Jääluokan IA Super aluksissa laidoitus on jäävahvistettava jäävyöhykkeen alapuolella keulasta sellaiseen kohtaan, joka on viisi pääkaariväliä perään päin pisteestä, jossa keulaprofiili yhtyy köliiviivaan, samalla tavalla kuin keulan alue.

Ylempi keulavyöhyke: Jääluokkien IA Super ja IA aluksissa, joiden avovesinopeus on suurempi tai yhtä suuri kuin 18 solmua, laidoitus on jäävahvistettava jäävyöhykkeen ylärajasta 2 metriä ylöspäin sekä keularangasta vähintään etäisyydelle 0,2 L keulapystysuorasta perään päin samalla tavalla kuin keskilaivan alue. Vastaava vahvistus keulaosassa on suositeltava myös alukselle, jolla on pienempi matkanopeus, kun esimerkiksi mallikokeiden perusteella on ilmeistä, että aluksella tulee olemaan korkea keula-aalto.

Jäävyöhykkeessä ei saa olla valoventtiilejä. Jos sääkansi missä tahansa aluksen osassa sijaitsee jäävyöhykkeen ylärajan alapuolella (esimerkiksi syvennyksen kohdalla puolikantisessa aluksessa), partaan lujisuuden on oltava vähintään sama kuin jäävyöhykkeen laidoituksen lujuus. Myös tyhjennysaukkojen on täytettävä tämä vaatimus.

4.3.2 Levyn paksuus jäävyöhykkeessä

Poikittaiskaarijärjestelmässä laidoituslevyjen paksuus määritetään seuraavalla kaavalla:

$$t = 667s \sqrt{\frac{f_1 p_{pl}}{\sigma_y}} + t_c \text{ [mm]}, \quad (4.5)$$

ja pitkittäiskaarijärjestelmässä laidoituslevyjen paksuus määritetään seuraavalla kaavalla:

$$t = 667s \sqrt{\frac{p}{f_2 \sigma_y}} + t_c \text{ [mm]}, \quad (4.6)$$

joissa

s on kaariväli [m]

$p_{pl} = 0,75p$ [MPa], jossa p on kuten kohdassa 4.2.2

$f_1 = 1,3 - \frac{4.2}{(h/s+1,8)^2}$, enintään 1,0,

$$f_2 = \begin{cases} 0,6 + \frac{0,4}{h/s}, & \text{kun } h/s \leq 1 \\ 1,4 - 0,4(h/s), & \text{kun } 1 \leq h/s \leq 1,8, \end{cases}$$

joissa h on kuten kohdassa 4.2.1

σ_y on materiaalin myötöraja [N/mm²], jolle käytetään seuraavia arvoja:

$\sigma_y = 235$ N/mm² normaalilujuuksiselle rakenneteräkselle

$\sigma_y = 315$ N/mm² tai suurempi suurilujuuksiselle rakenneteräkselle

Jos käytetään teräslaatuja, joiden myötörajat eroavat yllä olevista, nämä voidaan korvata todellisilla arvoilla, jos luokituslaitos sen hyväksyy.

t_c on kulumis- ja korroosiolisä [mm]; t_c on normaalisti 2 mm. Jos käytetään ja ylläpidetään erikoispinnoitetta, jonka tiedetään kokemuksen perusteella kestävän jään aiheuttaman kulumisen, voidaan hyväksyä pienempiä arvoja.

4.4 Kaaret

4.4.1 Kaarten jäävahvistuksen pystysuora ulottuvuus

Kaarten jäävahvistuksen pystysuoran ulottuvuuden on oltava vähintään taulukossa 4-6 annettu.

Taulukko 4-6: Kaarten jäävahvistuksen pystysuora ulottuvuus

Jää-luokka	Rungon alue	UIWL:n ylä-puolella	LIWL:n alapuolella
IA Su-per	Keula		Kaksoispohjan kanteen asti tai pohjatukkien yläreunan alapuolelle
	Keski-laiva	1,2 m	2,0 m
	Perä		1,6 m
IA, IB ja IC	Keula		1,6 m
	Keski-laiva	1,0 m	1,3 m
	Perä		1,0 m

Jos vaaditaan ylempi keulavyöhyke (katso kohta 4.3.1), on kaarten jäävahvistuksen ulotuttava vähintään vyöhykkeen yläreunaan.

Jos jäävahvistus ulottuu kannen, tankin ylä- tai alapinnan laidoituksen tai kaksoispohjan kannen yli enintään 250 mm, voi jäävahvistus päättyä kanteen, tankin ylä- tai alapinnan laidoitukseen tai kaksoispohjan kanteen.

4.4.2 Poikittaiskaaret

4.4.2.1 Taivutusvastus ja leikkauspinta-ala

Poikittaisen pää- ja välikaaren taivutusvastus on laskettava seuraavalla kaavalla:

$$Z = \frac{pshl}{m_t \sigma_y} 10^6 \text{ [cm}^3\text{]}, \quad (4.7)$$

ja tehollinen leikkauspinta-ala lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$A = \frac{\sqrt{3}f_3 p h s}{2\sigma_y} 10^4 \text{ [cm}^2\text{]}, \quad (4.8)$$

joissa

p on jääpaine kuten kohdassa 4.2.2 [MPa]

s on kaariväli [m]

h on kuormitusalueen korkeus kuten kohdassa 4.2.1 [m]

l on kaaren jänneväli [m]

$$m_t = \frac{7m_o}{7-5h/l'}$$

f_3 on tekijä, joka huomioi suurimman leikkausvoiman kuorman sijainnin suhteen ja leikkauskuorman jakautuman; $f_3 = 1,2$

σ_y on myötöraja kuten kohdassa 4.3.2 [N/mm²]

m_o huomioi reunaehdot. Kertoimen m_o arvot on annettu taulukossa 4-7.

Taulukko 4-7: Kertoimen m_o arvot eri reunaehdoille

Reunaehto	m_o	Esimerkki
	7	Kaaret irtolastialuksessa, jossa on yläsiipitankit
	6	Kaaret, jotka ulottuvat yksikantisessa aluksessa kaksoispohjan kannesta pääkanteen
	5,7	Useiden kansien tai jäykkääjien välissä olevat jatkuvat kaaret
	5	Ainoastaan kahden kannen välissä olevat kaaret

Reunaehdot koskevat pääkaaria ja välikaaria. Kuormitus on kaaren jännevälin keskellä.

Kun alle 15 % kaaren jännevälistä, l , on sijoittunut kohdassa 4.4.1 määritellyn jäävahvistusalueen sisälle, voidaan käyttää normaalia kaaren ainevahvuutta.

4.4.2.2 Poikittaiskaarituksen yläpää

Pää- ja välijääkaaren vahvistettu yläpää on liitettävä kanteen, tankin ylä- tai alapinnan laidoitukseen tai jääjäykkääjään (kohta 4.5).

Jos kaari päättyy jäävyöhykkeen ylärajalla (kohta 4.3.1) tai sen yläpuolella sijaitsevan kannen tai jäykkääjän yläpuolelle, voidaan kaaren kannen tai jäykkääjän ylimenevässä osassa soveltaa luokituslaitoksen jäävahvistamattomalle alukselle asettamia mitoitusvaatimuksia ja välikaaren yläpää voidaan yhdistää viereisiin pääkaariin vaakasuuntaisella vahvisteella, jonka mitoitus on sama kuin pääkaaren.

4.4.2.3 Poikittaiskaarituksen alapää

Pää- ja välijääkaaren vahvistettu alapää on liitettävä kanteen, tankin ylä- tai alapinnan laidoitukseen, kaksoispohjan kanteen tai jääjäykkääjään (kohta 4.5).

Jos välikaari päättyy jäävyöhykkeen alarajalla (kohta 4.3.1) tai sen alapuolella sijaitsevan kannen, tankin ylä- tai alapinnan laidoituksen, kaksoispohjan kannen tai jääjäykkääjän alapuolelle, voidaan alapää yhdistää viereisiin pääkaariin vaakasuuntaisella vahvisteella, jonka mitoitus on sama kuin pääkaaren. Jäävyöhykkeen alareunan alapuolella olevien pääkaarien on oltava jäävahvistetut, katso kohta 4.4.1.

4.4.3 Pitkittäiskaaret

Seuraavat vaatimukset koskevat pitkittäiskaaria reunaehdoista riippumatta.

Pitkittäiskaaren taivutusvastus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$Z = \frac{f_4 p h l^2}{m \sigma_y} 10^6 [\text{cm}^3]. \quad (4.9)$$

Pitkittäiskaaren tehollinen leikkauspinta-ala on:

$$A = \frac{\sqrt{3} f_4 f_5 p h l}{2 \sigma_y} 10^4 [\text{cm}^2]. \quad (4.10)$$

Laskettaessa kaarien varsinaista leikkauspinta-alaa polvioiden poikkipinta-alaa ei tule ottaa lukuun.

Yllä olevissa kaavoissa:

f_4 on tekijä, joka huomioi viereisillä kaarilla olevan kuormituksen jakauman:

$$f_4 = (1 - 0,2 h/s)$$

f_5 on tekijä, joka huomioi suurimman leikkausvoiman kuorman sijainnin suhteen ja leikkauskuorman jakautuman:

$$f_5 = 2,16$$

p on jääpaine kuten kohdassa 4.2.2 [MPa]

h on kuormitusalueen korkeus kuten kohdassa 4.2.1 [m]

s on kaariväli [m]

l on kaaren kokonaisjänneväli [m]

m on reunaehtotekijä ja $m = 13,3$ polvioilla vahvistetulle jatkuvalla palkille. Kun reunaehdot poikkeavat merkittävästi polvioilla vahvistetun jatkuvan palkin reunaehdoista, esimerkiksi palkin päässä, voi olla tarpeen käyttää pienempää reunaehtotekijän arvoa.

σ_y on myötöraja kuten kohdassa 4.3.2 [N/mm²].

4.4.4 Yleistä kaarituksesta

4.4.4.1 Kaarten liittäminen kantaviin rakenteisiin

Jäävahvistetulla alueella kaikkien kaarten on oltava efektiivisesti kiinnitettynä kaikkiin kantaviin rakenteisiin. Pitkittäiskaaren on oltava kiinnitettynä kaikkiin kantaviin kehyskaariin ja laipioihin polvioilla. Jos poikittaiskaari päättyy jäykkääjään tai kanteen, on kaari liitettävä rakenteisiin polvioin tai vastaavin rakentein. Jos kaari läpäisee kantavan rakenteen, on kaaren uuma-levy yhdistettävä rakenteeseen molemmin puolin joko suoraan hitsaamalla, kauluslevyllä tai tukikappaleella. Asennettavalla polviolla on oltava vähintään sama ainevahvuus kuin kaarella ja polvion reuna on jäykistettävä asianmukaisesti lommahduksen estämiseksi.

4.4.4.2 Kaarten tuenta epävakauden ja erityisesti kaatumisen varalta

Kaaret on kiinnitettävä laidoitukseen jatkuvalla kaksipuolisella hitsillä. Lovistusta ei sallita muualla kuin laidoituksen hitsisaumojen kohdalla.

Kaaren uuman paksuuden on oltava vähintään suurin arvo seuraavasta:

- $\frac{h_w \sqrt{\sigma_y}}{C}$, h_w on uuman korkeus ja $C = 805$ muotojäykisteille ja $C = 282$ lattajäykisteille;
- puolet levyn paksuudesta ilman korroosiolisää, $t - t_c$. Kaarten uuman vähimmäispaksuuden laskentaa varten on tarvittava levyn paksuus laskettava kohdan 4.3.2 mukaisesti käyttäen kaarten myötörajaa σ_y ;
- 9 mm.

Kun kaaren paikalla on kansi, tankin ylä- tai alapinnan laidoitus, kaksoispohjan kansi tai laipio, on sen levyn paksuuden oltava yllä esitetyn mukainen viereisten kaarien korkeudelle asti. Tällöin laskelmissa on käytettävä kannen, tankin ylä- tai alapinnan laidoituksen, kaksoispohjan kannen tai laipion materiaalien ominaisuuksia ja viereisten kaarien korkeutta h_w , ja vakion C on oltava 805.

Epäsymmetriset kaaret ja kaaret, jotka eivät ole kohtisuorassa levyä vastaan (kaaren uuma vähemmän kuin 90 astetta levyä vastaan), on tuettava kaatumista vastaan polvioilla, välijäykkäjäillä, jäykkääjillä tai vastaavilla tuilla, joiden välinen etäisyys on korkeintaan 1 300 mm. Kaarissa, joiden jänneväli on suurempi kuin 4 m, kaatumista ehkäisevät tuet on lisättävä kaikille alueille kaikissa jääluokissa. Kaarissa, joiden jänneväli on enintään 4 m, kaatumista ehkäisevät tuet on lisättävä kaikille alueille jääluokassa IA Super, keulan ja keskilaivan alueelle jääluokassa IA ja keulan alueelle jääluokissa IB ja IC. Suoria laskentatapoja voidaan soveltaa osoittamaan vaihtoehtoisilla järjestelyillä aikaansaatuja vastaavaa tukea.

4.5 Jääjäykkäajat

4.5.1 Jäykkäajat jäävyöhykkeessä

Jäävyöhykkeessä olevan jäykkäajan taivutusvastus (katso kohta 4.3.1) lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$Z = \frac{f_6 f_7 p h l^2}{m \sigma_y} 10^6 \text{ [cm}^3\text{]}, \quad (4.11)$$

ja tehollinen leikkauspinta-ala on:

$$A = \frac{\sqrt{3} f_6 f_7 f_8 p h l}{2 \sigma_y} 10^4 \text{ [cm}^2\text{]}, \quad (4.12)$$

joissa

p on jääpaine kuten kohdassa 4.2.2 [MPa]

h on kuormitusalueen korkeus kuten kohdassa 4.2.1 [m]

Jos tulo $p \cdot h$ on pienempi kuin 0,15, käytetään arvoa 0,15 [MN/m].

l on jäykkäajan jänneväli [m]

m on reunaehtotekijä kuten kohdassa 4.4.3

f_6 on tekijä, joka huomioi kuormituksen jakautumisen poikittaisille kaarille; $f_6 = 0,9$

f_7 on jäykkäajien lujuuden varmuuskerroin; $f_7 = 1,8$

f_8 on tekijä, joka huomioi suurimman leikkausvoiman kuorman sijainnin suhteen ja leikkauskuorman jakautuman; $f_8 = 1,2$

σ_y on materiaalin myötöraja kuten kohdassa 4.3.2.

4.5.2 Jäävyöhykkeen ulkopuolella olevat jäykkäajat

Jäykkäajan, joka on jäävyöhykkeen ulkopuolella mutta joka tukee jäävahvistettuja kaaria, taivutusvastus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$Z = \frac{f_9 f_{10} p h l^2}{m \sigma_y} (1 - h_s / l_s) 10^6 \text{ [cm}^3\text{]}, \quad (4.13)$$

ja tehollinen leikkauspinta-ala on:

$$A = \frac{\sqrt{3} f_9 f_{10} f_{11} p h l}{2 \sigma_y} (1 - h_s / l_s) 10^4 \text{ [cm}^2\text{]}, \quad (4.14)$$

joissa

p on jääpaine kuten kohdassa 4.2.2 [MPa]

h on kuormitusalueen korkeus kuten kohdassa 4.2.1 [m]

Jos tulo $p \cdot h$ on pienempi kuin 0,15, käytetään arvoa 0,15 [MN/m].

l on jäykkäajan jänneväli [m]

m on reunaehtotekijä kuten kohdassa 4.4.3

l_s on etäisyys viereiseen jääjäykkääjään [m]

h_s on etäisyys jäävyöhykkeeseen [m]

f_9 on tekijä, joka huomioi kuormituksen jakautumisen poikittaisille kaarille; $f_9 = 0,80$

f_{10} on jäykkääjien lujuuden varmuuskerroin; $f_{10} = 1,8$

f_{11} on tekijä, joka huomioi suurimman leikkausvoiman kuorman sijainnin suhteen ja leikkauskuorman jakautuman; $f_{11} = 1,2$

σ_y on materiaalin myötöraja kuten kohdassa 4.3.2.

4.5.3 Kansikaistaleet

Luukkujen vieressä olevien kapeiden, jääjäykkääjinä toimivien kansikaistaleiden taivutusvastuksen ja leikkauspinta-alan on täytettävä kohtien 4.5.1 ja 4.5.2 vaatimukset. Jos kyseessä olevat luukut ovat erittäin pitkät, luokituslaitos voi sallia tulon $p \cdot h$ arvoksi alle 0,15 muttei missään tapauksessa alle 0,10.

Suunniteltaessa sääkannen luukkuja ja niiden kiinnikkeitä erittäin pitkiin luukun aukkoihin (suurempiin kuin $B/2$) on huomioitava aluksen kylkien taipuminen, joka johtuu jääpaineesta.

4.6 Kehyskaaret

4.6.1 Jääkuormitus

Jääkuormitus, joka siirtyy pitkittäiskaarista tai jääjäykkääjistä kehyskaareen, lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$F = f_{12} p h S \text{ [MN]}, \quad (4.15)$$

jossa

p on jääpaine kuten kohdassa 4.2.2 [MPa], laskettaessa arvoa c_a on l_a kuitenkin $2S$.

h on kuormitusalueen korkeus kuten kohdassa 4.2.1 [m]

Jos tulo $p \cdot h$ on pienempi kuin 0,15, käytetään arvoa 0,15 [MN/m].

