Liikenteen turvallisuusvirasto TRAFI/31298/03.04.01.00/2010

MERITURVALLISUUS-MÄÄRÄYS

Antopäivä: 23.11.2010

Voimassaoloaika: 1.12.2010 - toistaiseksi

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

Kumoaa: -

Liikenteen turvallisuusvirasto, PL 320, 00101 HELSINKI, puh. 020 618 500, faksi 020 618 5095 www.trafi.fi

JÄÄLUOKKAMÄÄRÄYKSET JA NIIDEN SOVELTAMINEN

1 Määräysten tarkoitus

Näillä määräyksillä Liikenteen turvallisuusvirasto antaa liitteenä olevat, alusten jääluokista ja jäänmurtaja-avustuksesta annetun lain (1121/2005) 4 §:n 1 momentissa tarkoitetut tarkemmat määräykset (vuoden 2010 jääluokkamääräykset) eri jääluokkiin kuuluvien alusten rakenteelle, koneteholle ja muille jäissäkulkuominaisuuksille asetettavista vaatimuksista ja menetelmistä, joilla jääluokka määritellään, sekä eri jääluokkien välisistä eroista.

2 Vuoden 2010 jääluokkamääräysten soveltaminen

Vuoden 2010 jääluokkamääräyksiä on sovellettava aluksiin, joiden rakentamisesta sovitaan 1 päivänä tammikuuta 2012 tai sen jälkeen.

Vuoden 2010 jääluokkamääräyksiä voidaan kuitenkin soveltaa 1 päivästä joulukuuta 2010 lukien sellaisiin aluksiin, joiden rakentamisesta sovitaan 1 päivänä joulukuuta 2010 tai sen jälkeen.

Vuoden 2010 jääluokkamääräysten kohtien 1 (Yleistä) ja 2 (Jääluokkasyväys) säännöksiä sovelletaan kaikkiin aluksiin niiden rakentamisajankohdasta riippumatta.

3 Vuoden 2008 jääluokkamääräysten soveltaminen

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

4 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 Merenkulkulaitoksen vuoden 2002

jääluokkamääräyksiä (20.9.2002 Dnro 5/30/2002) niihin myöhemmin tehtyine muutoksineen.

5 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 Merenkulkuhallituksen vuoden 1985 määräyksiä alusten lukemisesta eri jäämaksuluokkiin (2.9.1985 Dnro 2575/85/307) niihin myöhemmin tehtyine muutoksineen. Laivanisännän pyynnöstä voidaan tällaiseen alukseen soveltaa myös Merenkulkulaitoksen 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 2010 jääluokkamääräysten kohdan 3.2.2 vaatimukset viimeistään 1 päivänä tammikuuta sinä vuonna, jolloin on kulunut 20 vuotta siitä kun alus on luovutettu, riippuen siitä kumpi ajankohta on myöhempi.

6 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 voidaan tällaiseen alukseen soveltaa myös Merenkulkuhallituksen vuoden 1985 määräyksissä alusten lukemisesta eri jäämaksuluokkiin tai Merenkulkulaitoksen 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 2010 jääluokkamääräysten kohdan 3.2.2 vaatimukset viimeistään 1 päivänä tammikuuta sinä vuonna, jolloin on kulunut 20 vuotta siitä kun alus on luovutettu, riippuen siitä kumpi ajankohta on myöhempi.

7 Voimaantulo

Nämä määräykset ja liitteenä olevat vuoden 2010 jääluokkamääräykset tulevat voimaan 1 päivänä joulukuuta 2010.

Tuomas Routa
Ylijohtaja

Jorma Kämäräinen
Merenkulunylitarkastaja

JÄÄLUOKKAMÄÄRÄYKSET 2010

23.11.2010 TRAFI/31298/03.04.01.00/2010

SISÄLLYSLUETTELO

1 YLEISTÄ 4
1.1 Jääluokat 4

2 JÄÄLUOKKASYVÄYS 4
2.1 Ylempi ja alempi jäävesiviiva 4
2.2 Suurin ja pienin syväys keulassa ja perässä 4

3 KONETEHO 5
3.1 Konetehon määritelmä 5
3.2 Vaadittu koneteho jääluokissa IA Super, IA, IB ja IC 5
3.2.1 Määritelmiä 5
3.2.2 Uudet alukset 6
3.2.3 Olemassaolevat jääluokkiin IB tai IC kuuluvat alukset 8
3.2.4 Olemassaolevat jääluokkiin IA Super ja IA kuuluvat alukset 8
3.2.5 Muita menetelmiä määrittää K_e tai R_{CH} 9

4 RUNGON RAKENTEELLINEN SUUNNITTELU 10
4.1 Yleistä 10
4.1.1 Rungon alueet 11
4.2 Jääkuorma 12
4.2.1 Jääkuormituksen korkeus 12
4.2.2 Jääpaine 12
4.3 Laidoitus 14
4.3.1 Jäävahvistuksen (jäävyöhykkeen) ulottuvuus pystysuunnassa 14
4.3.2 Levyn paksuus jäävyöhykkeessä 15
4.4 Kaaret 16
4.4.1 Jäävahvistuksen pystysuora ulottuvuus 16
4.4.2 Poikittaiskaaret 16
4.4.2.1 Taivutusvastus ja leikkauspinta-ala 16
4.4.2.2 Poikittaiskaarituksen yläpää 17
4.4.2.3 Poikittaiskaarituksen alapää 18
4.4.3 Pitkittäiskaaret 18
4.4.3.1 Polvioilla vahvistetut kaaret ja kaaret ilman polvioita 18
4.4.4 Yleistä kaarituksesta 19
4.4.4.1 Kaarten liittäminen kantaviin rakenteisiin 19
4.4.4.2 Kaarten tuenta jääluokassa IA Super, jääluokassa IA keula- ja keskilaiva-alueella sekä jääluokissa IB ja IC keula-alueen jäävahvistetulla alueella 19

4.5 Jääjäykkääjät 20
4.5.1 Jäykkääjät jäävyöhykkeessä 20
4.5.2 Jäävyöhykkeen ulkopuolella olevat jäykkääjät 20
4.5.3 Kansikaistaleet 21
4.6 Kehyskaaret 21
4.6.1 Jääkuormitus 21
4.6.2 Taivutusvastus ja leikkauspinta-ala 22
4.7 Keula 23
4.8 Perä 24

5 PERÄSIN JA OHJAUSLAITTEET 24

6 PROPULSIOKONEISTO 25
6.1 Soveltamisala 25
6.2 Määritelmiä 25
6.3 Mitoitusjääolosuhteet 29
6.4 Materiaalit 30
6.4.1 Merivedelle altistuvat materiaalit 30
6.4.2 Meriveden lämpötilalle altistuvat materiaalit 30
6.5 Mitoituskuormat 30
6.5.1 Potkurin lapojen mitoituskuormat 30
6.5.1.1 Avopotkurin lavan suurin voima taaksepäin F_b 30
6.5.1.2 Avopotkurin lavan suurin voima eteenpäin F_f 31
6.5.1.3 Avopotkurin kuormitustapaukset 31
6.5.1.4 Suulakepotkurin lavan suurin jäävoima taaksepäin F_b 33
6.5.1.5 Suulakepotkurin lavan suurin jäävoima eteenpäin F_f 33
6.5.1.6 Suulakepotkurien kuormitustapaukset 33
6.5.1.7 Avo- ja suulakepotkureiden lapojen suurin kääntömomentti Q_{smax} 34
6.5.1.8 Lapakuormien kuormitusjakautuma 34
6.5.1.9 Jääkuormitusten lukumäärä 35
6.5.2 Avo- ja suulakepotkurien aksiaalikuormat 36
6.5.2.1 Avo- ja suulakepotkurien enimmäisjäätyöntö T_f ja T_b 36
6.5.2.2 Avo- ja suulakepotkurillisten akselilinjojen työntö 36
6.5.3 Akselijohdon vääntökuormat 37
6.5.3.1 Avopotkurien jäämomentti Q_{max} 37
6.5.3.2 Suulakepotkurin jäämomentti Q_{max} 37
6.5.3.3 Avo- ja suulakepotkurien jäävääntömomenttiheräte 38
6.5.3.4 Potkurin akselilinjan mitoitusvääntömomentti 39
6.5.4 Lavan taittumiskuorma 40
6.6 Mitoitus 40
6.6.1 Mitoitusperiaate 40
6.6.2 Potkurin lapa 40
6.6.2.1 Lavan jännitysten laskeminen 40
6.6.2.2 Hyväksyttävyyskriteeri 41
6.6.2.3 Potkurin lavan väsymismitoitus 41
6.6.2.4 Hyväksymiskriteeri väsymiselle 44
6.6.3 Potkurin napa ja nousun säätömekanismi 44
6.6.4 Akselilinja 44

6.6.4.1 Akselit ja niiden komponentit 44
6.6.5 Ruoripotkuri pääpropulsiolaitteena 45
6.6.6 Värähtelyt 45
6.7 Vaihtoehtoiset mitoitusmenetelmät 45
6.7.1 Laajuus 45
6.7.2 Kuormitus 45
6.7.3 Mitoitustasot 45

7 MUUT KONEISTOVAATIMUKSET 46
7.1 Käynnistyslaitteet 46
7.2 Pohjakaivot ja jäähdytysvesijärjestelmät 46

Liite I Jääluokkien IA Super, IA, IB ja IC tehovaatimusten pätevyysalue (määräysten kohta 3.2.2) ja koneteholaskelmien tarkastaminen 48

Liite II Vaadittu koneteho alukselle, jonka jääluokka on IB tai IC ja jonka köli on laskettu tai joka on ollut samankaltaisessa rakennusvaiheessa ennen 1 päivää syyskuuta 2003 50

Liite III Jääluokkasyväysmerkintä 51

1 YLEISTÄ

1.1 Jääluokat

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

1. jääluokkaan IA Super alus, jonka rakenne, koneteho ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan vaikeissa jääolosuhteissa pääsääntöisesti ilman jäänmurtajan avustusta;
2. jääluokkaan IA alus, jonka rakenne, koneteho ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan vaikeissa jääolosuhteissa tarpeen mukaan jäänmurtajan avustamana;
3. jääluokkaan IB alus, jonka rakenne, koneteho ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan keskivaikeissa jääolosuhteissa tarpeen mukaan jäänmurtajan avustamana;
4. jääluokkaan IC alus, jonka rakenne, koneteho 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.

Syväyksen rajoitukset jäissä kuljettaessa on dokumentoitava ja 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 jääluokkasyväyksen kohdalle (ks. liite III), jos sen suolattoman veden kesälastiviiva sijaitsee jossakin kohdin korkeammalla kuin UIWL. Alukset, jotka on rakennettu ennen 1 päivää heinäkuuta 2007, on varustettava vastaavalla merkinnällä, jos UIWL sijaitsee kesälastiviivan alapuolella, 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 syväykseen. Painolastitankki, joka sijaitsee LIWL:n yläpuolella ja joka on tarpeen aluksen saattamiseksi LIWL:ää vastaavalle vesiviivalle, on varustettava laitteilla, jotka estävät veden jäätymisen tankissa. LIWL:ää määritettäessä on kiinnitettävä huomiota siihen, että aluksella tulee olla kohtuullinen jäissäkulkukyky painolastissa kulkiessaan. Potkurin on oltava kokonaan vedenpinnan alapuolella ja mahdollisuuksien mukaan kokonaan jään pinnan alapuolella. Syväyksen on oltava keulassa vähintään:

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

jossa

Δ on aluksen uppouma [t] suurimmalla jääluokkasyväyksellä kohdan 2.1 mukaan

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

3 KONETEHO

3.1 Konetehon määritelmä

Koneteho *P* on suurin teho, minkä kuljetuskoneisto pystyy jatkuvasti välittämään potkuriin/potkureille. Mikäli koneiston tehoa on teknisin toimenpitein tai alusta koskevin määräyksin rajoitettu, *P*:n arvona käytetään tätä rajoitettua tehoa.

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

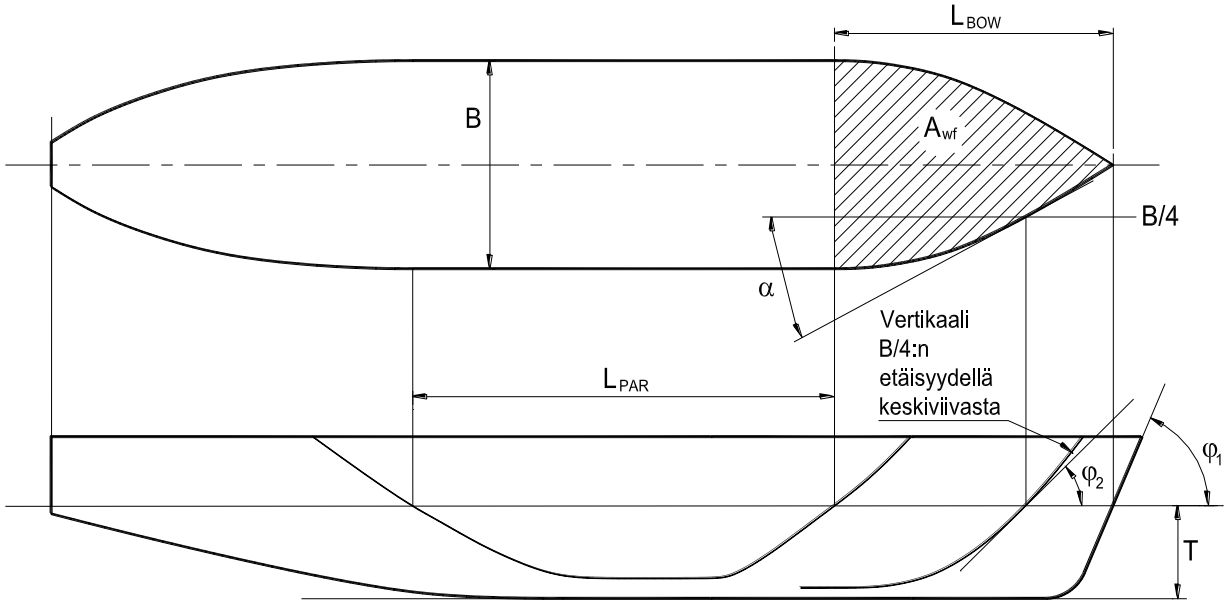
Koneteho ei saa olla pienempi kuin alla olevan kaavan määrittämä eikä missään tapauksessa pienempi kuin 1000 kW jääluokassa IA, IB ja IC, eikä pienempi kuin 2800 kW jääluokassa IA Super.

