

---

Utfärdad: 1.7.2021	Träder i kraft: 5.7.2021	Giltighetstid: tills vidare
-----------------------	-----------------------------	--------------------------------

---

Rättsgrund:  
Lagen om fartygs isklasser och isbrytarassistans (1121/2005) 4 § 1 mom.

---

Bestämmelser om påföljderna för verksamhet som strider mot föreskriften finns i:

---

Genomförd EU-lagstiftning:

---

Ändringsuppgifter:  
Isklassföreskrifterna och tillämpning av dem TRAFI/494131/03.04.01.00/2016

---

## Isklassföreskrifterna och tillämpningen av dem

### INNEHÅLL

3.2.1	Definitioner.....	8
3.2.2	Nya fartyg .....	8
3.2.3	Existerande fartyg av isklass IB eller IC.....	10
3.2.4	Existerande fartyg av isklass IA Super eller IA .....	10
3.2.5	Andra metoder för bestämning av $K_e$ eller $R_{CH}$ .....	11
4.1.1	Skrovområden .....	13
4.2.1	Isbelastningsområdets höjd .....	13
4.2.2	Istryck .....	14
4.3.1	Isförstärkningens (isbältets) vertikala utsträckning .....	16
4.3.2	Plåttjocklek i isbältet.....	16
4.4.1	Vertikal utsträckning av isförstärkning av spantning .....	17
4.4.2	Tvårskeppsspant .....	18
4.4.2.1	Böjmotstånd och skjuvarea.....	18
4.4.2.2	Övre ändan av tvårskeppsspant .....	19
4.4.2.3	Nedre ändan av tvårskeppsspant.....	19
4.4.3	Långskeppsspant.....	20
4.4.4	Allmänt om spantning .....	20
4.4.4.1	Fästandet av spanten till de stödjande konstruktionerna .....	20
4.4.4.2	Spantens stöd mot instabilitet, särskilt vridning .....	21
4.5.1	Vägare inom isbältet.....	21
4.5.2	Vägare utanför isbältet.....	22
4.5.3	Smala sidodäck .....	22
4.6.1	Isbelastning.....	23
4.6.2	Böjmotstånd och skjuvarea.....	23
6.4.1	Material utsatt för havsvatten .....	31
6.4.2	Material utsatt för havsvattentemperatur .....	31
6.5.1	Beräkningsbelastningar på propellerblad .....	32
6.5.1.1	Maximal bakåtriktad bladkraft $F_b$ för öppna propellrar .....	32
6.5.1.2	Maximal framåtriktad bladkraft $F_f$ för öppna propellrar .....	32
6.5.1.3	Belastningsområde på bladet för öppna propellrar .....	32
6.5.1.4	Maximal bakåtriktad iskraft på bladen $F_b$ för dyspropellrar .....	34

6.5.1.5	Maximal framåtriktad iskraft på bladen $F_f$ för dyspropellrar .....	34
6.5.1.6	Belastningsområde på bladet för dyspropellrar .....	34
6.5.1.7	Maximalt vridmoment på bladspindeln $Q_{smax}$ för öppna propellrar och dyspropellrar .....	35
6.5.1.8	Belastningsfördelningar för bladlaster .....	36
6.5.1.9	Antal isbelastningar .....	36
6.5.2	Axiella beräkningsbelastningar för öppna propellrar och dyspropellrar ...	37
6.5.2.1	Maximalt istryck på propeller $T_f$ och $T_b$ för öppna propellrar och dyspropellrar .....	37
6.5.2.2	Dimensionerande istryck längs maskineriets axellinje för öppna propellrar och dyspropellrar .....	37
6.5.3	Beräkningsbelastningar för torsion.....	38
6.5.3.1	Dimensionerande isvridmoment på propeller $Q_{max}$ för öppna propellrar ..	38
6.5.3.2	Dimensionerande isvridmoment på propeller $Q_{max}$ för dyspropellrar.....	39
6.5.3.3	Dimensionerade vridmoment för axellinjer utan resonans .....	39
6.5.3.4	Dimensionerade vridmoment för axellinjer med resonans .....	40
6.5.3.4.1	Tidsdomänberäkning för torsionsreaktion .....	40
6.5.3.4.2	Frekvensdomänberäkning för torsionsreaktion .....	44
6.5.3.4.3	Handledning för beräkning av torsionsvibration .....	45
6.5.4	Belastning vid bladhaveri.....	45
6.5.4.1	Böjningskraft $F_{ex}$ .....	45
6.5.4.2	Spindelvridmoment $Q_{sex}$ .....	46
6.6.1	Konstruktionsprincip .....	47
6.6.2	Propellerbladet.....	47
6.6.2.1	Beräkning av bladpåkänningar .....	47
6.6.2.2	Acceptanskriterium .....	48
6.6.2.3	Utmattningsdimensionering av propellerblad.....	48
6.6.2.4	Acceptanskriterium för utmattning.....	51
6.6.3	Propellernav och CP-mekanism .....	51
6.6.4	Framdrivningssystemets axellinje .....	51
6.6.4.1	Axlar och axelkomponenter .....	52
6.6.5	Vridbara huvudtrustrar.....	52
6.6.5.1	Konstruktionsprincip .....	52
6.6.5.2	Extrema isstötblastningar .....	52
6.6.5.3	Extrema isbelastningar på trusterhuset vid penetrering av isvall.....	57
6.6.5.4	Acceptanskriterium för statiska belastningar .....	60
6.6.5.5	Trusterhusets globalvibration .....	60
6.7.1	Omfattning .....	61
6.7.2	Belastning .....	61
6.7.3	Dimensioneringsnivåer .....	61

**TABELLFÖRTECKNING**

Tabell 3-1: Värderna för $K_e$ för konventionella maskinerier.....	9
Tabell 3-2: Värderna för koefficienterna $f_1$ - $f_4$ och $g_1$ - $g_3$ för att bestämma $C_1$ och $C_2$ .....	9
Tabell 3-3: Värderna för koefficienterna $f_1$ - $f_4$ och $g_1$ - $g_3$ för att bestämma $C_1$ och $C_2$ .....	10
Tabell 4-1: Värderna för $h_i$ och $h$ för de olika isklasserna .....	14
Tabell 4-2: Värderna för $a$ och $b$ för olika skrovområden.....	14
Tabell 4-3: Värderna för $c_p$ för olika skrovområden .....	15
Tabell 4-4: Värderna för $l_a$ för olika strukturella element.....	15
Tabell 4-5: Isförstärkningens vertikala utsträckning .....	16
Tabell 4-6: Vertikal utsträckning av isförstärkning av spantning.....	17
Tabell 4-7: Värderna för $m_o$ för olika randvillkor .....	19
Tabell 4-8: Värderna för faktorerna $\alpha$ och $\gamma$ .....	24

Tabell 6-1: Definition av belastningar .....	29
Tabell 6-2: Drifttyper för olika isklasser .....	31
Tabell 6-3: Tjockleken på dimensionerat isblock .....	31
Tabell 6-4: Belastningsfall för öppna propellrar .....	33
Tabell 6-5: Belastningsfall för dyspropellrar .....	35
Tabell 6-6: Värden för $N_{class}$ .....	37
Tabell 6-7: Värden för propellerlokaliseringsfaktorn $k_1$ .....	37
Tabell 6-8: Standardvärden för hydrodynamisk bollarkraft, $T$ .....	38
Tabell 6-9: Standardrotationshastighet för propellern vid MCR i bollard pull-kondition .....	38
Tabell 6-10: Standardvärden för maximalt vridmoment i drivkälla $Q_{emax}$ .....	40
Tabell 6-11: Ökning av isens inverkan och varaktighetsfaktorer för olika antal blad .....	41
Tabell 6-12: Koefficientvärden för beräkning av frekvensdomänexcitation .....	44
Tabell 6-13: Värden för koefficienterna $B_1$ , $B_2$ och $B_3$ .....	48
Tabell 6-14: Parametrar för bestämning av $\rho$ .....	50
Tabell 6-15: Värden för parametern $G$ för olika förhållanden $m/k$ .....	51
Tabell 6-16: Belastningsfall för isstötblastningar på vridbara trustar .....	54
Tabell 6-17: Parametervärden för isdimensioner och dynamisk förstoring .....	56
Tabell 6-18: Stöthastigheter för trustar i den akre centerlinjen .....	56
Tabell 6-19: Stöthastigheter för aktervinge, förens centerlinje, och förens vingtrustar .....	57
Tabell 6-20: Belastningsfall för isbelastning på vall .....	58
Tabell 6-21: Parametrar för beräkning av maximala belastningar när trustern penetrerar en isvall. Aktertrustar. Fören före .....	60
Tabell 6-22: Parametrar för beräkning av maximala belastningar när trustern penetrerar en isvall. Trustern före, t.ex. dubbelverkande fartyg .....	60
Tabell I-1: Parametrar för typfartyg och effekter som fåtts ur formlerna .....	63

## FIGURFÖRTECKNING

Figur 3-1. Definition av skrovets geometriska parametrar. Om fartyget har bulb, är $\varphi_1 = 90^\circ$ .	
Figur 4-1. Isbelastningsfördelning på fartygssidan .....	11
Figur 4-2. Bestämning av spännvidd (till vänster) och spantavstånd (till höger) för icke rätlinjiga strukturer .....	12
Figur 4-3. Skrovets isförstärkta områden .....	13
Figur 4-4. Exempel på lämpliga stävar .....	24
Figur 6-1. Den bakåtriktade propellerbladkraftens resultant vinkelrätt mot kordan vid radien $0,7R$ . Isens kontaktryck vid den ledande kanten visas med små pilar .....	30
Figur 6-2. Weibullfördelningar (sannolikheten att $F_{ice}$ överskrider $(F_{ice})_{max}$ ) som används för utmattningsdimensionering .....	36
Figur 6-3. Schematiskt vridmoment på grund av en enskild impuls av bladet mot isen som en funktion av propellerns rotationsvinkel .....	41
Figur 6-4. Formerna på excitationsskvenserna för propellerns isvridmoment för propellrar med 3, 4, 5 eller 6 blad .....	43
Figur 6-5. Schematisk figur som visar bladhaveribelastningen och relaterat vridmoment för spindeln när kraften verkar på en annan plats på kordan vid radien $0,8R$ . ....	47
Figur 6-6. SN-kurva med dubbla lutningar .....	49
Figur 6-7. SN-kurva med konstant lutning .....	49
Figur 6-8. Exempel på belastningsscenario .....	52
Figur 6-9. Dimensioner för $R_c$ .....	55
Figur 6-10. Schematisk figur över minskning av kontaktytan vid maximal valltjocklek .....	59
Figur III-1. Markering av isklassdjupgående .....	65

## BILAGEFÖRTECKNING

Bilaga I	Parametrar för typfartyg och effekter som fåtts ur formlerna .....	63
----------	--	----

Bilaga II	Maskineffekten för ett fartyg med isklass IB eller IC vilket har kölsträckts eller befunnit sig i motsvarande byggnadsstadium före 1 september 2003.....	64
Bilaga III	Markering av isklassdjupgående .....	65

## **1 ALLMÄNT**

### **1.1 Tillämpning av 2021 års isklassföreskrifter**

2021 års isklassföreskrifter tillämpas på fartyg om vilkas byggande kontrakteras den 5 juli 2021 eller senare.

Bestämmelserna i avsnitt 1.8 (Isklasser) och kapitel 2 (Isklassdjupgående) i isklassföreskrifterna av år 2021 tillämpas på alla fartyg oavsett byggnadstidpunkt.

### **1.2 Tillämpning av 2017 års isklassföreskrifter**

2017 års isklassföreskrifter tillämpas på fartyg om vilkas byggande kontrakteras den 1 januari 2019 eller senare men före den 5 juli 2021.

Räknat från den 1 december 2017 kan 2017 års isklassföreskrifter dock tillämpas även på sådana fartyg om vilkas byggande kontrakteras den 1 december 2017 eller senare men före den 5 juli 2021.

### **1.3 Tillämpning av 2010 års isklassföreskrifter**

2010 års isklassföreskrifter (TRAFI/31298/03.04.01.00/2010) tillämpas på fartyg om vilkas byggande kontrakteras den 1 januari 2012 eller senare men före den 1 januari 2019.

### **1.4 Tillämpning av 2008 års isklassföreskrifter**

Sjöfartsverkets isklassföreskrifter av år 2008 (8.12.2008 Dnr 2530/30/2008) tillämpas på fartyg om vilkas byggande kontrakterats den 1 januari 2010 eller senare men före den 1 januari 2012.

### **1.5 Tillämpning av 2002 års isklassföreskrifter**

Sjöfartsverkets isklassföreskrifter av år 2002 (20.9.2002 Dnr 5/30/2002) jämte ändringar tillämpas på fartyg som har kölsträckts eller som har befunnit sig på motsvarande byggnadsstadium den 1 september 2003 eller senare och om vars byggande kontrakterats före den 1 januari 2010.

### **1.6 Tillämpning av 1985 års isklassbestämmelser**

Sjöfartsstyrelsens bestämmelser av år 1985 angående fartygs hänförelse till skilda isavgiftsklasser (2.9.1985 Dnr 2575/85/307) jämte ändringar tillämpas på fartyg som har kölsträckts eller som har befunnit sig på motsvarande byggnadsstadium den 1 november 1986 eller senare men före den 1 september 2003. På redarens begäran kan dock kraven angående maskineffekten i Sjöfartsverkets isklassföreskrifter av år 2008 tillämpas på dessa fartyg.

Fartyg som hör till isklass IA Super eller IA och som har kölsträckts eller befunnit sig på motsvarande byggnadsstadium före den 1 september 2003 ska dock uppfylla kraven i avsnitt 3.2.2 eller 3.2.4 i Trafiksäkerhetsverkets isklassföreskrifter av år 2017 senast den 1 januari det år då det har förflutit tjugo år sedan fartyget levererades.

## **1.7 Tillämpning av 1971 års isklassbestämmelser**

Kraven i bilaga I till Sjöfartsstyrelsens bestämmelser av år 1971 angående fartygs hänförande till skilda isavgiftsklasser (6.4.1971 Dnr 1260/71/307) eller, beroende på fartygets ålder, kraven i beslutets 10 §, jämte ändringar, tillämpas på fartyg som har kölsträckts eller som har befunnit sig på motsvarande byggnadsstadium före den 1 november 1986. På redarens begäran kan dock kraven angående maskineffekten i Sjöfartsstyrelsens bestämmelser angående fartygs hänförande till skilda isavgiftsklasser av år 1985 eller i Sjöfartsverkets isklassföreskrifter av år 2008 tillämpas på sådana fartyg.

Fartyg som hör till isklass IA Super eller IA och som har kölsträckts eller som har befunnit sig på motsvarande byggnadsstadium före den 1 september 2003 ska dock uppfylla kraven i avsnitt 3.2.2 eller 3.2.4 i Trafiksäkerhetsverkets isklassföreskrifter av år 2017 senast den 1 januari det år då det har förflutit tjugo år sedan fartyget levererades.

## **1.8 Isklasser**

Enligt 3 § i lagen om fartygs isklasser och isbrytarassistans (1121/2005) hör fartyg till isklasser enligt följande:

1. till isklass IA Super fartyg vars konstruktion, maskineffekt och övriga egenskaper är sådana att de kan ta sig fram under svåra isförhållanden, i regel utan isbrytarassistans,
2. till isklass IA fartyg vars konstruktion, maskineffekt och övriga egenskaper är sådana att de kan ta sig fram under svåra isförhållanden, vid behov med isbrytarassistans,
3. till isklass IB fartyg vars konstruktion, maskineffekt och övriga egenskaper är sådana att de kan ta sig fram under medelsvåra isförhållanden, vid behov med isbrytarassistans,
4. till isklass IC fartyg vars konstruktion, maskineffekt och övriga egenskaper är sådana att de kan ta sig fram under lätta isförhållanden, vid behov med isbrytarassistans,
5. till isklass II fartyg vars skrov är av stål och som är konstruerade för gång i högsjö och som trots att fartygen inte är förstärkta för gång i is med eget framdrivningsmaskineri kan ta sig fram under mycket lätta isförhållanden,
6. till isklass III fartyg som inte hör till någon av isklasserna i 1–5 punkten.

## **2 ISKLASSDJUPGÅENDE**

### **2.1 Övre och undre isvattenlinje**

Den övre isvattenlinjen (UIWL) utgörs av den vattenlinje som motsvarar de största djupgåenden som fartyget kan operera i vid gång i is. Vattenlinjen kan vara en bruten linje.

Den undre isvattenlinjen (LIWL) utgörs av den vattenlinje som motsvarar de minsta djupgåenden som fartyget kan operera i vid gång i is. Vattenlinjen kan vara en bruten linje.

### **2.2 Största och minsta djupgåendet förut och akterut**

Det största och minsta isklassdjupgåendet vid för- och akterperpendiklarna ska bestämmas enligt övre och undre isvattenlinjerna. Fartygets djupgående vid för- och akterperpendiklarna ska alltid ligga mellan övre och undre isvattenlinjerna när isförhållandena kräver att fartyget är isförstärkt.

Djupgående begränsningar vid gång i is ska vara dokumenterade och informationen ska finnas ombord lätt tillgänglig för fartygets befäl. Största och minsta djupgående förut, midskepps och akterut vid gång i is ska redovisas i klasscertifikat. Fartyg byggda den 1 juli 2007 eller senare ska förses med ett fribordsmärke midskepps för isklass, om färskvattenlastlinjen sommartid någonstans är högre belägen än UIWL. Märke och varningstriangel ska enligt bilaga III placeras på vardera fartygssidan vid det djupgående som motsvarar det största tillåtna isklassdjupgåendet. Motsvarande fribordsmärke för isklass ska sättas på fartyg byggda före den 1 juli 2007, om UIWL är lägre än sommarfribordet. Detta ska ske senast vid den första dockning av fartyget som sker efter den 1 juli 2007.

Det djupgående och trim som begränsas av UIWL får inte överskridas då fartyget går i is. Vattnets salthalt längs den planerade ruten ska beaktas då fartyget lastas.