S on kehyskaarten välinen etäisyys [m]

f_{12} on kehyskaarten lujuuden varmuuskerroin; $f_{12} = 1,8$.

Jos tuettu jäykkääjä on jäävyöhykkeen ulkopuolella, kerrotaan voima F luvulla $(1-h_s/l_s)$, jolloin h_s ja l_s ovat kuten ne on määritetty kohdassa 4.5.2.

4.6.2 Taivutusvastus ja leikkauspinta-ala

Kehyskaarten taivutusvastus ja leikkauspinta-ala lasketaan seuraavilla kaavoilla:

Tehollinen leikkauspinta-ala:

$$A = \frac{\sqrt{3}\alpha f_{13}Q}{\sigma_y} 10^4 \text{ [cm}^2\text{]}, \quad (4.16)$$

jossa

Q on suurin arvioitu leikkausvoima, joka aiheutuu kohdan 4.6.1 mukaan määritellystä jääkuormituksesta F

f_{13} on tekijä, joka huomioi leikkausvoiman jakautumisen; $f_{13} = 1,1$

α on annettu taulukossa 4-8

σ_y on materiaalien myötöraja kuten kohdassa 4.3.2.

Taivutusvastus:

$$Z = \frac{M}{\sigma_y} \sqrt{\frac{1}{1-(\gamma A/A_a)^2}} 10^6 \text{ [cm}^3\text{]}, \quad (4.17)$$

jossa

M on suurin arvioitu taivutusmomentti, joka aiheutuu jääkuormituksesta F ; $M = 0,193Fl$

γ on annettu taulukossa 4-8

A on vaadittu leikkauspinta-ala

A_a on todellinen kehyskaaren poikkipinta-ala; $A_a = A_f + A_w$

Taulukko 4-8: Tekijöiden α ja γ arvot

A_f/A_w	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
α	1,5	1,23	1,16	1,11	1,09	1,07	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04
γ	0	0,44	0,62	0,71	0,76	0,80	0,83	0,85	0,87	0,88	0,89

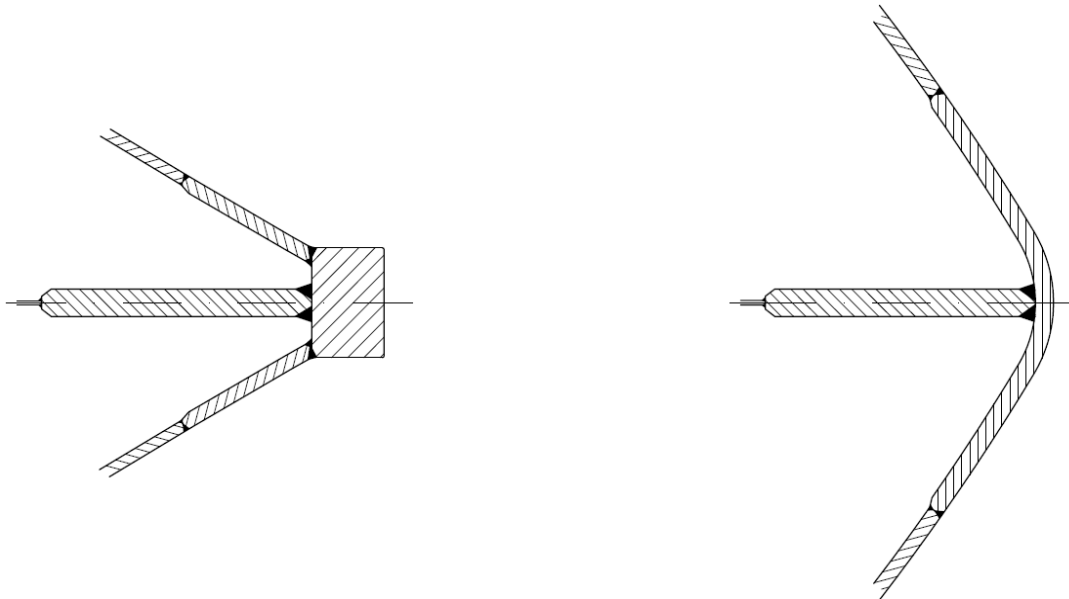
jossa

A_f on laipan todellinen poikkipinta-ala

A_w on uumalevyn todellinen tehollinen poikkipinta-ala.

4.7 Keula

Keularanka valmistetaan valssatusta, valetusta tai taotusta teräksestä tai taivutetuista teräslävyistä kuvan 4-4 mukaisesti.



Kuva 4-4. Esimerkkejä asianmukaisista keuloista

Levyn paksuus, jos keularanka on tehty taivutetusta levystä tai jos keula on tylppä tai jos $\alpha \geq 30^\circ$ ja $\psi \geq 75^\circ$ (katso kohdan 3.2.1 kulmien määritelmät), on laskettava kaavalla 4.5, olettaen, että:

s on levyn tukirakenteiden etäisyys [m]

$\rho_{PL} = \rho$ [MPa] (katso kohta 4.3.2)

l_a on pystysuorien tukirakenteiden etäisyys [m].

Keularanka sekä edellä kuvattu tylpän keulan osa on tuettava pohjatukeilla tai polvioilla, jotka ovat korkeintaan 0,6 metrin päässä toisistaan ja joiden paksuus on vähintään puolet levyn paksuudesta. Keularangan vahvistuksen on ulotuttava kölistä kohtaan, joka on 0,75 metriä UIWL:n yläpuolella, tai – jos aluksessa on oltava ylempi keulavyöhyke (katso kohta 4.3.1) – tämän vyöhykkeen ylärajaan asti.

4.8 Perä

Uusien propulsiojärjestelmien käyttöönotto ruoripotkurilaitteineen, jotka mahdollistavat paremman ohjailtavuuden, johtaa kasvaviin jääkuormituksiin aluksen takaosassa ja peräpäässä. Tämä seikka on huomioitava takaosan ja perän rakenteiden suunnittelussa.

Potkurin lapojen kärkien erittäin suurien kuormitusten välttämiseksi potkurin/potkurien ja rungon (peräranka mukaan lukien) välitys ei saa olla pienempi kuin h_0 (katso kohta 4.2.1).

Aluksissa, joissa on kaksi tai kolme potkuria, laidoituksen ja kaartien jäävahvistuksen on ulotuttava kaksoispohjan kanteen 1,5 metriä sivupotkureiden perä- ja keulapuolella.

Sivupotkureiden akselijohdot ja akselihylsät on normaalisti sijoitettava akseliulokkeiden sisään. Jos erillisiä akselitukia käytetään, niiden lujuus ja kiinnitys runkoon on suunniteltava sellaisiksi, että riittävä lujuus saavutetaan.

5 PERÄSIN JA OHJAUSLAITTEET

Peräsinranka, peräsintukki, tapit, peräsinkone sekä ohjausjärjestelmän muut osat, kuten myös peräsinkoneen teho, on mitoitettava luokituslaitoksen sääntöjen mukaan. Näissä laskelmissa käytettävä aluksen suurin matkanopeus ei kuitenkaan saa olla alla olevaa lukua pienempi:

IA Super	20 solmua
IA	18 solmua
IB	16 solmua
IC	14 solmua

Jos aluksen todellinen suurin matkanopeus on suurempi, käytetään kyseistä nopeutta.

Peräsिमien rakenteiden mitoitus on määritettävä olettaen, että koko peräsin kuuluu jäävyöhykkeeseen. Lisäksi peräsimen levyn paksuus ja kaarten mitoitus on suunniteltava käyttämällä keskilaiva-alueen laidoituksen ja kaarten suunnittelujääpainetta p .

Jääluokan IA Super ja IA aluksissa peräsin (peräsintukki ja peräsimen yläreuna) on suojattava suoralta kosketukselta ehjään jääkenttään jääkynnellä, joka mahdollisuuksien mukaan ulottuu LIWL-rajan alapuolelle (tai vastaavalla tavalla). Erylistä huomiota on kiinnitettävä peräsimen ja jääkynnen suunnitteluun aluksissa, joissa on taittuva peräsimen takareuna (flap-type rudder).

Jääluokan IA ja IA Super aluksissa on erityistä huomiota kiinnitettävä suuriin kuormituksiin, jotka syntyvät, kun peräsintä poikkeutetaan keskiasennosta aluksen samalla peruuttaessa jäähän tai jäävalliin. Kyseisten kuormitusten rajoittamiseksi on asennettava soveltuvat järjestelmät, kuten peräsinkulman rajoittimet.

Peräsिमien kääntökoneistojen hydraulikkajärjestelmiin on asennettava paineenalennusventtiilit. Peräsinkoneiston osat (esimerkiksi peräsintukki, peräsinlaakeri, peräsimen varsi jne.) on mitoitettava kestämaan kuormia, jotka aiheuttavat peräsintukin vaaditussa halkaisijassa myötörajan suuruisia jännityksiä.

6 PROPULSIOKONEISTO

6.1 Soveltamisala

Nämä määräykset koskevat propulsiokoneistoja jääluokkien IA Super, IA, IB ja IC aluksissa. Määräykset koskevat avo- ja suulakepotkureita, joissa on säädettävänousuiset tai kiinteät lavat. Annetut potkurikuormitukset ovat arvioituja koko käyttöiän aikaisia jääkuormituksia, jotka syntyvät käytettäessä alusta normaaleissa käyttöolosuhteissa, mukaan lukien kiinteäsiipisten potkurien pyörimissuunnan vaihtamisesta johtuvat kuormitukset. Näiden määräysten kuormitusten piiriin eivät kuitenkaan kuulu hyvän merimiestävän vastaiset käyttötilanteet, kuten esimerkiksi pysäytetyn potkurin ajaminen väkisin jään läpi. Määräysten kuormitustapaukset eivät kuitenkaan koske tilanteita, joissa jää kohtaa käännetyn ruoripotkurilaitteen potkurin sivusuunnasta (potkurin säteen suunnasta).

Määräykset koskevat myös pääkuljetuskoneistoina toimivia ruoripotkurilaitteita ja kiinteitä potkurilaitteita. Niissä huomioidaan potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuvat kuormitukset sekä potkurilaitteen rungon ja jään vuorovaikutuksesta johtuvat kuormitukset. Annetut ruoripotkurilaitteen runkoa koskevat kuormitukset ovat arvioituja aluksen koko käyttöiän aikaisia

jääkuormituksia, jotka syntyvät käytettäessä alusta normaaleissa käyttöolosuhteissa. Potkurilaitteen rungon paikallisen lujuuden on oltava riittävä kestäämään paikallinen jääpaine, kun potkurilaitteen runko on suunniteltu kestäämään äärimmäisiä kuormia.

Potkurilaitteen värinä, joka aiheutuu potkuriin kohdistuvasta lapataajuisesta herätteestä, voi aiheuttaa merkittäviä värähtelykuormituksia.

6.2 Määritelmät

c	m	lavan sylinterileikkauksen profiilin jänneviivan pituus
$c_{0.7}$	m	lavan sylinterileikkauksen profiilin jänneviivan pituus potkurin 0,7R-säteellä
CP		säädettävä nousu
D	m	potkurin halkaisija
d	m	potkurin navan ulkohalkaisija (potkuritasossa)
D_{limit}	m	potkurin halkaisijan raja-arvo
EAR		levitetty pinta-alasuhde
F_b	kN	suurin lapaa taaksepäin taivuttava kuorma aluksen käyttöiän aikana
F_{ex}	kN	äärikuorma, jolla lapa taipuu juuren ympäri plastisesti
F_f	kN	suurin lapaa eteenpäin taivuttava kuorma aluksen käyttöiän aikana
F_{ice}	kN	jääkuorma
$(F_{ice})_{max}$	kN	maksimijääkuorma aluksen käyttöiän aikana
FP		kiinteä nousu
h_0	m	potkurin keskilinjan syvyys alemmasta jäävesiviivasta laskien
H_{ice}	m	potkuriin joutuvan mitoitusjäähokareen paksuus
H_{iced}	m	potkurilaitteeseen osuvan mitoitusjäähokareen paksuus (2/3 arvosta H_{ice})
I_e	kgm ²	akselilinjan kaikkien moottorin puolella olevien osien massahitausmomentti
I_t	kgm ²	koko propulsiojärjestelmän massahitausmomentti
k		Weibull-jakauman muotokerroin
LIWL	m	alempi jäävesiviiva
m		SN-käyrän kaltevuus log-log-asteikolla
M_{BL}	kNm	lavan taivutusmomentti
MCR		jatkuvan käytön enimmäisteho
n	rev./s	potkurin pyörimisnopeus
n_n	rev./s	potkurin nimellipyörimisnopeus jatkuvalla enimmäisteholla (MCR) avovedessä
N_{class}		jääluokkakohtainen kuormien lukumäärä potkurin nimellipyörimisnopeudella

N_{ice}		potkurin lavan jääkuormien kokonaislukumäärä aluksen käyttöiän aikana
N_R		ekvivalenttia väsymisjännitystä vastaava kuormitus syklien lukumäärä (10^8 sykliä)
N_Q		potkurin kierrosten lukumäärä jään jysintätilanteen aikana
$P_{0,7}$	m	potkurin nousu $0,7R$ -säteellä
$P_{0,7n}$	m	potkurin nousu $0,7R$ -säteellä jatkuvalla enimmäisteholla (MCR) avovedessä
$P_{0,7b}$	m	potkurin nousu $0,7R$ -säteellä jatkuvalla enimmäisteholla paaluvetotilanteessa
Q	kNm	vääntömomentti
Q_{emax}	kNm	moottorin enimmäisvääntömomentti
Q_{max}	kNm	potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuva potkuriin kohdistuva enimmäisvääntömomentti
Q_{max}^n	kNm	potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuva potkuriin kohdistuva enimmäisvääntömomentti alennettuna kyseessä olevaan pyörimisnopeuteen
Q_{motor}	kNm	sähkömoottorin enimmäisvääntömomentti
Q_n	kNm	nimellisvääntömomentti jatkuvalla enimmäisteholla (MCR) avovedessä
Q_r	kNm	vääntömomenttivaste akselilinjassa
Q_{peak}	kNm	vääntömomenttivaste Q_r :n maksimiarvo
Q_{smax}	kNm	lavan suurin kääntömomentti aluksen käyttöiän aikana
Q_{sex}	kNm	lavan suurin kääntömomentti lavan plastisen taipuman takia
Q_{vib}	kNm	Kyseessä olevan komponentin vääntöväärähtelymomentti, joka on otettu taajuustason avovesitilanteiden vääntöväärähtelylaskelmasta (TVC)
R	m	potkurin säde
r	m	potkurin sylinterileikkauksen säde
T	kN	potkurin työntö
T_b	kN	suurin aksiaalinen jääkuorma taaksepäin potkurissa aluksen käyttöiän aikana
T_f	kN	suurin aksiaalinen jääkuorma eteenpäin potkurissa aluksen käyttöiän aikana
T_n	kN	potkurin työntö jatkuvalla enimmäisteholla (MCR) avovedessä
T_r	kN	suurin jäiden aiheuttama aksiaaliväärähtelyvaste akselilinjassa
t	m	lavan sylinterileikkauksen enimmäispaksuus
Z		potkurin lapojen lukumäärä
a_i	aste	potkurin lavan ja jään vuorovaikutuksen kesto asteina

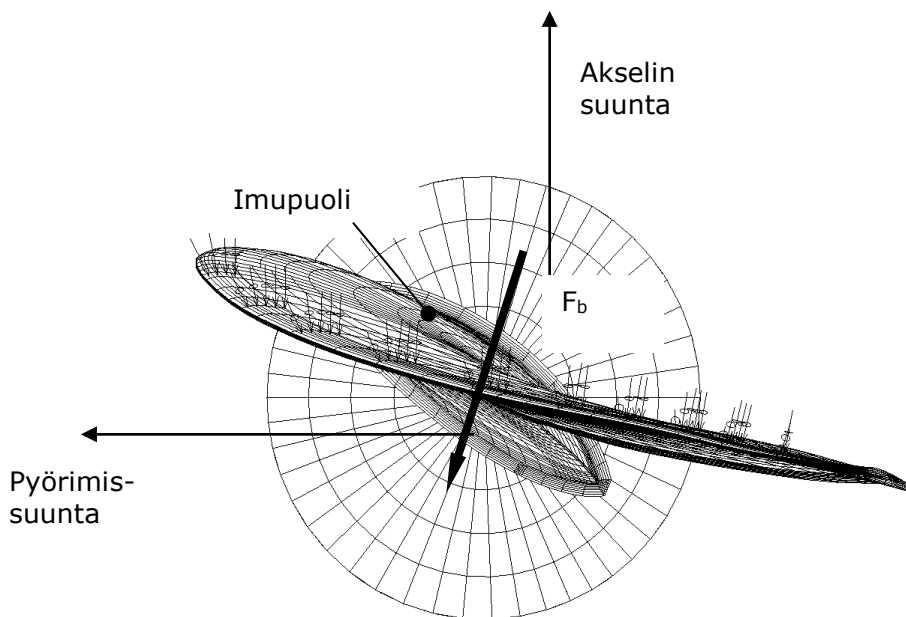
a_1	aste	potkurin jäämomentin vaihekulma lapataajuiselle heräteosalle
a_2	aste	potkurin jäämomentin vaihekulma kaksinkertaiselle lapataajuiselle heräteosalle
$\gamma_{\epsilon 1}$		väsymislajuuden muuntokerroin; hajonnan vaikutus
$\gamma_{\epsilon 2}$		väsymislajuuden muuntokerroin; koekappaleen koon vaikutus
γ_v		väsymislajuuden muuntokerroin; muuttuva amplitudisen kuormitus-kertymän vaikutus
γ_m		väsymislajuuden muuntokerroin; keskijännityksen vaikutus
ρ		väsymisjännityksen muuntokerroin ekvivalentin väsymisjännityksen laskemiseksi vastaten 10^8 kuormitussykliä
$\sigma_{0,2}$	MPa	lapamateriaalin myötölujuus (0,2 %:n venymäraja)
σ_{exp}	MPa	lapamateriaalin keskimääräinen väsymislajuus merivedessä vastaten 10^8 kuormitussykliä
σ_{fat}	MPa	ekvivalentti jännitysamplitudi vastaten 10^8 kuormitussykliä
σ_{fl}	MPa	lapamateriaalin väsymislajuus
σ_{ref1}	MPa	referenssilujuus $\sigma_{ref1} = 0,6\sigma_{0,2} + 0,4\sigma_u$
σ_{ref2}	MPa	referenssilujuus, pienempi arvoista $\sigma_{ref2} = 0,7\sigma_u$ tai $\sigma_{ref2} = 0,6\sigma_{0,2} + 0,4\sigma_u$
σ_{st}	MPa	F_f :stä tai F_b :stä johtuva enimmäisjännitys
σ_u	MPa	lapamateriaalin murtolujuus
$(\sigma_{ice})_{bmax}$	MPa	suurimman taaksepäin vaikuttavan lapakuorman aiheuttama pääjännitys
$(\sigma_{ice})_{fmax}$	MPa	suurimman eteenpäin vaikuttavan lapakuorman aiheuttama pääjännitys
$(\sigma_{ice})_{max}$	MPa	suurin jännitysamplitudi