3.2.1 Määritelmiä

Aluksen mittojen sekä eräiden muiden parametrien määritelmät ovat seuraavat:

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 $\psi = \arctan(\tan\varphi/\sin\alpha)$ käyttäen kaikkialla kulmia α ja φ. Luvussa 3 kallistuskulma on laskettu siten, että $\varphi = \varphi_2$
D_P	m	potkurin halkaisija
H_M	m	jäämurskan paksuus keskiuomassa
H_F	m	keulan syrjään työntämän jäämurskakerroksen paksuus.



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

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. Käytettävät syväykset ovat suurin syväys keskilaivalla määriteltynä kuten UIWL ja pienin syväys määriteltynä kuten LIWL kohdassa 2.2. Sellaiset aluksen parametrit, jotka riippuvat syväyksestä, on määritettävä vastaavalla syväyksellä, mutta L ja B määritetään vain maksimisyväyksellä. Koneteho ei saa olla pienempi kuin suurin näistä kahdesta tehosta.

$$P = K_e \frac{\left(R_{CH}/1000\right)^{3/2}}{D_P}\left[\mathrm{kW}\right], \qquad (3.1)$$

jossa K_e otetaan seuraavasti:

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

Näitä K_e -arvoja käytetään tavanomaisiin kuljetuskoneistoihin. Määriteltäessä konetehovaatimuksia kehittyneemmille kuljetuskoneistoille, voidaan käyttää myös muita menetelmiä (katso kohta 3.2.4).

R_{CH} on aluksen aiheuttama jäävastus [Newton] murretussa jääuomassa, jossa on jäätynyt pintakerros:

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

jossa:

C_μ = 0,15cosφ_2 +sinψsinα, C_μ valitaan yhtä suureksi tai suuremmaksi kuin 0.45

C_ψ = 0,047·ψ –2.115, ja C_ψ = 0 kun $\psi \le 45^o$

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

H_M = 1,0 m jääluokissa IA ja IA Super
= 0,8 m jääluokassa IB
= 0,6 m jääluokassa IC

C_1 ja C_2 huomioivat jäämurskan uudelleen jäätyneen ylemmän kerroksen ja ne voidaan ottaa nollaksi jääluokille IA, IB ja IC.

Jääluokassa IA Super lasketaan C_1 ja C_2 seuraavasti:

$$C_1 = f_1 \frac{BL_{PAR}}{2\frac{T}{B}+1} + (1+0{,}021\varphi_1)(f_2 B + f_3 L_{BOW} + f_4 B L_{BOW})$$

$$C_2 = (1+0{,}063\varphi_1)(g_1 + g_2 B) + g_3 \left(1 + 1{,}2\frac{T}{B}\right)\frac{B^2}{\sqrt{L}}$$

Bulbikeulaiselle alukselle φ_1:n arvoksi otetaan 90°.

f_1 = 23 N/m^2	g_1 = 1530 N
f_2 = 45,8 N/m	g_2 = 170 N/m
f_3 = 14,7 N/m	g_3 = 400 N/m^{1,5}
f_4 = 29 N/m^2	

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

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

C_5 = 825 kg/s^2

$$\psi = \arctan\left(\frac{\tan\varphi_2}{\sin\alpha}\right)$$

Termiä $\left(\frac{LT}{B^2}\right)^3$ ei oteta pienemmäksi kuin 5, eikä suuremmaksi kuin 20.

Tarkempia tietoja edellä mainittujen kaavojen pätevyysalueesta sekä esimerkkitapauksia koneteholaskelmista on näiden määräysten liitteessä I. Jos aluksen parametriarvot, jotka on määritelty liitteessä I olevassa taulukossa I-1, ovat raja-arvojen ulkopuolella, on käytettävä muita menetelmiä R_{CH}:n määrittämiseksi kohdan 3.2.5 mukaisesti.

3.2.3 Olemassaolevat jääluokkiin IB tai IC kuuluvat alukset

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

3.2.4 Olemassaolevat jääluokkiin IA Super ja IA kuuluvat alukset

Voidakseen pitää jääluokan IA Super tai IA tulee aluksen, jonka köli on laskettu tai joka on ollut samankaltaisessa rakennusvaiheessa ennen 1 päivää syyskuuta 2003, täyttää kohdan 3.2.2 vaatimukset viimeistään:

- 1 päivänä tammikuuta 2005, tai
- 1 päivänä tammikuuta sinä vuonna, jolloin on kulunut 20 vuotta siitä, kun alus on luovutettu, riippuen siitä kumpi tapahtuu myöhemmin.

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

$$R_{CH} = C_1 + C_2 + C_3(H_F + H_M)^2(B + 0{,}658H_F) + C_4 L H_F{}^2 + C_5\left(\frac{LT}{B^2}\right)^3 \frac{B}{4}, \qquad (3.3)$$

jossa otetaan jääluokassa IA C_1:n ja C_2:n arvoksi nolla.

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

$$C_1 = f_1 \frac{BL_{PAR}}{2\frac{T}{B}+1} + 1{,}84(f_2 B + f_3 L + f_4 BL)$$

$$C_2 = 3{,}52(g_1 + g_2 B) + g_3\left(1 + 1{,}2\frac{T}{B}\right)\frac{B^2}{\sqrt{L}}$$

Jääluokassa IA Super, jos alus on varustettu bulbilla, lasketaan C_1 ja C_2 seuraavasti:

$$C_1 = f_1 \frac{BL_{PAR}}{2\frac{T}{B}+1} + 2{,}89(f_2 B + f_3 L + f_4 BL)$$

,

$$C_2 = 6{,}67(g_1 + g_2 B) + g_3\left(1 + 1{,}2\frac{T}{B}\right)\frac{B^2}{\sqrt{L}}$$

jossa:

f_1 = 10,3 N/m^2	g_1 = 1530 N
f_2 = 45,8 N/m	g_2 = 170 N/m
f_3 = 2,94 N/m	g_3 = 400 N/m^{1,5}
f_4 = 5,8 N/m^2	

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

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

C_5 = 825 kg/s^2

Termiä $\left(\frac{LT}{B^2}\right)^3$ ei oteta pienemmäksi kuin 5, eikä suuremmaksi kuin 20.

3.2.5 Muita menetelmiä määrittää K_e tai R_{CH}

Yksittäiselle alukselle voidaan hyväksyä edellä määritettyjen K_e- tai R_{CH}-arvojen asemasta sellaiset K_e- tai R_{CH}-arvot, jotka perustuvat tarkempiin laskelmiin tai mallikokeisiin. Tällaisen hyväksynnän ehtona on, että se voidaan peruuttaa, jos kokemukset aluksen suorituskyvystä antavat siihen aihetta.

Suunnitteluvaatimuksena eri jääluokille on 5 solmun vähimmäisnopeus seuraavanlaisissa murretuissa jääuomissa:

IA Super H_M = 1,0 m sekä 0,1 m vahvuinen jäätynyt pintakerros
IA = 1,0 m
IB = 0,8 m
IC = 0,6 m

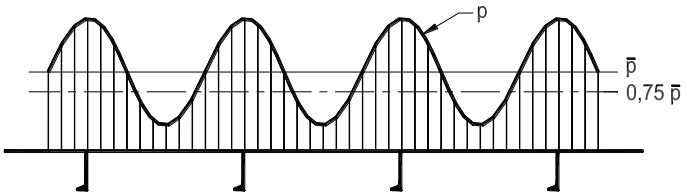
4 RUNGON RAKENTEELLINEN SUUNNITTELU

4.1 Yleistä

Menetelmä, jolla määritetään rungon mitoitus, perustuu tiettyihin oletuksiin, jotka koskevat rakenteeseen kohdistuvan jääkuormituksen luonnetta. Nämä oletukset perustuvat pohjoisen Itämeren alueella tehtyihin täysmittakaavakokeisiin.

Pienellä kuormitusalueella paikallinen jääpaine voi saavuttaa melko suuria arvoja ja saattaa olla selvästi suurempi kuin merijään normaali yksiaksiaalinen murtolujuus. Tämä johtuu siitä, että jännitystila on todellisuudessa moniaksiaalinen.

Kaareen kohdistuva jääpaine on suurempi kuin kaarten välissä olevaan laidoitukseen kohdistuva jääpaine. Tämä johtuu siitä, että kaarten ja laidoituksen taivutusjäykkyys on erilainen. Kuormitusjakauman on oletettu olevan kuvan 4-1 mukainen.



Kuva 4-1. Jääpaineen jakautuminen aluksen kyljessä.

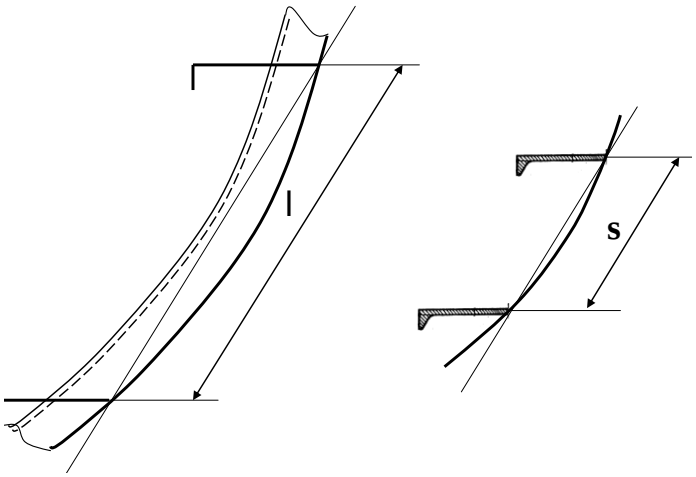
Rungon mitoituksen määrittelyyn tässä luvussa annetut kaavat ja arvot voidaan korvata suoralla laskentamenetelmällä, jos hallinto tai luokituslaitos katsoo, etteivät ne kelpaa tai sovellu tiettyyn rakennejärjestelyyn tai yksityiskohtaan. Muutoin suoraa laskentamenetelmää ei tule käyttää vaihtoehtona kohtien 4.3 – 4.5 nimenomaisten vaatimusten mukaisille analyyttisille menetelmille.

Suorassa laskentamenetelmässä käytetään kohdassa 4.2 määriteltyä jääkuormaa (p, h and l_a). Käytettävä paine on 1,8p, jossa p on määritelty kohdan 4.2.2 mukaisesti. Jääkuormaa on sovellettava kohdissa, joissa rakenteen lujuus taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutuksesta on pienin. Rakenne on erityisesti tarkastettava siten, että kuorma on keskitetty ylemmälle jäävesiviivalle, 0,5 h_0 alemman jäävesiviivan alle sekä sijoitettuna useaan pystysuoraan kohtaan niiden välille. Useampi vaakasuora kohta on myös tarkistettava, erityisesti keskijänneväliin tai keskiväliin keskitetyt kohdat. Lisäksi, jollei kuormapituutta l_a voida määritellä suoraan rakenteen järjestelystä, useampi l_a -arvo tulee tarkistaa käyttäen vastaavia c_a -arvoja.

Suunnitelmien/mallien hyväksymiskriteerinä on, että taivutuksesta ja leikkauksesta johtuva kokonaisjännitys von Misesin myötökriteeriä käyttäen on alhaisempi kuin myötöraja σ_y. Kun suorassa laskennassa käytetään palkkiteoriaa, 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 määritellyt 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) määritellään kaarivälien (tai jännevälien) päätepisteiden väliseksi pituudeksi. Jännevälien päätepisteet määritellään levyn laipan tai yläreunan leikkauspisteen ja tukena olevan rakenne-elementin leikkauspisteinä (jäykkääjä, kehyskaari, kansi tai laipio). Kuvasta 4-2 ilmenevät kaaren jännevälin ja kaarivälin määrääminen 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 luokituslaitoksen säännöissä, joiden mukaan alus rakennetaan.

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, tulee jäykisteen taivutusvastus ja leikkauspinta-ala laskea kyseistä alusta koskevien luokituslaitoksen sääntöjen mukaisesti.

4.1.1 Rungon alueet

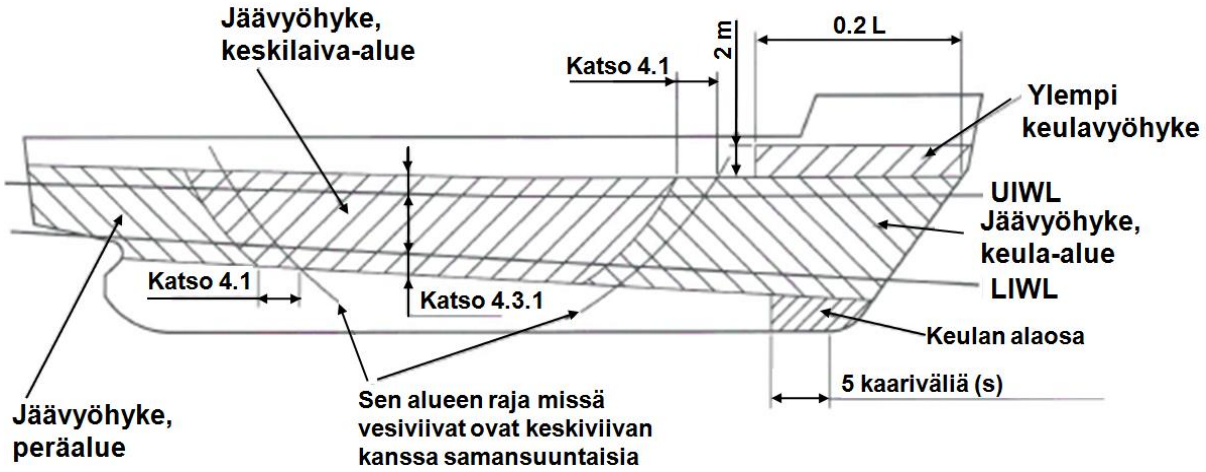
Aluksen runko jaetaan alueisiin seuraavasti (katso myös kuva 4-3):

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 keskiviivan kanssa. Jääluokissa IA Super ja IA rajaviivan ylityksen ei tarvitse olla suurempi kuin 6 metriä, jääluokissa IB ja IC ylityksen ei tarvitse olla suurempi kuin 5 metriä.