Fartyget ska alltid vara nedlastat åtminstone till djupgåendet för LIWL midskepps då det går i is. Varje barlasttank som är belägen ovanför LIWL och som behövs för att lasta ned fartyget till denna vattenlinje ska ha anordningar för att hindra vattnet att frysa i tanken. Då LIWL fastställs ska hänsyn tas till behovet att garantera en skälig förmåga att gå i is i barlast. Propellerns högsta punkt ska ligga under vattenytan och om möjligt på minst  $h_i$  djup från vattenytan i alla lastkonditioner. Djupgåendet förut ska vara minst:

$$(2 + 0,00025 \Delta)h_i \text{ [m]}, \text{ men behöver inte vara större än } 4h_i, \quad (2.1)$$

där

$\Delta$  är fartygets displacement [t] bestämt från vattenlinjen på UIWL (se avsnitt 2.1). När flera vattenlinjer används för att bestämma UIWL ska displacementet bestämmas utifrån den vattenlinje som motsvarar det största displacementet.

$h_i$  är den jämna isens tjocklek [m] enligt avsnitt 4.2.1.

### 3 MASKINEFFEKT

#### 3.1 Definition av maskineffekt

Maskineffekten  $P$  är den högsta totaleffekt som framdrivningsmaskineriet kontinuerligt kan leverera till propellern/propellrarna. Om maskineffekten begränsas med tekniska medel eller av någon bestämmelse som är tillämplig på fartyget, ska den begränsade effekten utgöra  $P$ . Om ytterligare kraftförsörjning är tillgänglig för framdrivning (t.ex. axelmotorer) förutom kraften i huvudmaskinen/huvudmaskinerna, ska de också ingå i den totala maskineffekten.

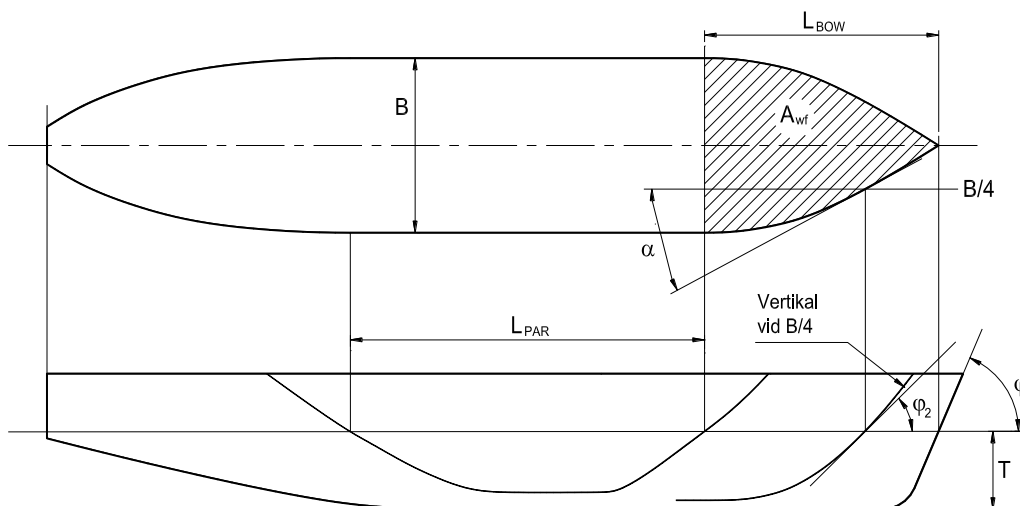
#### 3.2 Krav på maskineffekt för fartyg med isklass IA Super, IA, IB och IC

Maskineffekten ska inte vara mindre än den som fås ur nedanstående formel och i ingen händelse mindre än 1 000 kW för isklasserna IA, IB och IC och inte mindre än 2 800 kW för isklass IA Super.

### 3.2.1 Definitioner

Definitionerna av fartygets dimensioner och andra parametrar framgår nedan:

$L$	m	fartygets längd mellan perpendiklar
$L_{BOW}$	m	bogens längd
$L_{PAR}$	m	längd av parallell midskeppsdel
$B$	m	fartygets maximala bredd
$T$	m	isklassdjupgående enligt avsnitt 3.2.2
$A_{wf}$	m <sup>2</sup>	bogens vattenlinjearea
$\alpha$	grader	vattenlinjens öppningsvinkel vid $B/4$
$\varphi_1$	grader	stävinkeln i centerlinjen
$\varphi_2$	grader	vertikalens lutningsvinkel mot vattenlinjen vid $B/4$
$\psi$	grader	utkast (flare) vinkeln beräknad som $\psi = \tan^{-1} \left( \frac{\tan \phi}{\sin \alpha} \right)$ med användning av $\alpha$ och $\phi$ vid aktuell plats. För kapitel 3 beräknas vinkeln med $\phi = \varphi_2$
$D_P$	m	propellerdiameter
$H_M$	m	tjocklek av krossis mitt i rännan
$H_F$	m	tjocklek av krossisbältet som förskjuts till sidan av bogen



Figur 3-1. Definition av skrovets geometriska parametrar. Om fartyget har bulb, är  $\varphi_1 = 90^\circ$ .

### 3.2.2 Nya fartyg

För att få isklass IA Super, IA, IB eller IC ska fartyg som har kölsträckts eller har befunnit sig på motsvarande byggnadsstadium den 1 september 2003 eller senare uppfylla nedanstående krav avseende maskineffekt. Effektkravet ska beräknas för två djupgåenden enligt formel 3.1. De djupgåenden vilka avses är det största isklassdjupgåendet midskepps UIWL och det minsta isklassdjupgåendet LIWL, definierade i avsnitt 2.2. De parametrar som är beroende av djupgåendet ska fastställas för motsvarande djupgående men  $L$  och  $B$  fastställs bara för UIWL. Maskineffekten får inte vara lägre än det större av dessa beräknade effekter.

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

där  $K_e$  bestäms enligt tabell 3-1.



*Tabell 3-1: Värderna för  $K_e$  för konventionella maskinerier*

Antal propellrar	CP-propeller eller elektriskt eller hydrauliskt maskineri	FP propeller
1 propeller	2,03	2,26
2 propellrar	1,44	1,60
3 propellrar	1,18	1,31

Dessa  $K_e$ -värden gäller för konventionella maskinerier. För att fastställa effektkravet för mer avancerade maskinerier kan också andra metoder användas (se avsnitt 3.2.5).

$R_{CH}$  är fartygets ismotstånd i Newton i en bruten ränna med krossis (brash ice) och ett fruset toppskikt.

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

där

$$C_\mu = 0,15 \cos \varphi_2 + \sin \psi \sin \alpha, \quad C_\mu \text{ är lika med eller större än } 0,45$$

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

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

$$H_M = 1,0 \text{ m för isklasserna IA och IA Super} \\ = 0,8 \text{ m för isklass IB} \\ = 0,6 \text{ m för isklass IC}$$

$C_1$  och  $C_2$  är faktorer som beaktar det frusna toppskiktet av krossis i rännan.  $C_1 = 0$  och  $C_2 = 0$  för isklasserna IA, IB och IC.

För isklass IA Super gäller:

$$C_1 = f_1 \frac{BL_{PAR}}{2\frac{T}{B} + 1} + (1 + 0,021\phi_1)(f_2 B + f_3 L_{BOW} + f_4 BL_{BOW}),$$

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

För fartyg med bulbstäv är  $\phi_1 = 90^\circ$ .

Koefficienterna  $f_1$ - $f_4$  och  $g_1$ - $g_3$  ges i tabell 3-2.

*Tabell 3-2: Värderna för koefficienterna  $f_1$ - $f_4$  och  $g_1$ - $g_3$  för att bestämma  $C_1$  och  $C_2$*

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

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

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

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

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

Om termen  $\left(\frac{LT}{B^2}\right)^3$  har ett värde som är mindre än 5, ska värdet 5 användas och om termens värde är större än 20, ska värdet 20 användas.

### 3.2.3 Existerande fartyg av isklass IB eller IC

För att ett fartyg byggt enligt 1985 års isklassbestämmelser (2.9.1985, Dnr 2575/85/307 jämte ändringar) ska kunna behålla isklass IB eller IC, ska de i avsnitt 3.2.1 i 1985 års isklassbestämmelser fastställda kraven på minsta tillåtna maskineffekt uppfyllas. Bestämmelserna angående isklass IB och IC i avsnitt 3.2.1 av 1985 års isklassbestämmelser återges i bilaga II till dessa föreskrifter.

### 3.2.4 Existerande fartyg av isklass IA Super eller IA

För att kunna behålla isklass IA Super eller IA ska fartyg som har kölsträckts eller befunnit sig på motsvarande byggnadsstadium före 1 september 2003 uppfylla kraven i avsnitt 3.2.2 senast den 1 januari det år det har förflutit 20 år sedan fartyget levererades.

Om fartyget inte uppfyller kraven i avsnitt 3.2.2 på det datum som anges ovan, kan den högsta lägre isklassen för vilken maskineffekten är tillräcklig bestämmas för fartyget.

För existerande fartyg kan det under vissa förhållanden vara svårt att fastställa de skrovparametrar som fordras för beräkningsmetoden i avsnitt 3.2.2. Under sådana omständigheter kan nedanstående alternativa formler tillämpas:

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

där för isklass IA  $C_1 = 0$  och  $C_2 = 0$ .

För isklass IA Super, fartyg utan bulb, gäller

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

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

För isklass IA Super, fartyg med bulb, gäller:

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

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

Koefficienterna  $f_1$ - $f_4$  och  $g_1$ - $g_3$  anges i tabell 3-3.

Tabell 3-3: Värden för koefficienterna  $f_1$ - $f_4$  och  $g_1$ - $g_3$  för att bestämma  $C_1$  och  $C_2$

$f_1 = 10,3 \text{ N/m}^2$	$g_1 = 1530 \text{ N}$
$f_2 = 45,8 \text{ N/m}$	$g_2 = 170 \text{ N/m}$
$f_3 = 2,94 \text{ N/m}$	$g_3 = 400 \text{ N/m}^{1.5}$
$f_4 = 5,8 \text{ N/m}^2$	

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

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

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

Om termen  $\left(\frac{LT}{B^2}\right)^3$  har ett värde som är mindre än 5, ska värdet 5 användas och om termens värde är större än 20, ska värdet 20 användas.

### 3.2.5 Andra metoder för bestämning av $K_e$ eller $R_{CH}$

För enskilda fartyg kan i stället för i avsnitten 3.2.2 och 3.2.3 angivna värden för  $K_e$  eller  $R_{CH}$  godkännas  $K_e$ - eller  $R_{CH}$ -värden baserade på mer exakta beräkningar eller modellförsök. Ett sådant godkännande medges under villkor att det kan omprövas, om fartygets prestanda i praktiken motiverar detta.

Fartyg ska kunna göra minst 5 knop i en ränna med krossis av nedanstående tjocklek:

IA Super	$H_M = 1,0$ m och ett sammanfruset toppskikt på 0,1 m
IA	= 1,0 m
IB	= 0,8 m
IC	= 0,6 m.

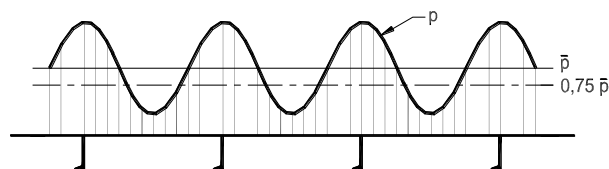
## 4 SKROVKONSTRUKTION

### 4.1 Allmänt

Metoden för bestämmandet av skrovdelarnas måttsättning är baserad på vissa antaganden om naturen av isbelastningen på konstruktionen. Dessa antaganden baserar sig på fullskaleobservationer i norra Östersjön.

Det har sålunda observerats att det lokala istrycket på små områden kan nå mycket höga värden. Detta tryck kan väl överskrida havsisens normala uniaxiella tryckhållfasthet. Förklaringen är att belastningen de facto är multiaxiell.

Vidare har det observerats att istrycket på ett spant kan vara högre än på plåten mellan spanten. Förklaringen till detta är den olika böjstyvheten hos spant och bordläggningssplåt. Belastningsfördelningen antas vara som visas i figur 4-1.



Figur 4-1. Isbelastningsfördelning på fartygssidan

Om administrationen eller klassificeringssällskapet anser att de formler och värden som är beskrivna i detta kapitel inte är representativa eller applicerbara för en specifik detalj eller en viss struktur, kan de ersättas med direktberäkning. I övriga fall ska inte direktberäkning användas som ett alternativ till de analytiska metoder som explicit föreskrivs i avsnitt 4.3 – 4.5.

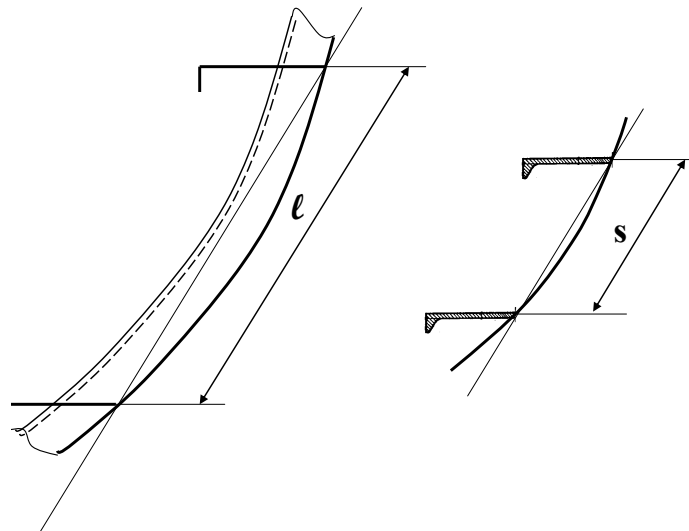
Vid direktberäkning ska belastningsfördelning, vilken definieras i avsnitt 4.2, tillämpas ( $p$ ,  $h$  och  $l_a$ ). Det tryck som ska användas är  $1,8p$  där  $p$  bestäms i enlighet med 4.2.2. Belastnings-

utbredningen ska appliceras på områden där strukturens kapacitet, som är utsatt för kombinerade effekter av böjning och skjuvning, är minimerad. Särskild hänsyn ska tas till strukturen när belastningsutbredningen ligger centrerad vid den övre isvattenlinjen UIWL,  $0.5h_0$  under den undre isvattenlinjen LIWL samt när den befinner sig på ett antal vertikala positioner däremellan. Flera horisontala platser ska kontrolleras, speciellt sådana som är centrerade mitt i en spännvidd eller mellan två spant. Om belastningsutbredningen  $l_a$  inte kan bestämmas utifrån strukturens utformning, ska flera värden av  $l_a$  kontrolleras och motsvarande värden för  $c_a$  användas.

Acceptanskriteriet för konstruktionerna är att den kombinerade spänningen från böjning och skjuvning, då von Mises flytvillkor används, ska vara lägre än sträckgränsen  $\sigma_y$ . När direktberäkningen grundar sig på balkteori tillåts inte skjuvspänningen överstiga  $0,9\tau_y$ , där  $\tau_y = \sigma_y/\sqrt{3}$ .

Om de materialdimensioner som fås enligt dessa föreskrifter är mindre än de som krävs av klassificeringssällskapet för ett icke isförstärkt fartyg, ska klassificeringssällskapets regler användas.

Anm. 1. Spantavstånden och spännvidden för balkar som definieras i denna text antas normalt sett (i enlighet med klassificeringssällskapets regler för det aktuella fartyget) mätas längs med plåtfält, vinkelrätt mot förstyvningen för plåten, längs med en fläns samt längs med den fria ändan för flatjärn. I de fall där strukturen är böjd definieras spännvidden (eller spantavståndet) som längden (spantavstånden) av kordan mellan infästningspunkterna. Punkterna för en spännvidd definieras som skärningspunkten mellan flänsen eller den övre delen av elementet och det bärande strukturelement som den korsar (stringer, ramspant, däck eller skott). Figur 4-2 visar hur spännvidd och spantavstånd för böjda strukturer bestäms.



Figur 4-2. Bestämning av spännvidd (till vänster) och spantavstånd (till höger) för icke rätlinjiga strukturer

Anm. 2. Den effektiva bredden av ett plåtfält som används vid beräkning av det kombinerade böjmotståndet för förstyvning, sidovägare, spant och tillhörande plåtfält ska beräknas i enlighet med klassificeringssällskapets regler. Den effektiva bredden ska inte vara större än vad som anges i klassificeringssällskapets regler för det aktuella fartyget.

Anm. 3. Kraven för böjmotstånd och skjuvarea för spant, vägare och ramspant i avsnitt 4.4, 4.5 och 4.6 är beskrivna med hänsyn till det effektiva tvärsnittet av profilen. I de fall då elementet inte är vinkelrätt mot plåtfältet ska det effektiva tvärsnittets egenskaper beräknas så att de stämmer överens med klassificeringssällskapets regler för det aktuella fartyget.

#### 4.1.1 Skrovområden

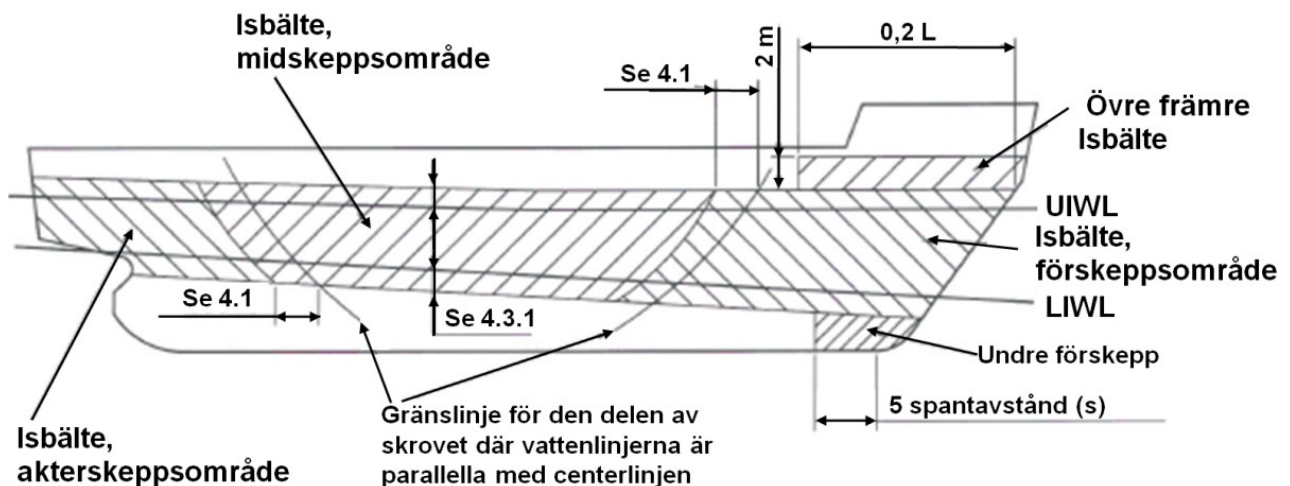
Fartygets skrov indelas i skrovområden enligt följande (se även figur 4-3):

**Förskeppsområdet:** Från förstäven till en linje parallell med och  $0,04 \cdot L$  akter om den främre gränslinjen för den del av skrovet där vattenlinjerna är parallella med centerlinjen. För isklasserna IA Super och IA behöver överlappet över gränslinjen inte överstiga 6 meter och för isklasserna IB och IC behöver det inte överstiga 5 meter.