Taulukko 6-1: Kuormitusten määritelmät

	Määritelmä	Kuormituksen käyttö suunnittelu- vaiheessa
F_b	Potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuva potkurin lapaan kohdistuva taaksepäin taivuttava enimmäisvoima aluksen käyttöään aikana mukaan lukien lapaan kohdistuvat hydrodynaamiset kuormitukset. Voiman suunta on kohtisuora 0,7R-profiilin jänneviivaan nähden. Katso kuva 6-1.	Mitoitusvoima potkurin lavan lujuuslaskelmia varten.
F_f	Potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuva potkurin lapaan kohdistuva eteenpäin taivuttava enimmäisvoima aluksen käyttöään aikana mukaan lukien lapaan kohdistuvat hydrodynaamiset kuormitukset. Voiman suunta on kohtisuora 0,7R-profiilin jänneviivaan nähden.	Mitoitusvoima potkurin lavan lujuuslaskelmia varten.
Q_{smax}	Potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuva potkurin lapaan kohdistuva suurin kääntömomentti käyttöään aikana mukaan lukien lapaan kohdistuvat hydrodynaamiset kuormitukset.	Potkurin lujuuden suunnittelussa otetaan automaattisesti huomioon kääntömomentti, koska potkurin kuormitus vaikuttaa lapaan jakautuneena kuormituksena johtoreunan tai kärjen alueelle.
T_b	Potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuva potkuriin kohdistuva enimmäistyöntövoima käyttöään aikana (kaikkien lapojen resultanttivoima). Voiman suunta on potkurin akselin suunta ja voima on vastakkainen hydrodynaamiselle työnnölle.	Käytetään enimmäisaksiaalivoiman T_f arviointiin. T_b :tä voidaan käyttää herätteenä aksiaalivärähtelylaskelmissa. Määräyksissä ei kuitenkaan vaadita aksiaalivärähtelylaskelmia.
T_f	Potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuva potkuriin kohdistuva enimmäistyöntövoima käyttöään aikana (kaikkien lapojen resultanttivoima). Työntövoiman suunta on potkuriakselin suunta ja se vaikuttaa hydrodynaamisen työnnön suuntaan.	Käytetään enimmäisaksiaalivoiman T_f arviointiin. T_f :ää voidaan käyttää herätteenä aksiaalivärähtelylaskelmissa. Määräyksissä ei kuitenkaan vaadita aksiaalivärähtelylaskelmia.
Q_{max}	Yhden potkurin lavan ja jään vuorovaikutuksesta syntyvä potkurin suurin jäämomentti mukaan lukien lapaan kohdistuvat hydrodynaamiset kuormitukset.	Käytetään propulsiokoneiston akselilinjan vääntömomentin Q_f arviointiin sekä herätteenä vääntövärähtelylaskelmille.

Taulukko 6-1 jatkuu

F_{ex}	Kuorma, jolla potkurin lapa taipuu plastisesti. Lavan täydelliseen murtumiseen tarvittava voima siten, että juurialueelle syntyy plastinen nivel. Voiman vaikutuspiste on säteellä $0,8R$ sekä tangentialisuunnassa $2/3$ lavan kääntöakselin ja etu-/takareunan välisestä etäisyydestä (riippuen siitä, kumpi on suurempi).	Lavan taittumiskuormaa käytetään lavan pulttien, CP-mekanismin, potkuriakselin, potkuriakselin laakerin ja painelaakerin mitoittamiseen. Tavoitteena on varmistaa, että potkurin lavan taittuminen ei aiheuta vahinkoa muille komponenteille.
Q_r	Potkurin akselilinjan enimmäisvääntömomenttivaste sisältäen potkuriherätteen aiheuttaman dynaamisen vasteen sekä keskimääräisen hydrodynaamisen vääntömomentin.	Potkurin akselilinjan komponenttien enimmäismitoitusmomentti.
T_r	Suurin aksiaalikuorma sisältäen keskimääräisen hydrodynaamisen työnnon sekä potkurivoimien aiheuttaman aksiaalivärähtelyvasteen.	Potkurin akselilinjan komponenttien mitoitusaksiaalivoima.
F_{ti}	Enimmäisvastevoima, jonka jäälohkare aiheuttaa osuessaan potkurilaitteen runkoon tai potkurin napaan.	Potkurilaitteen rungon ja kääntölaakerien mitoituskuorma.
F_{tr}	Potkurilaitteen rungon ja jäävallin vuorovaiikutuksesta johtuva enimmäisvastevoima potkurilaitteen runkoon.	Potkurilaitteen rungon ja kääntölaakerien mitoituskuorma.



Kuva 6-1. Taaksepäin vaikuttavan lapavoiman suunta on kohtisuorassa profiilin jänneviivaan nähden säteellä $0,7R$. Jääpaine johtoreunassa on esitetty pienillä nuolilla.

6.3 Mitoitusjäöolosuhteet

Potkurin jääkuormitusten arvioinnissa jääluokkia varten on huomioitu alusten käyttötapa taulukon 6-2 mukaisesti. Mitoitusjääkuormitusten laskemista varten on määritettävä jäälohkareen suurin koko. Potkuriin joutuva mitoitusjäählohkare on suorakulmainen jäälohkare, jonka mitat ovat $H_{ice} \cdot 2H_{ice} \cdot 3H_{ice}$. Jäälohkareen paksuus (H_{ice}) on annettu taulukossa 6-3.

Taulukko 6-2: Käyttötavat eri jääluokissa

Jääluokka	Aluksen käyttötapa
IA Super	Toiminta jääuomissa ja tasaisessa jäässä Alus voi edetä myös syöksyen (ramming).
IA, IB, IC	Toiminta jääuomissa

Taulukko 6-3: Mitoitusjäählohkareen paksuus

	IA Super	IA	IB	IC
Potkuriin joutuvan mitoitusjäählohkareen paksuus (H_{ice})	1,75 m	1,5 m	1,2 m	1,0 m

6.4 Materiaalit

6.4.1 Merivedelle altistuvat materiaalit

Merivedelle altistuvien osien, kuten potkurin lapojen, potkurin napojen ja ruoripotkurilaitteen rungon, materiaalin on oltava tarkastettu koekappaleen avulla, jonka testiosan pituus on vähintään viisi kertaa sen läpimitta. Murtovenymän on oltava vähintään 15 %. Charpy V -iskukoe on tehtävä muille materiaaleille kuin pronssille ja austeniittiselle teräkselle. Kolmen kokeen keskimääräisen iskuenergian -10 °C :een lämpötilassa on oltava vähintään 20 J. Kun kyseessä on pallografiittivalurauta, keskimääräisen iskuenergian -10 °C :een lämpötilassa on oltava vastaavasti vähintään 10 J.

6.4.2 Meriveden lämpötilalle altistuvat materiaalit

Meriveden lämpötilalle altistuvien materiaalien on oltava terästä tai jotakin muuta sitkeää materiaalia. Kolmen kokeen keskimääräisen iskuenergian -10 °C :een lämpötilassa on oltava vähintään 20 J. Tämä vaatimus koskee potkuriakseleita, lavan pultteja, CP-mekanismeja, akselin pultteja, potkurilaitteen navan ja varren kiinnityspultteja jne. Tämä vaatimus ei koske pintakarkaistuja komponentteja, kuten laakereita ja hammaspyöriä. Ferriittirakennetyypin pallografiittivalurautaa voidaan käyttää asiaankuuluvissa osissa pultteja lukuun ottamatta. Kun kyseessä on pallografiittivalurauta, keskimääräisen iskuenergian -10 °C :een lämpötilassa on oltava vähintään 10 J.

6.5 Mitoituskuormat

Annetut kuormat on tarkoitettu vain komponenttien lujuuslaskelmia varten, ja ne ovat kokonaiskuormia mukaan lukien jään aiheuttamat ja hydrodynaamiset kuormat potkurin ja jään vuorovaikutuksen aikana. Esitetyt enimmäiskuormat perustuvat huonoimman vaihtoehdon skenaarioon, joka tapahtuu kerran aluksen käyttöiän aikana. Tästä johtuen suurempien kuormitusmäärien kuormitustaso on alhaisempi.

Tämän kohdan kaavoissa on käytettävä parametreille kohdan 6.2 symboliluettelon mukaisia yksiköitä.

Jos potkurin ylin kohta ei ole vähintään h_i syvyydellä veden pinnasta aluksen ollessa painolastissa, propulsiojärjestelmä mitoitetaan jääloukan IA mukaan jääloukissa IB ja IC.

6.5.1 Potkurin lapojen mitoituskuormat

F_b on aluksen käyttöiän aikana syntyvä enimmäislapavoima, joka taivuttaa potkurin lapaa taaksepäin, kun potkuri jyräi jääloukareta pyöriessään eteenpäin. F_f on aluksen käyttöiän aikana syntyvä enimmäislapavoima, joka taivuttaa potkurin lapaa eteenpäin, kun potkuri jyräi jääloukareta pyöriessään eteenpäin. F_b ja F_f syntyvät erilaisista potkurin ja jään vuorovaikutusilmiöistä, eivätkä ne esiinny samanaikaisesti. Siksi niitä pitää soveltaa lapaan erikseen.

6.5.1.1 Avopotkurin lavan suurin voima taaksepäin F_b

$$F_b = 27(nD)^{0.7} \left(\frac{EAR}{Z}\right)^{0.3} D^2 \text{ [kN]}, \text{ kun } D \leq D_{limit}, \quad (6.1)$$

$$F_b = 23(nD)^{0.7} \left(\frac{EAR}{Z}\right)^{0.3} DH_{ice}^{1.4} \text{ [kN]}, \text{ kun } D > D_{limit}, \quad (6.2)$$

joissa

$$D_{limit} = 0,85H_{ice}^{1,4} \text{ [m]}, \quad (6.3)$$

n on nimellinen pyörimisnopeus (jatkuvalle suurimmalla teholla avovedessä), jos kyseessä on säätösiipipotkuri, tai 85 % nimellisestä pyörimisnopeudesta (jatkuvalle suurimmalla teholla avovedessä), jos kyseessä on kiinteäsiipinen potkuri.

6.5.1.2 Avopotkurin lavan suurin voima eteenpäin F_f

$$F_f = 250 \left(\frac{EAR}{Z}\right) D^2 \text{ [kN]}, \text{ kun } D \leq D_{limit}, \quad (6.4)$$

$$F_f = 500 \left(\frac{EAR}{Z}\right) D \frac{1}{1-d/D} H_{ice} \text{ [kN]}, \text{ kun } D > D_{limit}, \quad (6.5)$$

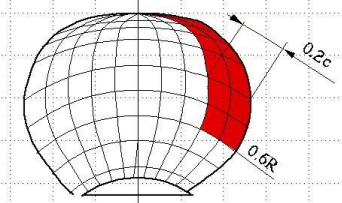
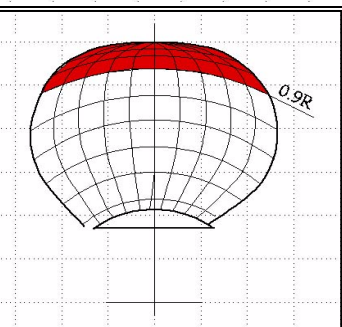
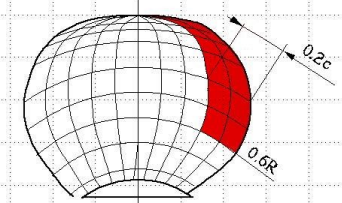
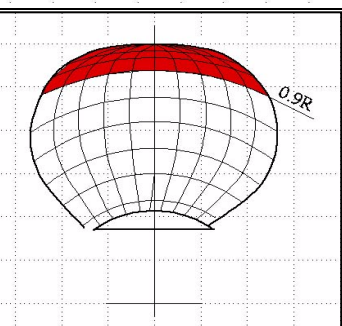
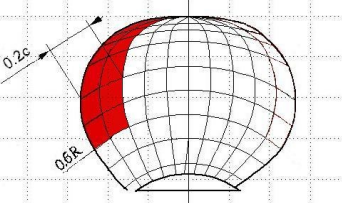
joissa

$$D_{limit} = \frac{2}{1-d/D} H_{ice} \text{ [m]}. \quad (6.6)$$

6.5.1.3 Avopotkurin kuormitustapaukset

Kuormitustapaukset 1–4 on laskettava säätösiipipotkureille ja kiinteäsiipisille potkureille taulukon 6-4 mukaisesti. Laskettaessa taaksepäin pyörivän potkurin lavan jääkuormitusta kiinteäsiipisissä potkureissa on huomioitava myös kuormitustapaus 5.

Taulukko 6-4: Avopotkurien kuormitustapaukset

	Voima	Kuormitettava alue	Oikeakätisen potkurin lapa takaapäin katsottuna
Kuormitustapaus 1	F_b	Vakiopaine kohdistettuna lavan imupuolelle alueelle $0,6R$:stä lavan kärkeen ja johtoreunasta etäisyydelle $0,2c$.	
Kuormitustapaus 2	50 % F_b :stä	Vakiopaine kohdistettuna lavan imupuolelle lavan kärjen alueelle $0,9R$ -säteen ulkopuolelle.	
Kuormitustapaus 3	F_f	Vakiopaine kohdistettuna lavan painepuolelle alueelle $0,6R$:stä lavan kärkeen ja johtoreunasta etäisyydelle $0,2c$.	
Kuormitustapaus 4	50 % F_f :stä	Vakiopaine kohdistettuna lavan painepuolelle lavan kärjen alueelle $0,9R$ -säteen ulkopuolelle.	
Kuormitustapaus 5	60 % F_f :stä tai F_b :stä, riippuen siitä, kumpi on suurempi	Vakiopaine kohdistettuna lavan painepuolelle suunnattuna alueelle $0,6R$:stä kärkeen ja jättöreunasta etäisyydelle $0,2c$.	

6.5.1.4 Suulakepotkurin lavan suurin jäävoima taaksepäin F_b

$$F_b = 9,5(nD)^{0,7} \left(\frac{EAR}{Z}\right)^{0,3} D^2 \text{ [kN]}, \text{ kun } D \leq D_{limit}, \quad (6.7)$$

$$F_b = 66(nD)^{0,7} \left(\frac{EAR}{Z}\right)^{0,3} D^{0,6} H_{ice}^{1,4} \text{ [kN]}, \text{ kun } D > D_{limit}, \quad (6.8)$$

joissa

$$D_{limit} = 4H_{ice} \text{ [m]}$$

n on nimellinen pyörimisnopeus (jatkuvalle suurimmalla teholla avovedessä), jos kyseessä on säätösiipipotkuri, tai 85 % nimellisestä pyörimisnopeudesta (jatkuvalle suurimmalla teholla avovedessä), jos kyseessä on kiinteäsiipinen potkuri.