Keskilaiva-alue: Alue ulottuu keula-alueen takarajasta keskilaiva-alueen takarajaan. Keskilaiva-alueen takaraja sijaitsee etäisyydellä 0,04·*L* perään päin sellaisesta takarajan kanssa yhdensuuntaisesta viivasta, jonka keulapuolella aluksen vesiviivat ovat yhdensuuntaiset keskiviivan kanssa. Jääluokissa IA Super ja IA rajaviivan ylityksen ei tarvitse olla suurempi kuin 6 metriä, 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 Jääkuorma

4.2.1 Jääkuormituksen korkeus

Jäävahvistetun aluksen oletetaan liikennöivän avomerellä tasaisessa jäässä, jonka paksuus ei ylitä arvoa h_o. Sen alueen, joka todellisuudessa on milloin tahansa jääpaineen vaikutuksen alaisena, suunnittelujääkuormituskorkeuden (h) on kuitenkin oletettu olevan ainoastaan osa jään paksuudesta. Arvot symboleille h_o ja h on annettu seuraavassa taulukossa:

Jääluokka	h_o [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

Suunnittelujääpaine saadaan kaavalla:

$$p = c_d \cdot c_p \cdot c_a \cdot p_0 \text{ [MPa]}, \tag{4.1}$$

jossa:

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

$$c_d = \frac{a \cdot k + b}{1000},$$

jossa:

$$k = \frac{\sqrt{\Delta \cdot P}}{1000}.$$

Arvot a:lle ja b:lle saadaan seuraavasta taulukosta:

	Alue			
	Keula		Keskilaiva & 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 2.1)

P on aluksen todellinen jatkuva koneteho [kW] (katso kohta 3.1).

c_p on tekijä, joka ottaa huomioon sen todennäköisyyden, millä suunnittelujääpaine esiintyy tietyssä rungon alueessa kyseessä olevassa jääluokassa.

c_p:n arvot saadaan seuraavasta taulukosta:

Jääluokka	Alue		
	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 ottaa huomioon todennäköisyyden, että tarkasteltava alue on koko pituudeltaan jääpaineen alaisena samana ajankohtana. Se lasketaan kaavalla:

$$c_a = \sqrt{\frac{l_0}{l_a}}, \text{ max 1,0, min 0,35, } l_0 = 0{,}6 \text{ m},$$

jossa l_a otetaan seuraavasti:

Rakenne	Kaarityyppi	l_a [m]
Laidoitus	Poikittainen	Kaariväli
	Pitkittäinen	1,7 · kaariväli
Kaaret	Poikittainen	Kaariväli
	Pitkittäinen	Kaaren jänneväli
Jääkaari		Kaaren jänneväli
Kehyskaari		2 · kehyskaarten väli

p_o on nimellisjääpaine; käytetään arvoa 5,6 MPa.

4.3 Laidoitus

4.3.1 Laidoituksen jäävahvistuksen (jäävyöhykkeen) ulottuvuus pystysuunnassa

Jäävyöhykkeen ulottuvuus pystysuunnassa on seuraava (katso kuva 4-3):

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

Lisäksi on vahvistettava seuraavat alueet:

Keulan alaosa: Jääluokan IA Super aluksissa laidoituksen paksuuden on oltava jäävyöhykkeen alapuolella keulasta sellaiseen kohtaan, joka on viisi pääkaariväliä perään päin pisteestä, jossa keulaprofiili yhtyy köliviivaan, vähintään sama kuin jäävyöhykkeen paksuus keskilaivassa.

Ylempi keulavyöhyke: Jääluokkien IA Super ja IA aluksissa, joiden avovesinopeus on suurempi tai yhtä suuri kuin 18 solmua, laidoituksen paksuuden on oltava vähintään sama kuin jäävyöhykkeen paksuus keskilaivassa, ylärajasta 2 metriä ylöspäin sekä keularangasta etäisyydelle 0,2 *L* keulapystysuorasta peräänpäin. Vastaava vahvistus keulaosassa on suositeltava myös alukselle, jolla on pienempi matkanopeus, kun esim. 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 (esim. syvennyksen kohdalla puolikantisessa aluksessa), partaan lujuuden on oltava vähintään sama kuin jäävyöhykkeen lujuus. Myös tyhjennysaukkojen on täytettävä tämä vaatimus.

4.3.2 Levyn paksuus jäävyöhykkeessä

Poikittaiskaarijärjestelmässä laidoituslevyjen paksuus määritetään kaavalla:

$$t \;=\; 667\; s\; \sqrt{\frac{f_1 \cdot p_{PL}}{\sigma_y}} + t_c \,[\mathrm{mm}] \tag{4.2}$$

Pitkittäiskaarijärjestelmässä laidoituslevyjen paksuus määritetään kaavalla:

$$t = 667 s \sqrt{\frac{p}{f_2 \cdot \sigma_y}} + t_c \;[\mathrm{mm}], \tag{4.3}$$

jossa:

s on kaariväli [m]

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

$f_1 = 1{,}3 - \dfrac{4{,}2}{(h/s + 1{,}8)^2}$; max 1,0

$f_2 = 0{,}6 + \dfrac{0{,}4}{(h/s)}$; kun $h/s \leq 1$

$f_2 = 1{,}4 - 0{,}4(h/s)$; kun $1 \leq h/s \leq 1{,}8$

jossa h on kuten kohdassa 4.2.1

σ_y on materiaalin myötöraja [N/mm^2], jolle käytetään seuraavia arvoja:

σ_y = 235 N/mm^2 normaalilujuuksiselle rakenneteräkselle

σ_y = 315 N/mm^2 tai suurempi suurilujuuksiselle rakenneteräkselle

Jos käytetään teräksiä, joiden myötörajat eroavat ylläolevista, nämä voidaan korvata todellisilla arvoilla, mikäli luokituslaitos sen hyväksyy.

t_c on kulumis- ja korroosiolisä [mm]; normaalisti t_c = 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 seuraava:

Jääluokka	Rungon alue	UIWL:n yläpuolella	LIWL:n alapuolella
IA Super	Keula	1,2 m	Kaksoispohjaan asti tai pohjatukkien yläreunan alapuolelle
	Keskilaiva		2,0 m
	Perä		1,6 m
IA, IB ja IC	Keula	1,0 m	1,6 m
	Keskilaiva		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 ulottuisi kannen, tankin katon (tai pohjan) tai kaksoispohjan yli vähemmän kuin 250 mm, voi jäävahvistus päättyä kanteen, tankin kattoon (tai pohjaan) tai kaksoispohjaan.

4.4.2 Poikittaiskaaret

4.4.2.1 Taivutusvastus ja leikkauspinta-ala

Poikittaisen pää- ja välikaaren taivutusvastus on laskettava kaavalla:

$$Z = \frac{p \cdot s \cdot h \cdot l}{m_t \cdot \sigma_y} 10^6 \left[\mathrm{cm}^3\right], \tag{4.4}$$

ja tehollinen leikkauspinta-ala lasketaan kaavalla:

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot f_3 \cdot p \cdot h \cdot s}{2\sigma_y} 10^4 \ \ [\mathrm{cm}^2] \tag{4.5}$$

jossa:

p on jääpaine kuten kohdassa 4.2.2 [MPa]

s on kaariväli [m]

h on kuormitusalueen korkeus kuten kohdassa 4.2.1 [m]

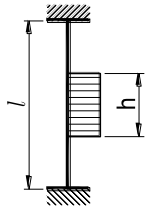
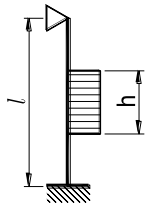
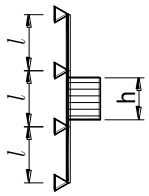
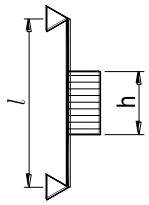
l on kaaren jänneväli [m]

$$m_t = \frac{7m_0}{7 - 5h/l}$$

f_3 on tekijä, joka ottaa huomioon suurimman leikkausvoiman kuorman sijainnin suhteen ja leikkauskuorman jakautuman, f_3 = 1,2

σ_y on myötöraja kuten kohdassa 4.3.2 [N/mm^2]

m_o ottaa huomioon reunaehdot. Arvot saadaan seuraavasta taulukosta:

Reunaehto	m_o	Esimerkki
	7	Kaaret bulk-aluksessa, jossa yläsiipitankit
	6	Kaaret, jotka ulottuvat yksikantisessa aluksessa kaksoispohjasta kanteen
	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 vähemmän kuin 15 % kaaren jännevälistä, *l*, on sijoittunut kohdassa 4.4.1 määritellyn jäävahvistusalueen sisälle, saadaan käyttää normaalia kaaren ainevahvuutta.

4.4.2.2 Poikittaiskaarituksen yläpää

Pää- ja välijääkaaren vahvistetun yläosan on liityttävä kanteen, tankin kattoon (tai pohjaan) tai jäykkääjään (kohta 4.5).

Jos kaari päättyy kannen tai jäykkääjän yläpuolelle, joka sijaitsee jäävyöhykkeen ylärajalla tai sen yläpuolella (kohta 4.3.1), voidaan kaaren kannen tai jäykkääjän ylimenevässä osassa soveltaa luokituslaitosten jäävahvistamattomalle alukselle asettamia mitoitusvaatimuksia ja välikaaren yläpää voidaan yhdistää viereisiin pääkaariin vaakasuoralla osalla, joka on samaa ainevahvuutta kuin pääkaari.

4.4.2.3 Poikittaiskaarituksen alapää

Pää- ja välijääkaaren vahvistetun alapään on liityttävä kanteen, tankin kattoon (tai pohjaan) tai jääjäykkääjään (kohta 4.5).

Jos välikaari päättyy kanteen, tankin kattoon (tai pohjaan) tai jääjäykkääjään, joka sijaitsee jäävyöhykkeen alarajalla (kohta 4.3.1) tai sen alapuolella, voidaan alapää yhdistää viereisiin pääkaariin vaakasuuntaisella vahvisteella, jonka mitoitus on sama kuin pääkaaren. Jäävyöhykkeen alareunan alapuolella olevien pääkaarien on oltava jäävahvistetut, ks. kohta 4.4.1.

4.4.3 Pitkittäiskaaret

Seuraavat vaatimukset koskevat pitkittäiskaaria reunaehdoista riippumatta:

4.4.3.1 Polvioilla vahvistetut kaaret ja kaaret ilman polvioita

Pitkittäiskaaren taivutusvastus lasketaan kaavalla:

$$Z = \frac{f_4 \cdot p \cdot h \cdot l^2}{m \cdot \sigma_y} 10^6 \ [\text{cm}^3]. \tag{4.6}$$

Pitkittäiskaaren tehollinen leikkauspinta-ala on:

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot p \cdot h \cdot l}{2\sigma_y} 10^4 \ \ [\text{cm}^2]. \tag{4.7}$$

Laskettaessa kaarien varsinaista leikkauspinta-alaa, polvioiden poikkipinta-alaa ei oteta lukuun.

Yllä olevissa kaavoissa:

f_4 on tekijä, joka ottaa huomioon viereisillä kaarilla olevan kuormituksen jakauman:

$f_4 = (1 – 0{,}2\ h/s)$

f_5 on kerroin, joka huomioi suurimman leikkausvoiman kuorman sijainnin suhteen ja leikkausjännityksen 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: *m* = 13,3 jatkuvalle palkille; kun reunaehdot poikkeavat merkittävästi jatkuvan palkin reunaehdoista, esimerkiksi palkin päässä, voi olla tarpeen käyttää pienempää reunaehtotekijän arvoa. Kun on kyse kaarista, joita ei ole vahvistettu polvioilla, käytetään arvoa m = 11,0.

σ_y on myötöraja kuten kohdassa 4.3.2 [N/mm^2].

4.4.4 Yleistä kaarituksesta

4.4.4.1 Kaarten liittäminen kantaviin rakenteisiin

Jäävahvistetulla alueella kaikkien kaarten on oltava tehokkaasti kiinnitetty kaikkiin kantaviin rakenteisiin. Pitkittäiskaari pitää kiinnittää 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 uumalevy yhdistettävä rakenteeseen molemmin puolin joko suoraan hitsaamalla, kauluslevyllä tai tukikappaleella. Asennettavalla polviolla on oltava vähintään sama ainevahvuus kuin kaarella ja polvion reuna on jäykistettävä tarkoituksenmukaisesti lommahduksen estämiseksi.

4.4.4.2 Kaarten tuenta jääluokassa IA Super, jääluokassa IA keula- ja keskilaiva-alueella sekä jääluokissa IB ja IC keula-alueen jäävahvistetulla alueella

Kaaret on kiinnitettävä laidoitukseen jatkuvalla kaksipuolisella hitsillä. Lovistusta ei sallita paitsi 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 latta-jäykisteille;
- 2,5 % kaarivälistä poikittaisille kaarille;
- puolet levyn paksuudesta ilman korroosiolisää, $t - t_c$. Kaarten uuman paksuuden laskentaa varten on vaadittava levyn paksuus laskettava kohdan 4.3.2 mukaisesti käyttäen kaarten myötörajaa σ_y;
- 9 mm.

Kun kaaren paikalla on kansi, tankin katto (tai pohja) tai laipio, on kyseisen rakenteen levyn paksuuden oltava yllä esitetyn mukainen viereisten kaarien korkeudelle asti.