**Midskeppsområdet:** Från förskeppsområdets akter gräns till en linje parallell med och  $0,04 \cdot L$  akter om den aktra gränslinjen för den del av skrovet där vattenlinjerna är parallella med centerlinjen. För isklasserna IA Super och IA behöver överlappet över gränslinjen inte överstiga 6 meter och för isklasserna IB och IC behöver det inte överstiga 5 meter.

**Akterskeppsområdet:** Från midskeppsområdets akter gräns till akterstäven.

$L$  är den av klassificeringssällskapet tillämpade regellängden.



Figur 4-3. Skrovets isförstärkta områden

## 4.2 Isbelastning

### 4.2.1 Isbelastningsområdets höjd

Ett isförstärkt fartyg antas gå i trafik i isförhållanden i öppen sjö motsvarande jämn is med en tjocklek som inte är över  $h_i$ . Isbelastningshöjden ( $h$ ) av det område som är under isbelastning vid en viss tidpunkt antas dock vara endast en del av istjockleken. Värden för  $h_i$  och  $h$  ges i tabell 4-1.

Tabell 4-1: Värden för  $h_i$  och  $h$  för de olika isklasserna

Isklass	$h_i$ [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 Istryck

Beräkningstryck beräknas med formeln

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

där

$c_d$  är faktorn som beaktar inverkan av fartygets storlek och maskineffekt. Faktorn har ett maxvärde där  $c_d = 1$ . Det beräknas med formeln

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

där

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

Värden för  $a$  och  $b$  ges i tabell 4-2.

Tabell 4-2: Värden för  $a$  och  $b$  för olika skrovområden

	För		Midskepps och akter	
	$k \leq 12$	$k > 12$	$k \leq 12$	$k > 12$
$a$	30	6	8	2
$b$	230	518	214	286

$\Delta$  är fartygets displacement på största isklassdjupgående [t] (se avsnitt 2.2).

$P$  är fartygets faktiska kontinuerliga maskineffekt [kW] (se avsnitt 3.1) när det går i is. Om ytterligare kraftförsörjning är tillgänglig för framdrivning (t.ex. axelmotorer) förutom kraften i huvudmaskinen/huvudmaskinerna, ska de också ingå i den totala maskineffekten som används för beräkning av skrovdelarnas måttställning. Maskineffekten som används för beräkning av skrovdelarnas måttställning ska anges tydligt på ritningen för expansionen av bordläggningen.

$c_p$  är en faktor som återspeglar storleken på den väntade belastningen i det aktuella skrovområdet i förhållande till belastningen i förskeppsområdet.

Värdet för  $c_p$  ges i tabell 4-3.

*Tabell 4-3: Värderna för  $c_p$  för olika skrovområden*

	För	Midskepps	Akter
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

$c_a$  är en faktor som beaktar sannolikheten för att hela längden av området i fråga kommer att vara utsatt för tryck på samma gång. Den beräknas med formeln

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

Värderna för  $l_a$  ges i tabell 4-4.

$p_o$  är det nominella istrycket; värdet 5,6 MPa ska användas.

*Tabell 4-4: Värderna för  $l_a$  för olika strukturella element*

Struktur	Spantningstyp	$l_a$ [m]
Bordläggning	Tvärskepps	Spantavstånd
	Långskepps	1,7×spantavstånd
Spant	Tvärskepps	Spantavstånd
	Långskepps	Spantets spännvidd
Isvägare		Vägarens spännvidd
Ramspant		2×avståndet mellan ramspanten

### 4.3 Bordläggning

#### 4.3.1 Isförstärkningens (isbältets) vertikala utsträckning

Isförstärkningens vertikala utsträckning ska följa tabell 4-5 (se figur 4-3).

*Tabell 4-5: Isförstärkningens vertikala utsträckning*

Isklass	Skrov- område	Ovan UIWL	Under LIWL
IA Su- per	För	0,60 m	1,20 m
	Mid- skepps		1,0 m
	Akter		0,90 m
IA	För	0,50 m	0,75 m
	Mid- skepps		0,70 m
	Akter		0,60 m
IB och IC	För	0,40 m	0,60 m
	Mid- skepps		
	Akter		

Dessutom ska följande områden isförstärkas:

**Undre förskeppet:** För isklass IA Super ska bordläggningsplåten nedanför isbältet, mellan förstäven och en position fem huvudspantsavstånd akter om den punkt där stävprofilen avviker från köllinjen, isförstärkas på samma sätt som förskeppsområdet.

**Övre främre isbältet:** För isklasserna IA Super och IA på fartyg med en servicefart i öppet vatten på 18 knop eller mer ska bordläggningen från isbältets övre kant till 2 meter över denna och från förstäven till en position åtminstone 0,2 L akter om förliga perpendikeln ska isförstärkas på samma sätt som midskeppsområdet. Det rekommenderas att förskeppet isförstärks på motsvarande sätt på fartyg med lägre servicefart, om det t.ex. av modellförsök framgår att fartyget kommer att ha en kraftig bogvåg.

Fönsterventiler får inte placeras i isbältet. Om väderdäcket i någon del av fartyget är beläget nedanför isbältets övre kant, t.ex. i däckbrunnen på ett welldäckt fartyg, ska brädgången ha åtminstone samma styrka som krävs för bordläggningen i isbältet. Konstruktionen av länsportar ska ha tillräcklig styrka för ändamålet.

#### 4.3.2 Plåttjocklek i isbältet

Vid tvärskeppsspantning ska bordläggningsplåtarnas tjocklek bestämmas enligt formeln

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



och vid långskeppsspantning ska bordläggningssplåtarnas tjocklek bestämmas enligt formeln

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

där

$s$  är spantavståndet [m]

$p_{pl} = 0,75p$  [MPa], där  $p$  är som givet i avsnitt 4.2.2

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

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

där  $h$  är som givet i avsnitt 4.2.1

$\sigma_y$  är materialets sträckgräns [N/mm<sup>2</sup>], för vilken följande värden ska användas:

$\sigma_y = 235$  N/mm<sup>2</sup> för skrovkonstruktionsstål med normal hållfasthet

$\sigma_y = 315$  N/mm<sup>2</sup> eller högre för höghållfast skrovkonstruktionsstål.

Om stål med avvikande sträckgräns används, kan den faktiska sträckgränsen användas på villkor att det accepterats av klassificeringssällskapet.

$t_c$  är slit och korrosionsmån [mm]; normalt ska  $t_c$  vara 2 mm. Om en speciell ytbeläggning har lagts på och underhålls, vilken erfarenhetsmässigt kan stå emot slitaget från isen, kan lägre värden godkännas.

## 4.4 Spant

### 4.4.1 Vertikal utsträckning av isförstärkning av spantning

Den vertikala utsträckningen av isförstärkningen av spantningen ska åtminstone vara som givet i tabell 4-6.

*Tabell 4-6: Vertikal utsträckning av isförstärkning av spantning*

Isklass	Skrov- område	Ovan UIWL	Under LIWL
IA Su- per	För	1,2 m	Till tanktak eller under överkant av bottenstockar
	Mid- skepps		2,0 m
	Akter		1,6 m
IA, IB och IC	För	1,0 m	1,6 m
	Mid- skepps		1,3 m
	Akter		1,0 m

Där ett övre, främre isbälte krävs (se avsnitt 4.3.1) ska isförstärkningen av spantningen sträcka sig till minst höjden av detta isbälte.

Där isförstärkningen ska utsträckas förbi ett däck, bordläggningen till den övre eller nedre ytan av en tank, ett tanktak med högst 250 mm, kan den avslutas vid detta däck, bordläggningen till den övre eller nedre ytan av tanken eller tanktaket.

#### 4.4.2 Tvärskeppsspant

##### 4.4.2.1 Böjmotstånd och skjuvarea

Böjmotståndet för ett huvud- eller mellantvärskeppsspant ska beräknas med formeln

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

och den effektiva skjuvarean ska beräknas med formeln

$$A = \frac{\sqrt{3}f_3phs}{2\sigma_y} 10^4 \text{ [cm}^2\text{]}, \quad (4.8)$$

där

$p$  är istrycket som givet i avsnitt 4.2.2 [MPa]

$s$  är spantavståndet [m]

$h$  är höjden av belastningsområdet i enlighet med avsnitt 4.2.1 [m]

$l$  är spantets spännvidd [m]

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

$f_3$  är en faktor som beaktar den maximala skjuvkraften i förhållande till belastningspositionen och skjuvspänningens utbredning,  $f_3 = 1,2$

$\sigma_y$  är sträckgränsen i enlighet med avsnitt 4.3.2 [N/mm<sup>2</sup>]

$m_0$  tar i beaktande randvillkoren. Värden för  $m_0$  ges i tabell 4-7.

Tabell 4-7: Värden för  $m_o$  för olika randvillkor

Randvillkor	$m_o$	Exempel
	7	Spant i ett bulkfartyg med toppvingtankar
	6	Spant som sträcker sig från tanktakets till huvuddäcket på ett enkeldäckt fartyg
	5,7	Kontinuerligt spant mellan flera däck eller vägare
	5	Spant som sträcker sig endast mellan två däck

Randvillkoren gäller både för huvudspant och för mellanspant. Belastningen är tänkt att verka mitt emellan stödpunkterna.

Då mindre än 15 % av spännvidden,  $l$ , av spantet är inom området för isförstärkning enligt avsnitt 4.4.1, kan ordinarie spantdimensioner användas.

#### 4.4.2.2 Övre ändan av tvärskeppsspant

Övre ändan av den isförstärkta delen av ett huvudspant eller ett mellanspant ska fästas till ett däck, bordläggningen till den övre eller nedre ytan av en tank eller en isvägare (se avsnitt 4.5).

Då ett spant slutar ovanför ett däck eller en isvägare, som befinner sig på eller ovanför isbältets övre kant (se avsnitt 4.3.1), kan den del som befinner sig ovanför detta däck eller denna vägare ha de materialdimensioner som skulle ha krävts av klassificeringssällskapet för ett icke isförstärkt fartyg. Den övre ändan av mellanspantet kan förbindas med bredvidliggande huvudspant med en vågrät profil av samma dimension som huvudspantet.

#### 4.4.2.3 Nedre ändan av tvärskeppsspant

Nedre ändan av den isförstärkta delen av ett huvudspant eller ett mellanspant ska fästas till ett däck, bordläggningen till den övre eller nedre ytan av en tank, ett tanktak, eller en isvägare (se avsnitt 4.5).

Då ett mellanspant avslutas nedanför ett däck, bordläggningen till den övre eller nedre ytan av en tank, ett tanktak, eller en isvägare, som befinner sig på eller nedanför isbältets undre kant (se avsnitt 4.3.1), kan nedre ändan förbindas med bredvidliggande huvudspant med en

vågrät profil av samma dimension som huvudspantet. Huvudspant beläget under den nedre delen av isbältet ska vara isförstärkt enligt avsnitt 4.4.1.

#### 4.4.3 Långskeppsspant

Följande krav är avsedda för långskeppsspant med alla randvillkor.

Böjmotståndet för ett långskeppsspant ska beräknas med formeln

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

Den effektiva skjuvarean av långskeppsspantet ska vara

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

Vid beräkning av den effektiva skjuvarean för spant ska inte tvärsnittsarean av knäbrickor räknas med i formeln.

I ovan givna formler:

$f_4$  är en faktor som beaktar belastningsutbredningen på närliggande spant:

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

$f_5$  är en faktor som beaktar den maximala skjuvkraften i förhållande till belastningspositionen och skjuvspänningens utbredning:

$$f_5 = 2,16$$

$p$  är istrycket som givet i avsnitt 4.2.2 [MPa]

$h$  är höjden av belastningsområdet i enlighet med avsnitt 4.2.1 [m]

$s$  är spantavståndet [m]

$l$  är spantets totala spännvidd [m]

$m$  är en randvillkorsfaktor och  $m = 13,3$  för en kontinuerlig balk med knäbrickor. Då randvillkoren avviker avsevärt från randvillkoren för en kontinuerlig balk med knäbrickor, t.ex. i ett ändområde, kan ett lägre värde för randvillkorsfaktorn användas.

$\sigma_y$  är sträckgränsen i enlighet med avsnitt 4.3.2 [N/mm<sup>2</sup>].

#### 4.4.4 Allmänt om spantning

##### 4.4.4.1 Fästandet av spanten till de stödjande konstruktionerna

Inom det isförstärkta området ska alla spant effektivt fästas till alla stödjande konstruktioner. Ett långskeppsspant ska fästas till alla ramspant och skott med knäbrickor. Tvärskeppsspant, vilka slutar mot en vägare eller ett däck, ska fästas med en knäbricka eller motsvarande konstruktion. Spant som korsar bärande konstruktionsdelar ska på båda sidor stödjas mot strukturen genom direkt svetsning, kragplåt eller stödbricka. En bricka ska ha minst samma tjocklek som spantets livplåt och dess kant ska vara tillräckligt stark för att motstå buckling.

#### 4.4.4.2 Spantens stöd mot instabilitet, särskilt vridning

Spanten ska fästas till bordläggningen med dubbel kontinuerlig svets. Inga uddar är tillåtna (förutom när en svets korsar bordläggningsändar).

Livplåtens tjocklek på spantet ska åtminstone ha det största värdet av följande:

- $\frac{h_w \sqrt{\sigma_y}}{C}$ ,  $h_w$  är livplåtens höjd och  $C = 805$  för profiler och  $C = 282$  för plattjärn,
- hälften av nettotjockleken för bordläggningen,  $t - t_c$ . När tjockleken av livplåtens tjocklek på spanten beräknas, ska tjockleken på bordläggningen beräknas i enlighet med avsnitt 4.3.2, men sträckhållfastheten  $\sigma_y$  för spanten ska då användas,
- 9 mm.

Där det finns ett däck, en bordläggning till den övre eller nedre ytan av en tank, ett tanktak eller ett skott i stället för ett spant, ska plåttjockleken beräknas som ovan. Plåttjocklekens utbredning ska motsvaras av höjden av intilliggande spant. Därvid ska materialegenskaperna i däck, bordläggningen till den övre eller nedre ytan av tanken, tanktaket eller skottet och spanthöjden  $h_w$  i intilliggande spant användas vid beräkningen, och konstanten  $C$  ska vara 805.

Osymmetriska spant och spant som inte ligger vinkelrätt mot bordläggningen (livplåten mindre än 90 grader mot bordläggningen) ska stödjas mot vridning med hjälp av knäbrickor, interkostaler, vägare eller liknande med ett avstånd som inte överstiger 1 300 mm. För spännvidder som överstiger 4 m ska stödjande strukturer mot vridning användas på alla områden och för alla isklasser. Om spännvidden är mindre eller lika med 4 m ska stödjande strukturer mot vridning användas i alla områden för isklass IA Super, i förskepps- och midskeppsområden för isklass IA och i förskeppsområdet för isklasserna IB och IC. Direkta beräkningsmetoder kan användas för att visa den motsvarande stödnivån av alternativa arrangemang.

## 4.5 Isvägare

### 4.5.1 Vägare inom isbältet

Böjmotstånd för en vägare som befinner sig inom isbältet (se avsnitt 4.3.1) ska beräknas enligt formeln

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

och den effektiva skjuvarean ska vara

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

där

$p$  är istrycket som givet i avsnitt 4.2.2 [MPa]

$h$  är höjden av belastningsområdet i enlighet med avsnitt 4.2.1 [m]

Om produkten  $p \cdot h$  är mindre än 0,15, ska värdet 0,15 [MN/m] användas.

$l$  är vägarens spännvidd [m]

$m$  är en randvillkorsfaktor enligt avsnitt 4.4.3

$f_6$  är en faktor som beaktar belastningens fördelning på tvärskeppsspanten;  $f_6 = 0,9$

$f_7$  är en säkerhetsfaktor för vägare;  $f_7 = 1,8$

$f_8$  är en faktor som beaktar den maximala skjuvkraften i förhållande till belastningspositionen och skjuvspänningens utbredning;  $f_8 = 1,2$

$\sigma_y$  är sträckgränsen i enlighet med avsnitt 4.3.2.

#### 4.5.2 Vägare utanför isbältet

Böjmotstånd för en vägare som befinner sig utanför isbältet men som stöder isförstärkta spant ska beräknas enligt formeln

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

och den effektiva skjuvarean ska vara

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

där

$p$  är istrycket som givet i avsnitt 4.2.2 [MPa]

$h$  är höjden av belastningsområdet i enlighet med avsnitt 4.2.1 [m]

Om produkten  $p \cdot h$  är mindre än 0,15, ska värdet 0,15 [MN/m] användas.

$l$  är vägarens spännvidd [m]

$m$  är en randvillkorsfaktor enligt avsnitt 4.4.3

$l_s$  är avståndet till intilliggande isvägare [m]

$h_s$  är avståndet till isbältet [m]

$f_9$  är en faktor som beaktar belastningens fördelning på tvärskeppsspanten;  $f_9 = 0,80$

$f_{10}$  är en säkerhetsfaktor för vägar;  $f_{10} = 1,8$

$f_{11}$  är en faktor som beaktar den maximala skjuvkraften i förhållande till belastningspositionen och skjuvspänningens utbredning;  $f_{11} = 1,2$

$\sigma_y$  är sträckgränsen i enlighet med avsnitt 4.3.2.