6.5.1.5 Suulakepotkurin lavan suurin jäävoima eteenpäin F_f

$$F_f = 250 \left(\frac{EAR}{Z}\right) D^2 \text{ [kN]}, \text{ kun } D \leq D_{limit}, \quad (6.9)$$

$$F_f = 500 \left(\frac{EAR}{Z}\right) D \frac{1}{1-d/D} H_{ice} \text{ [kN]}, \text{ kun } D > D_{limit}, \quad (6.10)$$

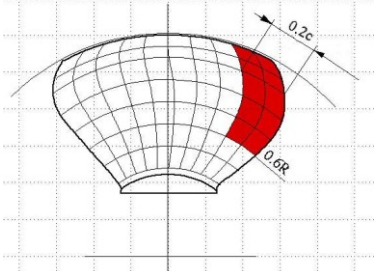
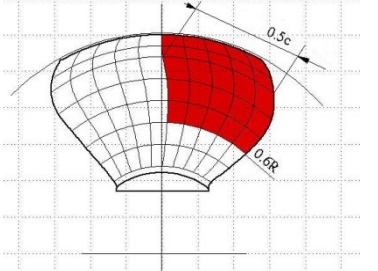
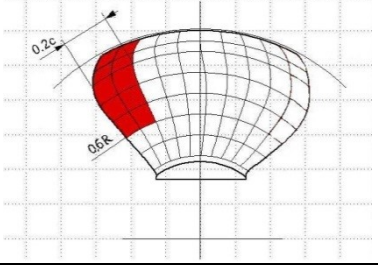
joissa

$$D_{limit} = \frac{2}{1-d/D} H_{ice} \text{ [m]}. \quad (6.11)$$

6.5.1.6 Suulakepotkurien lapojen kuormitustapaukset

Kuormitustapaukset 1 ja 3 on laskettava kaikille potkureille taulukon 6-5 mukaisesti ja kiinteäsiipiselle potkurille on laskettava lisäkuormitustapaus (kuormitustapaus 5), jossa huomioidaan jääkuormat potkurin pyöriessä taaksepäin.

Taulukko 6-5: Suulakepotkurien kuormitustapaukset

	Voima	Kuormitettava alue	Oikeakätisen potkurin lapa takaapäin katsottuna
Kuormitustapaus 1	F_b	Vakiopaine kohdistettuna lavan imupuolelle alueelle $0,6R$:stä lavan kärkeen ja johtoreunasta etäisyydelle $0,2c$.	
Kuormitustapaus 3	F_f	Vakiopaine kohdistettuna lavan painepuolelle alueelle $0,6R$:stä lavan kärkeen ja johtoreunasta etäisyydelle $0,5c$.	
Kuormitustapaus 5	60 % F_f :stä tai F_b :stä, riippuen siitä, kumpi on suurempi	Vakiopaine kohdistettuna lavan painepuolelle alueelle $0,6R$:stä kärkeen ja jättöreunasta etäisyydelle $0,2c$.	

6.5.1.7 Avo- ja suulakepotkureiden lapojen suurin käntömomentti Q_{smax}

Lavan käntömomentti Q_{smax} on määritettävä sekä lapaa eteen että taaksepäin taivuttaville voimille F_f ja F_b taulukoiden 6-4 ja 6-5 kuormitustapauksille. Suurempaa näin saatua käntömomenttia käytetään mitoituskäntömomenttina. Jos edellä esitetyllä menetelmällä saadaan arvo, joka on pienempi kuin alla olevan kaavan esittämä oletusarvo, käytetään alla olevan kaavan mukaista oletusarvoa.

$$Q_{smax} = 0,25F c_{0,7} \text{ [kNm]}, \quad (6.12)$$

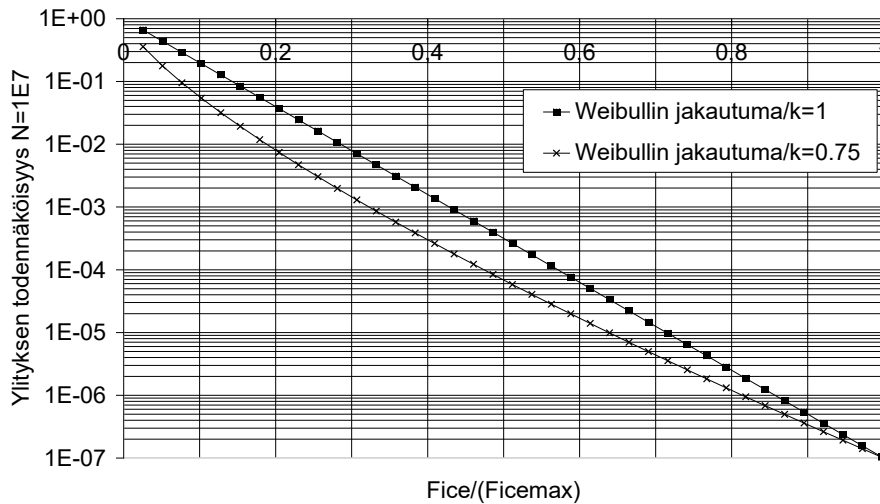
jossa $c_{0,7}$ on lavan sylinterileikkauksen profiilin jänneviivan pituus $0,7R$ -säteellä ja F on F_b :stä tai F_f :stä se, jonka itseisarvo on suurempi.

6.5.1.8 Lapakuormien kuormitusjakautuma

Lavan väsymismitoituksen kuormitus kuvataan Weibull-jakaumalla (sen todennäköisyys, että F_{ice} on suurempi kuin $(F_{ice})_{max}$ kuvan 6-2 mukaisesti).

$$P\left(\frac{F_{ice}}{(F_{ice})_{max}} \geq \frac{F}{(F_{ice})_{max}}\right) = \exp\left(-\left(\frac{F}{(F_{ice})_{max}}\right)^k \ln N_{ice}\right), \quad (6.13)$$

jossa k on kuormituspektrin muotoparametri, N_{ice} on kuormitusjaksojen lukumäärä ja F_{ice} on lapaan kohdistuvien jääkuormitusten satunnaismuuttuja välillä $0 \leq F_{ice} \leq (F_{ice})_{max}$. Jääkuormitusten jakauman muotoparametria $k=0,75$ käytetään avopotkurille ja muotoparametria $k=1,0$ suulakepotkurille.



Kuva 6-2. Weibull-jakaumat (sen todennäköisyys, että F_{ice} on suurempi kuin $(F_{ice})_{max}$), joita käytetään väsymismitoitukseen

6.5.1.9 Jääkuormitusten lukumäärä

Kuormitusjaksojen lukumäärä potkurin lapa kohti määritetään seuraavan kaavan mukaan:

$$N_{ice} = k_1 k_2 k_3 N_{class} n_n, \quad (6.14)$$

jossa N_{class} :in arvot on annettu taulukossa 6-6. Potkurin paikkakerroin k_1 on annettu taulukossa 6-7.

Taulukko 6-6: N_{class} :in arvot

Jääluokka	IA Super	IA	IB	IC
kuormia käyttöiän aikana/ n_n	$9 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^6$

Taulukko 6-7: Potkurin paikkakertoimen k_1 arvot

	Sivupotkuri	Vetävä potkuri (sivutai keskipotkuri)
Keskipotkuri	Operointi keula edellä	Keulapotkuri tai operointi perä edellä
Operointi keula edellä	Operointi keula edellä	
k_1	1	2
		3

Potkurin syvyysuuntaisen sijainnin huomioiva kerroin k_2 määritetään yhtälöstä

$$\begin{aligned} k_2 &= 0,8 - f & , \text{ kun } f < 0 \\ &= 0,8 - 0,4f & , \text{ kun } 0 \leq f \leq 1 \\ &= 0,6 - 0,2f & , \text{ kun } 1 < f \leq 2,5 \\ &= 0,1 & , \text{ kun } f > 2,5, \end{aligned} \quad (6.15)$$

joissa funktio f on:

$$f = \frac{h_0 - H_{ice}}{D/2} - 1, \quad (6.16)$$

jossa h_0 on potkurin keskilinjän etäisyys laskettuna aluksen alemmasta jäävesiviivasta (LIWL).

Propulsiokoneiston tyyppikerroin k_3 on 1 kiinteille akselilinjoille ja 1,2 ruoripotkurilaitteille.

Komponenteille, joihin kohdistuu potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuvia kuormia potkurin jokaisesta lavasta, on lavan kuormien kokonaismäärä (N_{ice}) kerrottava potkurin lapojen lukumäärällä (Z).

6.5.2 Avo- ja suulakepotkurien aksiaalikuormat

6.5.2.1 Avo- ja suulakepotkurien enimmäisjäytyöntö T_f ja T_b

Potkurin enimmäistyöntö eteenpäin ja taaksepäin on:

$$T_f = 1,1F_f \text{ [kN]} \quad (6.17)$$

$$T_b = 1,1F_b \text{ [kN]} \quad (6.18)$$

6.5.2.2 Avo- ja suulakepotkurillisten akselilinjojen mitoitustyöntö

Potkuriakselin mitoitustyöntö on laskettava alla olevien kaavojen mukaan. Eteenpäin ja taaksepäin suuntautuvien kuormitusten suurempi arvo otetaan mitoituskuormaksi kumpaankin suuntaan. Kertoimet 2,2 ja 1,5 huomioivat aksiaalivärähtelystä johtuvan dynaamisen vahvistuksen.

Eteenpäin

$$T_r = T + 2,2T_f \text{ [kN]}, \quad (6.19)$$

taaksepäin

$$T_r = 1,5T_b \text{ [kN]}. \quad (6.20)$$

Jos hydrodynaamista paalutyöntöä T ei tunneta, sen arvoksi on otettava taulukossa 6-8 annettu luku.

Taulukko 6-8: Hydrodynaamisen paalutyönnön T oletusarvot

Potkurityyppi	T
Säätösiipiset avopotkurit	1,25 T_n
Säätösiipiset suulakepotkurit	1,1 T_n
Turbiini- tai sähkömoottorikäyttöiset kiinteäsiipiset potkurit	T_n
Dieselkäyttöiset kiinteäsiipiset avopotkurit	0,85 T_n
Dieselkäyttöiset kiinteäsiipiset suulakepotkurit	0,75 T_n

Tässä T_n on potkurin nimellistyöntö avovedessä jatkuvalla enimmäisteholla.

6.5.3 Akselijohdon mitoitusväntökuormat

6.5.3.1 Avopotkurien mitoitusjäähmomentti Q_{max}

Q_{max} on potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuva potkuriin kohdistuva enimmäisväntömomentti aluksen käyttöiän aikana.

$$Q_{max} = 10,9 \left(1 - \frac{d}{D}\right) \left(\frac{P_{0,7}}{D}\right)^{0,16} (nD)^{0,17} D^3 \text{ [kNm]}, \text{ kun } D \leq D_{limit}, \quad (6.21)$$

$$Q_{max} = 20,7 \left(1 - \frac{d}{D}\right) \left(\frac{P_{0,7}}{D}\right)^{0,16} (nD)^{0,17} D^{1,9} H_{ice}^{1,1} \text{ [kNm]}, \text{ kun } D > D_{limit}, \quad (6.22)$$

joissa

$$D_{limit} = 1,8H_{ice} \text{ [m]}. \quad (6.23)$$

n on potkurin pyörimisnopeus jatkuvalla enimmäisteholla paaluvetotilanteessa. Jos arvoa n ei tunneta, sille on annettava arvo taulukon 6-9 mukaisesti.

Taulukko 6-9: Potkurin oletuspyörimisnopeus jatkuvalla enimmäisteholla paaluvetotilanteessa

Potkurityyppi	Pyörimisnopeus n
Säätösiipipotkurit	n_n
Turbiini- tai sähkömoottorikäyttöiset kiinteäsiipiset potkurit	n_n
Dieselkäyttöiset kiinteäsiipiset potkurit	0,85 n_n

Tässä n_n on potkurin nimellinen pyörimisnopeus avovedessä jatkuvalla enimmäisteholla.

Säätösiipipotkurien nousun $P_{0,7}$ on vastattava jatkuvaa enimmäistehoa paaluvetotilanteessa. Jos arvoa $P_{0,7}$ ei tunneta, arvoksi $P_{0,7}$ annetaan $0,7 \cdot P_{0,7n}$, jossa $P_{0,7n}$ on potkurin nousu jatkuvalla enimmäisteholla avovedessä.

6.5.3.2 Suulakepotkurien mitoitussääntömomentti Q_{max}

Q_{max} on potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuva potkuriin kohdistuva enimmäisvääntömomentti aluksen käyttiään aikana.

$$Q_{max} = 7,7 \left(1 - \frac{d}{D}\right) \left(\frac{P_{0,7}}{D}\right)^{0,16} (nD)^{0,17} D^3 \text{ [kNm]}, \text{ kun } D \leq D_{limit}, \quad (6.24)$$

$$Q_{max} = 14,6 \left(1 - \frac{d}{D}\right) \left(\frac{P_{0,7}}{D}\right)^{0,16} (nD)^{0,17} D^{1,9} H_{ice}^{1,1} \text{ [kNm]}, \text{ kun } D > D_{limit}, \quad (6.25)$$

joissa

$$D_{limit} = 1,8H_{ice}. \quad (6.26)$$

n on potkurin pyörimisnopeus jatkuvalla enimmäisteholla paaluvetotilanteessa. Jos arvoa n ei tunneta, arvoksi n annetaan luku taulukosta 6-9.

Säätösiipipotkurien nousun $P_{0,7}$ on vastattava jatkuvaa enimmäistehoa paaluvetotilanteessa. Jos arvoa $P_{0,7}$ ei tunneta, arvoksi $P_{0,7}$ annetaan $0,7 \cdot P_{0,7n}$, jossa $P_{0,7n}$ on potkurin nousu jatkuvalla enimmäisteholla avovedessä.

6.5.3.3 Mitoitusvääntömomentti ei-lapataajuisissa akselilinjoissa

Jos käyttöpyörimisnopeusalueella tai alueella tai nopeusalueella, jota on laajennettu 20 % yli ja 20 % alle suurimman käyttönopeuden (paaluvetotilanne), ei ole lapataajuisista vääntöresonanssia, voidaan käyttää alla olevaa enimmäisvääntömomentin kaavaa.

Suoraan kytketyt kaksitahtiset dieselmoottorit ilman joustavaa kytkentää

$$Q_{peak} = Q_{emax} + Q_{vib} + Q_{max} I_e/I_t \text{ [kNm]} \quad (6.27)$$

ja muut koneistot

$$Q_{peak} = Q_{emax} + Q_{max} I_e/I_t \text{ [kNm]}, \quad (6.28)$$

joissa

I_e on akselilinjan kaikkien moottorin puolella olevien osien massahitausmomentti

ja

I_t on koko propulsiojärjestelmän massahitausmomentti.

Kaikki vääntö- ja hitausmomentit alennetaan tutkittavan komponentin pyörimisnopeuteen.

Jos enimmäisvääntömomenttia Q_{emax} ei tunneta, sen arvoksi annetaan luku taulukosta 6-10.

Taulukko 6-10: Pääkoneen enimmäisvääntömomentin Q_{emax} oletusarvot

Potkurityyppi	Q_{emax}
Sähkömoottorikäyttöiset potkurit	* Q_{motor}
Ei-sähkömoottorikäyttöiset säätösiipipotkurit	Q_n
Turbiinikäyttöiset kiinteäsiipiset potkurit	Q_n
Diesikäyttöiset kiinteäsiipiset potkurit	0,75 Q_n

* Q_{motor} on sähkömoottorin enimmäisvääntömomentti.

6.5.3.4 Mitoitusvääntömomentti lapataajuisissa akselilinjoissa

Jos käyttöpyörimisnopeusalueella tai alueella tai nopeusalueella, jota on laajennettu 20 % yli ja 20 % alle suurimman käyttönopeuden (paaluvetotilanne), on lapataajuisista vääntöresonanssia, akselikomponentin mitoitusvääntömomentti (Q_{peak}) määritetään analysoimalla propulsiolinjan vääntöväärhtelyä. Dynaaminen analyysi voidaan suorittaa kahdella eri tavalla.

1. Aikatason laskennalla arvioitua jysintätilanteen herätettä varten
2. Taajuustason laskennalla lapataajuisista sinimuotoista herätettä varten.

Taajuustason analyysiä pidetään yleensä varovaisena analyysinä aikataason simulointiin verrattuna, edellyttäen, että kyseessä olevalla nopeusalueella on lapataajuisista resonanssia.

6.5.3.4.1 Vääntövasteen aikataason laskelma

Aikatason laskelmat on laskettava jatkuvan enimmäistehon osalta, jatkuvan enimmäistehon osalta paaluvetotilanteessa sekä lapataajuisen resonanssinopeuden osalta siten, että resonoivat väärhtelyvasteet voidaan määrittää.

Propulsiolinjan lujuuden arvioinnissa on käytettävä tässä kohdassa annettuja kuormitusjaksoja tapauksessa, jossa potkuri jysii jäälohkareta. Annettua kuormitusjaksoa ei ole tarkoitettu propulsiojärjestelmän pysähtymisen analysointiin.

Seuraavat kuormitustapaukset on tarkoitettu osoittamaan propulsiojärjestelmän käyttökuormituksia potkurin ollessa vuorovaikutuksessa jään kanssa sekä koko järjestelmän vastaavaa reaktiota. Jään vaikutus ja järjestelmän vaste aiheuttavat kuormitusta yksittäisille akselilinjan osille. Jäämomenttia Q_{max} voidaan pitää vakioarvona koko nopeusalueella. Huomioitaessa tiettyjä akselinopeuksia asiaankuuluva Q_{max} :in arvo voidaan laskea kohdan 6.5.3 mukaan käyttämällä kyseessä olevaa nopeutta.

Suoritettaessa aikataason laskelmia dieselmoottorikoneistoissa, joissa ei ole joustavaa kytkentää, on käytettävä vähiten suotuisaa vaihekulmaa jää- ja moottoriherätteen välillä. Laskelmiin on lisättävä moottorin sytytyspulssit ja niissä voidaan hyödyntää tavanomaisia vakiotilan harmonisia herätteitä.

Jos jatkuvan enimmäistehon ylittyessä esiintyy lapataajuisista resonanssia, laskelmiin on sisällytettävä pyörimisnopeudet 105 %:iin asti jatkuvan enimmäistehon (MCR) pyörimisnopeudesta.