Kaaret, jotka eivät ole kohtisuorassa levyä vastaan tai joiden poikkileikkaus on epäsymmetrinen ja joiden jänneväli ylittää 4,0 m, on tuettava kaatumista vastaan polvioilla, välijäykkääjillä, jäykkääjillä tai vastaavilla tuilla, joiden välinen etäisyys ei ole yli 1,3 m. Jos jänneväli on

alle 4,0 m, vaaditaan kaatumistuet epäsymmetrisille jäykisteille ja jäykisteille, joiden uuma ei ole kohtisuorassa levyä vastaan seuraavilla alueilla:

IA Super	Kaikki runkoalueet
IA	Keula- ja keskilaiva-alueet
IB and IC	Keula-alue.

4.5 Jääjäykkääjät

4.5.1 Jäykkääjät jäävyöhykkeessä

Jäävyöhykkeessä olevan jäykkääjän taivutusvastus (kohta 4.3.1) lasketaan kaavalla:

$$Z = \frac{f_6 \cdot f_7 \cdot p \cdot h \cdot l^2}{m \cdot \sigma_Y} 10^6 [\mathrm{cm}^3]. \tag{4.8}$$

Tehollinen leikkauspinta-ala on:

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot f_6 \cdot f_7 \cdot f_8 \cdot p \cdot h \cdot l}{2 \cdot \sigma_Y} 10^4 [\mathrm{cm}^2], \tag{4.9}$$

jossa:

p on jääpaine kuten kohdassa 4.2.2 [MPa]

h on kuormitusalueen korkeus kuten kohdassa 4.2.1 [m]

Tuloa $p \cdot h$ ei oteta pienemmäksi kuin 0,15.

l on jäykkääjän jänneväli [m]

m on reunaehtotekijä kuten kohdassa 4.4.3

f_6 on tekijä, joka ottaa huomioon kuormituksen jakautumisen poikittaisille kaarille, jonka arvoksi otetaan 0,9

f_7 on jäykkääjien lujuuden varmuuskerroin, jonka arvoksi otetaan 1,8

f_8 on tekijä, joka ottaa huomioon leikkausvoiman suurimman arvon kuorman sijainnin suhteen ja leikkausvoiman jakautuman; f_8 = 1,2

σ_y on myötöraja kuten kohdassa 4.3.2.

4.5.2 Jäävyöhykkeen ulkopuolella olevat jäykkääjät

Jäykkääjien, jotka ovat jäävyöhykkeen ulkopuolella, mutta jotka tukevat jäävahvistettuja kaaria, taivutusvastus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$Z = \frac{f_9 \cdot f_{10} \cdot p \cdot h \cdot l^2}{m \cdot \sigma_Y}(1 - h_s / l_s) \cdot 10^6 [\mathrm{cm}^3]. \quad (4.10)$$

Tehollinen leikkauspinta-ala on:

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot f_9 \cdot f_{10} \cdot f_{11} \cdot p \cdot h \cdot l}{2\sigma_Y}(1 - h_s / l_s) \cdot 10^4 [\mathrm{cm}^2], \quad (4.11)$$

jossa:

p on jääpaine kuten kohdassa 4.2.2 [MPa]

h on kuormitusalueen korkeus kuten kohdassa 4.2.1 [m]

Tuloa $p \cdot h$ ei oteta pienemmäksi kuin 0,15.

l on jäykkääjän 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 ottaa huomioon poikittaiskaariin kohdistuvan kuormituksen, jonka arvoksi otetaan 0,80

f_{10} on jäykkääjien lujuuden varmuuskerroin, jonka arvoksi otetaan 1,8

f_{11} on tekijä, joka ottaa huomioon leikkausvoiman suurimman arvon kuorman sijainnin suhteen ja leikkausvoiman jakautuman; f_{11} = 1,2

σ_y on 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 $p \cdot h$ arvon otettavaksi pienemmäksi kuin 0,15, mutta ei missään tapauksessa pienemmäksi kuin 0,10.

Suunniteltaessa sääkannen luukkuja ja niiden kiinnikkeitä erittäin pitkiin luukun aukkoihin, (suurempiin kuin *B/2)* on kiinnitettävä huomiota jääpaineen vaikutuksesta tapahtuvaan aluksen kylkien taipumiseen.

4.6 Kehyskaaret

4.6.1 Jääkuormitus

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

$$F = f_{12} \cdot p \cdot h \cdot S \text{ [MN]}, \tag{4.12}$$

jossa:

p on jääpaine kuten kohdassa 4.2.2 [MPa], laskettaessa arvoa c_a on l_a:n arvoksi otettava 2S.

h on kuormitusalueen korkeus kuten kohdassa 4.2.1 [m]

Tuloa $p \cdot h$ ei oteta pienemmäksi kuin 0,15.

S on kehyskaarten välinen etäisyys [m]

f_{12} on jäykkääjien kuormituksen varmuuskerroin, jonka arvoksi otetaan 1,8

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

4.6.2 Taivutusvastus ja leikkauspinta-ala

Kehyskaarten taivutusvastus ja leikkauspinta-ala lasketaan seuraavilla kaavoilla:

Leikkauspinta-ala:

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot \alpha \cdot f_{13} \cdot Q \cdot 10^4}{\sigma_y} \text{ [cm}^2\text{]}, \tag{4.13}$$

jossa:

Q on suurin arvioitu leikkausvoima, joka aiheutuu jääkuormituksesta F, joka on annettu kohdassa 4.6.1, jossa

f_{13} on tekijä, joka ottaa huomioon leikkausvoiman jakautumisen, f_{13} = 1,1

α saadaan alla olevasta taulukosta

σ_y on materiaalien myötöraja kuten kohdassa 4.3.2.

Taivutusvastus:

$$Z = \frac{M}{\sigma_y} \sqrt{\frac{1}{1-\left(\gamma A / A_a\right)^2}} 10^6 \left[\text{cm}^3\right], \tag{4.14}$$

jossa:

M on suurin arvioitu taivutusmomentti, joka aiheutuu jääkuormituksesta F; tämän arvoksi otetaan M = 0,193 $\cdot$ $F \cdot l$

γ saadaan alla olevasta taulukosta

A on vaadittu leikkauspinta-ala

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

Tekijät α ja γ saadaan alla olevasta taulukosta

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

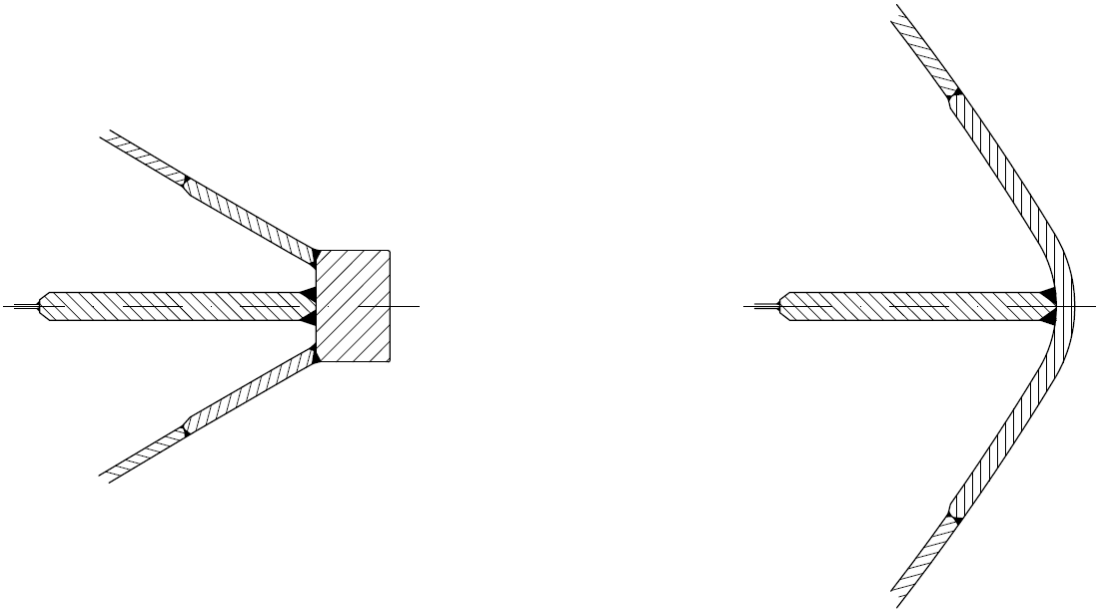
jossa:

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 teräslevyistä, kuten kuvassa 4-4 on esitetty.



Kuva 4-4. Esimerkkejä hyvistä keulista

Levyn paksuus, jos keularanka on tehty taivutetusta levystä tai jos keula on tylppä ja mikä tahansa laidoituksen osa, jossa $\alpha \geq 30^o$ and $\psi \geq 75^o$ (ks. kohdan 3.2.1 kulmien määritelmät), on laskettava kaavalla, joka on esitetty kohdassa 4.3.2, olettaen että:

s on levyn tukirakenteiden etäisyys [m]

$p_{PL} = p$ [MPa] (katso 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 mikäli aluksessa on oltava ylempi keulavyöhyke (katso kohta 4.3.1), tämän vyöhykkeen ylärajaan asti.

4.8 Perä

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

Jotta vältyttäisiin potkurin siiven kärkien liian suurilta kuormituksilta, potkurin/potkurien ja rungon (peräranka mukaan lukien) välys ei saa olla pienempi kuin h_0 (ks. kohta 4.2.1).

Aluksissa, joissa on kaksi tai kolme potkuria, laidoituksen ja kaarten jäävahvistuksen on ulotuttava kaksoispohjaan 1.5 metriä sivupotkureiden perä- ja keulapuolella.

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

5 PERÄSIN JA OHJAUSLAITTEET

Peräsinranka, peräsinvarsi, tapit, peräsinkone sekä ohjausjärjestelmän muut osat, kuten myös peräsinkoneen teho, on mitoitettava luokituslaitosten sääntöjen mukaan. Näissä laskelmissa käytetty nopeus ei kuitenkaan saa olla pienempi kuin:

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

Jos aluksen todellinen suurin nopeus on suurempi, käytetään sitä.

Peräsimien rakenteiden mitoitus on suoritettava olettamalla, että koko peräsin kuuluu jäävyöhykkeeseen. Lisäksi peräsimen levyn paksuus ja kaarten mitoitus suunnitellaan käyttämällä keskilaiva-alueen jääpainetta.

Jääluokan IA Super ja IA aluksissa, peräsin (peräsinvarsi ja peräsimen yläreuna) on suojattava suoralta kontaktilta ehjän jääkentän kanssa jääkynnellä, joka mahdollisuuksien mukaan ulottuu LIWL-rajan alapuolelle (tai vastaavalla tavalla). Erityistä huomiota on kiinnitettävä peräsimen ja jääkynnen suunnitteluun aluksissa, joilla on taittuva peräsimen takareuna (flap-type rudder).

Jääluokan IA ja IA Super aluksissa on erityistä huomiota kiinnitettävä niihin suuriin kuormituksiin, jotka syntyvät kun peräsintä poikkeutetaan keskiasennosta aluksen samalla peruutta-

essa jäähän tai jäävalliin. Soveltuvat järjestelmät kuten peräsinkulman rajoittimet on asennettava näiden kuormitusten rajoittamiseksi.

Peräsimien kääntökoneistojen hydrauliikkajärjestelmiin on asennettava paineenalennusventtiilit. Peräsinkoneiston osien (esim. peräsintukki, peräsinlaakeri, peräsimen varsi jne.) on mitoitettava kestämään kuormia, jotka aiheuttavat peräsintukissa 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 kuormitukset ovat arvioituja koko käyttöiän aikaisia kuormia, jotka syntyvät aluksen toimiessa normaaleissa käyttöolosuhteissa mukaan lukien kiinteälapaisten potkurien pyörimissuunnan vaihtamisesta johtuvat kuormitukset. Näiden määräysten kuormat eivät kuitenkaan koske hyvän merimiestavan vastaisia käyttötilanteita, esim. kun pysäytetty potkuri ajetaan väkisin jään läpi. Määräykset koskevat myös pääpropulsiokoneistoina toimivia ruoripotkurilaitteita ja niissä otetaan huomioon potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuvat kuormitukset. Määräysten kuormitustapaukset eivät kuitenkaan koske tilanteita, joissa jää kohtaa käännetyn ruoriohjauspotkurin sivusuunnasta (potkurin säteen suunnasta) eikä kuormitustapauksia, joissa jäälohkare osuu vetävää potkuria sen napaan. Jään ja rakenteen vuorovaikutuksesta syntyvät ruoripotkurien rungon kuormat pitää huomioida, mutta kaavoja jääkuormien laskemiseksi ei ole vielä käytettävissä.