#### 4.5.3 Smala sidodäck

Smala sidodäck vid lucköppningar, vilka fungerar som isvägare, ska uppfylla kraven på böjmotstånd och skjuvarean enligt avsnitt 4.5.1 respektive avsnitt 4.5.2. I fråga om osedvanligt långa lucköppningar kan klassificeringssällskapet tillåta att värdet av produkten  $p \cdot h$  är mindre än 0,15 men i ingen händelse mindre än 0,10.

Vikt bör fästas vid fartygssidans inböjning under ispressning vid osedvanligt långa lucköppningar (längre än  $B/2$ ) med tanke på konstruktionen av väderdäcksluckor och deras beslag.

## 4.6 Ramspant

### 4.6.1 Isbelastning

Den isbelastning som överförs till ett ramspant från en isvägare eller från långskeppsspantning ska beräknas med formeln

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

där

$p$  är istrycket som givet i avsnitt 4.2.2 [MPa], vid beräkningen av  $c_a$  ska dock  $l_a$  vara  $2S$ .

$h$  är höjden av belastningsområdet i enlighet med avsnitt 4.2.1 [m]

Om produkten  $p \cdot h$  är mindre än 0,15, ska värdet 0,15 [MN/m] användas.

$S$  är avståndet mellan ramspanterna [m]

$f_{12}$  är säkerhetsfaktorn för ramspanten;  $f_{12} = 1,8$ .

I de fall den stödjande isvägaren ligger utanför isbältet ska kraften  $F$  multipliceras med  $(1 - h_s/l_s)$ , där  $h_s$  och  $l_s$  ska vara så som de definieras i avsnitt 4.5.2.

### 4.6.2 Böjmotstånd och skjuvarea

Ramspanternas böjmotstånd och skjuvarea ska beräknas med nedanstående formler:

Den effektiva skjuvarean

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

där

$Q$  är beräknad maximal skärkraft för isbelastningen  $F$  enligt avsnitt 4.6.1

$f_{13}$  är en faktor som beaktar skjuvkraftens utbredning;  $f_{13} = 1,1$

$\alpha$  ges i tabell 4-8

$\sigma_y$  är sträckgränsen i enlighet med avsnitt 4.3.2.

Böjmotstånd

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

där

$M$  är beräknat maximalt böjande moment för isbelastningen  $F$ ;  $M = 0,193Fl$ .

$\gamma$  ges i tabell 4-8

$A$  är erforderlig skjuvarea

$A_a$  ramspantets faktiska tvärsnittsarea;  $A_a = A_f + A_w$

Tabell 4-8: Värden för faktorerna  $\alpha$  och  $\gamma$

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

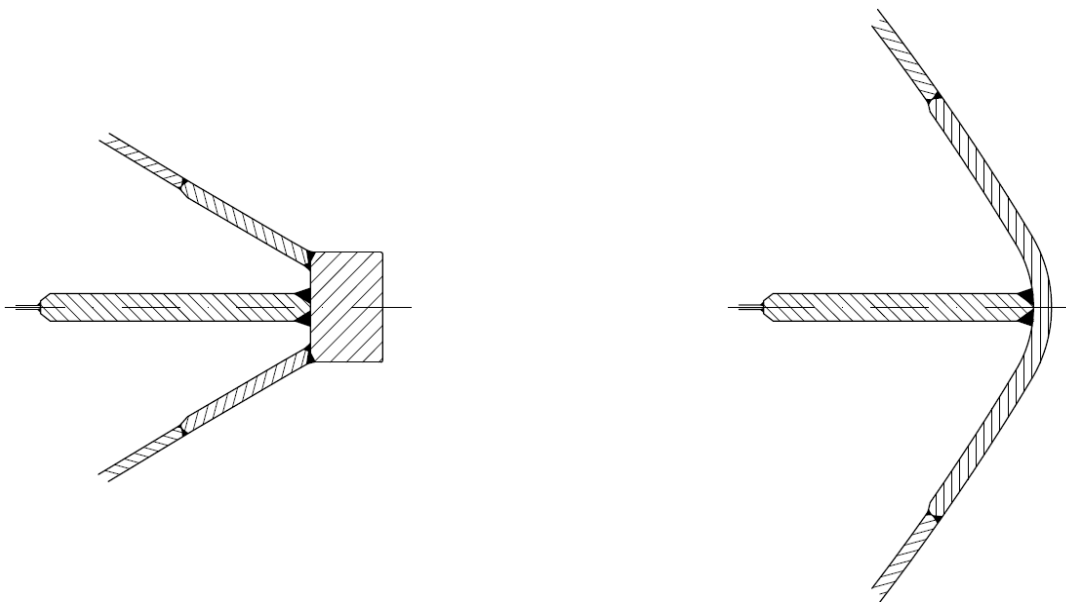
där

$A_f$  är tvärsnittsytta för fri fläns

$A_w$  är tvärsnittsytta för livplåten.

#### 4.7 Förstäv

Stäven ska tillverkas av valsat, gjutet eller smitt stål eller av bockad stålplåt i enlighet med figur 4-4.



Figur 4-4. Exempel på lämpliga stävar

Plåttjockleken för en bockad förstävsplåt och i de fall där det förekommer trubbig stäv samt för hela bordläggningen där  $\alpha \geq 30^\circ$  och  $\psi \geq 75^\circ$  (se avsnitt 3.2.1 för vinkeldefinition), ska beräknas i enlighet med formel 4-5 där det antas att

$s$  är avståndet mellan de element som stöder plåten [m]

$\rho_{PL} = p$  [MPa] (se avsnitt 4.3.2)

$l_a$  är avståndet mellan de vertikala stödelementen [m].

Stäven och den del av en trubbig stäv som beskrivs ovan ska stödas av bottenstockar eller knäbrickor, vilkas inbördes avstånd inte får överskrida 0,6 m och vilkas tjocklek är minst hälften av bordläggningsplåtens tjocklek. Isförstärkningen av stäven ska sträcka sig från kölen till en punkt 0,75 m över UIWL eller, då ett övre främre isbälte krävs (se avsnitt 4.3.1), till isbältes övre gräns.



#### **4.8 Akterskepp**

Införandet av nya framdrivningsarrangemang med vridbara trustrar eller av typen "azipod", vilka ger en ökad manöverförmåga, kommer att resultera i högre isbelastningar på akterskepp och akterstäv. Detta faktum ska beaktas när stäv-/akterstrukturen planeras.

För att undvika mycket höga belastningar på propellerbladets spets ska avståndet mellan propellern/propellrarna och skrovet (inklusive akterstäven) inte vara mindre än  $h_0$  (se avsnitt 4.2.1).

På fartyg med två eller tre propellrar ska isförstärkning av bordläggning och spantning sträckas till tanktakets på en sträcka av 1,5 meter för och akter om sidopropellrarna.

Axlar och axelhylsor till sidopropellrar ska normalt inneslutas i slutna utrymmen. Om fristående bockar används, ska tillbörlig hänsyn tas till hur de är dimensionerade, hur starka de är och hur de fästs i skrovet.

### **5 RODER OCH STYRARRANGEMANG**

Måttsättningen av roderstäv, hjärtstock, rodertapp, styrmaskin samt övriga delar av styrarrangemanget såväl som styrmaskinens kapacitet ska bestämmas enligt klassificeringssällskapets regler. Den högsta servicefart för fartyget som används i dessa beräkningar ska dock inte vara mindre än följande värden:

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

Om fartygets verkliga högsta servicefart är högre, ska den hastigheten användas.

Vid dimensionering av roder ska man anta att hela rodret hör till isbältet. Vidare ska roderplåt och spant dimensioneras utgående från dimensioneringsstrycket  $p$  för bordläggning och spant i midskeppsområdet.

För isklass IA och IA Super ska rodret (hjärtstocken och den övre delen av rodret) skyddas från direktkontakt med den obrutna isen genom att en iskniv installeras. Iskniven ska sträcka sig nedanför LIWL (eller liknande linje) om det är praktiskt möjligt. Särskild hänsyn ska tas till roderdesign och iskniv då det gäller s.k. flap-type-roder.

För isklass IA och IA Super ska hänsyn tas till höga belastningar som kan uppstå när rodret inte är midskepps då fartyget backar i is eller in i en isvall. Praktiska arrangemang såsom roderstoppare ska installeras för att ta upp dessa belastningar.

Övertrycksventil för hydraultrycket i roderstyrningsmekanismen ska finnas. Komponenterna för styrmaskinen (hjärtstock, roderkopplingar, roderhorn etc.) ska dimensioneras så att de klarar av de belastningar som orsakar flytspänningen i hjärtstocken med beaktande av den diameter som krävs.

## 6 FRAMDRIVNINGSMASKINERI

### 6.1 Omfattning

Dessa bestämmelser gäller för framdrivningsmaskineri som omfattar propellrar av öppen typ eller i dysa med vridbara blad eller fasta blad för isklasserna IA Super, IA, IB och IC. De givna propellerbelastningarna är de förväntade isbelastningarna under fartygets hela livslängd vid normala driftsförhållanden, inklusive sådana belastningar som beror på byte av rotationsriktning hos FP-propellrar. Belastningarna täcker emellertid inte driftsförhållanden som ligger utanför dimensioneringen, t.ex. då en stillastående propeller dras genom is. Belastningsmodellerna i bestämmelserna inkluderar däremot inte påkänningar från växelverkan mellan propeller och is för det fall att isen kommer in i propellern på en vinklad vridbar truster från sidan (radiellt).

Bestämmelserna gäller även vridbara och fasta trustrar för huvudmaskineriet med hänsyn till de belastningar som uppstår vid växelverkan mellan propeller och is och belastningar på trusterhuset vid växelverkan med isen. De givna belastningarna på vridbara trusterhus är de antagna isbelastningarna för fartygets livslängd vid normala driftsförhållanden. Trusterhusets lokala styrka ska vara tillräcklig för att motstå lokalt istryck när trusterhuset är dimensionerat för extrema belastningar.

Trusterns globala vibrationer som orsakas av bladens excitationens ordning på propellern kan orsaka betydande vibrationsbelastningar.

### 6.2 Definitioner

$c$	m	längd på bladsektionens korda
$c_{0,7}$	m	längd på bladsektionens korda vid propellerradie $0,7R$
CP		propeller med ställbar stigning
$D$	m	propellerdiameter
$d$	m	propellernavets ytterdiameter (vid propellerplanet)
$D_{limit}$	m	gränsvärde för propellerdiameter
EAR		expanderad bladarea
$F_b$	kN	maximal bakåtriktad bladkraft under fartygets livslängd
$F_{ex}$	kN	maximal kraft på blad resulterande i plastisk böjning till brott
$F_f$	kN	maximal framåtriktad bladkraft under fartygets livslängd
$F_{ice}$	kN	isbelastning
$(F_{ice})_{max}$	kN	maximal isbelastning under fartygets livslängd
FP		propeller med fast stigning
$h_0$	m	propellerns centrumlinjes djup under den undre isvattenlinjen
$H_{ice}$	m	tjocklek hos det största beräknade isblock som går in i propellern
$H_{iced}$	m	tjocklek på det dimensionerande isblock som påverkar trustern ( $2/3$ av $H_{ice}$ )
$I_e$	kgm <sup>2</sup>	ekvivalent masströghetsmoment för alla delar på maskinsidan av den komponent som avses
$I_t$	kgm <sup>2</sup>	ekvivalent masströghetsmoment för hela framdrivningssystemet
$k$		formparameter för weibullfördelningen
LIWL	m	undre isvattenlinjen
$m$		lutning för SN-kurva i logg/loggskala
$M_{BL}$	kNm	bladets böjmoment
MCR		maximal kontinuerlig effekt
$n$	varv/s	propellerns rotationshastighet

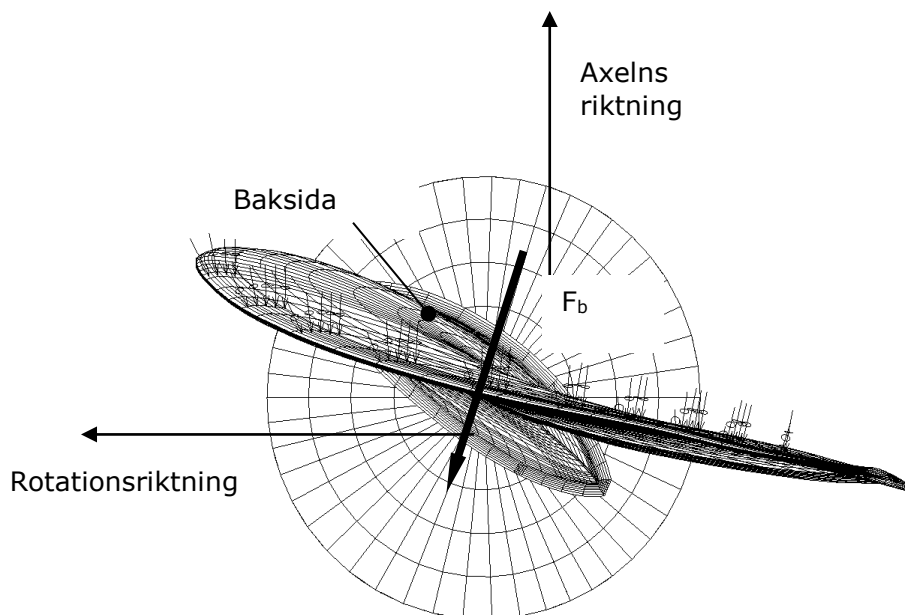
$n_n$	varv/s	propellerns nominella rotationshastighet vid MCR i öppet vatten
$N_{class}$		referenstal för impulser per nominell propellerrotationshastighet och isklass
$N_{ice}$		totalt antal isbelastningar på propellerbladet under fartygets livslängd
$N_R$		referensantal belastningar för ekvivalent utmattningsspänning ( $10^8$ cykler)
$N_Q$		antal propellervarv under en ismalningssekvens
$P_{0,7}$	m	propellerstigning vid radie $0,7R$
$P_{0,7n}$	m	propellerstigning vid radie $0,7R$ och MCR i öppet vatten
$P_{0,7b}$	m	propellerstigning vid radie $0,7R$ och MCR i bollard pull
$Q$	kNm	vridmoment
$Q_{emax}$	kNm	maximalt motorvridmoment
$Q_{max}$	kNm	maximalt vridmoment på propellern till följd av växelvekan mellan propeller och is
$Q_{max}^n$	kNm	maximalt vridmoment på propellern till följd av växelvekan mellan propeller och is minskat till den aktuella rotationshastigheten
$Q_{motor}$	kNm	toppvridmoment för elektrisk motor
$Q_n$	kNm	nominellt vridmoment vid MCR i öppet vatten
$Q_r$	kNm	maximalt reaktionsvridmoment längs propelleraxelns linje
$Q_{peak}$	kNm	maximalt reaktionsvridmoment $Q_r$
$Q_{smax}$	kNm	maximalt spindelvridmoment på bladet under fartygets livslängd
$Q_{sex}$	kNm	maximalt spindelvridmoment på grund av bladbrott till följd av plastisk böjning
$Q_{vib}$	kNm	vibrationsvridmoment på den aktuella komponenten, från frekvensdomänen TVC i öppet vatten
$R$	m	propellerradie
$r$	m	bladsektionens radie
$T$	kN	propellertryck
$T_b$	kN	maximalt bakåtriktat propellerstryck under fartygets livslängd
$T_f$	kN	maximalt framåtriktat propellerstryck under fartygets livslängd
$T_n$	kN	propellertryck vid MCR i öppet vatten
$T_r$	kN	maximalt reaktionstryck längs axelns linje
$t$	m	maximal tjocklek på bladsektion
$Z$		antal propellerblad
$\alpha_i$	grader	fasvinkel av växelvekan mellan propellerblad och is angiven i grader
$\alpha_1$	grader	fasvinkel för propellerstryck för komponent i bladens excitationens ordning
$\alpha_2$	grader	fasvinkel för propellerstryck för två gånger komponenten i bladens excitationens ordning
$\gamma_{e1}$		reduktionsfaktor för utmattning; inverkan av spridning
$\gamma_{e2}$		reduktionsfaktor för utmattning; inverkan av provföremålets storlek
$\gamma_v$		reduktionsfaktor för utmattning; inverkan av variation i belastningsamplitud
$\gamma_m$		reduktionsfaktor för utmattning; inverkan av genomsnittlig spänning
$\rho$		reduktionsfaktor för utmattning som korrelerar den maximala spänningens amplituden med den ekvivalenta utmattningsspänningen under $10^8$ påkänningscykler
$\sigma_{0,2}$	MPa	sträckgräns hos bladmaterialet (0,2 % förlängningsgräns)
$\sigma_{exp}$	MPa	genomsnittlig utmattningshållfasthet hos bladmaterialet vid $10^8$ utmattningsscykler i havsvatten

$\sigma_{fat}$	MPa	ekvivalent spänningsamplitud från isbelastning för utmattning vid $10^8$ påkänningscykler
$\sigma_{fl}$	MPa	karaktäristisk utmattningshållfasthet hos bladmaterialet
$\sigma_{ref1}$	MPa	referensspänning $\sigma_{ref1} = 0,6\sigma_{0.2} + 0,4\sigma_u$
$\sigma_{ref2}$	MPa	referensspänning $\sigma_{ref2} = 0,7\sigma_u$ eller $\sigma_{ref2} = 0,6\sigma_{0.2} + 0,4\sigma_u$ , det minsta värdet av dessa
$\sigma_{st}$	MPa	maximal spänning resulterande från $F_b$ eller $F_f$
$\sigma_u$	MPa	dragbrottgräns hos bladmaterialet
$(\sigma_{ice})_{bma}$	MPa	huvudspänning orsakad av den maximala bakåtriktade isbelastningen på propellern
$(\sigma_{ice})_{fma}$	MPa	huvudspänning orsakad av den maximala framåtriktade isbelastningen på propellern
$(\sigma_{ice})_{max}$	MPa	maximal spänningsamplitud för isbelastningen

*Tabell 6-1: Definition av belastningar*

	Definition	Tillämpning av belastningen vid konstruktionsberäkningar
$F_b$	Den under livslängden maximala bakåtriktade kraften på ett propellerblad till följd av växelverkan mellan propeller och is, inklusive hydrodynamiska belastningar på detta blad. Kraftens riktning är vinkelrät mot kordan $0,7R$ . Se figur 6-1.	Dimensionerande kraft för hållfasthetsberäkning av propellerbladet.
$F_f$	Den under livslängden maximala framåtriktade kraften på ett propellerblad till följd av växelverkan mellan propeller och is, inklusive hydrodynamiska belastningar på detta blad. Kraftens riktning är vinkelrät mot kordan $0,7R$ .	Dimensionerande kraft för hållfasthetsberäkning av propellerbladet.
$Q_{smax}$	Det under livslängden maximala spindelvridmomentet på ett propellerblad till följd av växelverkan mellan propeller och is, inklusive hydrodynamiska belastningar på detta blad.	Vid beräkning av propellerns hållfasthet beaktas spindelvridmomentet automatiskt eftersom propellerbelastningen verkar på bladet som ett fördelat tryck på den ledande kanten eller spetsområdet.
$T_b$	Den under livslängden maximala tryckkraften på propellern (samtliga blad) till följd av växelverkan mellan propeller och is. Tryckriktningen är lika med propelleraxelns riktning och kraften är motriktad det hydrodynamiska trycket.	Används för bestämning av reaktionstryckkraften $T_r$ . $T_b$ kan användas för bestämning av excitation för axiella vibrationsberäkningar. Axiella vibrationsberäkningar krävs dock inte i bestämmelserna.
$T_f$	Den under livslängden maximala tryckkraften på propellern (samtliga blad) till följd av växelverkan mellan propeller och is. Tryckriktningen är lika med propelleraxelns riktning och verkar i samma riktning som det hydrodynamiska trycket.	Används för bestämning av reaktionstryckkraften $T_r$ . $T_f$ kan användas för bestämning av excitation för axiella vibrationsberäkningar. Axiella vibrationsberäkningar krävs dock inte i bestämmelserna.
$Q_{max}$	Det maximala isinducerade vridmomentet till följd av växelverkan mellan propeller och is på ett propellerblad, inklusive hydrodynamiska belastningar på detta blad.	Används för bestämning av reaktionsvridmomentet ( $Q_r$ ) längs maskineriets axellinje och som excitation för beräkningar av torsionsvibrationer.