Potkurin momenttiheräte akselilinjan transienttia dynaamista analyysia varten aikatasossa määritetään lapauskusarjalla, jossa yksittäinen lapaisku kuvataan siniaallon puolikkaalla. Herätetaajuuden on noudatettava potkurin pyörimisnopeutta jäävuorovaikutuksen aikana. Yhden lavan jääniskusta johtuva vääntömomentti potkurin rotaatiokulman funktiona määritetään seuraavalla kaavalla:

$$Q(\phi) = C_q Q_{max} \sin(\phi(180/\alpha_i)), \quad (6.29)$$

kun ϕ pyörii arvosta 0 arvoon α_i plus kierrosten kokonaisluku

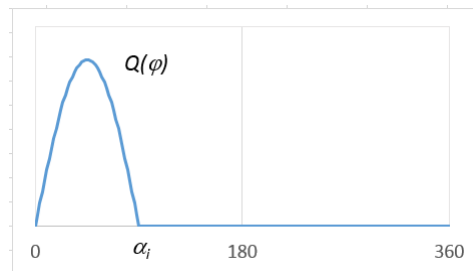
$$Q(\phi) = 0, \quad (6.30)$$

kun ϕ pyörii arvosta α_i arvoon 360 plus kierrosten kokonaisluku,

missä

ϕ on rotaatiokulma ensimmäisestä jääniskusta ja parametrit C_q ja α_i on annettu taulukossa 6-11.

α_i on potkurin lavan ja jään vuorovaikutuksen kesto potkurin rotaatiokulmalla mitattuna. Katso kuva 6-3.



Kuva 6-3. Yhden lavan jääniskusta johtuva jäämomenttikaavio kuvattuna potkurin rotaatiokulman funktiona

Taulukko 6-11: Jäävaikutuksen laajuuteen ja keston vaikuttavat tekijät eri lapalukumäärille

Vääntömomenttiheräte	Potkurin ja jään vuorovaikutus	C_q	α_i [astetta]			
			Z=3	Z=4	Z=5	Z=6
Herätetapaus 1	Yksi jäälohkare	0,75	90	90	72	60
Herätetapaus 2	Yksi jäälohkare	1,0	135	135	135	135
Herätetapaus 3	Kaksi jäälohkareta (vaihesiirtymä 360/(2·Z) astetta)	0,5	45	45	36	30
Herätetapaus 4	Yksi jäälohkare	0,5	45	45	36	30

Kokonaisjäämomentti saadaan laskemalla yhteen yksittäisten lapojen momentit ottaen huomioon vaihesiirtymä 360 astetta/Z, katso kuva 6-4. Jyrsintätilanteen alussa ja lopussa (lasketun keston puitteissa) on käytettävä lineaarista ramppia C_q :n arvon lisäämiseksi enimmäisarvoonsa yhden potkurikierroksen aikana ja taas päinvastoin sen laskemiseksi nolnaan (katso esimerkit eri Z-luvuille kuvasta 6-4).

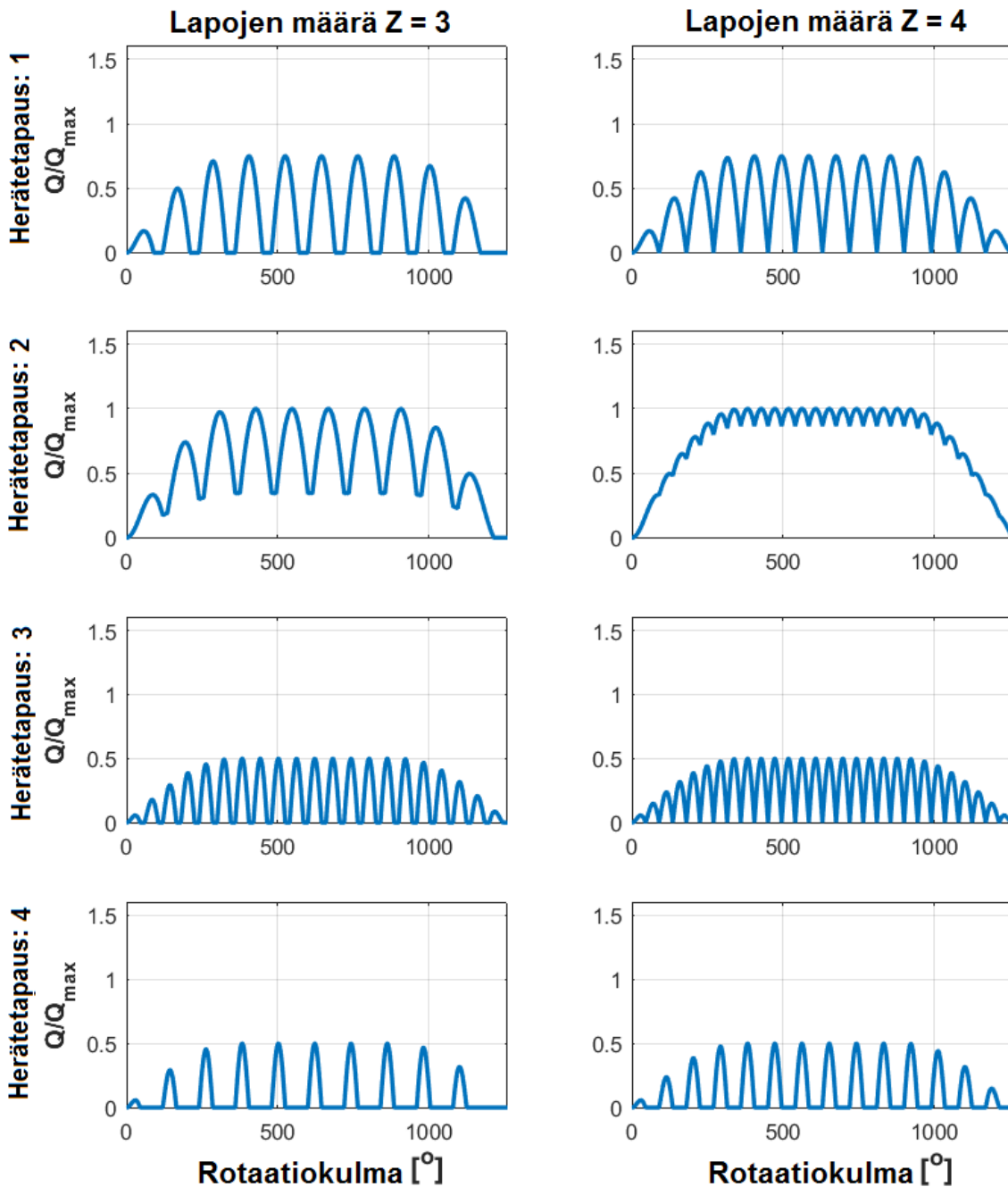
Potkurin kierrosten lukumäärä jyrsintätilanteen aikana saadaan seuraavalla kaavalla:

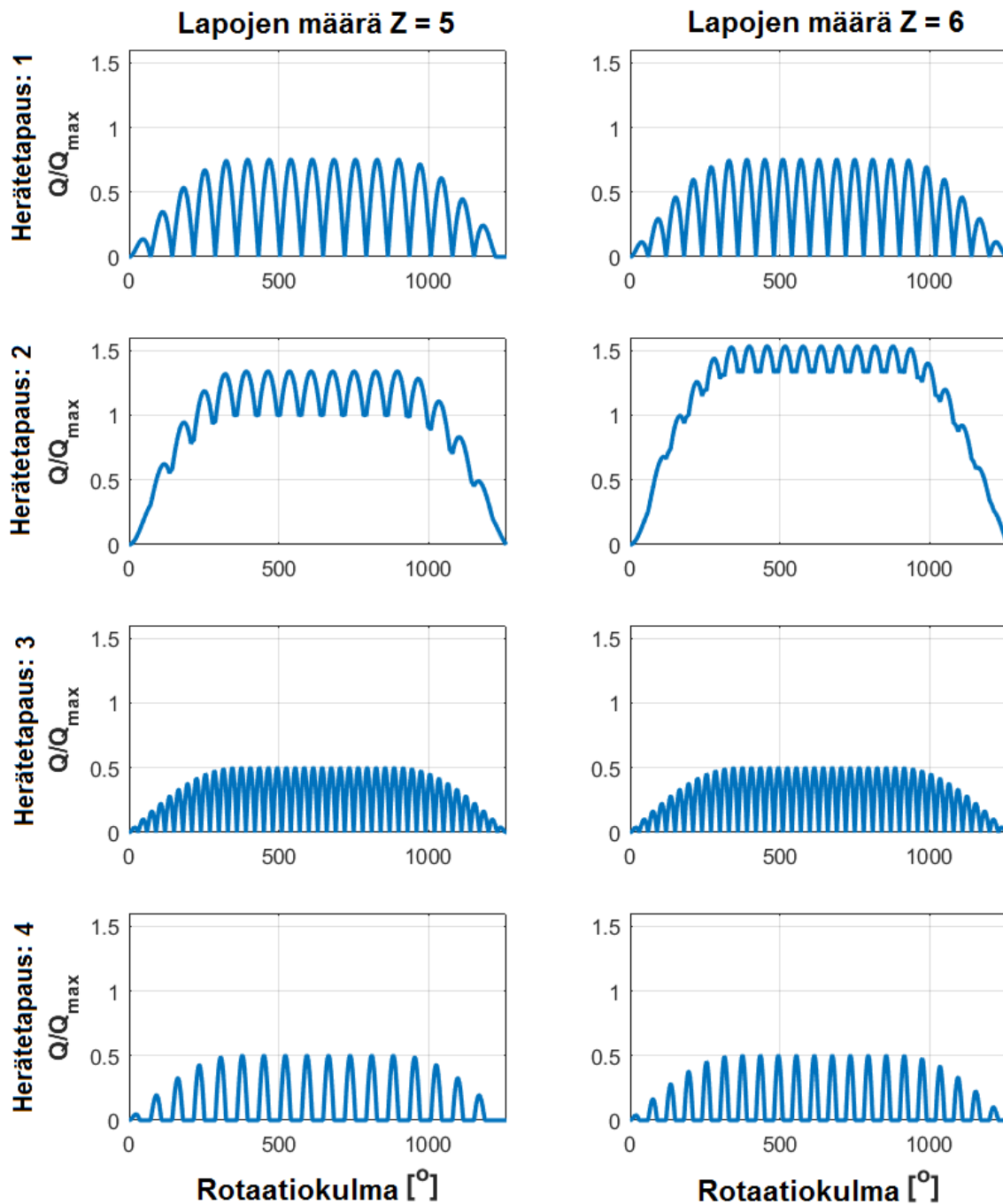
$$N_Q = 2H_{ice}. \quad (6.31)$$

Lapauskujen määrä on $Z \cdot N_Q$, kun kyseessä on lapataajuinen heräte. Kuvaus kaikista herätetapauksista eri lapalukumäärillä on annettu kuvassa 6-4.

Dynaaminen simulointi on suoritettava kaikissa herätetapauksissa käyttöpyörimisnopeusalueella. Propulsiokoneistolla, jossa on kiinteäsiipinen potkuri, dynaamisen simuloinnin on myös katettava paaluvetotilanteet vastaavassa pyörimisnopeudessa suurimmalla mahdollisella kone-
teholla.

Jos nopeus laskee, kunnes päämoottori on pysähtynyt, on mahdollista, että moottorissa ei ole riittävästi tehoa aiottua tehtävää varten. Kuormituksia harkittaessa on käytettävä nopeuden alenemisen aikana esiintyvää suurinta mahdollista vääntömomenttia.





Kuva 6-4. Potkurin momenttiherätejaksojen muoto potkureille, joissa on 3, 4, 5 tai 6 lapaa

Aikatason laskelmissa simuloituihin vääntömomenttivasteisiin sisällytetään tavallisesti myös keskimääräinen vääntömomentti ja potkurin keskimääräinen vääntömomentti. Jos näin ei ole, vääntömomenttivasteet saadaan seuraavalla kaavalla:

$$Q_{peak} = Q_{emax} + Q_{rtd}, \quad (6.32)$$

jossa Q_{rtd} on simuloitu enimmäisvääntömomentti, joka saadaan aikatason analyysillä.

6.5.3.4.2 Vääntövasteen taajuustason laskelma

Taajuustason laskelmissa voidaan käyttää lapataajuisen herätteen arvoa ja tarvittaessa kaksinkertaisen lapataajuisen herätteen arvoa. Lapataajuisen ja kaksinkertaisen lapataajuisen sinimuotoisen herätteen arvot on saatu olettaen, että aikatasossa siniaallon puolikkaan muotoiset lapaiskusarjat ovat jatkuvia, ja lapataajuiset komponentit ja kaksinkertaisen lapataajuuden komponentit on tuotettu Fourier-sarjana. Potkurin jäämomentti on siis:

$$Q_F(\varphi) = Q_{max}(C_{q0} + C_{q1} \sin(ZE_0\varphi + \alpha_1)) + C_{q2} \sin(2ZE_0\varphi + \alpha_2) \text{ [kNm]}, \quad (6.33)$$

jossa

C_{q0} on keskimääräisen vääntömomentin parametri

C_{q1} on ensimmäisen kertaluvun lapataajuisen herätteen parametri

C_{q2} on toisen kertaluvun lapataajuisen herätteen parametri

α_1, α_2 ovat heräteosan vaihekulmia

φ on rotaatiokulma

E_0 on kosketuksissa olevien jäälohkareiden määrä

Parametrien arvot on annettu taulukossa 6-12.

Taulukko 6-12: Kertoimien arvot taajuustason herätelaskelmissa

Vääntömomenttiheräte	Z=3					
	C_{q0}	C_{q1}	α_1	C_{q2}	α_2	E_0
Herätetapaus 1	0,375	0,36	-90	0	0	1
Herätetapaus 2	0,7	0,33	-90	0,05	-45	1
Herätetapaus 3	0,25	0,25	-90	0		2
Herätetapaus 4	0,2	0,25	0	0,05	-90	1
Vääntömomenttiheräte	Z=4					
	C_{q0}	C_{q1}	α_1	C_{q2}	α_2	E_0
Herätetapaus 1	0,45	0,36	-90	0,06	-90	1
Herätetapaus 2	0,9375	0	-90	0,0625	-90	1
Herätetapaus 3	0,25	0,25	-90	0	0	2
Herätetapaus 4	0,2	0,25	0	0,05	-90	1
Vääntömomenttiheräte	Z=5					
	C_{q0}	C_{q1}	α_1	C_{q2}	α_2	E_0
Herätetapaus 1	0,45	0,36	-90	0,06	-90	1
Herätetapaus 2	1,19	0,17	-90	0,02	-90	1
Herätetapaus 3	0,3	0,25	-90	0,048	-90	2
Herätetapaus 4	0,2	0,25	0	0,05	-90	1
Vääntömomenttiheräte	Z=6					
	C_{q0}	C_{q1}	α_1	C_{q2}	α_2	E_0
Herätetapaus 1	0,45	0,36	-90	0,05	-90	1
Herätetapaus 2	1,435	0,1	-90	0	0	1
Herätetapaus 3	0,3	0,25	-90	0,048	-90	2
Herätetapaus 4	0,2	0,25	0	0,05	-90	1

Taajuustason herätetapausten mitoituskäytännöt on laskettava seuraavaa kaavaa käyttäen:

$$Q_{peak} = Q_{emax} + Q_{vib} + (Q_{max}^n C_{q0}) I_e / I_t + Q_{rf1} + Q_{rf2}, \quad (6.34)$$

jossa

Q_{max}^n on potkurin jäämomentin enimmäisarvo kyseisessä käyttönopeudessa

C_{q0} on keskimääräinen staattinen vääntömomenttikerroin taulukosta 6-12

Q_{rf1} on taajuustason analyysistä saatava lapataajuinen vääntövaste

Q_{rf2} on taajuustason analyysistä saatava toinen lapataajuinen vääntövaste

Jos pääkoneen enimmäisvääntömomenttia Q_{emax} ei tiedetä, sen arvoksi on otettava taulukossa 6-10 annettu luku. Kaikki momenttiarvot on skaalattava kyseessä olevan komponentin akselia koskeviin kierroslukuihin.

Laskelman tulee kattaa koko asiaankuuluva kierroslukualue ja vasteiden simulointi vääntö- ja värähtelyresonanssissa.

6.5.3.4.3 Ohjeita vääntövarähtelyn laskemiseen

Aikatason vääntövarähtelysimulointien tarkoituksena on arvioida aluksen äärimmäistä vääntökuormitusta sen käyttöajan aikana. Simulointimalli voidaan ottaa tavanomaisesta keskitetyn massan elastisesta vääntövarähtelymallista, vaimennus mukaan luettuna. Aikatason analyysissä malliin tulee sisältyä jääheräte potkurissa, muut asiaankuuluvat herätteet, pääkoneen keskimääräiset momentit ja potkurin keskimääräinen hydrodynaaminen momentti. Laskelmiin tulee sisällyttää vaihealue, joka sijoittuu jääherätteen ja pääkoneherätteen välille. Tämä on erittäin tärkeää polttomoottoreilla varustetuissa propulsiolinjoissa. Aikatason laskelmat on laskettava jatkuvan enimmäistehon osalta, jatkuvan enimmäistehon osalta paaluvetotilanteessa sekä resonoivan nopeuden osalta siten, että resonoivat värähtelyvasteet voidaan määrittää.