6.2 Määritelmiä

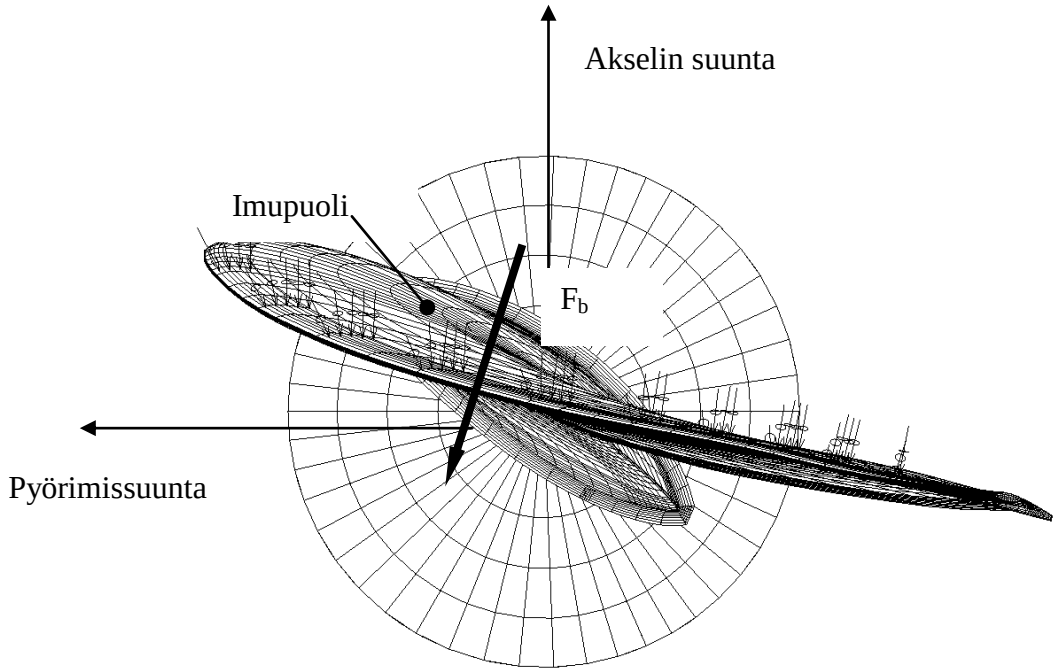
c	m	lavan sylinterileikkauksen profiilin jänneviivan pituus
$c_{0,7}$	m	lavan sylinterileikkauksen profiilin jänneviivan pituus potkurin 0,7R-säteellä
CP		säädettävä nousu
D	m	potkurin halkaisija
d	m	potkurin navan ulkohalkaisija (potkuritasossa)
D_{limit}	m	potkurin halkaisijan raja-arvo
EAR		levitetty pinta-alasuhde
F_b	kN	suurin lapaa taaksepäin taivuttava kuorma aluksen käyttöiän aikana
F_{ex}	kN	äärikuorma, jolla lapa taittuu 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	mitoitusjäälohkareen paksuus
I	kgm^2	akselilinjan kaikkien moottorin puolella olevien osien massahitausmomentti
I_t	kgm^2	koko propulsiojärjestelmän massahitausmomentti
k		Weibull jakautuman 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 nimellispyörimisnopeus
N_{class}		nimellinen kuormien lukumäärä potkurin pyörimisnopeutta kohden
N_{ice}		lavan jääkuormien kokonaislukumäärä aluksen käyttöiän aikana
N_R		ekvivalenttia väsymisjännitystä vastaava kuormitussyklien lukumäärä (10^8 sykliä)
N_Q		potkurin kierrosten lukumäärä jään jyrsintätilanteen 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_{motor}	kNm	sähkömoottorin enimmäisvääntömomentti
Q_n	kNm	nimellisvääntömomentti jatkuvalla enimmäisteholla (MCR) avovedessä
Q_r	kNm	enimmäisvääntömomenttivaste akselilinjassa
Q_{smax}	kNm	lavan suurin kääntömomentti aluksen käyttöiän aikana
R	m	potkurin säde
r	m	potkurin sylinterileikkauksen säde
T	kN	potkurin työntö
T_b	kN	suurin aksiaalinen jääkuorma taaksepäin potkurissa aluksen käyttöiän ai-

		kana
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 aksiaalivärähtelyvaste akselilinjassa
t	m	lavan sylinterileikkauksen enimmäispaksuus
Z		potkurin lapojen lukumäärä
α_i	deg	potkurin lavan ja jään vuorovaikutuksen kesto asteina (yhden jyrsimisjakson kiertokulma)
γ_ε		väsymislujuuden muuntokerroin; hajonnan ja koekappaleen koon vaikutus
γ_v		väsymislujuuden muuntokerroin; muuttuva amplitudisen kuormituskertymän vaikutus
γ_m		väsymislujuuden muuntokerroin; keskijännityksen vaikutus
ρ		väsymisjännityksen muuntokerroin ekvivalentin väsymisjännityksen laskemiseksi vastaten 10^8 kuormitussykliä
$\sigma_{0,2}$	MPa	lapamateriaalin myötölujuus (0,2 % venymäraja)
σ_{exp}	MPa	lapamateriaalin keskimääräinen väsymislujuus merivedessä vastaten 10^8 kuormitussykliä
σ_{fat}	MPa	ekvivalentti jännitysamplitudi vastaten 10^8 kuormitussykliä
σ_{fl}	MPa	lapamateriaalin väsymislujuus
σ_{ref}	MPa	referenssilujuus $\sigma_{ref} = 0{,}6 \cdot \sigma_{0,2} + 0{,}4 \cdot \sigma_u$
$\sigma_{ref\,2}$	MPa	referenssilujuus $\sigma_{ref\,2} = 0{,}7 \cdot \sigma_u$ tai $\sigma_{ref\,2} = 0{,}6 \cdot \sigma_{0,2} + 0{,}4 \cdot \sigma_u$ riippuen siitä, kumpi on pienempi
σ_{st}	MPa	F_b tai F_f :stä johtuva maksimijännitys
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. Kuormien määritelmät

	Määritelmä	Kuorman käyttö suunnitteluvaiheessa
F_b	Potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuva potkurin lapaan kohdistuva taaksepäin taivuttava enimmäisvoima aluksen käyttöiän aikana mukaan lukien lapaan kohdistuvat hydrodynaamiset kuormat. Voiman suunta on kohtisuora $0{,}7R$ – profiilin jänneviivaan nähden. (Kuva 6-1)	Mitoitusvoima potkurin lavan lujuuslaskelmia varten.
F_f	Potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuva potkurin lapaan kohdistuva eteenpäin taivuttava enimmäisvoima aluksen käyttöiän 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 käyttöiän 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 käyttöiän aikana (kaikkien lapojen resultanttivoima). Voiman suunta on potkurin akselilinjan suunta ja voima on vastakkainen hydrodynaamiselle työnnölle.	Käytetään maksimiaksiaalivoiman T_r laskemiseen. T_b:tä voidaan käyttää herätteenä aksiaalivärähtelylaskelmissa. Määräyksissä ei kuitenkaan vaadita aksiaalivärähtelylaskelmia tehtäväksi.
T_f	Potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuva potkurin enimmäistyöntövoima käyttöiän aikana (kaikkien lapojen resultanttivoima). Työntövoiman suunta on potkuriakselin suunta ja se vaikuttaa hydrodynaamisen työnnön suuntaan.	Käytetään maksimiaksiaalivoiman T_r arviointiin. T_f:ää voidaan käyttää herätteenä aksiaalivärähtelylaskelmissa. Määräyksissä ei kuitenkaan vaadita aksiaalivärähtelylaskelmia tehtäväksi.
Q_{max}	Yhden potkurin lavan ja jään vuorovaikutuksesta syntyvä potkurin jäämomentti mukaan lukien lapaan kohdistuvat hydrodynaamiset kuormitukset.	Käytetään propulsiokoneiston akselilinjan vääntömomentin Q_r arviointiin sekä herätteenä vääntövärähtelylaskelmille.
F_{ex}	Kuorma, jolla potkurin lapa taittuu plastisesti. Lavan täydelliseen murtumiseen tarvittava voima siten, että juurialueelle syntyy plastinen nivel. Voiman vaikutuspiste on säteellä $0{,}8R$ sekä tangentiaalisuunnassa 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.
Qr	Potkurin akselilinjan maksimivääntömomenttivaste sisältäen potkuriherätteen aiheuttaman dynaamisen vasteen sekä keskimääräisen hydrodynaamisen vääntömomentin.	Potkurin akselilinjan komponenttien maksimimitoitusmomentti.
Tr	Suurin aksiaalikuorma sisältäen keskimääräisen hydrodynaamisen työnnön sekä potkurivoimien aiheuttaman aksiaalivärähtelyvasteen.	Potkurin akselilinjan komponenttien mitoitusaksiaalivoima.



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

6.3 Mitoitusjääolosuhteet

Potkurin jääkuormien arvioinnissa jääluokkia varten on otettu huomioon alusten käyttötapa taulukon 6-2 mukaisesti. Mitoitusjääkuormien laskemista varten määritetään jäälohkareen suurin koko. Mitoitusjäälohkare, jonka potkuri kohtaa, on suorakulmainen jäälohkare, jonka mitat ovat H_{ice} x $2H_{ice}$ x $3H_{ice}$. Jäälohkareen paksuus (H_{ice}) on esitetty taulukossa 6-3.

Taulukko 6-2.

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

Taulukko 6-3.

	IA Super	IA	IB	IC
Potkuriin joutuvan mitoitusjäälohkareen 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 läpimitta. Murtovenymän pitää olla vähintään 15 %. Charpy V -iskukoe vaaditaan muille materiaaleille kuin pronssille ja austeniittiselle teräkselle. Kolmen kokeen keskimääräisen iskuenergian -10 ºC:ssa on oltava vähintään 20 J.

6.4.2 Meriveden lämpötilalle altistuvat materiaalit

Meriveden lämpötilalle altistuvien materiaalien pitää olla terästä tai jotakin muuta hyväksyttyä, sitkeää materiaalia. Kolmen Charpy V -kokeen keskimääräisen iskuenergian -10 ºC:ssa on oltava vähintään 20 J. Tämä vaatimus koskee lavan pultteja, nousun säätömekanismeja, akselin pultteja, potkurilaitteen kiinnityslaipan pultteja jne. Tämä ei koske pintakarkaistuja komponentteja, kuten laakereita ja hammaspyöriä.

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.

Jääkuormakaavoissa on parametrit annettava symbolilistassa esitetyissä yksiköissä.

Jos potkuri ei ole kokonaan veden alla aluksen ollessa painolastissa, propulsiojärjestelmä mitoitetaan IA jääluokan mukaan jääluokissa IB ja IC.

6.5.1 Potkurin lapojen mitoituskuormat

F_b on aluksen eliniän aikana syntyvä maksimilapavoima, joka taivuttaa potkurin lapaa taaksepäin, kun potkuri jyrsii jäälohkaretta pyöriessään eteenpäin. F_f on aluksen käyttöiän aikana syntyvä maksimilapavoima, joka taivuttaa potkurin lapaa eteenpäin, kun potkuri jyrsii jäälohkaretta pyöriessään eteenpäin. F_b ja F_f syntyvät erilaisista potkurin ja jään vuorovaikutusilmiöistä, jotka eivät ole samanaikaisia. Siksi niitä pitää soveltaa lapaan erikseen.

6.5.1.1 Avopotkurin lavan suurin voima taaksepäin F_b

$$F_b = 27 \cdot \left[n \cdot D\right]^{0,7} \cdot \left[\frac{EAR}{Z}\right]^{0,3} \cdot D^2 \text{ [kN], kun } D \le D_{limit} \tag{6.1}$$

$$F_b = 23 \cdot \left[n \cdot D\right]^{0,7} \cdot \left[\frac{EAR}{Z}\right]^{0,3} \cdot D \cdot H_{ice}{}^{1,4} \text{ [kN], kun } D > D_{limit}, \tag{6.2}$$

jossa

$D_{limit} = 0{,}85 \cdot H_{ice}{}^{1{,}4}$ [m]

n on nimellinen pyörimisnopeus (jatkuvalla suurimmalla teholla avovedessä), jos kyseessä on säätölapapotkuri tai 85 % nimellisestä pyörimisnopeudesta (jatkuvalla suurimmalla teholla avovedessä), jos kyseessä on kiinteälapainen potkuri.

6.5.1.2 Avopotkurin lavan suurin voima eteenpäin F_f

$$F_f = 250 \cdot \left[\frac{EAR}{Z} \right] \cdot D^2 \quad \text{[kN], kun } D \le D_{\text{limit}} \tag{6.3}$$

$$F_f = 500 \cdot \left[\frac{EAR}{Z} \right] \cdot D \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{d}{D} \right)} \cdot H_{ice} \quad \text{[kN], kun } D > D_{\text{limit}}\text{,} \tag{6.4}$$

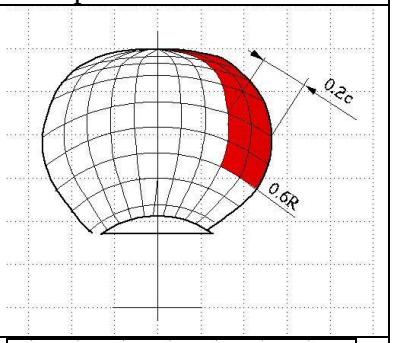
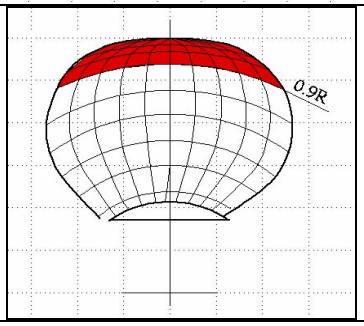
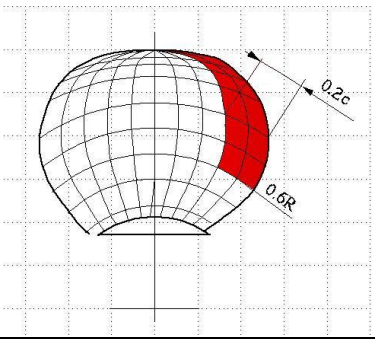
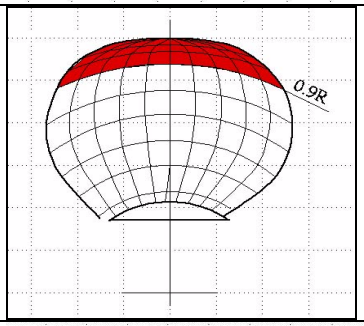
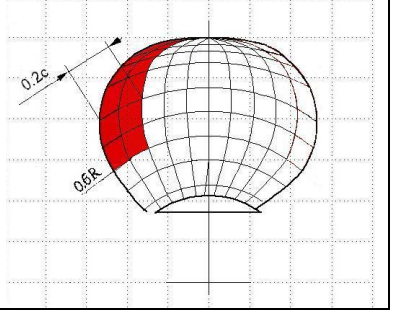
jossa

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

6.5.1.3 Avopotkurin kuormitustapaukset

Säätölapapotkurit täytyy laskea kattaen kuormitustapaukset 1-4 ja kiinteälapaiset potkurit kattaen kuormitustapaukset 1-5, taulukon 6-4 mukaisesti.