$F_{ex}$	Den kraft som krävs för bladbrott genom plastisk böjning. Den kraft som krävs för bladets totala kollaps i dess rotområde genom plastisk deformation. Kraften verkar på $0,8R$ . Spindelarmen ska tas som det största värdet av $2/3$ av avståndet mellan bladets rotationsaxel och bladets framkant eller bladets bakkant vid radie $0,8R$ .	Bladbrotsbelastning används för dimensionering av bladbulvar, styrmekanism för stigningen, propelleraxel, propelleraxellager och trycklager. Syftet är att säkerställa att ett totalt propellerbladshaveri inte ska orsaka skada på andra komponenter.
$Q_r$	Maximalt reaktionsvridmoment längs propelleraxelns linje med hänsyn tagen till axellinjens dynamiska agerande vid ispåverkan (torsionsvibrationer) och genomsnittligt hydrodynamiskt vridmoment på propellern.	Dimensionerande vridmoment för komponenter i propellerns axellinje.
$T_r$	Maximal reaktionstryckkraft längs axeln med hänsyn tagen till dynamiskt agerande vid ispåverkan (axiella vibrationer) och genomsnittligt hydrodynamiskt tryck på propellern.	Dimensionerande tryckkraft för komponenter i propellerns axellinje.
$F_{ti}$	Maximal reaktionskraft orsakad av ispåverkningar på trusterhuset eller propellernavet.	Dimensionerande belastning för trusterhus och svänglager.
$F_{tr}$	Maximal reaktionskraft på trusterhuset orsakad av växelverkan mellan isflak och trusterhus.	Dimensionerande belastning för trusterhus och svänglager.



Figur 6-1. Den bakåtriktade propellerbladkraftens resultant vinkelrätt mot kordan vid radien  $0,7R$ . Isens kontaktryck vid den ledande kanten visas med små pilar.

### 6.3 Dimensionerande isförhållanden

Vid bestämning av isbelastningarna på propellern för olika isklasser har olika driftsförhållanden enligt tabell 6-2 beaktats. För bestämning av de dimensionerande isbelastningarna fastställs en maximal storlek på isblock. Det maximala dimensionerande isblock som kommer in i propellern är ett rektangulärt block med måtten  $H_{ice} \cdot 2H_{ice} \cdot 3H_{ice}$ . Tjockleken på isblocket ( $H_{ice}$ ) framgår av tabell 6-3.

*Tabell 6-2: Drifttyper för olika isklasser*

Isklass	Fartygets drift
IA Super	Gång i isränna och i jämn is Gång med ansatser i is
IA, IB, IC	Gång i isränna

*Tabell 6-3: Tjockleken på dimensionerat isblock*

	IA Super	IA	IB	IC
Tjockleken på det största dimensionerande isblock som kommer in i propellern ( $H_{ice}$ )	1,75 m	1,5 m	1,2 m	1,0 m

### 6.4 Material

#### 6.4.1 Material utsatt för havsvatten

Material i komponenter som exponeras för havsvatten såsom propellerblad, propellernav och trusterhus ska ha en förlängning ej understigande 15 % hos ett provobjekt där provets mätlängd är fem gånger dess diameter. Ett Charpy V-slagprov ska utföras för andra material än brons och austenitiskt stål. Ett medelvärde på minst 20 J slagenergi från tre prover vid minus 10 °C krävs. För nodulärt gjutjärn krävs på motsvarande sätt ett medelvärde på minst 10 J slagenergi vid minus 10 °C.

#### 6.4.2 Material utsatt för havsvattentemperatur

Material som är utsatta för havsvattentemperaturer ska vara av stål eller något annat segt material. Ett medelvärde på minst 20 J slagenergi från tre prover vid minus 10 °C krävs. Kravet gäller propelleraxlar, bladbulvar, CP-mekanismer, axelbulvar, navets infästningsbulvar etc. Det gäller inte ythärdade komponenter såsom lager och kugghjulständer. Det nodulära gjutjärnet av ferritstrukturtyp får användas för relevanta delar förutom bulvar. För nodulärt gjutjärn krävs ett medelvärde på minst 10 J slagenergi vid minus 10 °C.

### 6.5 Beräkningsbelastningar

De angivna belastningarna är endast avsedda för beräkningar av komponenters hållfasthet och är de totala belastningarna inklusive isinducerade belastningar och hydrodynamiska belastningar vid växelverkan mellan propeller och is. De angivna maximala belastningarna är baserade på ett värsta fall-scenario som inträffar en gång under fartygets livslängd. Således är belastningsnivån för ett större antal belastningar lägre.

Värdena på parametrarna i formlerna i detta avsnitt ska anges i de enheter som visas i symbolistan i avsnitt 6.2.

Om propellerns högsta punkt inte är beläget på minst  $h_i$  djup från vattenytan då fartyget är i barlastläge, ska framdrivningssystemet konstrueras enligt isklass IA för isklasserna IB och IC.

### 6.5.1 Beräkningsbelastningar på propellerblad

$F_b$  är den maximala bakåtriktade bladkraften under fartygets livstid, vilken böjer ett propellerblad bakåt under det att propellern bryter sönder ett isblock medan den roterar framåt.  $F_f$  är den maximala bakåtriktade bladkraften under fartygets livstid, vilken böjer ett propellerblad framåt under det att propellern bryter sönder ett isblock medan den roterar framåt.  $F_b$  och  $F_f$  härrör från olika växelverkansfenomen mellan propeller och is och uppträder inte samtidigt. Därför måste de tillämpas separat per blad.

#### 6.5.1.1 Maximal bakåtriktad bladkraft $F_b$ för öppna propellrar

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

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

där

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

$n$  är den nominella rotationshastigheten (vid MCR i öppet vatten) för en CP-propeller och 85 % av den nominella rotationshastigheten (vid MCR i öppet vatten) för en FP-propeller.

#### 6.5.1.2 Maximal framåtriktad bladkraft $F_f$ för öppna propellrar

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

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

där

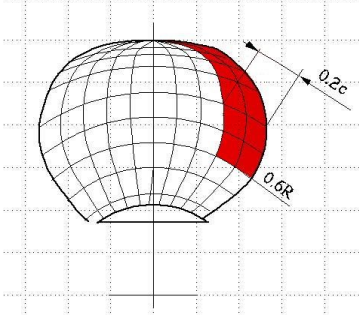
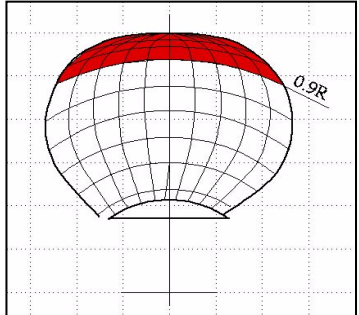
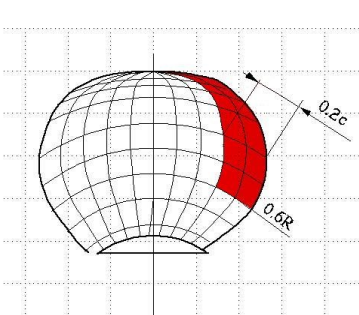
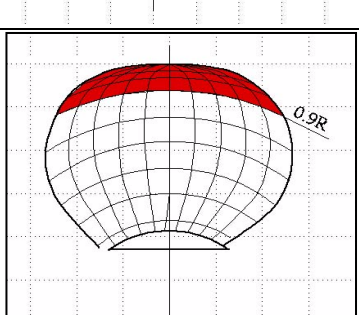
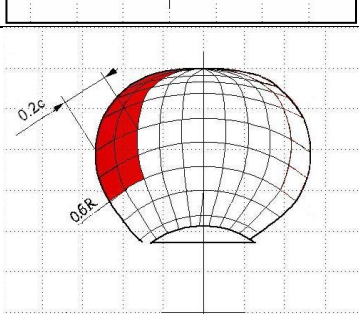
$$D_{limit} = \frac{2}{1-d/D} H_{ice} \text{ [m]}. \quad (6.6)$$

#### 6.5.1.3 Belastningsområde på bladet för öppna propellrar

Belastningsfall 1–4 ska uppfyllas för CP- och FP-propellrar enligt tabell 6-4 nedan. För att isbelastningen på bladen i en reverserande propeller ska erhållas, ska även belastningsfall 5 uppfyllas för FP-propellrar.



Tabell 6-4: Belastningsfall för öppna propellrar

	Kraft	Belastningsområde	Högervridet propellerblad sett från bladets baksida
Belastningsfall 1	$F_b$	Konstant tryck som verkar på bladets baksida (sugsida) till ett område från $0,6R$ till spetsen och från den ledande kanten till $0,2$ gånger kordans längd.	
Belastningsfall 2	50 % av $F_b$	Konstant tryck som verkar på bladets baksida (sugsida) på bladets spetsområde utanför radien $0,9R$ .	
Belastningsfall 3	$F_f$	Konstant tryck som verkar på bladets framsida (trycksida) till ett område från $0,6R$ till spetsen och från den ledande kanten till $0,2$ gånger kordans längd.	
Belastningsfall 4	50 % av $F_f$	Konstant tryck som verkar på bladets framsida (trycksida) på bladets spetsområde utanför radien $0,9R$ .	
Belastningsfall 5	60 % av det största av värdena för $F_f$ eller $F_b$	Konstant tryck som verkar på bladets framsida (trycksida) till ett område från $0,6R$ till spetsen och från bladets bakkant till $0,2$ gånger kordans längd.	

**6.5.1.4 Maximal bakåtriktad iskraft på bladen  $F_b$  för dyspropellrar**

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

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

där

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

$n$  är den nominella rotationshastigheten (vid MCR i öppet vatten) för en CP-propeller och 85 % av den nominella rotationshastigheten (vid MCR i öppet vatten) för en FP-propeller.

**6.5.1.5 Maximal framåtriktad iskraft på bladen  $F_f$  för dyspropellrar**

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

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

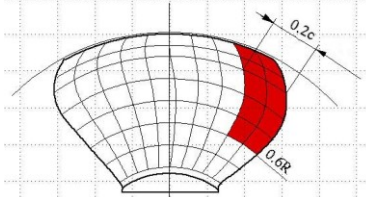
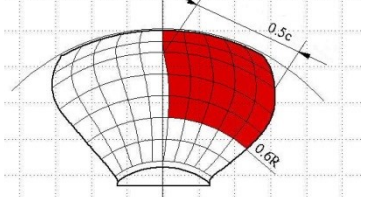
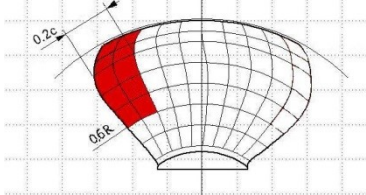
där

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

**6.5.1.6 Belastningsområde på bladet för dyspropellrar**

Alla propellrar ska uppfylla belastningsfall 1 och 3 i tabell 6-5. FP-propellrar ska dessutom uppfylla belastningsfall 5, som tar hänsyn till isbelastningar när propellern backas.

Tabell 6-5: Belastningsfall för dyspropellrar

	Kraft	Belastningsområde	Högervridet propellerblad sett från bladets baksida
Belastningsfall 1	$F_b$	Konstant tryck som verkar på bladets baksida (sugsida) till ett område från $0,6R$ till spetsen och från den ledande kanten till $0,2$ gånger kordans längd.	
Belastningsfall 3	$F_f$	Konstant tryck som verkar på bladets framsida (trycksida) till ett område från $0,6R$ till spetsen och från den ledande kanten till $0,5$ gånger kordans längd.	
Belastningsfall 5	60 % av det största av värdena för $F_f$ eller $F_b$	Konstant tryck som verkar på bladets framsida (trycksida) till ett område från $0,6R$ till spetsen och från bladets bakkant till $0,2$ gånger kordans längd.	

### 6.5.1.7 Maximalt vridmoment på bladspindelns $Q_{smax}$ för öppna propellrar och dyspropellrar

Spindelvridmomentet  $Q_{smax}$  runt axeln för bladets infästning ska bestämmas för såväl den maximala bakåtriktade bladkraften  $F_b$  som den framåtriktade bladkraften  $F_f$ , vilka tillämpas enligt tabell 6-4 och tabell 6-5. Det större erhållna vridmomentet används som dimensionerande vridmoment. Om ovanstående metod ger ett värde som är mindre än standardvärdet enligt nedanstående formel, ska standardvärdet enligt nedanstående formel användas.

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

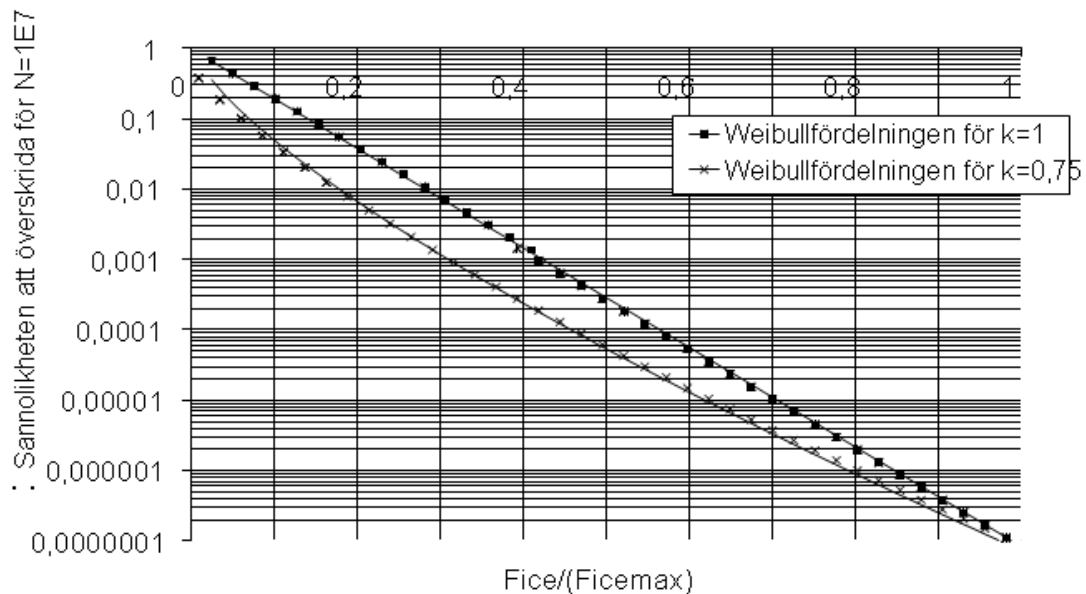
där  $c_{0,7}$  är längden på bladsektionen vid radien  $0,7R$  och  $F$  är antingen  $F_b$  eller  $F_f$ , av vilka det största absoluta värdet väljs.

### 6.5.1.8 Belastningsfördelningar för bladlaster

Weibullfördelningen (sannolikheten för att  $F_{ice}$  överskrider  $(F_{ice})_{max}$ ) enligt figur 6-2 används för dimensionering av bladet mot utmattning.

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

där  $k$  är formparametern för spektrumet,  $N_{ice}$  är antalet belastningscykler i spektrumet och  $F_{ice}$  är slumpvariabeln för isbelastningar på bladet,  $0 \leq F_{ice} \leq (F_{ice})_{max}$ . Formparametern  $k=0,75$  ska användas för iskraftens fördelning på en öppen propeller och formparametern  $k=1,0$  motsvarande på ett propellerblad i dysa.



Figur 6-2. Weibullfördelningar (sannolikheten att  $F_{ice}$  överskrider  $(F_{ice})_{max}$ ) som används för utmattningsdimensionering

### 6.5.1.9 Antal isbelastningar

Antalet belastningscykler per propellerblad i belastningsspektrumet ska bestämmas enligt formeln

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

där värdena för  $N_{class}$  ges i tabell 6-6. Propellerlokaliseringsfaktorn  $k_1$  ges i tabell 6-7.