Taajuustason laskelmissa kuormitus on arvioitava Fourier-komponenttianalyysin mukaan jatkuvina sinipuolikkaan muotoisina kuormitussarjoina. Herätteenä on käytettävä ensimmäisen ja toisen kertaluvun lapataajuisia heräteosia.

6.5.4 Lavan taittumiskuorma

6.5.4.1 Taittumisvoima F_{ex}

Kuorma, jolla lapa taipuu juurialueen ympäri plastisesti, on laskettava kaavan 6.35 avulla tai vaihtoehtoisesti asianmukaisen jännitysanalyysin avulla, joka huomioi lavan epälineaarisen plastisen materiaalin käyttäytymisen. Tässä tapauksessa lavan taittumisalue voi olla juurialueen ulkopuolella. Kuorman oletetaan vaikuttavan lapaan 0,8R-säteellä lavan heikoimmassa suunnassa.

Lavan katsotaan taittuneen, jos sen kärki on taipunut sivulle yli 10 % potkurin halkaisijaan D verrattuna.

$$F_{ex} = \frac{300ct^2\sigma_{ref1}}{0,8D-2r} \text{ [kN]}, \quad (6.35)$$

jossa

$$\sigma_{ref1} = 0,6\sigma_{0,2} + 0,4\sigma_u \text{ [MPa]}$$

σ_u (jännityslujuuden vähimmäisarvo, joka määritellään piirroksessa) ja $\sigma_{0,2}$ (vähimmäismyötö tai 0,2 %:n myötölujuus, joka määritetään piirroksessa) ovat lapamateriaalia kuvaavia arvoja

c , t ja r ovat vastaavasti lavan lieriömäisen juurialueen profiilin todellinen pituus, enimmäispaksuus ja säde. Juurialue on heikoin kohta lavan juuripyöristyksen ulkopuolella ja se sijaitsee tyypillisesti kohdassa, jossa lavan juuripyöristys päättyy lavan profiiliin.

6.5.4.2 Kääntömomentti Q_{sex}

Lavalle on määritettävä lavan taittumiskuormasta johtuva enimmäiskääntömomentti 0,8R-säteellä. Voima, joka aiheuttaa lavan taittumisen, tavallisesti pienenee siirryttäessä potkurin keskiosasta kohti etu-/takareunaa. Enimmäiskääntömomentti ilmenee tietyn välimatkan päässä pyörintäkeskiöstä. Tämä enimmäiskääntömomentti määritetään asianmukaisella jännitysanalyysillä tai alla olevan yhtälön avulla.

$$Q_{sex} = \max(C_{LE0.8}; 0,8C_{TE0.8})C_{spex}F_{ex} \text{ [kNm]}, \quad (6.36)$$

jossa

$$C_{spex} = C_{sp}C_{fex} = 0,7 \left(1 - \left(\frac{4EAR}{Z} \right)^3 \right). \quad (6.37)$$

C_{sp} on dimensioton parametri, joka huomioi kääntövarren

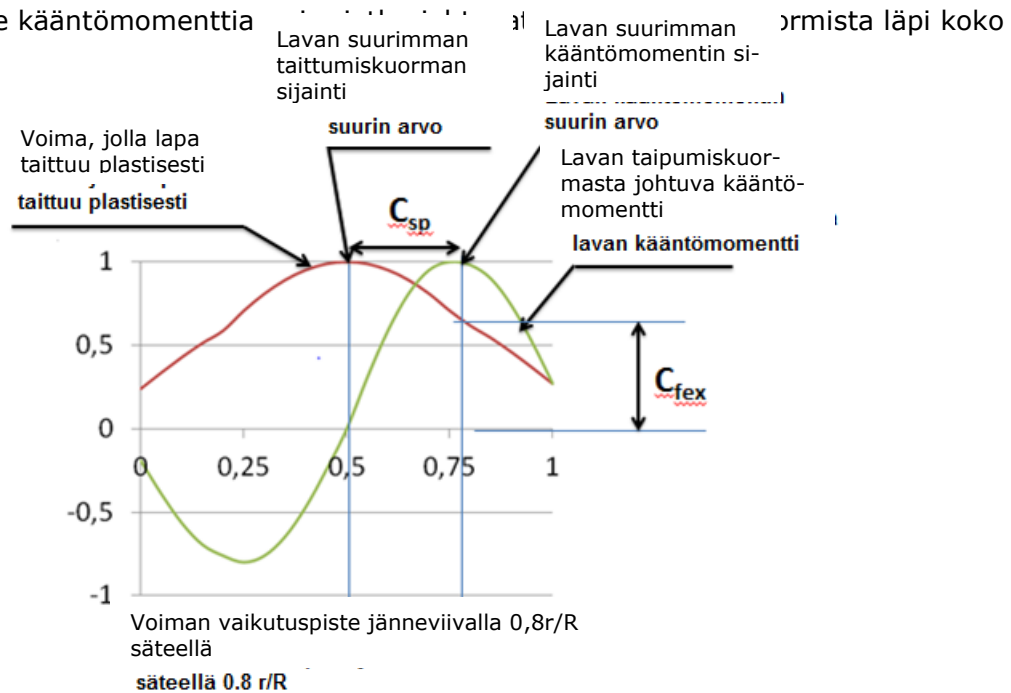
C_{fex} on dimensioton parametri, joka huomioi lavan taittumisvoiman vähenemisen kohdassa, jossa enimmäiskääntömomentti ilmenee.

Jos C_{spex} on pienempi kuin 0,3, C_{spex} :in arvona käytetään arvoa 0,3.

$C_{LE0.8}$ on johtoreunan osuus jänteen pituudesta säteellä 0,8R

$C_{TE0.8}$ on jättöreunan osuus jänteen pituudesta säteellä 0,8R.

Kuva 6-5 ilmaisee kääntömomenttia



jänneviivan pituuden.

Kuva 6-5. Kaaviokuva lavan taivutumuormasta ja siihen liittyvästä kääntömomentista voiman kohdistuessa eri kohtiin jänneviivalla $0,8R$ -säteellä

6.6 Mitoitus

6.6.1 Mitoitusperiaate

Akseliliinjan lujuus on mitoitettava pyramidilujuusperiaatteen mukaan. Tämä tarkoittaa, että potkurin lavan taivuminen ei saa aiheuttaa merkittävää vahinkoa muille potkuriakseliliinjan komponenteille.

6.6.2 Potkurin lapa

6.6.2.1 Lavan jännitysten laskeminen

Lavan jännitykset on laskettava siten, että ne kattavat kohdassa 6.5.1 annetut kuormitustasaukset. Kaikkien potkureiden jännitykset lopullista hyväksyntää varten on laskettava FEM-analyysin avulla. Kuitenkin seuraavaa yksinkertaistettua kaavaa voidaan käyttää kaikkien potkurien jännitysten laskemiseen juurialueella ($r/R < 0,5$). Kaavaan 6.38 perustuvat juurialueen mitoituskalkulat hyväksytään, vaikka FEM-analyysi osoittaisi alemmaa lujuutta juurialueella.

$$\sigma_{st} = C_1 \frac{M_{BL}}{100 ct^2} \quad [\text{MPa}], \quad (6.38)$$

jossa

vakio C_1 on todellinen jännitys/palkkiyhtälöstä saatu jännitys. Jos todellista arvoa ei ole käytettävissä, C_1 :n arvon tulee olla 1,6.

$M_{BL} = (0,75 - r/R)RF$, suhteellisella säteellä $r/R < 0,5$

F on voimista F_b ja F_{fs} , jonka itseisarvo on suurempi.

6.6.2.2 Hyväksyttävyysskriteeri

Laskettujen lavan jännitysten on täytettävä seuraava kriteeri:

$$\frac{\sigma_{ref2}}{\sigma_{st}} \geq 1,3, \quad (6.39)$$

jossa

σ_{st} on laskettu jännitys mitoituskormille. Jos jännitysten laskemiseen käytetään FEM-analyysia, käytetään von Mises -jännityksiä

σ_{ref2} on referenssilujuus, joka on pienempi seuraavista arvoista:

$$\sigma_{ref2} = 0,7\sigma_u \text{ tai}$$

$$\sigma_{ref2} = 0,6\sigma_{0,2} + 0,4\sigma_u.$$

6.6.2.3 Potkurin lavan väsymismitoitus

Potkurin lapojen väsymismitoitus perustuu koko aluksen käyttöiän aikana kertyneeseen arvioituun kuormitusjakautumaan ja lapamateriaalin SN-käyrään. Mitoitusmenetelmässä on laskettava ekvivalenttijännitys, joka tuottaa saman väsymisestä johtuvan vaurion kuin odotettu kuormitusjakauma. Väsymisen hyväksyttävyysskriteerin on täytyttävä siten kuin se on annettu kohdassa 6.6.2.4. Ekvivalenttijännitys on normalisoitu 10^8 jaksolle.

Materiaaleilla, joita koskee kaksikaltevuuksinen SN-käyrä (kuva 6-6), tämän kohdan mukaisia väsymislujuuslaskelmia ei vaadita, jos seuraava kriteeri täyttyy:

$$\sigma_{exp} \geq B_1 \sigma_{ref2}^{B_2} \log(N_{ice})^{B_3}, \quad (6.40)$$

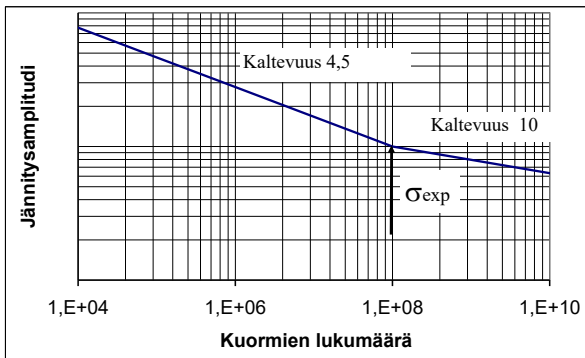
jossa avo- ja suulakepotkureita koskevat kertoimet B_1 , B_2 ja B_3 on annettu taulukossa 6-13.

<i>Taulukko 6-13: Kertoimien B_1, B_2 ja B_3 arvot</i>		
	Avopotkuri	Suulakepotkuri
B_1	0,00328	0,00223
B_2	1,0076	1,0071
B_3	2,101	2,471

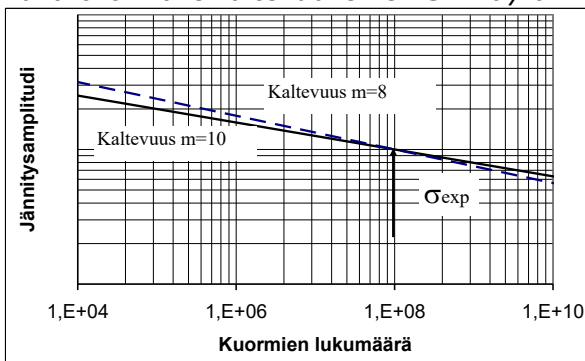
Ekvivalenttijännityksen laskemista varten on käytettävissä kaksi SN-käyrätyyppiä.

1. Kaksikaltevuuksinen SN-käyrä (kaltevuudet 4,5 ja 10), katso kuva 6-6.
2. Vakiokaltevuuksinen SN-käyrä (kaltevuuskulman voi valita), katso kuva 6-7.

SN-käyrän tyyppi on valittava lavan materiaalin ominaisuuksia vastaavaksi. Jos SN-käyrää ei tunneta, käytetään kaksikaltevuuksista SN-käyrää.



Kuva 6-6. Kaksikaltevuksinen SN-käyrä



Kuva 6-7. Vakiokaltevuksinen SN-käyrä

Ekvivalentti väsymisjännitys

Ekvivalentti väsymisjännitys, joka toistettuna 10^8 kertaa tuottaa saman väsymisvaurion kuin käyttöiän aikainen kuormajakautuma, lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\sigma_{fat} = \rho(\sigma_{ice})_{max}, \quad (6.41)$$

jossa

$$(\sigma_{ice})_{max} = 0,5((\sigma_{ice})_{fmax} - (\sigma_{ice})_{bmax}),$$

$(\sigma_{ice})_{max}$ on mitoituslapavoimasta eteenpäin ja taaksepäin johtuvien pääjännitysten keskiarvo tutkitussa kohdassa lapaa.

$(\sigma_{ice})_{fmax}$ on eteenpäinkuormituksesta johtuva pääjännitys.

$(\sigma_{ice})_{bmax}$ on taaksepäinkuormituksesta johtuva pääjännitys.

Laskettaessa arvoa $(\sigma_{ice})_{max}$ pidetään kuormitustapauksia 1 ja 3 (tai kuormitustapauksia 2 ja 4) pareina laskettaessa arvoja $(\sigma_{ice})_{fmax}$ ja $(\sigma_{ice})_{bmax}$. Kuormitustapausta 5 ei tarvitse huomioida väsymislujuustarkastelussa.

Parametrin ρ laskeminen kaksikaltevuuksiselle SN-käyrälle

Parametri ρ liittyy enimmäisjääkuormituksen jääkuormien jakautumiseen regressiokaavan mukaisesti:

$$\rho = C_1(\sigma_{ice})_{max}^{C_2} \sigma_{fl}^{C_3} \log(N_{ice})^{C_4}, \quad (6.42)$$

jossa

$$\sigma_{fl} = \gamma_{\epsilon 1} \gamma_{\epsilon 2} \gamma_v \gamma_m \sigma_{exp}, \quad (6.43)$$

jossa

$\gamma_{\epsilon 1}$ on kerroin, joka huomioi hajonnan (yksi keskihajonta)

$\gamma_{\epsilon 2}$ on kerroin, joka huomioi koekappaleen koon vaikutuksen

γ_v on kerroin, joka huomioi vaihteleva-amplitudisen kuormituksen vaikutuksen

γ_m on kerroin, joka huomioi keskijännityksen vaikutuksen

σ_{exp} on lapamateriaalin keskiväsymislujuus 10^8 kuormitusjaksolla merivedessä.

Seuraavia arvoja pitää käyttää muuntokertoimina, jos todellisia arvoja ei ole käytävissä: $\gamma_{\epsilon} = \gamma_{\epsilon 1} \gamma_{\epsilon 2} = 0,67$, $\gamma_v = 0,75$ ja $\gamma_m = 0,75$.

Kertoimet C_1 , C_2 , C_3 ja C_4 on annettu taulukossa 6-14. Sovellettavissa oleva alue arvolle N_{ice} arvon ρ laskemiseksi on $5 \times 10^6 \leq N_{ice} \leq 10^8$.

Taulukko 6-14: Määritysparametrit arvolle ρ

	Avopotkuri	Suulakepotkuri
C_1	0,000747	0,000534
C_2	0,0645	0,0533
C_3	-0,0565	-0,0459
C_4	2,22	2,584

Parametrin ρ laskeminen vakiokaltevuuksiselle SN-käyrälle

Materiaalien, joita koskee vakiokaltevuuksinen SN-käyrä – katso kuva 6-7 –, osalta kerroin ρ on laskettava seuraavalla kaavalla:

$$\rho = \left(G \frac{N_{ice}}{N_R} \right)^{\frac{1}{m}} (\ln(N_{ice}))^{-\frac{1}{k}}, \quad (6.44)$$

jossa

k on Weibull-jakauman muotokerroin $k = 1,0$ suulakepotkureille ja $k = 0,75$ avopotkureille.

N_R on kuormitusjaksojen referenssiluku ($=10^8$).

Sovellettavissa oleva alue arvolle N_{ice} arvon ρ laskemiseksi on $5 \times 10^6 \leq N_{ice} \leq 10^8$.

Arvot parametrille G on annettu taulukossa 6-15. Muiden kuin taulukossa 6-15 annettujen m/k -suhteiden arvojen laskemiseen voidaan käyttää lineaarista interpolointia.

Taulukko 6-15: Parametrin G arvo eri m/k -suhteissa

m/k	G	m/k	G	m/k	G
3	6	6,5	1871	10	$3,629 \cdot 10^6$
3,5	11,6	7	5040	10,5	$11,899 \cdot 10^6$
4	24	7,5	14034	11	$39,917 \cdot 10^6$
4,5	52,3	8	40320	11,5	$136,843 \cdot 10^6$
5	120	8,5	119292	12	$479,002 \cdot 10^6$
5,5	287,9	9	362880		
6	720	9,5	$1,133 \cdot 10^6$		

6.6.2.4 Hyväksymiskriteeri väsymiselle

Ekvivalentin väsymisjännityksen lavan kaikissa pisteissä on täytettävä seuraava kriteeri:

$$\frac{\sigma_{fl}}{\sigma_{fat}} \geq 1,5, \quad (6.45)$$

jossa

$$\sigma_{fl} = \gamma_{\epsilon 1} \gamma_{\epsilon 2} \gamma_v \gamma_m \sigma_{exp},$$

jossa

$\gamma_{\epsilon 1}$ on kerroin, joka huomioi hajonnan (yksi keskihajonta)

$\gamma_{\epsilon 2}$ on kerroin, joka huomioi koekappaleen koon vaikutuksen

γ_v on kerroin, joka huomioi vaihteleva-amplitudisen kuormituksen vaikutuksen

γ_m on kerroin, joka huomioi keskijännityksen vaikutuksen

σ_{exp} on lapamateriaalin keskiväsymislujuus 10^8 kuormitusjaksolla merivedessä.