Taulukko 6-4. Avopotkurien kuormitustapaukset

	Voima	Kuormitettava alue	Oikeakätisen potkurin lapa takaapäin katsottuna
Kuormitus-tapaus 1	F_b	Vakiopaine kohdistettuna lavan imupuolelle säteensuunnassa alueelle 0,6*R*:stä lavan kärkeen ja tangentiaalisuunnassa johtoreunasta etäisyydelle 20 % profiilin pituus.	
Kuormitus-tapaus 2	50 % F_b:stä	Vakiopaine kohdistettuna lavan imupuolelle potkurin kärjen alueelle 0,9*R* -säteen ulkopuolelle.	
Kuormitus-tapaus 3	F_f	Vakiopaine kohdistettuna lavan painepuolelle alueelle 0,6*R*:stä kärkeen ja tangentiaalisuunnassa johtoreunasta etäisyydelle 20 % profiilin pituudesta.	
Kuormitus-tapaus 4	50 % F_f:stä	Vakiopaine kohdistettuna potkurin painepuolelle potkurin kärjen alueelle 0,9*R* -säteen ulkopuolelle.	
Kuormitus-tapaus 5	60 % F_f:stä tai F_b:stä, riippuen siitä, kumpi on suurempi	Vakiopaine kohdistettuna potkurin painepuolelle suunnattuna radiaalisuunnassa alueelle 0,6*R*:stä kärkeen ja tangentiaalisuunnassa jättöreunasta 20 % profiiliviivan pituus.	

6.5.1.4 Suulakepotkurin lavan suurin jäävoima taaksepäin F_b

$$F_b = 9{,}5 \cdot [n \cdot D]^{0{,}7} \cdot \left[\frac{EAR}{Z} \right]^{0{,}3} \cdot D^2 \text{ [kN], kun } D \le D_{limit} \tag{6.5}$$

$$F_b = 66 \cdot [n \cdot D]^{0{,}7} \cdot \left[\frac{EAR}{Z} \right]^{0{,}3} \cdot D^{0{,}6} \cdot H_{ice}{}^{1{,}4} \text{ [kN], kun } D > D_{limit} \tag{6.6}$$

jossa

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

n on nimellinen pyörimisnopeus (jatkuvalla suurimmalla teholla avovedessä), jos kyseessä on säätölapapotkuri tai 85 % nimellisestä pyörimisnopeudesta (jatkuvalla suurimmalla teholla avovedessä), jos kyseessä on kiinteälapainen potkuri.

6.5.1.5 Suulakepotkurin lavan suurin jäävoima eteenpäin F_f

$$F_f = 250 \cdot \left[\frac{EAR}{Z} \right] \cdot D^2 \text{ [kN], kun } D \le D_{\text{limit}} \tag{6.7}$$

$$F_f = 500 \cdot \left[\frac{EAR}{Z} \right] \cdot D \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{d}{D} \right)} \cdot H_{ice} \text{ [kN], kun } D > D_{\text{limit}}, \tag{6.8}$$

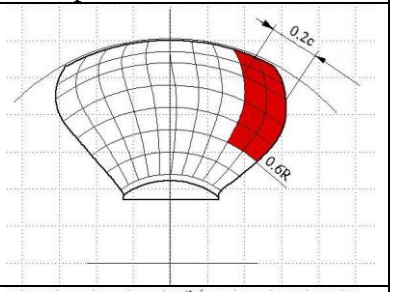
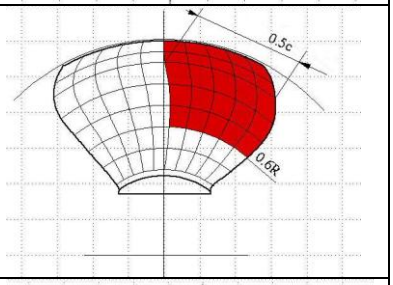
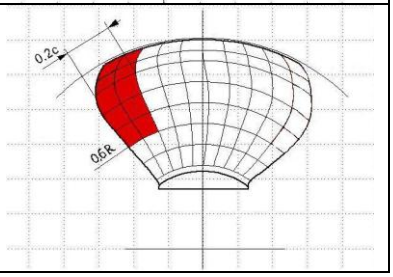
jossa

$$D_{limit} = \frac{2}{\left(1 - \frac{d}{D} \right)} \cdot H_{ice} \text{ [m].}$$

6.5.1.6 Suulakepotkurien lapojen kuormitustapaukset

Kuormitustapaukset 1 ja 3 täytyy laskea kaikille potkureille taulukon 6-5 mukaisesti ja lisäkuormitustapaus (kuormitustapaus 5) kiinteäsiipiselle potkurille, joka ottaa huomioon jääkuormat, kun potkuri pyörii taaksepäin.

Taulukko 6-5. Suulakepotkurien kuormitustapaukset

	Voima	Kuormitettava alue	Oikeakätisen potkurin lapa takaapäin katsottuna
Kuormitus-tapaus 1	F_b	Vakiopaine kohdistettuna lavan imupuolelle säteen suunnassa alueelle 0,6*R*:stä lavan kärkeen ja tangentiaalisuunnassa johtoreunasta etäisyydelle 20 % profiilin pituus	
Kuormitus-tapaus 3	F_f	Vakiopaine kohdistettuna lavan painepuolelle alueelle 0,6*R*:stä kärkeen ja tangentiaalisuunnassa johtoreunasta etäisyydelle 50 % profiilin pituus	
Kuormitus-tapaus 5	60 % F_f:stä tai F_b:stä, riippuen siitä, kumpi on suurempi	Vakiopaine kohdistettuna lavan painepuolelle alueelle 0,6*R*:stä kärkeen ja tangentiaalisuunnassa jättöreunasta etäisyydelle 20 % profiilin pituus	

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

Lavan kääntömomentti Q_{smax} pitää määrittää taulukoiden 6-4 ja 6-5 kuormitustapauksille ja valita käytettäväksi suurin eri kuormitustapausten arvoista. Jos edellä esitetyllä menetelmällä saadaan arvo, joka on pienempi kuin alla olevan kaavan esittämä oletusarvo, käytetään alla olevaa oletusarvoa.

$$\text{Oletusarvo } Q_{s\max} = 0{,}25 \cdot F \cdot c_{0,7} \text{ [kNm]}, \tag{6.9}$$

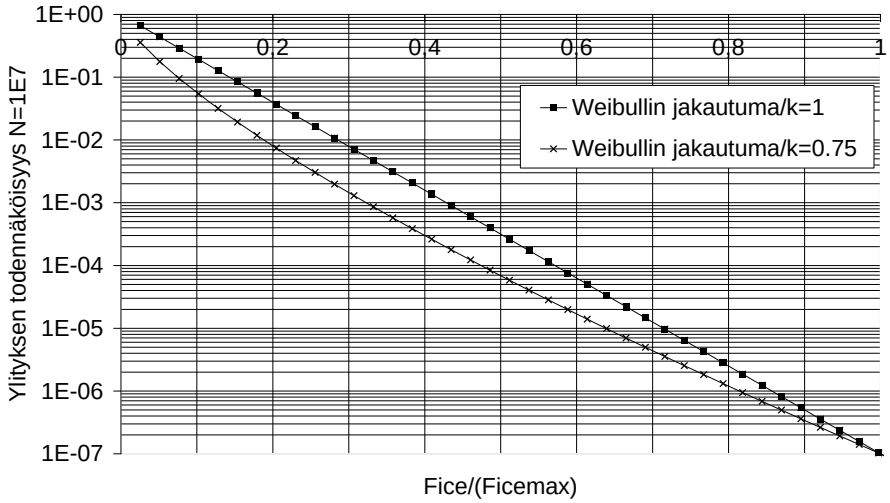
jossa $c_{0,7}$ on lavan sylinterileikkauksen profiilin jänneviivan pituus 0,7R -säteellä ja F on joko F_b tai F_f, riippuen siitä kumman absoluuttinen arvo on suurempi.

6.5.1.8 Lapakuormien kuormitusjakautuma

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

$$P\left(\frac{F_{ice}}{(F_{ice})_{\max}} \geq \frac{F}{(F_{ice})_{\max}}\right) = e^{\left(-\left(\frac{F}{(F_{ice})_{\max}}\right)^{k} \cdot \ln(N_{ice})\right)}, \tag{6.10}$$

jossa k on kuormitusspektrin muotoparametri, N_{ice} on kuormitusjaksojen lukumäärä ja F_{ice} on lapaan kohdistuvien jääkuormien satunnaismuuttuja välillä, $0 \le F_{\mathrm{ice}} \le (F_{\mathrm{ice}})_{\max}$. Muotoparametriä k = 0,75 käytetään avopotkurille ja muotoparametriä k = 1,0 suulakepotkurille.



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

6.5.1.9 Jääkuormitusten lukumäärä

Kuormitusjaksojen lukumäärä potkurin lapaa kohti määritetään seuraavan kaavan mukaan:

$$N_{ice} = k_1 k_2 k_3 k_4 N_{class} n\,, \tag{6.11}$$

jossa

N_{class} kuormitusten nimellinen lukumäärä

Luokka	IA Super	IA	IB	IC
Kuormia käyttöiän aikana/n	$9\cdot10^6$	$6\cdot10^6$	$3{,}4\cdot10^6$	$2{,}1\cdot10^6$

Potkurin paikkakerroin k_1

Keskipotkuri		Siipipotkuri
k_1	1	1,35

Potkurin tyyppikerroin k_2

Tyyppi	Avopotkuri	Suulakepotkuri
k_2	1	1,1

Propulsiokoneiston tyyppikerroin k_3

Tyyppi	Kiinteä akseli-linja	Ruoripotkurilaite
k_3	1	1,2

Potkurin syvyyssuuntaisen sijainnin huomioiva kerroin k_4 määritetään yhtälöstä

$$\begin{aligned} k_4 \quad &= 0{,}8 - f \quad && kun \quad && f < 0 \\ &= 0{,}8 - 0{,}4 \cdot f \quad && kun \quad && 0 \le f \le 1 \\ &= 0{,}6 - 0{,}2 \cdot f \quad && kun \quad && 1 < f \le 2{,}5 \\ &= 0{,}1 \quad && kun \quad && f > 2{,}5 \end{aligned} \tag{6.12}$$

jossa

$$f = \frac{h_o - H_{ice}}{D/2} - 1, \tag{6.13}$$

jossa h_o on potkurin keskilinjan etäisyys laskettuna aluksen alimmasta jäävesiviivasta (LIWL).

Komponenteille, joihin kohdistuu potkurin ja jään vuorovaikutuksesta aiheutuvia kuormia potkurin jokaisen lavan kautta, 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 enimmäisjäätyöntö T_f ja T_b

Enimmäistyöntö potkurissa eteenpäin ja taaksepäin on:

$$T_f = 1{,}1 \cdot F_f \text{ [kN]} \tag{6.14}$$

$$T_f = 1{,}1 \cdot F_b \text{ [kN].} \tag{6.15}$$

6.5.2.2 Avo- ja suulakepotkurillisten akselilinjojen työntö

Potkuriakselin työntö on laskettava alla olevan kaavan mukaan. Eteenpäin ja taaksepäin suuntautuvien kuormitusten suurempi arvo otetaan mitoituskuormaksi kumpaankin suuntaan. Kertoimet 2,2 ja 1,5 ottavat huomioon aksiaalivärähtelystä johtuvan dynaamisen vahvistuksen.

Eteenpäin

$$T_r = T + 2{,}2 \cdot T_f \text{ [kN],} \tag{6.16}$$

taaksepäin

$$T_r = 1{,}5 \cdot T_b \text{ [kN].} \tag{6.17}$$

Jos hydrodynaamista paalutyöntöä T ei tunneta, se lasketaan seuraavasti:

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

Tässä T_n on potkurin nimellistyöntö avovedessä jatkuvalla enimmäisteholla.

6.5.3 Akselijohdon vääntökuormat

6.5.3.1 Avopotkurien jäämomentti Q_{max}

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

$$Q_{\max} = 10{,}9 \cdot \left[1 - \frac{d}{D}\right] \cdot \left[\frac{P_{0.7}}{D}\right]^{0{,}16} \cdot (nD)^{0{,}17} \cdot D^3 \text{ [kNm], kun } D \le D_{limit}, \quad (6.18)$$

$$Q_{\max} = 20{,}7 \cdot \left[1 - \frac{d}{D}\right] \cdot \left[\frac{P_{0{,}7}}{D}\right]^{0{,}16} \cdot (nD)^{0{,}17} \cdot D^{1{,}9} \cdot H_{ice}{}^{1{,}1} \text{ [kNm], kun } D > D_{limit}, \quad (6.19)$$

jossa

$D_{limit} = 1{,}8 \cdot H_{ice}$ [m].

n on potkurin pyörimisnopeus paaluvetotilanteessa. Jos sitä ei tunneta, se lasketaan seuraavasti:

Potkurityyppi	n
Säätölapaiset potkurit	n_n
Turbiini- tai sähkömoottorikäyttöiset kiinteälapaiset potkurit	n_n
Dieselkäyttöiset kiinteälapaiset potkurit	0,85 n_n

Tässä n_n on potkurin nimellinen pyörimisnopeus avovedessä jatkuvalla enimmäisteholla.

Säätölapaisten potkurien potkurin nousun $P_{0,7}$ on vastattava jatkuvaa enimmäistehoa paaluvetotilanteessa. Jos sitä ei tunneta, $P_{0,7}$ lasketaan $0{,}7 \cdot P_{0,7n}$:stä, jossa $P_{0,7n}$ on potkurin nousu jatkuvalla enimmäisteholla avovedessä.