Tabell 6-6: Värden för  $N_{class}$

Isklass	IA Super	IA	IB	IC
impulser under livslängden/ $n_n$	$9 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^6$

Tabell 6-7: Värden för propellerlokaliseringfaktorn  $k_1$

Mittpropeller Vid körning framåt	Sidopropeller Vid körning framåt	Dragpropeller (sida och mitt) Förpropeller eller då man backar
$k_1$ 1	2	3

Nedsänkningsfaktorn  $k_2$  bestäms ur ekvationen

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

där nedsänkningsfunktionen  $f$  är

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

där  $h_0$  är djupet på propellerns centrumlinje vid fartygets undre isvattenlinje (LIWL).

Framdrivningsmaskineriets typfaktor  $k_3$  är 1 för fasta trustrar och 1,2 för vridbara trustrar.

För komponenter som är utsatta för belastning till följd av växelverkan mellan propeller och is med samtliga propellerblad ska antalet belastningscykler ( $N_{ice}$ ) multipliceras med antalet propellerblad ( $Z$ ).

## 6.5.2 Axiella beräkningsbelastningar för öppna propellrar och dyspropellrar

### 6.5.2.1 Maximalt istryck på propeller $T_f$ och $T_b$ för öppna propellrar och dyspropellrar

De maximala istrycken framåt och bakåt är

$$T_f = 1,1F_f \text{ [kN]} \tag{6.17}$$

$$T_b = 1,1F_b \text{ [kN]} \tag{6.18}$$

### 6.5.2.2 Dimensionerande istryck längs maskineriets axellinje för öppna propellrar och dyspropellrar

Det dimensionerande trycket längs propellerns axellinje ska beräknas enligt nedanstående formler. Det största värdet av belastningen i framåt- och bakåtriktning ska användas som beräkningsbelastning för båda riktningar. Faktorerna 2,2 och 1,5 beaktar den dynamiska ökning som beror på axiell vibration.

I riktning framåt

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

i riktning bakåt

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

Om den hydrodynamiska bollardkraften  $T$  inte är känd, används  $T$  enligt tabell 6-8.

*Tabell 6-8: Standardvärden för hydrodynamisk bollardkraft,  $T$*

Propellertyp	$T$
CP-propellrar (öppna)	$1,25 T_n$
CP-propellrar (dysa)	$1,1 T_n$
FP-propellrar drivna av turbin eller elektrisk motor	$T_n$
FP-propellrar drivna av dieselmotor (öppna)	$0,85 T_n$
FP-propellrar drivna av dieselmotor (dysa)	$0,75 T_n$

Här är  $T_n$  det nominella propellertrycket vid MCR i öppet vatten.

### 6.5.3 Beräkningsbelastningar för torsion

#### 6.5.3.1 Dimensionerande isvridmoment på propeller $Q_{max}$ för öppna propellrar

$Q_{max}$  är det maximala vridmomentet på en propeller till följd av växelverkan mellan is och propeller under fartygets livslängd.

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

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

där

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

$n$  är propellerns rotationshastighet vid MCR i bollard pull-kondition. Om  $n$  inte är känt, ska det bestämmas enligt tabell 6-9.

*Tabell 6-9: Standardrotationshastighet för propellern vid MCR i bollard pull-kondition*

Propellertyp	Rotationshastighet $n$
CP-propellrar	$n_n$
FP-propellrar drivna av turbin eller elektrisk motor	$n_n$
FP-propellrar drivna av dieselmotor	$0,85 n_n$

Här är  $n_n$  den nominella rotationshastigheten vid MCR i öppet vatten.

För CP-propellrar ska propellerstigningen  $P_{0,7}$  motsvara MCR i bollard pull-kondition. Om den inte är känd, ska  $P_{0,7}$  ha ett värde lika med  $0,7 \cdot P_{0,7n}$ , där  $P_{0,7n}$  är propellerstigningen vid MCR i öppet vatten.

### 6.5.3.2 Dimensionerande isvridmoment på propeller $Q_{max}$ för dyspropellrar

$Q_{max}$  är det maximala vridmomentet på en propeller till följd av växelverkan mellan is och propeller under fartygets livslängd.

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

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

där

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

$n$  är propellerns rotationshastighet i MCR i bollard pull-kondition. Om  $n$  inte är känt, ska det bestämmas enligt tabell 6-9.

För CP-propellrar ska propellerstigningen  $P_{0,7}$  motsvara MCR i bollard pull-kondition. Om den inte är känd, ska  $P_{0,7}$  ha ett värde lika med  $0,7 \cdot P_{0,7n}$ , där  $P_{0,7n}$  är propellerstigningen vid MCR i öppet vatten.

### 6.5.3.3 Dimensionerade vridmoment för axellinjer utan resonans

Om det inte finns någon relevant torsionsresonans för första bladordningen inom drifhastighetsområdet eller 20 % över och 20 % under den största drifhastigheten (bollard pull-kondition), kan följande uppskattning om maximalt vridmoment användas.

Direktkopplade tvåtaktsdieselmotorer utan flexibel koppling

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

och andra källor

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

där

$I_e$  är ekvivalent masströghetsmoment för alla delar på maskinsidan av den komponent som avses och

$I_t$  är ekvivalent masströghetsmoment för hela framdrivningssystemet.

Alla vridmoment och tröghetsmoment ska minskas till den studerade komponentens rotationshastighet.

Om det maximala vridmomentet  $Q_{emax}$  inte är känt, ska det ges ett värde enligt tabell 6-10.

*Tabell 6-10: Standardvärden för maximalt vridmoment i drivkälla  $Q_{emax}$*

Propellertyp	$Q_{emax}$
Propellrar drivna av elektrisk motor	$*Q_{motor}$
CP-propellrar ej drivna av elektrisk motor	$Q_n$
FP-propellrar drivna av turbin	$Q_n$
FP-propellrar drivna av dieselmotor	$0,75 Q_n$

\* $Q_{motor}$  är toppvridmoment för elektrisk motor.

### **6.5.3.4 Dimensionerade vridmoment för axellinjer med resonans**

Om det finns en relevant torsionsresonans för första bladordningen inom drifhastighetsområdet eller 20 % över och 20 % under den största drifhastigheten (bollard pull-kondition), ska det dimensionerade vridmomentet ( $Q_{peak}$ ) för axelkomponenten bestämmas med en torsionsvibrationsanalys av driftlinjen. Det finns två olika sätt för att genomföra dynamikanalysen:

1. tidsdomänberäkning för uppskattad excitation vid ismalningssekvens
2. frekvensdomänberäkning för sinusoidal excitation av bladordningen.

Frekvensdomänanalysen anses i regel vara konservativ jämfört med tidsdomänsimuleringen, förutsatt att det finns första bladordningsresonans inom det aktuella hastighetsområdet.

#### **6.5.3.4.1 Tidsdomänberäkning för torsionsreaktion**

Tidsdomänberäkningar ska göras för MCR-förhållanden, MCR-bollard pull-förhållanden och för resonanta bladordningsrotationshastigheter så att den resonanta vibrationsreaktionen kan erhållas.

Belastningssekvensen i detta kapitel, för en händelse där en propeller mal ett isblock, ska användas för uppskattning av framdrivningslinjens styrka. Den angivna belastningssekvensen är inte avsedd för analyser av systemstopp.

Följande belastningsfall är avsedda att reflektera driftbelastningarna på framdrivningssystemet, när propellern växelverkar med is och respektive reaktion i hela systemet. Isens inverkan och systemets reaktion skapar belastningar på de individuella komponenterna i axellinjen. Isens vridmoment  $Q_{max}$  kan användas som ett konstant värde genom hela hastighetsområdet. När överväganden vid specifika axelhastigheter utförs, kan en relevant  $Q_{max}$  beräknas med hjälp av den relevanta hastigheten enligt avsnitt 6.5.3.

Dieselmotorer utan en elastisk koppling ska beräknas för den minst gynnsamma fasvinkeln för is mot motorexcitation vid beräkning inom tidsdomänen. Motorers tändpulser ska ingå i beräkningarna och deras standardharmonier i stabilt tillstånd kan användas.

Om det finns en bladordningsresonans strax över MCR-hastigheten, ska beräkningarna omfatta rotationshastigheter upp till 105 % av MCR-hastigheten.

Propellerns ismomentexcitation för en transient dynamisk analys av axellinjen i tidsdomänen är definierad som en sekvens av bladslag som är av halv sinusform. Excitationsfrekvensen ska följa propellerns rotationshastighet under växelverkan med is. Vridmomentet på grund av en enskild impuls av bladet mot isen som en funktion av propellerns rotationsvinkel bestäms enligt formeln



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

när  $\phi$  roterar från 0 till  $\alpha_i$  plus varv som heltal

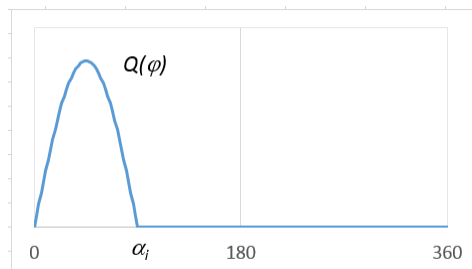
$$Q(\phi) = 0, \quad (6.30)$$

när  $\phi$  roterar från  $\alpha_i$  till 360 plus varv som heltal,

där

$\phi$  är rotationsvinkeln från när den första impulsen träffar och parametrarna  $C_q$  och  $\alpha_i$  ges i tabell 6-11.

$\alpha_i$  är varaktigheten i växelverkan mellan propellerblad och isen uttryckt enligt propellers rotationsvinkel. Se figur 6-3.



Figur 6-3. Schematiskt vridmoment på grund av en enskild impuls av bladet mot isen som en funktion av propellerns rotationsvinkel

Tabell 6-11: Ökning av isens inverkan och varaktighetsfaktorer för olika antal blad

Vridmomentsexcitation	Växelverkan mellan propellern och isen	$C_q$	$\alpha_i$ [grader]			
			Z=3	Z=4	Z=5	Z=6
Excitationsfall 1	Enskilt isblock	0,75	90	90	72	60
Excitationsfall 2	Enskilt isblock	1,0	135	135	135	135
Excitationsfall 3	Två isblock (fasskift 360/(2·Z) grader)	0,5	45	45	36	30
Excitationsfall 4	Enskilt isblock	0,5	45	45	36	30

Det totala isvridmomentet erhålls genom summering av vridmomenten för enskilda blad med hänsyn till fasskiftet  $360^\circ/Z$ , se figur 6-4. I början och slutet av malningssekvensen (inom beräknad varaktighet) ska linjära rampfunktioner användas för att öka  $C_q$  till sitt högsta värde inom ett propellervarv och vice versa för att minska den till noll (se exempel på olika Z-tal i figur 6-4).

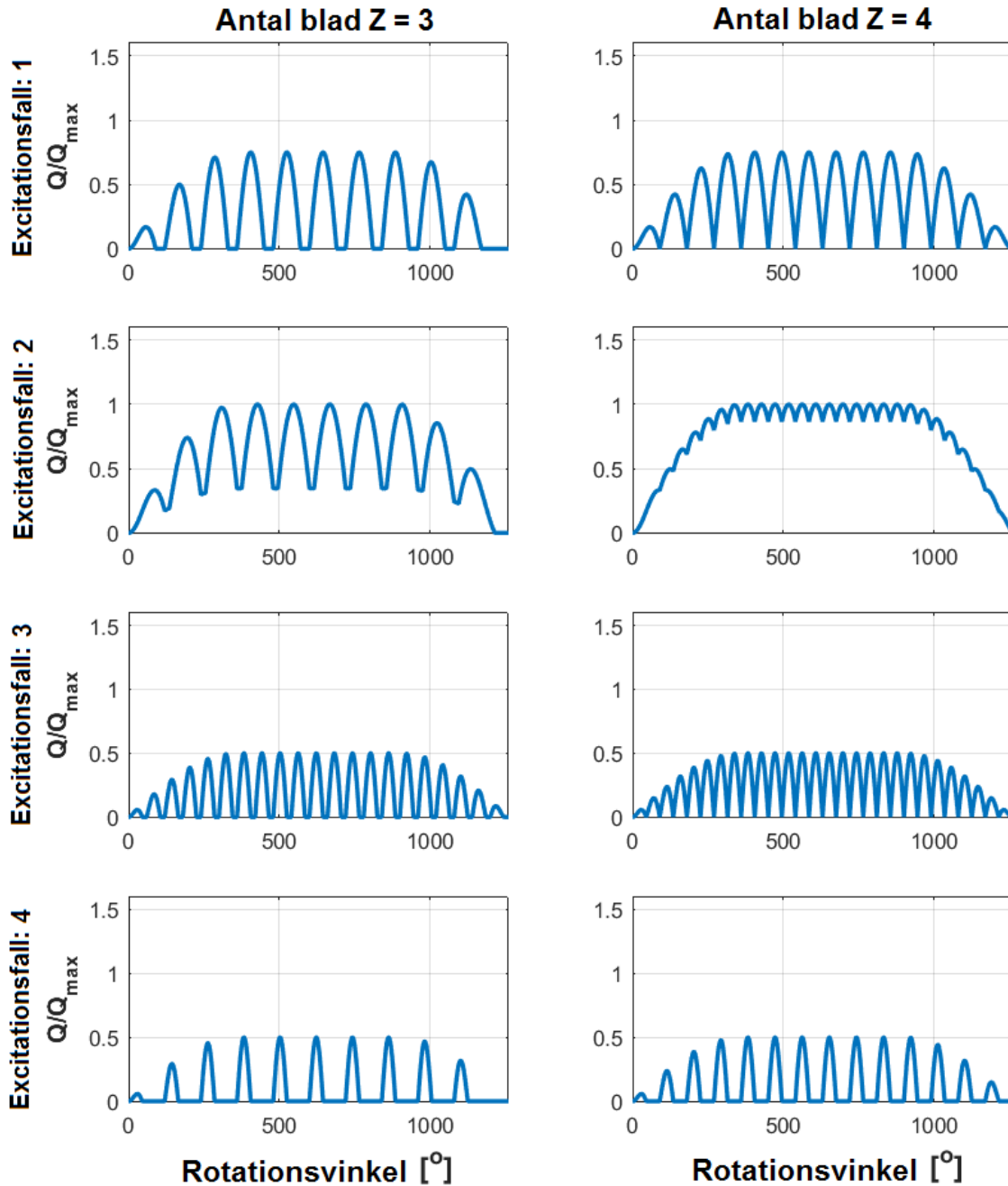
Antalet propellervarv under en malningssekvens fås genom formeln

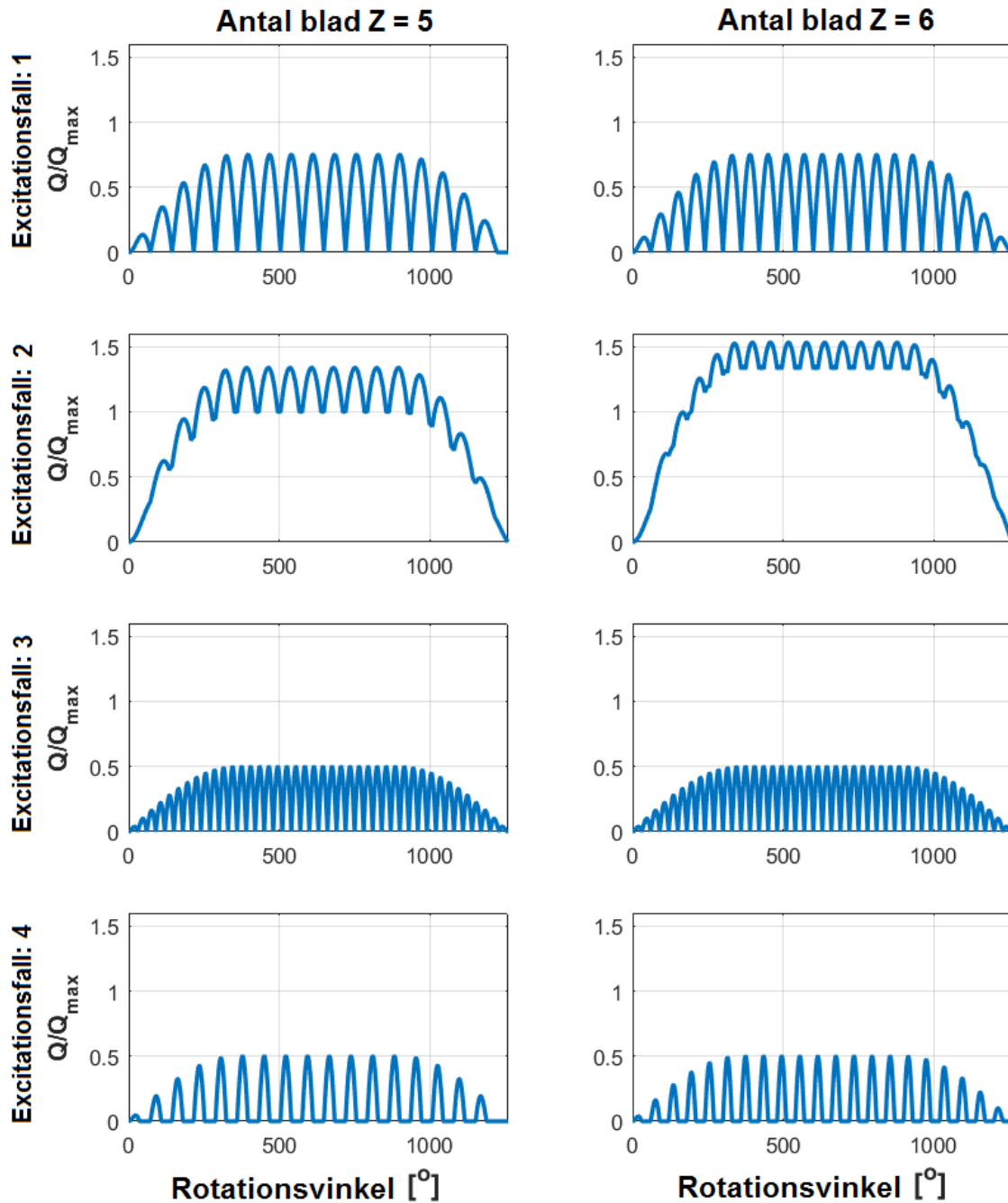
$$N_Q = 2H_{ice}. \quad (6.31)$$

Antalet impulser är  $Z \cdot N_Q$  för bladens excitationer. En illustration av alla excitationer för olika antal blad ges i figur 6-4.