Seuraavia arvoja pitää käyttää muuntokertoimina, jos todellisia arvoja ei ole käytettävissä: $\gamma_{\epsilon} = \gamma_{\epsilon 1} \gamma_{\epsilon 2} = 0,67$, $\gamma_v = 0,75$ ja $\gamma_m = 0,75$.

6.6.3 Potkurin napa ja nousun säätömekanismi

Lavan pultit, nousun säätömekanismi, potkurin napa ja potkurin kiinnitys potkuriakseliin on mitoitettava kestämiin enimmäiskuormat ja väsymiskuormitukset, kuten kohdassa 6.5 on määritetty. Varmuuskertoimen myötörajan suhteen on oltava suurempi kuin 1,3 ja väsymisen suhteen suurempi kuin 1,5. Lisäksi varmuuskertoimen myötörajan suhteen on oltava suurempi kuin 1,0 potkurin lavan taitumisesta johtuvien kuormitusten (kohta 6.5.4) osalta.

6.6.4 Akselilinja

Akselit ja niiden komponentit, kuten paine- ja hylssälaakerit, liitokset, laipat ja tiivisteet, on suunniteltava kestämiin jään ja potkurin vuorovaikutuksesta johtuvat kuormat, kuten kohdassa 6.5 on määritetty. Varmuuskertoimen myötörajan suhteen on oltava vähintään 1,3 äärimmäisten käyttökuormitusten osalta, 1,5 väsymiskuormitusten osalta ja 1,0 lavan taittumis-kuorman osalta.

6.6.4.1 Akselit ja niiden komponentit

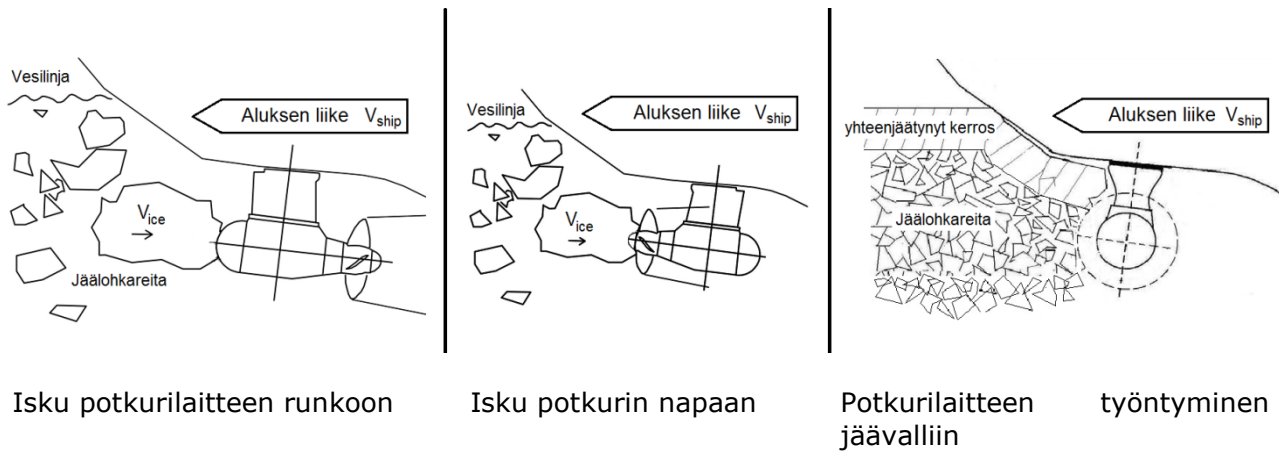
Kohdassa 6.5.4 määritetty laivan taittumiskuorma ei saa aiheuttaa myötöä akseleissa ja niiden komponenteissa. Kuormituksen on käsitettävä yhdistetty aksiaali-, taivutus- ja vääntökuormitus silloin kun se on merkityksellistä. Varmuuskertoimen myötörajan suhteen on oltava vähintään 1,0 taivutus- ja vääntöjännitysten osalta.

6.6.5 Ruoripotkuri pääpropulsiolaitteena

6.6.5.1 Mitoitusperiaate

Yllä mainittujen potkurin laivan mitoitusvaatimuksien lisäksi ruoripotkurilaitteiden suunnittelussa on huomioitava potkurilaitteen rungon ja jään vuorovaikutuksesta syntyvät kuormitukset. Kuormituskaavat on annettu potkurilaitteen runkoon kerran aluksen käyttöiän aikana kohdistuvien äärimmäisten kuormitusten arviointiin, ja ne perustuvat arviointeihin jääolosuhteisiin ja aluksen käyttöparametreihin. Äärimmäisten jääkuormien määrittämiseen on valittu kaksi pääasiallista jääkuormituskenaariota. Esimerkit kuormituksista on esitetty kuvassa 6-8. Lisäksi lapataajuiset potkurilaitteen rungon värähtelyvasteet voidaan arvioida potkuriherätteen avulla. Kuormituskenaariotyypit ovat seuraavat:

1. Jäählohkareen isku potkurilaitteen runkoon tai potkurin napaan
2. Potkurilaitte työntyy jäävalliin, jossa on paksu jäätynyt pintakerros
3. Potkurilaitteen värähtelyvaste lapataajuuksella



Kuva 6-8. Esimerkkejä kuormituskenaariotyypeistä

Ohjauslaitteisto, laitteiden kiinnitys ja potkurilaitteen runko on mitoitettava kestämään laivan taittumiskuormat ilman vaurioita. Lavan taittumista on tarkasteltava potkurin laivan ollessa asennossa, joka aiheuttaa tutkittavaan komponenttiin suurimmat kuormitukset. Tyypillisesti laivan ala-asento aiheuttaa suurimmat taivutusjännitykset potkurilaitteen runkoon.

6.6.5.2 Äärimmäiset jääniskun aiheuttamat kuormitukset

Kun alusta käytetään jääolosuhteissa, kulkuväylän sivuille muodostuneet jäählohkareet tai yhteenjäätäneestä pintakerroksesta murretut jäählohkareet voivat osua potkurilaitteen runkoon ja potkurin napaan. Altistuminen jääniskuille riippuu erittäin paljon aluksen koosta ja aluksen rungon rakenteesta sekä potkurilaitteen sijainnista. Kosketusvoima kasvaa potkurilaitteen jääkosketuksen osalta, kunnes jäählohkare saavuttaa aluksen nopeuden.

Potkurilaitteen on kestävä kuormitukset, jotka aiheutuvat taulukossa 6-3 määritettyjen mitoitustulojen osuessa potkurilaitteen runkoon aluksen kulkiessa jäissä tyypillisessä käyttönopeudessa. Iskujen kuormituksia koskevat kuormitustapaukset on annettu taulukossa 6-16. Kosketusgeometrian on arvioitu olevan muodoltaan puolipallomainen. Jos todellinen kosketusgeometria eroaa puolipallon muodosta, pallon säde on arvioitava siten, että kosketusalueen kasvu jään työntymisen funktiona vastaa mahdollisimman tarkasti työntymisen todellista geometrista muotoa.

Taulukko 6-16: Kuormitustapaukset jään aiheuttamista iskuista ympärikäntyvään potkurilaitteeseen

	Voima	Kuormitettava alue	
Kuormitustapaus T1a Symmetrinen pitkittäinen jään isku potkurilaitteeseen	F_{ti}	Symmetrinen ja tasainen paine tai symmetrinen ja tasainen jakautunut kuorma iskualueelle.	
Kuormitustapaus T1b Ei-symmetrinen pitkittäinen jään isku potkurilaitteeseen	50 % $F_{ti:stä}$	Tasainen paine tai tasainen jakautunut kuorma iskualueen toiselle puolelle.	
Kuormitustapaus T1c Ei-symmetrinen pitkittäinen jään isku suuttimeen	F_{ti}	Tasainen paine tai tasainen jakautunut kuorma iskualueelle. Kosketusalue vastaa suuttimen paksuutta (H_{nz})*kosketuskorkeus (H_{iced}).	
Kuormitustapaus T2a Symmetrinen pitkittäinen jään isku potkurin napaan	F_{ti}	Symmetrinen ja tasainen paine tai symmetrinen ja tasainen jakautunut kuorma iskualueelle.	
Kuormitustapaus T2b Ei-symmetrinen pitkittäinen jään isku potkurin napaan	50 % $F_{ti:stä}$	Tasainen paine tai tasainen jakautunut kuorma iskualueen toiselle puolelle.	

<p>Kuormitustapaus T3a Symmetrinen sivuttainen jään isku potkurilaitteen runkoon</p>	<p>F_{ti}</p>	<p>Symmetrinen ja tasainen paine tai symmetrinen ja tasainen jakautunut kuorma iskualueelle.</p>	
<p>Kuormitustapaus T3b Ei-symmetrinen sivuttainen jään isku potkurilaitteen runkoon tai suuttimeen</p>	<p>F_{ti}</p>	<p>Tasainen paine tai tasainen jakautunut kuorma iskualueelle. Suuttimen kosketussäde R on otettava suuttimen pituudesta (L_{nz}).</p>	

Jääniskun kontaktikuormitus on laskettava kaavalla 6.46. Parametrien arvot on annettu taulukossa 6-17. Aluksen mitoitusnopeus jäissä voidaan johtaa taulukoista 6-18 ja 6-19. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää kyseessä olevan aluksen todellista suunnittelunopeutta jäissä. Taulukoissa 6-18 ja 6-19 annettu pitkittäisen iskun nopeus viittaa iskuun potkurilaitteen pääkäyttösuunnassa. Kun kyseessä on vetävä potkurikokoonpano, pitkittäisen iskun nopeutta käytetään kuormitustapauksessa T2, isku napaan; työntävän potkurin tapauksessa pitkittäisen iskun nopeutta käytetään kuormitustapauksessa T1, isku potkurilaitteen päätykupuun. Päinvastaisessa suunnassa sovelletaan poikittaisen iskun nopeutta.

$$F_{ti} = C_{DMI} 34.5 R_c^{0.5} (m_{ice} v_s^2)^{0.333} \quad [\text{kN}], \quad (6.46)$$

jossa

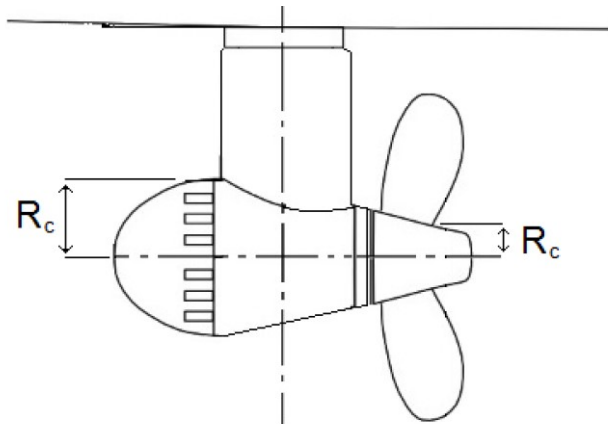
R_c on iskevän osan pallosäde, katso kuva 6-9 [m]

m_{ice} on jäälohkareen massa [kg]

v_s on aluksen nopeus iskuhetkellä [m/s]

C_{DMI} on dynaaminen vahvistuskerroin iskun aiheuttamille kuormituksille.

Jos arvoa C_{DMI} ei tunneta, se on otettava taulukosta 6-17.



Kuva 6-9. Arvona R_c käytetyt mitat

Kun kyseessä ovat iskut ei-pallomaisille alueille, kuten isku suuttimeen, ekvivalentti iskualueen pallosäde on arvioitava käyttämällä alla olevaa yhtälöä.

$$R_{ceq} = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \text{ [m]} \quad (6.47)$$

Jos $2 \cdot R_{ceq}$ on suurempi kuin jäälohkareen mitoituspaksuus H_{iced} , R_{ceq} asetetaan puoleen jäälohkareen mitoituspaksuudesta. Tämä rajoitus ei päde, kun kyseessä on isku potkurin napaan tai potkurilaitteen päätykupuun (kuormitustapaukset T1a ja T2a). Kun kyseessä on isku potkurilaitteen kylkeen, potkurilaitteen rungon halkaisijaa voidaan käyttää säteen R_c määrittämisen perusteena. Kun kyseessä on isku potkurin napaan, navan halkaisijaa voidaan käyttää säteen R_c perusteena.

Taulukko 6-17: Parametrien arvot jään mitoille ja dynaamiselle vahvistukselle

	IA Super	IA	IB	IC
Potkurilaitteeseen osuvan mitoituspaksuuden jäälohkareen paksuus (H_{iced})	1,17 m	1,0 m	0,8 m	0,67 m
Äärimmäinen jäälohkareen massa (m_{ice})	8 670 kg	5 460 kg	2 800 kg	1 600 kg
C_{DMI} (jos tuntematon)	1,3	1,2	1,1	1

Taulukko 6-18: Iskunopeudet potkurilaitteissa, jotka sijaitsevat perän keskilinjalla

	IA Super	IA	IB	IC
Pitkittäinen isku pääkäyttösuunnassa	6 m/s	5 m/s	5 m/s	5 m/s
Pitkittäinen isku peruutussuunnassa (isku työntävän yksikön potkurin napaan tai vetävän yksikön päätykupuun)	4 m/s	3 m/s	3 m/s	3 m/s
Poikittainen isku keula ensin -toiminnassa	3 m/s	2 m/s	2 m/s	2 m/s
Poikittainen isku perä ensin -toiminnassa (kaksitoiminen alus)	4 m/s	3 m/s	3 m/s	3 m/s

Taulukko 6-19: Iskunopeudet potkurilaitteeseen sivussa perässä, potkurilaitteeseen keskilinjalla keulassa ja potkurilaitteeseen sivussa keulassa

	IA Super	IA	IB	IC
Pitkittäinen isku pääkäyttösuunnassa	6 m/s	5 m/s	5 m/s	5 m/s
Pitkittäinen isku peruutussuunnassa (isku työntävän yksikön potkurin napaan tai vetävän yksikön päätykupuun)	4 m/s	3 m/s	3 m/s	3 m/s
Poikittainen isku	4 m/s	3 m/s	3 m/s	3 m/s

6.6.5.3 Äärimmäiset jääkuormitukset potkurilaitteen runkoon sen työntyessä jäävalliin

Jääolosuhteissa alukset kulkevat tyypillisesti jääuomissa. Ohittaessaan muita aluksia niille saattaa aiheutua kuormia potkurilaitteiden tunkeutuessa jääuoman sivuvälilleihin. Sivuvälilleissä on yleensä jäätyneet pintakerros, jonka alla on irtonaisia jäälohkareita. Potkurilaitte voi työntyä jäävälilleihin myös peruutuksen aikana. Kyseiset tilanteet ovat tavallisia varsinkin IA Super -aluksille, sillä ne voivat kulkea itsenäisesti vaikeissakin jääolosuhteissa. Alempien jääluokkien aluksissa olevat potkurilaitteet saattavat kuitenkin myös joutua selviytymään kyseisistä tilanteista mutta huomattavasti alhaisemmilla nopeuksilla.

Tällaisessa kuormitusskenaariossa alus työntyy jäävalliin potkurilaitte edellä alkunopeudella. Kyseessä oleva tilanne tapahtuu, kun alus, jonka potkurilaitte on aluksen keulassa, kulkee eteenpäin tai kun alus, jonka potkurilaitte on aluksen perässä, peruuttaa. Kyseisessä tilanteessa enimmäiskuormitusta pidetään äärimmäisenä kuormituksena. Tällainen tilanne kestää yleensä useita sekunteja, minkä takia dynaamista vahvistusta pidetään merkityksettömänä eikä sitä oteta huomioon.

Kuormituksen suuruus on arvioitava taulukossa 6-20 esitettyjen kuormitustapausten osalta käyttäen yhtälöä 6.48. Laskelmia varten tarvittavat parametrien arvot on annettu taulukossa

6-21 ja taulukossa 6-22. Kuormituksia on sovellettava tasaisena paineena tai tasaisena jakautuneena kuormana potkurilaitteen pinnoille. Aluksen mitoitusnopeus jäissä voidaan ottaa taulukosta 6-21 tai 6-22. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää kyseessä olevan aluksen todellista suunnittelunopeutta jäissä.