6.5.3.2 Suulakepotkurin jäämomentti Q_{max}

Q_{max} on potkurin ja jään vuorovaikutuksesta johtuva potkurissa vaikuttava enimmäisvääntömomentti.

$$Q_{\max} = 7{,}7 \cdot \left[1 - \frac{d}{D}\right] \cdot \left[\frac{P_{0,7}}{D}\right]^{0,16} \cdot (nD)^{0,17} \cdot D^3 \text{ [kNm], kun } D \le D_{limit}, \quad (6.20)$$

$$Q_{\max} = 14{,}6 \cdot \left[1 - \frac{d}{D}\right] \cdot \left[\frac{P_{0,7}}{D}\right]^{0,16} \cdot (nD)^{0,17} \cdot D^{1,9} \cdot H_{ice}^{1,1} \text{ [kNm], kun } D > D_{limit}, \quad (6.21)$$

jossa

$D_{limit} = 1{,}8 \cdot H_{ice}$ [m].

n on potkurin pyörimisnopeus paaluvetotilanteessa. Jos sitä ei tunneta, se lasketaan seuraavasti:

Potkurityyppi	n
Säätölapaiset potkurit	n_n
Turbiini- tai sähkökäyttöiset kiinteälapaiset potkurit	n_n
Dieselkäyttöiset kiinteälapaiset potkurit	0,85 n_n

Tässä n_n on potkurin nimellinen pyörimisnopeus avovedessä jatkuvalla enimmäisteholla.

Säätölapaisten potkurien potkurin nousun $P_{0,7}$ on vastattava jatkuvaa enimmäistehoa paaluvetotilanteessa. Jos sitä ei tunneta, $P_{0,7}$ lasketaan $0{,}7 \cdot P_{0,7n}$:stä, jossa $P_{0,7n}$ on potkurin nousu jatkuvalla enimmäisteholla avovedessä.

6.5.3.3 Avo- ja suulakepotkurien jäävääntömomenttiheräte

Potkurin momenttiheräte akselilinjan vääntövärähtelyanalyysiä varten on kuvattava lapaiskusarjalla, jossa yksittäinen lapaisku kuvataan siniaallon puolikkaalla. Katso kuva 6-3.

Yhden lavan jääniskusta johtuva vääntömomentti potkurin pyörintäkulman funktiona on siten

$$\begin{aligned} Q(\varphi) &= C_q \cdot Q_{\max} \cdot \sin(\varphi(180/\alpha_i)), \quad kun \quad \varphi = 0...\alpha_i \\ Q(\varphi) &= 0, \quad kun \quad \varphi = \alpha_i ...360, \end{aligned} \quad (6.22)$$

jossa parametrit C_q ja α_i on annettu alla olevassa taulukossa. α_i on potkurin ja jään vuorovaikutuksen kesto potkurin pyörimiskulmalla mitattuna.

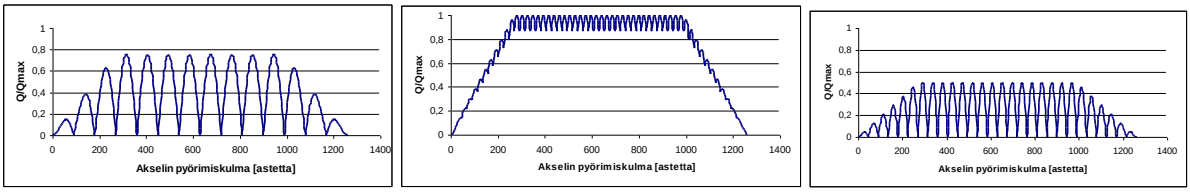
Vääntö-momenttiheräte	Jään ja potkurin vuorovaikutus	C_q	α_i
Tapaus 1	Yksi jäälohkare	0,75	90
Tapaus 2	Yksi jäälohkare	1,0	135
Tapaus 3	Kaksi jäälohkaretta (vaihesiirto 360/2/Z astetta)	0,5	45

Kokonaisjäävääntömomentti saadaan laskemalla yhteen yksittäisten lapojen vääntömomentit ottaen huomioon vaihesiirto $360^o/Z$ lapojen välillä. Lisäksi lapaiskusarjan alussa ja lopussa on käytettävä lineaarista ramppia, jonka pituus on 270^o akselikulmana.

Potkurin kierrosten lukumäärä jyrsintätilanteen aikana saadaan seuraavalla kaavalla:

$$N_Q = 2 \cdot H_{ice} \tag{6.23}$$

Lapaiskujen määrä on $Z \cdot N_Q$, kun kyseessä on lapataajuinen heräte.



Kuva 6-3. Potkurin jäävääntömomenttiherätteen muoto 90^o ja 135^o yhden lavan iskusarjoilla ja 45^o kahden lavan iskusarjalla. (Kuvat koskevat nelilapaisia potkureita.)

6.5.3.4 Potkurin akselilinjan mitoitusvääntömomentti

Jos käyttöpyörimisnopeusalueella, jota on laajennettu 20 % enimmäis- ja vähimmäistoimintanopeudesta, ei ole lapataajuista vääntöresonanssia, voidaan käyttää alla olevaa enimmäisvääntömomentin kaavaa.

$$Q_r = Q_{e\max} + Q_{\max} \cdot \frac{I}{I_t} \quad [\text{kNm}], \tag{6.24}$$

jossa I on kyseessä olevan komponentista laskien moottorin puoleisten kaikkien osien massahitausmomenttien summa ja I_t on koko propulsiojärjestelmän massahitausmomentti.

Kaikki vääntömomentit ja massahitausmomentit pitää muuntaa vastaamaan tutkittavan komponentin pyörimisnopeutta.

Jos moottorin enimmäisvääntömomenttia Q_{emax} ei tunneta, se lasketaan seuraavasti:

Potkurityyppi	Q_{emax}
Sähkömoottorikäyttöiset potkurit	Q_{motor}
Ei-sähkömoottorikäyttöiset säätölapaiset potkurit	Q_{n}
Turbiinikäyttöiset kiinteälapaiset potkurit	Q_{n}
Dieselkäyttöiset kiinteälapaiset potkurit	0,75 Q_{n}

Tässä Q_{motor} on sähkömoottorin enimmäisvääntömomentti.

Jos käyttöpyörimisnopeusalueella, jota on laajennettu 20 % enimmäis- ja vähimmäispyörimisnopeudesta, on lapataajuudella vääntöresonanssi, on akselikomponentin mitoitusvääntömomentti (Q_r) määritettävä propulsiokoneistolinjan vääntövärähtelyanalyysilla.

6.5.4 Lavan taittumiskuorma

Kuorma, jolla lapa taittuu juurialueen ympäri plastisesti, on laskettava alla olevalla kaavalla. Kuorma vaikuttaa lapaan 0,8*R* -säteellä lavan heikoimmassa suunnassa. Lavan kiertomomentin laskemista varten momenttivarreksi otetaan 2/3 lavan etu/takareunan etäisyydestä lavan keskilinjasta (riippuen siitä, kumpi on suurempi).

$$F_{ex} = \frac{300 \cdot c \cdot t^2 \cdot \sigma_{ref}}{0{,}8 \cdot D - 2 \cdot r} \text{ [kN]}, \tag{6.25}$$

jossa

$\sigma_{ref} = 0{,}6 \cdot \sigma_{0,2} + 0{,}4 \cdot \sigma_u$

c, t, ja *r* ovat vastaavasti lavan sylinterileikkauksen pituus, suurin paksuus ja säde juurialueen heikoimmassa leikkauksessa.

6.6 Mitoitus

6.6.1 Mitoitusperiaate

Akselilinjan lujuus pitää mitoittaa pyramidilujuusperiaatteen mukaan. Tämä tarkoittaa, että potkurin lavan taittuminen ei saa aiheuttaa merkittävää vahinkoa muille potkuriakselilinjan komponenteille.

6.6.2 Potkurin lapa

6.6.2.1 Lavan jännitysten laskeminen

Potkureiden jännitykset lopullista hyväksyntää varten tulee laskea FEM-analyysiä käyttäen. Laskelmien on katettava kohdassa 6.5.1 annetut kuormitustapaukset. Kuitenkin seuraavaa yksinkertaistettua kaavaa voidaan käyttää kaikkien potkurien jännitysten laskemiseen juurialueella ($r/R < 0{,}5$). Tämä mitoituslaskelma hyväksytään, vaikka FEM-analyysi osoittaisi alempaa lujuutta juurialueella.

$$\sigma_{st} = C_1 \frac{M_{BL}}{100 \cdot ct^2} \text{ [MPa]}, \tag{6.26}$$

jossa

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

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

F on itseisarvoltaan suurin voimista F_b ja F_f.

6.6.2.2 Hyväksyttävyyskriteeri

Laskettujen lavan jännitysten pitää täyttää seuraava kriteeri:

$$\frac{\sigma_{ref\,2}}{\sigma st} \geq 1{,}5\,, \tag{6.27}$$

jossa

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

$\sigma_{ref\,2}$ on referenssilujuus, jonka arvoksi otetaan pienempi seuraavista lujuuksista:

$\sigma_{ref\,2} = 0{,}7 \cdot \sigma_u$ tai
$\sigma_{ref\,2} = 0{,}6 \cdot \sigma_{0,2} + 0{,}4 \cdot \sigma_u$.

6.6.2.3 Potkurin lavan väsymismitoitus

Potkurin lapojen väsymismitoitus perustuu koko aluksen käyttöiän aikana kertyneeseen arvioituun kuormitusjakautumaan ja lapamateriaalin SN-käyrään. Mitoitusmenetelmässä lasketaan ekvivalenttijännitys, mikä vastaa 10^8 kuormitusjaksoa. Perusteena on, että ekvivalenttijännitys, mikä vaikuttaa 10^8 kertaa, tuottaa saman väsymisvaurion kuin edellä mainittu koko käyttöiän aikana syntyvä kuormitusjakautuma.

Jos seuraava kriteeri täyttyy, ei tämän kappaleen mukaisia väsymislujuuslaskelmia vaadita.

$$\sigma_{\exp} \geq B_1 \cdot {\sigma_{ref\,2}}^{B_2} \cdot \log(N_{ice})^{B_3}\,, \tag{6.28}$$

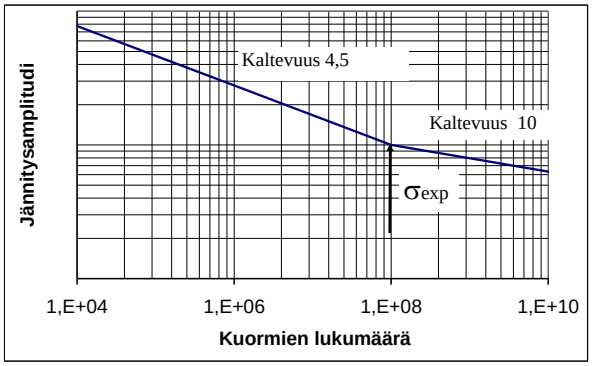
jossa olevat B_1, B_2 ja B_3 -kertoimet avo- ja suulakepotkureille on annettu alla olevassa taulukossa.

	Avopotkuri	Suulakepotkuri
B_1	0,00270	0,00184
B_2	1,007	1,007
B_3	2,101	2,470

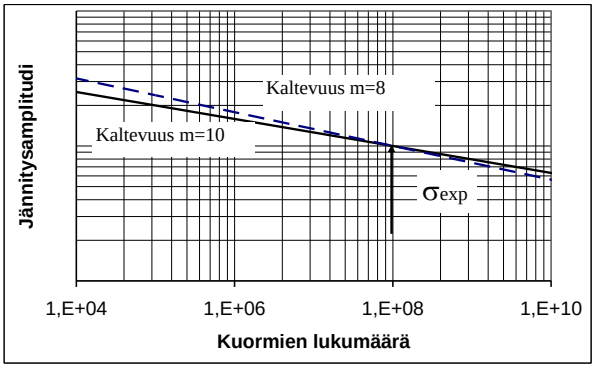
Ekvivalenttijännityksen laskemista varten on käytettävissä kaksi SN-käyrätyyppiä.

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

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



Kuva 6-4. Kaksikaltevuuksinen SN-käyrä.



Kuva 6-5. Vakiokaltevuuksinen SN-käyrä.

Ekvivalentti väsymisjännitys

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

$$\sigma_{fat} = \rho \cdot (\sigma_{ice})_{max}, \tag{6.29}$$

jossa

$(\sigma_{ice})_{\max} = 0{,}5 \cdot ((\sigma_{ice})_{f\max} - (\sigma_{ice})_{b\max})$

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

$(\sigma_{ice})_{f\max}$ on eteenpäinkuormituksesta johtuva pääjännitys

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

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

Parametrin ρ laskeminen kaksikaltevuuksiselle SN-käyrälle

Parametri ρ lasketaan regressiokaavalla.

$$\rho = C_1 \cdot (\sigma_{ice})_{\max}^{C_2} \cdot \sigma_{fl}^{C_3} \cdot \log(N_{ice})^{C_4}, \tag{6.30}$$

jossa

$$\sigma_{fl} = \gamma_{\varepsilon} \cdot \gamma_{v} \cdot \gamma_{m} \cdot \sigma_{\exp},$$

jossa

γ_{ε} on kerroin, joka huomioi hajonnan ja koekappaleen kokovaikutuksen

γ_{v} on kerroin, joka huomioi vaihteleva-amplitudisen kuormituksen vaikutuksen

γ_{m} on kerroin, joka huomioi keskijännityksen vaikutuksen

$\sigma_{\exp}$ on lapamateriaalin keskiväsymislujuus 10^8 kuormitusjaksolla merivedessä.

Seuraavia arvoja pitää käyttää muuntokertoimina, jos todellisia arvoja ei ole käytettävissä. γ_{ε} = 0,67, γ_{v} = 0,75, ja γ_{m} = 0,75.

Kertoimet C_1, C_2, C_3 ja C_4 on annettu taulukossa 6-6.

Taulukko 6-6.