En dynamisk simulering ska göras för alla excitationer inom drifhastighetsområdet för rotationerna. För framdrivning med en propeller med fasta blad ska den dynamiska simuleringen även omfatta bollard pull-konditionen med motsvarande rotationshastighet med antagandet om maskinens största möjliga effekt.

Om hastigheten avtar tills huvudmaskinen är stillastående, är detta en indikation på att maskinen inte har tillräcklig kraft för det avsedda uppdraget. För behandling av belastningar måste det maximala förekommande vridmomentet medan hastigheten avtar användas.





Figur 6-4. Formen på excitationsskvenserna för propellerns isvridmoment för propellrar med 3, 4, 5 eller 6 blad

För tidsdomänberäkningen inkluderar det simulerade reaktionsvridmomentet vanligtvis maskinens genomsnittliga vridmoment och propellerns genomsnittliga vridmoment. Om så inte är fallet, måste reaktionsvridmomenten beräknas med formeln

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

där  $Q_{rtid}$  är det maximala simulerade vridmomentet som erhålls från tidsdomänenanalysen.

#### 6.5.3.4.2 Frekvensdomänberäkning för torsionsreaktion

För frekvensdomänberäkningar kan bladens excitationens ordning och vid behov två gånger bladens excitationens ordning användas. Amplituderna för den sinusoidala bladexcitationens ordningen och två gånger bladexcitationens ordningen har härletts utifrån antagandet att tidsdomänens halvsinusimpulssekvenser är kontinuerliga och Fourierseriekomponenterna för bladens excitationens ordning och två gånger bladens excitationens ordning har härletts. Således är propellerns isvridmoment

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

där

$C_{q0}$  är den genomsnittliga vridmomentparametern

$C_{q1}$  är den första parametern för bladens excitationens ordning

$C_{q2}$  är den andra parametern för bladens excitationens ordning

$\alpha_1, \alpha_2$  är fasvinklar för excitationens komponenten

$\varphi$  är rotationsvinkeln

$E_0$  är antalet isblock som berörs

Parametrarnas värden ges i tabell 6-12.

Tabell 6-12: Koefficientvärden för beräkning av frekvensdomänenexcitation

Vridmomentsexcitation		Z=3				
	$C_{q0}$	$C_{q1}$	$\alpha_1$	$C_{q2}$	$\alpha_2$	$E_0$
Excitationsfall 1	0,375	0,36	-90	0	0	1
Excitationsfall 2	0,7	0,33	-90	0,05	-45	1
Excitationsfall 3	0,25	0,25	-90	0		2
Excitationsfall 4	0,2	0,25	0	0,05	-90	1
Vridmomentsexcitation		Z=4				
	$C_{q0}$	$C_{q1}$	$\alpha_1$	$C_{q2}$	$\alpha_2$	$E_0$
Excitationsfall 1	0,45	0,36	-90	0,06	-90	1
Excitationsfall 2	0,9375	0	-90	0,0625	-90	1
Excitationsfall 3	0,25	0,25	-90	0	0	2
Excitationsfall 4	0,2	0,25	0	0,05	-90	1
Vridmomentsexcitation		Z=5				
	$C_{q0}$	$C_{q1}$	$\alpha_1$	$C_{q2}$	$\alpha_2$	$E_0$
Excitationsfall 1	0,45	0,36	-90	0,06	-90	1
Excitationsfall 2	1,19	0,17	-90	0,02	-90	1
Excitationsfall 3	0,3	0,25	-90	0,048	-90	2
Excitationsfall 4	0,2	0,25	0	0,05	-90	1
Vridmomentsexcitation		Z=6				
	$C_{q0}$	$C_{q1}$	$\alpha_1$	$C_{q2}$	$\alpha_2$	$E_0$
Excitationsfall 1	0,45	0,36	-90	0,05	-90	1
Excitationsfall 2	1,435	0,1	-90	0	0	1
Excitationsfall 3	0,3	0,25	-90	0,048	-90	2
Excitationsfall 4	0,2	0,25	0	0,05	-90	1

Det dimensionerade vridmomentet för frekvensdomänexcitation ska erhållas med formeln

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

där

$Q_{max}^n$  är propellerns maximala isvridmoment vid den aktuella drifhastigheten

$C_{q0}$  är den genomsnittliga statistiska vridmomentskoefficienten från tabell 6-12

$Q_{rf1}$  är torsionsreaktionen i bladens ordning från frekvensdomänanalysen

$Q_{rf2}$  är den andra torsionsreaktionen i bladens ordning från frekvensdomänanalysen

Om det maximala vridmomentet i den primära drivkällan  $Q_{emax}$  inte är känd ska den följa tabell 6-10. Alla värden för vridmomentet ska skalas till axelrotationerna för den aktuella komponenten.

Beräkningen bör omfatta hela det relevanta varvtalsområdet och simuleringen av reaktioner enligt torsionsvibrationsresonanser.

#### **6.5.3.4.3 Handledning för beräkning av torsionsvibration**

Syftet med simuleringar av torsionsvibration i tidsdomänen är att uppskatta den extrema torsionsbelastningen under fartygets livslängd. Simuleringsmodellen kan tas från den normala sammanräknade elastiska torsionsvibrationsmodellen, inklusive dämpning. För en tidsdomänanalys bör modellen inkludera isexcitation vid propellern, andra relevanta excitationer och de genomsnittliga vridmomenten i den primära drivkällan och propellerns hydrodynamiska genomsnittliga vridmoment. Beräkningarna bör omfatta fasvariationer mellan isexcitationen och excitationen i den primära drivkällan. Detta är ytterst relevant för framdrivningslinjer med direkt drivna förbränningsmotorer. Tidsdomänberäkningar ska göras för MCR-förhållanden, MCR-bollard pull-förhållanden och för resonant hastighet, så att den resonanta vibrationsreaktionen kan erhållas.

För frekvensdomänberäkningar ska belastningen uppskattas som en Fourier-komponentanalys av den kontinuerliga sekvensen av halv sinusbelastningssekvenser. Första och andra ordningens bladkomponenter bör användas för excitation.

### **6.5.4 Belastning vid bladhaveri**

#### **6.5.4.1 Böjningskraft $F_{ex}$**

Brottbelastningen vid ett bladhaveri som beror på plastisk böjning kring bladets rot ska beräknas med formel 6.35, eller genom en lämplig spänningsanalys som reflekterar beteendet hos det icke-linjära plastiska materialet i själva bladet. I ett sådant fall kan brottbelastningsområdet på bladet ligga utanför bladets rotområde. Brottbelastningen antas verka på bladet vid radien  $0,8R$  i bladets svagaste riktning.

Bladet anses ha havererat om ändan böjs med mer än 10 % av propellerdiametern  $D$ .

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

där

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

$\sigma_u$  (minsta dragbrottngräns, som ska specificeras på ritningen) och

$\sigma_{0,2}$  (minsta sträckhållfasthet eller 0,2 % sträckgräns som ska specificeras på ritningen) är representativa värden för bladmaterialiet

$c$ ,  $t$ , och  $r$  är den verkliga längden på kordan, maximitjockleken respektive radien av bladets cylinderformade rotsektion vid den svagaste sektionen utanför rotkälen, vanligtvis vid punkten där kälen slutar vid bladprofilen.

#### 6.5.4.2 Spindelvridmoment $Q_{sex}$

Det maximala vridmomentet för spindeln på grund av bladhaveri vid  $0,8R$  ska bestämmas. Kraften som orsakar bladhaverier minskar vanligtvis när man rör sig från propellerns centrum mot kanterna. Det maximala vridmomentet för spindeln förekommer vid ett visst avstånd från bladets rotationsmittpunkt. Detta maximala vridmoment för spindeln ska bestämmas genom en lämplig spänningsanalys eller med hjälp av ekvationen nedan.

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

där

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

$C_{sp}$  är en icke-dimensionell parameter som beaktar spindelarmen

$C_{fex}$  är en icke-dimensionell parameter som beaktar minskningen av kraften för bladhaveriet vid platsen där det maximala vridmomentet för spindeln förekommer.

Om  $C_{spex}$  är mindre än 0,3, ska värdet 0,3 användas för  $C_{spex}$ .

$C_{LE0.8}$  är den främre kantdelen av kordans längd vid  $0,8R$

$C_{TE0.8}$  är den bakre kantdelen av kordans längd vid  $0,8R$ .

Figur 6-5 visar värden för spindelvridmomentet på grund av bladhaveribelastningar för kordans hela längd.



Figur 6-5. Schematisk figur som visar bladhaveribelastningen och relaterat vridmoment för spindelns när kraften verkar på en annan plats på kordan vid radien 0,8R.

## 6.6 Konstruktion

### 6.6.1 Konstruktionsprincip

Hållfastheten på propulsionslinjen ska dimensioneras enligt pyramidprincipen. Det innebär att förlust av ett propellerblad inte ska medföra någon betydande skada på andra komponenter i propellerns axellinje.

### 6.6.2 Propellerbladet

#### 6.6.2.1 Beräkning av bladpåkänningar

Påkänningarna på bladen ska beräknas för de dimensionerande beräkningsbelastningarna i avsnitt 6.5.1. Finit elementanalys ska användas för analys av spänningarna inför slutligt godkännande av alla propellrar. Följande förenklade formel kan användas för bestämning av bladspänningarna för alla propellrar i rotområdet ( $r/R < 0,5$ ). Rotområdets dimensioner baserade på formel 6.38 kan godkännas även om FEM-analysen skulle visa större spänningar i rotområdet.

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

där

konstanten  $C_1$  är aktuell spänning/spänning erhållen via balkteorin. Om det faktiska värdet inte finns tillgängligt ska  $C_1$  ges värdet 1,6.

$M_{BL} = (0,75 - r/R)RF$ , för relativa radien  $r/R < 0,5$

$F$  är maximum av den största av  $F_b$  och  $F_f$ .

### 6.6.2.2 Acceptanskriterium

Följande kriterium för de beräknade bladspänningarna måste vara uppfyllt:

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

där

$\sigma_{st}$  är den kalkylerade spänningen för beräkningsbelastningarna. Om finit elementanalys används för bestämning av spänningarna ska von Mises spänningar användas.

$\sigma_{ref2}$  är referensspänningen definierad som det minsta värdet av

$$\begin{aligned} \sigma_{ref2} &= 0,7\sigma_u \text{ eller} \\ \sigma_{ref2} &= 0,6\sigma_{0,2} + 0,4\sigma_u. \end{aligned}$$

### 6.6.2.3 Utmattningsdimensionering av propellerblad

Dimensioneringen för utmattning av propellerbladet baseras på en antagen belastningsfördelning under fartygets livslängd och SN-kurvan för bladmaterialet. En ekvivalent spänning som orsakar samma utmattningsskador som den förväntade belastningsfördelningen ska beräknas, och acceptanskriteriet för utmattning enligt avsnitt 6.6.2.4 ska vara uppfyllt. Den ekvivalenta spänningen är normaliserad för  $10^8$  cykler.

För material med en SN-kurva med dubbla lutningar (figur 6-6) krävs inte utmattningsberäkningar enligt detta avsnitt om följande kriterium är uppfyllt:

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

där koefficienterna  $B_1$ ,  $B_2$  och  $B_3$  för öppna propellrar och dyspropellrar är angivna i tabell 6-13.

*Tabell 6-13: Värden för koefficienterna  $B_1$ ,  $B_2$  och  $B_3$*

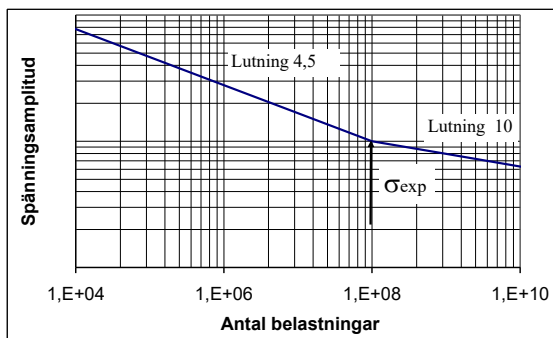
	Öppen propeller	Dyspropeller
$B_1$	0,00328	0,00223
$B_2$	1,0076	1,0071
$B_3$	2,101	2,471

För beräkning av ekvivalent spänning finns det två typer av SN-kurvor.

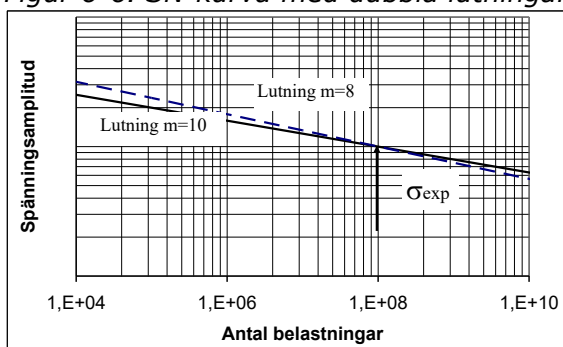
1. SN-kurva med dubbla lutningar (lutning 4,5 och 10), se figur 6-6.
2. SN-kurva med konstant lutning (lutningen kan väljas), se figur 6-7.

Typen av SN-kurva ska väljas så att den motsvarar bladets materialegenskaper. Om SN-kurvan inte är känd, ska SN-kurvan med dubbla lutningar användas.





Figur 6-6. SN-kurva med dubbla lutningar



Figur 6-7. SN-kurva med konstant lutning

### Ekvivalent utmattningsspänning

Den ekvivalenta utmattningsspänning för  $10^8$  spänningscykler som ger upphov till samma utmattningskada som belastningsfördelningen under fartygets livslängd beräknas enligt formeln

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

där

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

$(\sigma_{ice})_{max}$  är medelvärdet av huvudspänningsamplituderna orsakade av de dimensionerande fram- och bakåtriktade bladkrafterna i det område som studeras.

$(\sigma_{ice})_{fmax}$  är huvudspänningen från den framåtriktade belastningen.

$(\sigma_{ice})_{bmax}$  är huvudspänningen från den bakåtriktade belastningen.

Vid beräkning av  $(\sigma_{ice})_{max}$  betraktas fall 1 och fall 3 (eller fall 2 och fall 4) som ett par för beräkningarna av  $(\sigma_{ice})_{fmax}$  och  $(\sigma_{ice})_{bmax}$ . Fall 5 ingår inte i utmattningsanalysen.

### Beräkning av parametern $\rho$ för SN-kurva med dubbla lutningar

Parametern  $\rho$  relaterar den maximala isbelastningen till fördelningen av isbelastningar enligt regressionsformeln

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

där

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

där

$\gamma_{\epsilon 1}$  är reduktionsfaktorn för inverkan av spridning (lika med en standardavvikelse)

$\gamma_{\epsilon 2}$  är reduktionsfaktorn för inverkan av provföremålets storlek

$\gamma_v$  är reduktionsfaktorn för inverkan av variabel amplitudbelastning

$\gamma_m$  är reduktionsfaktorn för medelspänning

$\sigma_{exp}$  är den genomsnittliga utmattningshållfastheten hos bladmaterialet vid  $10^8$  cykler i havsvatten.

Följande värden ska användas för reduktionsfaktorerna om faktiska värden inte finns tillgängliga:  $\gamma_{\epsilon} = \gamma_{\epsilon 1} \gamma_{\epsilon 2} = 0,67$ ,  $\gamma_v = 0,75$ , och  $\gamma_m = 0,75$ .

Koefficienterna,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  och  $C_4$  är angivna i tabell 6-14. Det tillämpade området för  $N_{ice}$  för att beräkna  $\rho$  är  $5 \times 10^6 \leq N_{ice} \leq 10^8$ .

*Tabell 6-14: Parametrar för bestämning av  $\rho$*

	Öppen propeller	Dyspropeller
$C_1$	0,000747	0,000534
$C_2$	0,0645	0,0533
$C_3$	-0,0565	-0,0459
$C_4$	2,22	2,584

#### *Beräkning av parametern $\rho$ för SN-kurva med konstant lutning*

För material som har en SN-kurva med konstant lutning – se figur 6-7 – ska parametern  $\rho$  beräknas enligt formeln

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

där

$k$  är formparametern för weibullfördelningen  $k = 1,0$  för dyspropellrar och  $k = 0,75$  för öppna propellrar.

$N_r$  är referensantalet belastningscykler ( $=10^8$ ).

Det tillämpade området för  $N_{ice}$  för att beräkna  $\rho$  är  $5 \times 10^6 \leq N_{ice} \leq 10^8$ .

Värden för parametern  $G$  är angivna i tabell 6-15. Linjär interpolation kan användas för beräkning av värden för andra förhållanden för  $m/k$  än de som finns i tabell 6-15.

Tabell 6-15: Värderna för parametern  $G$  för olika förhållanden  $m/k$ 

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

#### 6.6.2.4 Acceptanskriterium för utmattning

Den ekvivalenta utmattningsspänningen överallt på bladet måste uppfylla följande acceptanskriterium:

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

där

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

där

$\gamma_{\epsilon 1}$  är reduktionsfaktorn för inverkan av spridning (lika med en standard-avvikelse)

$\gamma_{\epsilon 2}$  är reduktionsfaktorn för inverkan av provföremålets storlek

$\gamma_v$  är reduktionsfaktorn för inverkan av variabel amplitudbelastning

$\gamma_m$  är reduktionsfaktorn för medelspänning

$\sigma_{exp}$  är den genomsnittliga utmattningshållfastheten hos bladmaterialiet vid  $10^8$  cykler i havsvatten.

Följande värden ska användas för reduktionsfaktorerna om faktiska värden inte finns tillgängliga:  $\gamma_{\epsilon} = \gamma_{\epsilon 1} \gamma_{\epsilon 2} = 0,67$ ,  $\gamma_v = 0,75$ , och  $\gamma_m = 0,75$ .