Taulukko 6-20: Kuormitustapaukset jäävallien jääkuormituksille

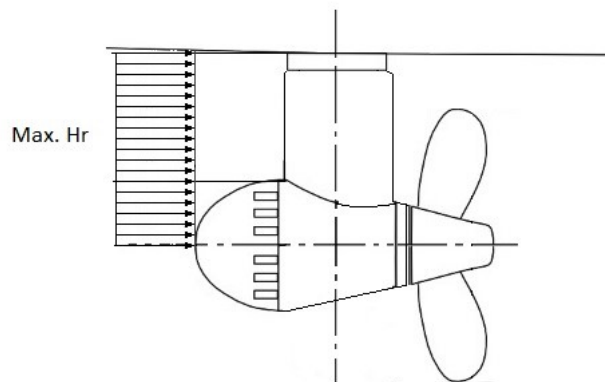
<p>Kuormitustapaus T4a Symmetrinen pitkittäinen jäävalliin työntymiskuormitus</p>	<p>F_{tr}</p>	<p>Symmetrinen ja tasainen paine tai symmetrinen ja tasainen jakautunut kuorma kontaktialueelle.</p>	<p>The diagrams for T4a show a symmetrical pressure distribution. The top row shows a side view of a hull cross-section with a wavy line labeled 'vesilinja' (waterline) and a horizontal arrow labeled 'Aluksen liike V_{ship}' pointing left. The bottom row shows a plan view of the hull with a similar arrow and a shaded area representing the pressure distribution on the hull's surface.</p>
<p>Kuormitustapaus T4b Ei-symmetrinen pitkittäinen jäävalliin työntymiskuormitus</p>	<p>50 % $F_{tr:stä}$</p>	<p>Tasainen paine tai tasainen jakautunut kuorma kontaktialueen toiselle puolelle.</p>	<p>The diagrams for T4b show a non-symmetrical pressure distribution. The top row shows a side view of a hull cross-section with a wavy line labeled 'vesilinja' and a horizontal arrow labeled 'Aluksen liike V_{ship}' pointing left. The bottom row shows a plan view of the hull with a similar arrow and a shaded area representing the pressure distribution on one side of the hull's surface.</p>
<p>Kuormitustapaus T5a Symmetrinen poikittainen jäävalliin työntymiskuormitus suulakkeelliselle ruoripotkurilaitteelle ja työntävälle avoimelle potkurilaitteelle</p>	<p>F_{tr}</p>	<p>Symmetrinen ja tasainen paine tai symmetrinen ja tasainen jakautunut kuorma kontaktialueelle.</p>	<p>The diagrams for T5a show symmetrical pressure distribution on a rudder and propeller. The top row shows a side view of a rudder with a wavy line labeled 'vesilinja' and a horizontal arrow labeled 'Aluksen liike V_{ship}' pointing left. The bottom row shows a plan view of a propeller with a similar arrow and a shaded area representing the pressure distribution on the propeller blades.</p>

<p>Kuormitustapaus T5b Ei-symmetrinen poikittainen jäävalliin työntymis-kuormitus kaikissa ympärikäännyvissä yksiköissä</p>	<p>50 % $F_{tr}:stä$</p>	<p>Tasainen paine tai tasainen jakautunut kuorma kontaktialueen toiselle puolelle.</p>	
---	---	--	--

$$F_{tr} = 32 v_s^{0.66} H_r^{0.9} A_t^{0.74} \quad [\text{kN}], \quad (6.48)$$

jossa v_s on aluksen nopeus [m/s]
 H_r on vallin paksuus (yhteenjäätynneen pintakerroksen paksuus on 18 % koko vallin paksuudesta) [m]
 A_t on potkurilaitteen projektiopinta-ala [m²].

Laskettaessa potkurilaitteen ja jäävallin vuorovaikutuksen kosketuspintaa kuormitettava alue pystysuunnassa rajoittuu jäävallin paksuuteen kuvan 6-10 mukaisesti.



Kuva 6-10. Kaaviokuva kosketusalueen rajoittumisesta jäävallin enimmäispaksuuteen

Taulukko 6-21: Parametrit enimmäiskuormitusten laskemiseen potkurilaitteen työntyessä jäävalliin. Peräpotkurit. Keula ensin -toiminta

	IA Super	IA	IB	IC
Jäävallin yhteenjäätäneen pintakerroksen paksuus	1,5 m	1,5 m	1,2 m	1,0 m
Jäävallin kokonaispaksuus H_r	8 m	8 m	6,5 m	5 m
Jäävalliin työntymisen alkunopeus (pitkittäiset kuormitukset)	4 m/s	2 m/s	2 m/s	2 m/s
Jäävalliin työntymisen alkunopeus (poikittaiset kuormitukset)	2 m/s	1 m/s	1 m/s	1 m/s

Taulukko 6-22: Parametrit enimmäiskuormitusten laskemiseen potkurilaitteen työntyessä jäävalliin. Tunkeutuminen potkurilaite edellä esimerkiksi kaksitoimisissa aluksissa.

	IA Super	IA	IB	IC
Jäävallin yhteenjäätäneen pintakerroksen paksuus	1,5 m	1,5 m	1,2 m	1,0 m
Jäävallin kokonaispaksuus H_r	8 m	8 m	6,5 m	5 m
Jäävalliin työntymisen alkunopeus (pitkittäiset kuormitukset)	6 m/s	4 m/s	4 m/s	4 m/s
Jäävalliin työntymisen alkunopeus (poikittaiset kuormitukset)	3 m/s	2 m/s	2 m/s	2 m/s

6.6.5.4 Hyväksyntäkritereeri staattisille kuormituksille

Potkurilaitteen rasitukset on laskettava äärimmäisissä kerran aluksen käyttöiän aikana tapahtuvissa kuormituksissa kohdan 6.6.5 mukaisesti. Potkurilaitteen rungon nimellisissä von Mises-jännityksissä on oltava varmuuskerroin 1,3 materiaalin myötörajan suhteen. Paikallisissa rasitusalueissa varmuuskertoimen on oltava myötörajan suhteen 1,0. Kääntölaakereiden, pulttiliitäntöjen ja muiden komponenttien on pysyttävä toimintakykyisinä ilman korjausta vaativia toimenpiteitä ollessaan altistettuina kohdissa 6.6.5.2 ja 6.6.5.3 ilmoitetuille kuormituksille kerrottuna varmuuskertoimella 1,3.

6.6.5.5 Potkurilaitteen rungon globaali värähtely

Potkurilaitteen rungon globaalin värähtelyn arvioiminen on tärkeää, jos ensimmäisen kertaluvun lapaherätteet ovat samalla taajuusalueella kuin ne potkurilaitteen globaalit värähtelymuodot, joita esiintyy potkurin pyörimisnopeuksilla, jotka liittyvät propulsiolinjan suuren tehon alueeseen. Tämä arviointi on pakollinen ja sillä on osoitettava joko, että globaalia ensimmäisen kertaluvun lapaherätteen taajuista resonanssia ei esiinny korkeilla potkurin kierrosnopeuksilla (yli 50 % täydestä tehosta), tai, että rakenne on suunniteltu kestävämmän resonanssista aiheutuvat värähtelykuormat, joita esiintyy kun moottorin teho on yli 50 % täydestä tehosta.

Arvioitaessa potkurilaitteen värähtelyä pitkittäisessä ja poikittaisessa suunnassa on vedestä aiheutunut vaimennus ja lisätty massa otettava huomioon. Tämän lisäksi potkurilaitteen ja rungon liitoksen jäykkyys on mallinnettava.

6.7 Vaihtoehtoiset mitoitusmenetelmät

6.7.1 Soveltamisala

Kohtien 6.5 ja 6.6 vaihtoehtona voidaan tehdä kattavat mitoituslaskelmat, joiden on oltava hallinnon tai kyseisen luokituslaitoksen hyväksymiä. Laskelmien on perustuttava kohdassa 6.3 eri jääluokille määritettyihin jääolosuhteisiin. Niiden täytyy sisältää mitoituslaskelmat sekä väsymis- että enimmäiskuormitusta varten. Lisäksi niiden on täytettävä pyramidilujuusperiaate, kuten kohdassa 6.6.1 on esitetty.

6.7.2 Kuormitus

Potkurin lavan ja propulsiojärjestelmän kuormituksen on perustuttava hyväksyttävälle hydrodynaamisten kuormitusten ja jääkuormitusten laskelmille.

6.7.3 Mitoitustasot

Mitoituslaskelmien tarkoituksena on osoittaa, että kaikki satunnaisia voimia välittävät komponentit potkurin lapaa lukuun ottamatta omaavat kohtuullisen turvallisuusmarginaalin materiaalin myötölujuuden ylityksille.

Kumulatiivisten väsymisvauriolaskelmien avulla on osoitettava, että varmuuskerroin väsymisen suhteen on riittävä. Laskelmien perustana on oltava hyväksyttävä arvio materiaalien ominaisuuksista, jännityskeskittymistä sekä väsymislujuuden parantamiseen käytetyistä menetelmistä.

Värähtelyanalyysi on tehtävä, jotta voidaan osoittaa, ettei dynaamisessa järjestelmässä ole potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuvaa haitallista resonanssia.

7 MUUT KONEISTOVAATIMUKSET

7.1 Käynnistysjärjestelyt

Ilmasäiliöiden kapasiteetin on riitettävä vähintään 12 peräkkäiseen kuljetuskoneiston käynnistämiseen ilman välitäyttöä, jos koneisto on ensin pysäytettävä peruutusta varten, tai 6 peräkkäiseen käynnistämiseen, jos peruutusta varten koneistoa ei tarvitse ensin pysäyttää.

Jos ilmasäiliötä käytetään muihinkin tarkoituksiin kuin kuljetuskoneiston käynnistämiseen, niissä on oltava näitä tarkoituksia varten riittävä lisäkapasiteetti.

Ilmakompressoreiden kapasiteetin on oltava riittävä täyttämään ilmasäiliöt ilmanpaineesta täyteen paineeseen yhden (1) tunnin aikana. Jos jääluokkaan IA Super kuuluvan aluksen kuljetuskoneisto on peruutettaessa ensin pysäytettävä, on ilmakompressoreiden kyettävä täyttämään säiliöt puolen tunnin aikana.

7.2 Pohjakaivot ja jäähdytysvesijärjestelmät

Jäähdytysvesijärjestelmä on suunniteltava siten, että jäähdytysveden saanti on turvattu jäissä kuljettaessa.

Tämän vuoksi ainakin yksi jäähdytysveden sisäänottokaivoista on järjestettävä siten, että:

1. Sisäänoton on sijaittava lähellä aluksen keskilinjaa ja mieluiten perässä, jos tämä on mahdollista.
2. Suunnittelun ohjeeksi kaivon tilavuuden on oltava noin yksi kuutiometri jokaista kone-
tehon 750 kW:a kohden. Konetehto sisältää myös aluksen käytön kannalta välttämättö-
män apukonetehton.
3. Kaivon on oltava riittävän korkea, jotta sinne kerääntyvä jää on sisäänotto-putken ylä-
puolella.
4. Kaivoon on johdettava jäähdytysveden poistoputki, jolla on täysi poistokyky.
5. Siivilän aukkojen pinta-ala ei saa olla pienempi kuin neljä (4) kertaa sisäänotto-putken
poikkipinta-ala.

Jos kohdissa 2 ja 3 mainittujen vaatimusten täyttäminen on vaikeaa, voidaan käyttää kahta
pienempää pohjakaivoa, joista vuorotellen toinen on jäähdytysveden sisäänottoa ja toinen
poistoa varten. Järjestelyjen ja sijoituksen on oltava muilta osin edellä olevia vastaavat.

Kaivon tai kaivojen yläosassa voidaan käyttää lämmityskierukoita.

Järjestelmä, jossa käytetään painolastivettä jäähdytystarkoituksiin, saattaa olla hyödyllinen
varajärjestelmänä painolastitilanteessa, mutta sellaista ei voida hyväksyä edellä kuvattujen
pohjakaivojen korvaamiseksi.

8 VOIMAANTULO

Nämä määräykset liitteineen tulevat voimaan 5 päivänä heinäkuuta 2021.

Kirsi Karlamaa
Pääjohtaja

Jarkko Saarimäki
Ylijohtaja

Liite I Eri tyyppialuksia koskevia parametreja ja näiden tyyppialusten laskettu vähimmäiskoneteho

Laskettujen teho vaatimustulosten tarkistamiseksi taulukossa I-1 on esitetty laskentatuloksia useille eri tyyppialuksille.

Taulukko I-1: Eri tyyppialuksia koskevia parametreja ja näiden tyyppialusten laskettu vähimmäiskoneteho

		Tyyppialuksen nro								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Jääluokka		IAS	IA	IB	IC	IAS	IAS	IA	IA	IB
α	[astetta]	24	24	24	24	24	24	36	20	24
φ_1	[astetta]	90	90	90	90	30	90	30	30	90
φ_2	[astetta]	30	30	30	30	30	30	30	30	30
L	[m]	150	150	150	150	150	150	150	150	150
B	[m]	25	25	25	25	25	22	25	25	25
T	[m]	9	9	9	9	9	9	9	9	9
L_{BOW}	[m]	45	45	45	45	45	45	45	45	45
L_{PAR}	[m]	70	70	70	70	70	70	70	70	70
A_{wf}	[m ²]	500	500	500	500	500	500	500	500	500
D_P	[m]	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Potkurin nro / tyyppi		1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/FP
Uudet alukset (kohta 3.2.2)	[kW]	7840	4941	3478	2253	6799	6406	5343	5017	3872
Olemassa olevat alukset (kohta 3.2.4)	[kW]	9192	6614			8466	7645	6614	6614	

Liite II Vaadittu konetehto alukselle, jonka jääluokka on IB tai IC ja jonka köli on laskettu tai joka oli samankaltaisessa rakennusvaiheessa ennen 1. syyskuuta 2003

Konetehto ei saa olla pienempi kuin alla olevan kaavan määrittämä eikä missään tapauksessa pienempi kuin 740 kW jääluokissa IB ja IC.

$$P = f_1 f_2 f_3 (f_4 \Delta + P_0) \text{ [kW]},$$

jossa

$f_1 = 1,0$ kiinteäsiipiselle potkurille
= 0,9 säätösiipipotkurille

$f_2 = \varphi_1 / 200 + 0,675$ mutta ei suurempi kuin 1,1,

jossa

φ_1 on keulan kallistuskulma keskilinjan kohdalla [astetta] (katso kuva 3-1).

Tulo $f_1 f_2$ ei saa olla pienempi kuin 0,85.

$f_2 = 1,1$ keulalle, jossa on bulbi

$f_3 = 1,2 B / \Delta^{1/3}$ mutta ei pienempi kuin 1,0

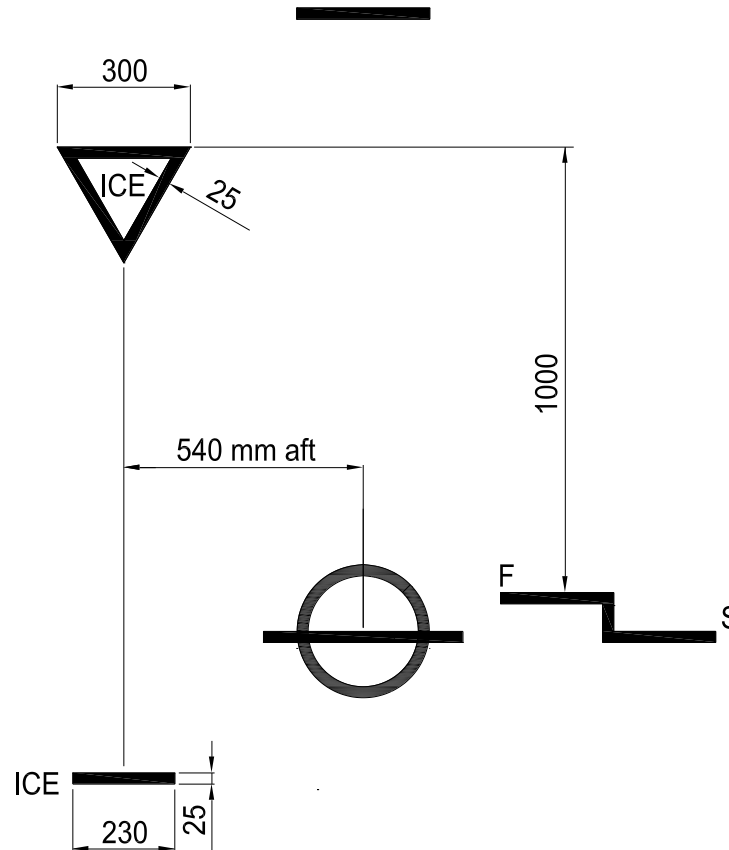
f_4 ja P_0 saadaan seuraavasti:

Jääluokka	IB	IC	IB	IC
Uppouma	$\Delta < 30\,000$		$\Delta \geq 30\,000$	
f_4	0,22	0,18	0,13	0,11
P_0	370	0	3070	2100

Δ on uppouma [t] aluksen suurimmalla jääluokkasyväyksellä kohdan 2.1 mukaisesti. Sen ei tarvitse olla suurempi kuin 80 000 t.

Liite III Jääluokkasyväysmerkintä

Kohdan 2.2 mukaan aluksen kylkiin on kiinnitettävä varoituskolmio ja syväysmerkki keskilai-
van suurimman sallitun jääluokkasyväyksen kohdalle (katso kuva III-1). Varoituskolmion tar-
koitus on antaa jäänmurtajien päälliköille ja satamien tarkastushenkilökunnalle tietoa aluksen
syväystä koskevasta rajoituksesta sen kulkiessa jäissä.



Kuva III-1. Jääluokkasyväysmerkintä

Huomautuksia, jotka koskevat kuvaa III-1

1. Varoituskolmion yläreunan on sijaittava pystysuoraan ICE-merkin yläpuolella, 1 000 mm suolattoman veden kesälastiviivaa korkeammalla mutta ei missään tapauksessa kansiviivaa korkeammalla. Kolmion sivujen pituuden on oltava 300 mm.
2. Jääluokkasyväysmerkin on sijaittava 540 mm lastiviivamerkin keskipisteestä perään päin tai 540 mm puutavaralastiviivamerkin pystysuorasta viivasta perään päin, jos kyseistä merkkiä käytetään.
3. Merkit ja kuviot on leikattava 5–8 mm:n paksuisesta levystä ja hitsattava aluksen kylkeen. Merkit ja kuviot on maalattava punaisella tai keltaisella heijastavalla maalilla, jotta ne näkyisivät selvästi myös jääolosuhteissa.
4. Kaikkien kirjainten mittasuhteiden on oltava samat kuin lastiviivamerkissä käytettyjen kirjainten.