	Avopotkuri	Suulakepotkuri
C_1	0,000711	0,000509
C_2	0,0645	0,0533
C_3	-0,0565	-0,0459
C_4	2,22	2,584

Parametrin ρ laskeminen vakiokaltevuuksiselle SN-käyrälle

Vakiokaltevuuksisen SN-käyrän materiaaleja varten (katso kuva 6-5) kerroin ρ pitää laskea seuraavalla kaavalla:

$$\rho = \left(G \frac{N_{ice}}{N_R} \right)^{1/m} (\ln(N_{ice}))^{-1/k}, \tag{6.31}$$

jossa

k on Weibull-jakauman muotoparametri, *k* = 1,0 suulakepotkureille ja *k* = 0,75 avopotkureille. N_R on kuormanvaihtokertojen referenssiluku (=10^8).

*P*arametrin *G* arvot on annettu taulukossa 6-7. Lineaarista interpolointia voidaan käyttää laskettaessa parametrin arvoja muille kuin taulukossa 6-7 annetuille *m/k* -suhdeluvuille.

Taulukko 6-7. Parametrin G arvo erilaisille m/k-suhdeluvuille.

m/k	*G*	***m/k***	*G*	***m/k***	*G*
3	6	**5,5**	287,9	**8**	40320
3,5	11,6	**6**	720	**8,5**	119292
4	24	**6,5**	1871	**9**	362880
4,5	52,3	**7**	5040	**9,5**	$1{,}133 \cdot 10^6$
5	120	**7.5**	14034	**10**	$3.623 \cdot 10^6$

6.6.2.4 Hyväksymiskriteeri väsymiselle

Ekvivalentin väsymisjännityksen lavan kaikissa pisteissä pitää täyttää seuraava kriteeri:

$$\frac{\sigma_{fl}}{\sigma_{fat}} \geq 1{,}5, \tag{6.32}$$

jossa

$\sigma_{fl} = \gamma_{\varepsilon} \cdot \gamma_{v} \cdot \gamma_{m} \cdot \sigma_{\exp}$,

jossa

γ_{ε} on muuntokerroin hajonnalle ja koekappaleen kokovaikutukselle

γ_{v} on muuntokerroin vaihtelevalle amplitudikuormitukselle

γ_{m} on muuntokerroin keskimääräiselle jännitykselle

$\sigma_{\exp}$ on lapamateriaalin keskimääräinen väsymislujuus 10^8 kuormitusjaksolla merivedessä. Seuraavia arvoja pitää käyttää muuntokertoimina, jos todellisia arvoja ei ole käytettävissä: γ_{ε} = 0,67, γ_{v} = 0,75 ja γ_{m} = 0,75.

6.6.3 Potkurin napa ja nousun säätömekanismi

Lavan pultit, nousun säätömekanismi, potkurin napa ja potkurin kiinnitys potkuriakseliin on mitoitettava kestämään 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 kohdassa 6.5.4 määritetty potkurin lavan taittumiskuorma ei saa aiheuttaa jännityksiä, jotka ylittävät materiaalien myötölujuuden.

6.6.4 Akselilinja

Akselit ja niiden komponentit kuten paine- ja hylssälaakerit, liitokset, laipat ja tiivisteet on suunniteltava kestämään jään ja potkurin vuorovaikutuksesta johtuvat kuormat, jotka on annettu kohdassa 6.5. Varmuuskertoimen on oltava vähintään 1,3.

6.6.4.1 Akselit ja niiden komponentit

Kohdassa 6.5.4 määritetty lavan 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

Edellä lueteltujen vaatimusten lisäksi on tarkasteltava kuormitustapauksia, jotka ovat erityisiä ruoripotkurilaitteelle verrattuna tavanomaisiin potkurikoneistoihin. Kuormitustapausten arvioinnin on pohjauduttava realistiseen arvioon aluksen ja potkurilaitteiden käytöstä. Esimerkiksi jäälohkareiden aiheuttamat, vetävän potkurin napaan kohdistuvat iskut on otettava huomioon. Lisäksi on otettava huomioon kuormitukset, jotka aiheutuvat vinossa kulmassa virtaukseen nähden toimivista potkureista. Ohjauslaitteisto, laitteiden kiinnitys ja ohjauspotkurien runko on mitoitettava kestämään lavan taittumiskuormat ilman vaurioita. Lavan taittumista on tarkasteltava potkurin lavan ollessa asennossa, joka aiheuttaa tutkittavaan komponenttiin suurimmat jännitykset. Tyypillisesti lavan asento alhaalla aiheuttaa suurimmat taivutusjännitykset ohjauspotkurin runkoon.

Ruoriohjauspotkurit on mitoitettava ohjauspotkurin rungon ja jään vuorovaikutuksen aiheuttamille kuormille. Ohjauspotkurin rungon on kestettävä kohdassa 6.3 määriteltyjen mitoitusjäälohkareiden osuminen ohjauspotkurin runkoon, kun alus kulkee normaalia operointivauhtia jäissä. Lisäksi pitää tarkastella mitoitustilannetta, jossa jäälautta liukuu aluksen runkoa pitkin ja painautuu ohjauspotkurin runkoa vasten. Lautan paksuus pitää arvioida potkuriin joutuvan suurimman mahdollisen jäälohkareen paksuisena, kuten kohdassa 6.3 on määritetty.

6.6.6 Värähtelyt

Propulsiojärjestelmä on mitoitettava siten, että koko dynaaminen järjestelmä on vapaa haitallisesta lapataajuisista vääntö-, aksiaali- ja taivutusresonansseista käyttönopeusalueella, jota on laajennettu 20 %:lla yli enimmäis- ja 20 %:lla alle vähimmäispyörimisnopeuden. Jos tätä ehtoa ei voida täyttää, on tehtävä yksityiskohtainen värähtelyanalyysi, jolla osoitetaan, että komponenttien lujuus on hyväksyttävä.

6.7 Vaihtoehtoiset mitoitusmenetelmät

6.*7.1 Laajuus*

Kohtien 6.5 ja 6.6 vaihtoehtona voidaan tehdä kattava mitoituslaskelma, jonka on oltava hallinnon tai luokituslaitoksen hyväksymä. Tutkimuksen on perustuttava kohdassa 6.3 määritetyille jääolosuhteille. Sen pitää sisältää mitoituslaskelmat sekä väsymis- että enimmäiskuormitusta varten ja sen on täytettävä pyramidilujuuden periaate, kuten kohdassa 6.6.1 esitetään.

6.7.2 Kuormitus

Potkurin ja propulsiojärjestelmän kuormituksen on perustuttava hyväksyttäville hydrodynaamisten kuormien ja jääkuormien 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 tulee osoittaa, että varmuuskerroin väsymisen suhteen on riittävä. Laskelmien perustana tulee olla hyväksyttävä arvio materiaalien ominaisuuksista sekä väsymisjännitysten määrityksestä.

Värähtelyanalyysi on tehtävä, jotta voidaan osoittaa, ettei koko dynaamisessa järjestelmässä ole potkurin ja jään vuorovaikutuksen aiheuttamaa haitallista vääntöresonanssia.

7 MUUT KONEISTOVAATIMUKSET

7.1 Käynnistyslaitteet

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

Jos ilmasäiliöitä käytetään muihinkin tarkoituksiin kuin kuljetuskoneiston käynnistämiseen, tulee niillä olla näitä tarkoituksia varten riittävä lisäkapasiteetti.

Ilmakompressoreiden kapasiteetin tulee olla riittävä täyttämään ilmasäiliöt ilmanpaineesta täyteen paineeseen yhden 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 liikuttaessa. Tämän vuoksi ainakin yksi jäähdytysveden sisäänottokaivoista on järjestettävä siten, että:

1. Sisäänoton on sijaittava lähellä aluksen keskiviivaa ja mieluiten perässä jos mahdollista.
2. Suunnittelun ohjeeksi kaivon tilavuuden tulisi olla noin yksi kuutiometri jokaista konetehon 750 kW:a kohden. Koneteho sisältää myös aluksen käytön kannalta välttämättömän apukonetehon.
3. Kaivon on oltava riittävän korkea, jotta sinne kerääntyvä jää on sisäänottoputken yläpuolella.
4. Kaivoon on johdettava jäähdytysveden poistoputki, jolla on täysi poistokyky.
5. Siivilän aukkojen pinta-ala ei saa olla pienempi kuin neljä kertaa sisäänottoputken poikkipinta-ala.

Mikäli kohdissa 2 ja 3 mainittujen vaatimusten täyttäminen on vaikeata, voidaan käyttää kahta pohjakaivoa, joista vuorotellen toinen on jäähdytysveden sisäänottoa ja toinen poistoa varten. Järjestelyjen ja sijoituksen on oltava muulta osin edellä olevaa 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.

Liite I

Jääluokkien IA Super, IA, IB ja IC tehovaatimusten pätevyysalue (määräysten kohta 3.2.2) ja koneteholaskelmien tarkistaminen

1 Pätevyysalue

Kohdassa 3.2.2 esitettyjen jäävastuksen laskentakaavojen pätevyysalue on esitetty taulukossa I-1. Laskettaessa parametriä D_P/T, tulee T määrittää suurimmalla syväyksellä keskilaivalla.

Taulukko I-1. Eri parametrien pätevyysalueet

Parametri		Minimi	Maksimi
α	[aste]	15	55
φ_1	[aste]	25	90
φ_2	[aste]	10	90
L	[m]	65,0	250,0
B	[m]	11,0	40,0
T	[m]	4,0	15,0
L_{BOW}/L		0,15	0,40
L_{PAR}/L		0,25	0,75
D_P/T		0,45	0,75
$A_{wf}/(L \cdot B)$		0,09	0,27

2 Tehovaatimuksen tarkastuslaskenta

Jotta tehovaatimuslaskelmat voitaisiin tarkastaa, on taulukossa I-2 esitetty erilaisia laskentatuloksia eräille tyyppialuksille.

Taulukko I-2. Eräiden tyyppialusten parametrejä ja laskentakaavojen antamia konetehoarvoja

		Esimerkki nro								
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9
Jääluokka		1AS	1A	1B	1C	1AS	1AS	1A	1A	1B
α	[aste]	24	24	24	24	24	24	36	20	24
φ_1	[aste]	90	90	90	90	30	90	30	30	90
φ_2	[aste]	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
Potk. lukum./tyyppi		1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/FP
Uusi alus	[kW]	7840	4941	3478	2253	6799	6406	5343	5017	3872
(Ks. kohta 3.2.2)										
Olemassaoleva alus	[kW]	9192	6614			8466	7645	6614	6614	
(Laskettu kohdan										
3.2.4 kaavan mukaan)										

Liite II

Vaadittu koneteho alukselle, jonka jääluokka on IB tai IC ja jonka köli on laskettu tai joka on ollut samankaltaisessa rakennusvaiheessa ennen 1 päivää syyskuuta 2003

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

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

jossa

f_1 = 1,0 kiinteäsiipiselle potkurille
= 0,9 säätösiipiselle potkurille

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

jossa

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

Tuloa $f_1 f_2$ ei oteta pienemmäksi kuin 0,85.

f_2 = 1,1 keulalle, jossa on bulbi

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

f_4 ja P_0 otetaan seuraavasti:

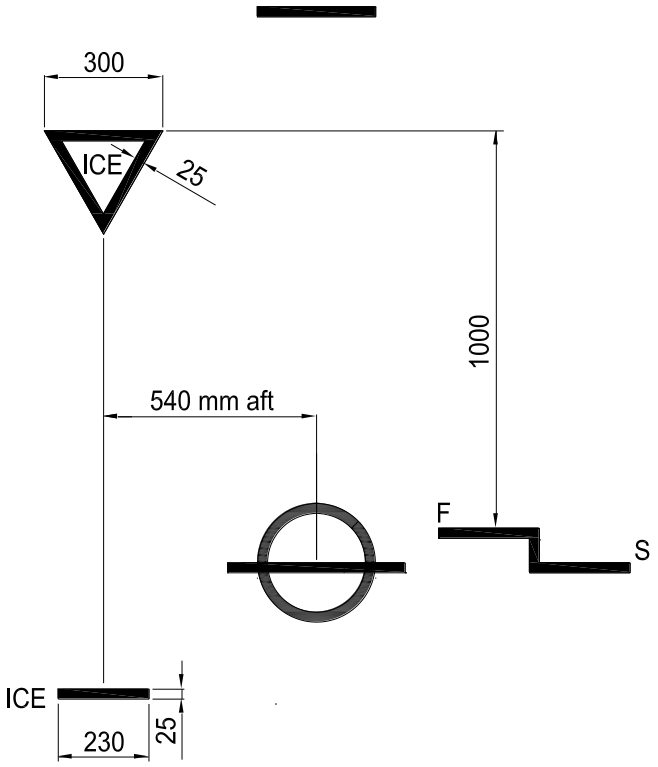
Jääluokka	IB	IC	IB	IC
Uppouma	$\Delta < 30\,000$ t		$\Delta \geq 30\,000$ t	
f_4	0,22	0,18	0,13	0,11
P_0	370	0	3070	2100

Δ on aluksen uppouma [t] suurimmalla jääluokkasyväyksellä kohdan 2.1 mukaan. Arvoa ei tarvitse ottaa suuremmaksi kuin 80 000 t.

Liite III

Jääluokkasyväysmerkintä

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



Kuva III-1. Jääluokkasyväysmerkintä

Huomautuksia kuvaan III-1.

1. Varoituskolmion yläreunan tulee sijaita pystysuoraan ICE-merkin yläpuolella, 1000 mm suolattoman veden kesälastiviivaa korkeammalla, mutta ei missään tapauksessa kansiviivan yläpuolella. Kolmion sivujen tulee olla pituudeltaan 300 mm.
2. Jääluokkasyväysmerkin tulee sijaita 540 mm lastiviivamerkin keskipisteestä perään päin tai 540 mm puutavaralastiviivamerkin pystysuorasta viivasta perään päin, mikäli kyseistä merkkiä käytetään.
3. Merkit ja kuviot leikataan 5–8 mm paksusta levystä ja hitsataan aluksen kylkeen. Merkit ja kuviot maalataan punaisella tai keltaisella heijastavalla maalilla, jotta ne näkyisivät selvästi myös jääolosuhteissa.
4. Kaikkien kirjainten mittasuhteiden tulee olla samat kuin lastiviivamerkissä käytettyjen.