#### 6.6.3 Propellernav och CP-mekanism

Bladbultarna, CP-mekanismen, propellernavet och infästningen av propellern vid propelleraxeln ska konstrueras för att motstå de maximala beräkningsbelastningarna och utmattningsspåkänningarna enligt avsnitt 6.5. Säkerhetsfaktorn mot sträckning ska vara större än 1,3 och mot utmattning större än 1,5. Dessutom ska säkerhetsfaktorn för belastningar till följd av förlust av propellerblad genom plastisk böjning enligt avsnitt 6.5.4 vara större än 1,0 mot sträckning.

#### 6.6.4 Framdrivningssystemets axellinje

Axlar och axelkomponenter såsom trycklager, stödlager, kopplingar, flänsar och tätningar ska konstrueras för att motstå växelverkanskrafterna mellan propeller och is enligt avsnitt 6.5. Säkerhetsfaktorn mot sträckning för extrema driftsbelastningar ska vara minst 1,3, mot utmattningbelastningar 1,5 och 1,0 mot sträckning vid bladhaberibelastning.

### 6.6.4.1 Axlar och axelkomponenter

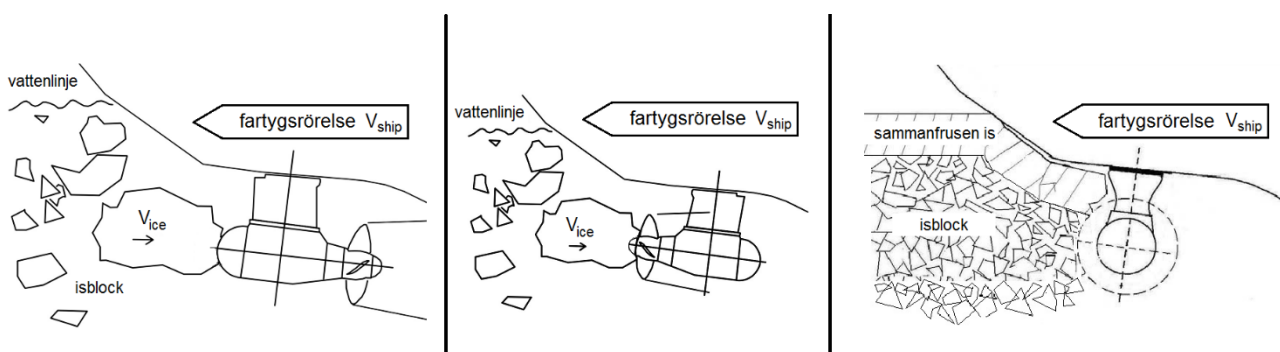
Brottsbelastningen vid ett totalt bladhaveri enligt avsnitt 6.5.4 ska inte orsaka töjning i axlar och axelkomponenter. Belastningen ska utgöras av de sammanlagda axiella belastningarna, böjbelastningarna och torsionsbelastningarna när dessa är signifikanta. Den minsta säkerhetsfaktorn mot töjning ska vara 1,0 för böj- och torsionsspänningar.

### 6.6.5 Vridbara huvudtrustrar

#### 6.6.5.1 Konstruktionsprincip

Utöver ovanstående krav på dimensionering av propellerblad ska vridbara trustrar dimensioneras för belastningar av växelverkan mellan trusterhuset och isen. Belastningsformlerna ges för att uppskatta extrema belastningar på trusterhuset som inträffar en gång under fartygets livslängd, baserat på uppskattade isförhållanden och driftsparametrar för fartyget. Två huvudsakliga isbelastningsscenarion har valts för att definiera extrem isbelastning. Exempel på belastningar finns i figur 6-8. Förutom detta kan reaktioner på vibration som orsakas av bladens excitationssordning uppskattas för propellerexcitation. Följande typer av belastningsscenarion behandlas:

1. stöt av isblock på trusterhuset eller propellernavet
2. trusterpenetration i en isvall med ett tjockt, sammanfruset toppskikt
3. trusterns vibrationsreaktion vid bladordningsfrekvens.



Stöt mot trusterhus

stöt mot propellernav

trusterpenetration i isvall

Figur 6-8. Exempel på belastningsscenarion

Styrmekanismen, infästningen av enheten och trusterhuset ska konstrueras för att motstå böjning av ett blad utan skada. Böjning av ett blad ska beaktas för den orientering på propellerbladet som orsakar den högsta belastningen på komponenten i fråga. Exempelvis ger vertikal bladorientering de maximala böjbelastningarna på trusterhuset.

#### 6.6.5.2 Extrema isstötbelastningar

När fartyget går i is, kan isblock som formas på sidan av rännen eller isvallens sammanfrusna toppskikt stöta mot trustern och propellernavet. Exponering för isstöt är i hög grad beroende på fartygets storlek och skrovets konstruktion samt var trustern är belägen. Stötkraften ökar när det gäller kontakten mellan trustern och isen tills isblocket når fartygets hastighet.

Trustern måste motstå de belastningar som uppkommer när ett dimensionerat isblock enligt tabell 6-3 träffar trustarhuset när fartyget färdas i normal drifhastighet i is. Belastningsfall för stötblastningar redovisas i tabell 6-16. Kontaktgeometrin uppskattas vara halvsfärisk till formen. Om den faktiska kontaktgeometrin avviker från formen av en halvsfär, måste en kulradie uppskattas så att kontaktytans ökning som en funktion av ispenetrering så väl som möjligt motsvarar den faktiska geometriska formens penetrering.

Tabell 6-16: Belastningsfall för isstötblastningar på vridbara trustar

	Kraft	Belastningsområde	
Belastningsfall T1a Symmetrisk långskepps isstöt mot trustern	$F_{ti}$	Jämnt fördelad belastning eller konstant tryck som verkar symmetriskt på stötområdet.	
Belastningsfall T1b Icke symmetrisk långskepps isstöt på trustern	50 % av $F_{ti}$	Jämnt fördelad belastning eller konstant tryck som verkar på stötområdets andra hälft.	
Belastningsfall T1c Icke symmetrisk långskepps isstöt på dysan	$F_{ti}$	Jämnt fördelad belastning eller konstant tryck som verkar på stötområdet. Kontaktområdet är lika med dysans tjocklek ( $H_{nz}$ )*kontakthöjden ( $H_{iced}$ ).	
Belastningsfall T2a Symmetrisk långskepps isstöt på propellernavet	$F_{ti}$	Jämnt fördelad belastning eller konstant tryck som verkar symmetriskt på stötområdet.	
Belastningsfall T2b Icke symmetrisk långskepps isstöt på propellernavet	50 % av $F_{ti}$	Jämnt fördelad belastning eller konstant tryck som verkar på stötområdets andra hälft.	
Belastningsfall T3a Symmetrisk tvärskepps isstöt på trustern	$F_{ti}$	Jämnt fördelad belastning eller konstant tryck som verkar symmetriskt på stötområdet.	

<p>Belastningsfall T3b Icke symmetrisk tvärskepps isstöt på trusterhuset eller dysan</p>	<p><math>F_{ti}</math></p>	<p>Jämnt fördelad belastning eller konstant tryck som verkar på stötområdet. Dysans kontaktradie <math>R</math> ska tas från dysans längd (<math>L_{nz}</math>).</p>	
--	----------------------------	--	--

Isstöten kontaktbelastning ska beräknas enligt formel 6.46. Relaterade parametervärden är angivna i tabell 6-17. Den dimensionerande hastigheten för gång i is kan fås från tabellerna 6-18 och 6-19, eller så kan det aktuella fartygets dimensionerande hastighet i is användas. Stöthastigheten längskepps i tabellerna 6-18 och 6-19 avser en stöt i trusterns huvudsakliga driftriktning. För dragpropellerkonfigurationen används stöthastigheten längskepps för belastningsfall T2, stöt mot navet, och för skjutpropellerenheten, används stöthastigheten längskepps för belastningsfall T1, stöt mot trusterns ändkåpa. För motsatt riktning tillämpas stöthastigheten tvärskepps.

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

där

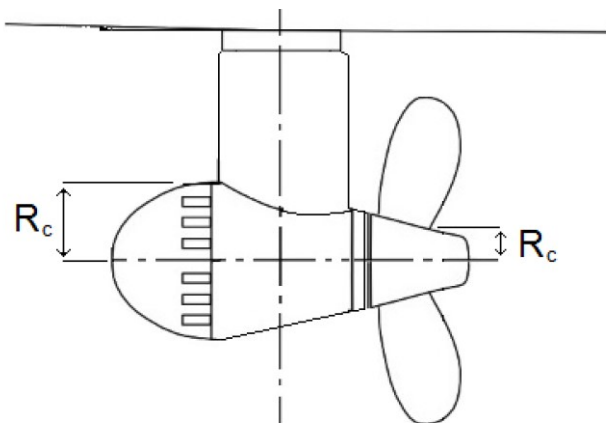
$R_c$  är kulradien för stöten, se figur 6-9 [m]

$m_{ice}$  är isblockets massa [kg]

$v_s$  är fartygets hastighet vid kontakt [m/s]

$C_{DMI}$  är den dynamiska förstoringfaktorn för stötblastningar.

$C_{DMI}$  ska tas från tabell 6-17, om det är okänt.



Figur 6-9. Dimensioner för  $R_c$

För stötar på icke halvsfäriska områden, såsom dysan, ska den ekvivalenta kulradien för stöten uppskattas genom ekvationen nedan.

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

Om  $2 \cdot R_{ceq}$  är större än isblockets dimensionerande tjocklek  $H_{iced}$ , sätts  $R_{ceq}$  till hälften av isblockets dimensionerande tjocklek. Denna begränsning gäller inte när det är fråga om stötar mot propellernavet eller trusterns ändkåpa (belastningsfall T1a och T2a). För stötar mot trusterns sida, kan diametern för trusterhuset användas för att bestämma radien  $R_c$ . För stötar mot propellernavet kan diametern för navet användas för att bestämma radien  $R_c$ .

*Tabell 6-17: Parametervärden för isdimensioner och dynamisk förstoring*

	IA Super	IA	IB	IC
Tjockleken på det dimensionerande isblock som påverkar trustern ( $H_{iced}$ )	1,17 m	1,0 m	0,8 m	0,67 m
Extrem massa för isblock ( $m_{ice}$ )	8 670 kg	5 460 kg	2 800 kg	1 600 kg
$C_{DMI}$ (om inte känt)	1,3	1,2	1,1	1

*Tabell 6-18: Stöthastigheter för truster i den aktre centerlinjen*

	IA Super	IA	IB	IC
Stöt längskepps i den huvudsakliga drifriktningen	6 m/s	5 m/s	5 m/s	5 m/s
Stöt längskepps i backriktning (stöt mot skjutenshetens propellernav eller dragenhetens ändkåpa)	4 m/s	3 m/s	3 m/s	3 m/s
Stöt tvärskepps, fören före	3 m/s	2 m/s	2 m/s	2 m/s
Stöt tvärskepps, aktern före (dubbelverkande fartyg)	4 m/s	3 m/s	3 m/s	3 m/s



Tabell 6-19: Stöthastigheter för aktervinge, förens centerlinje, och förens vingtruster

	IA Super	IA	IB	IC
Stöt längskepps i den huvudsakliga drifriktningen	6 m/s	5 m/s	5 m/s	5 m/s
Stöt längskepps i backriktning (stöt mot skjutenhetens propeller- nav eller dragenhetens ändkåpa)	4 m/s	3 m/s	3 m/s	3 m/s
Stöt tvärskepps	4 m/s	3 m/s	3 m/s	3 m/s

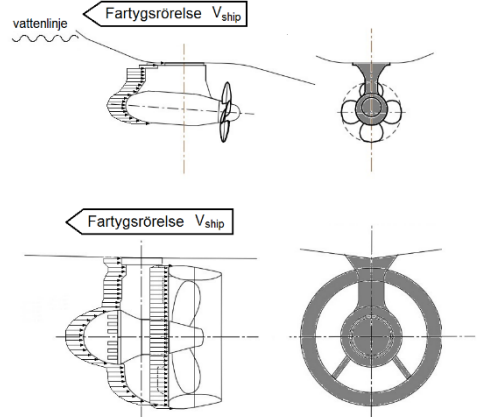
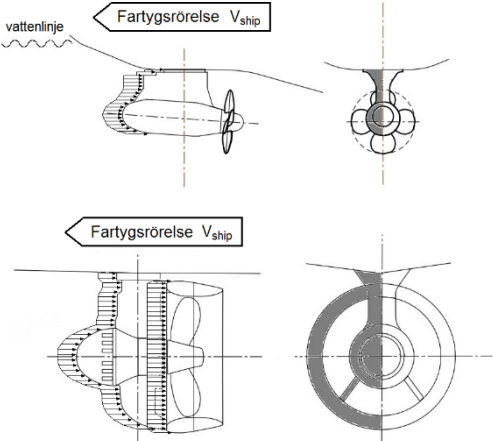
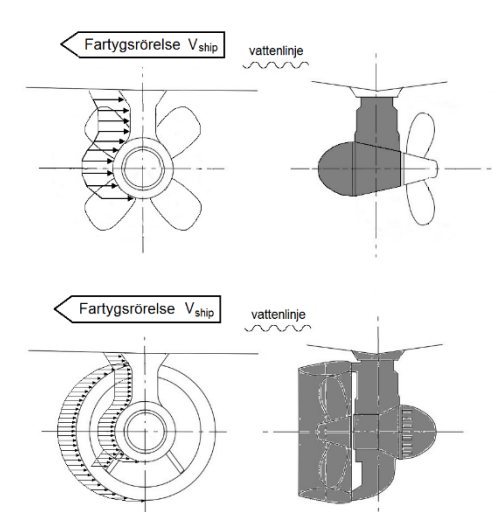
### 6.6.5.3 Extrema isbelastningar på trusterhuset vid penetrering av isvall

I isförhållanden går fartyg vanligtvis i isrännor. När andra fartyg passeras, kan fartyg bli föremål för belastningar orsakade av att deras truster penetrerar isrännans väggar. Det finns vanligtvis ett sammanfruset skikt på ytan av isen, under vilket isblocken är lösa. Trustern kan även penetrera isvallar vid backning. En sådan situation är sannolik i synnerhet när det gäller fartyg av isklass IA Super, eftersom de kan gå självständigt även under svåra isförhållanden. Trusterna i fartyg av lägre isklasser kan emellertid också behöva motstå en sådan situation, men i betydligt lägre hastigheter.

I detta belastningsscenario penetrerar fartyget en vall med trustern före med en initial hastighet. Denna situation förekommer när ett fartyg med en truster i fören rör sig framåt eller ett fartyg med en truster akterut rör sig bakåt. Den maximala belastningen under en sådan händelse anses vara extremlastningen. En händelse av den här typen varar vanligtvis i flera sekunder, och därför anses dynamisk ökning vara försumbar och beaktas inte.

Belastningens storlek ska uppskattas för de belastningsfall som anges i tabell 6-20 med hjälp av ekvation 6.48. Parametervärdena för beräkning är angivna i tabellerna 6-21 och 6-22. Belastningarna måste tillämpas som konstant tryck eller jämnt fördelad belastning på trusterns yta. Den dimensionerande hastigheten för gång i is kan fås från tabell 6-21 eller 6-22, eller så kan det aktuella fartygets dimensionerande hastighet användas.

Tabell 6-20: Belastningsfall för isbelastning på vall

<p>Belastningsfall T4a Symmetriska penetreringsbelastningar långskepps</p>	<p><math>F_{tr}</math></p>	<p>Jämnt fördelad belastning eller konstant tryck som verkar symmetriskt på kontaktytan.</p>	
<p>Belastningsfall T4b Icke symmetriska penetreringsbelastningar långskepps</p>	<p>50 % av <math>F_{tr}</math></p>	<p>Jämnt fördelad belastning eller konstant tryck som verkar på kontaktytans ena hälft.</p>	
<p>Belastningsfall T5a Symmetriska laterala penetreringsbelastningar för vridbar dys-enhet och öppen skjutpropellerenhet</p>	<p><math>F_{tr}</math></p>	<p>Jämnt fördelad belastning eller konstant tryck som verkar symmetriskt på kontaktytan.</p>	

<p>Belastningsfall T5b Icke symmetriska laterala penetreringsbelastningar för alla vridbara enheter</p>	<p>50 % av <math>F_{tr}</math></p>	<p>Jämnt fördelad belastning eller konstant tryck som verkar på kontaktytans ena hälft.</p>	
---	--	---	--

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

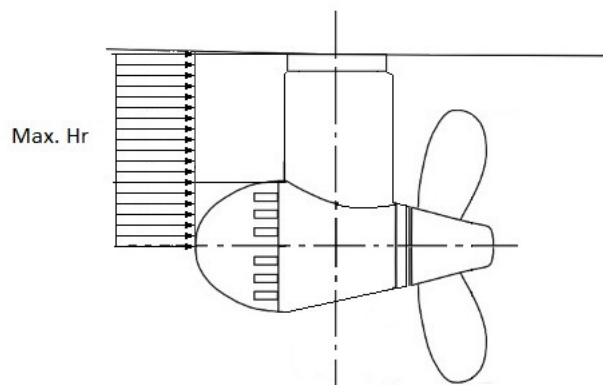
där

$v_s$  är fartygets hastighet [m/s]

$H_r$  är den dimensionerade tjockleken på isvallen (tjockleken på det sammanfrusna skiktet är 18 % av den totala tjockleken) [m]

$A_t$  är trusterns projekterade area [m<sup>2</sup>].

När kontaktytan för växelverkan mellan trustern och isvall beräknas, begränsas belastningsområdet vertikalt till isvallens tjocklek enligt figur 6-10.



Figur 6-10. Schematisk figur över minskning av kontaktytan vid maximal valltjocklek

Tabell 6-21: Parametrar för beräkning av maximala belastningar när trustern penetrerar en isvall. Aktertrustrar. Fören före

	IA Super	IA	IB	IC
Tjocklek på den dimensionerade isvallens sammanfrusna skikt	1,5 m	1,5 m	1,2 m	1,0 m
Total tjocklek på den dimensionerade vallen, $H_r$	8 m	8 m	6,5 m	5 m
Initial penetrationshastighet i isvallen (långskeppsbelastning)	4 m/s	2 m/s	2 m/s	2 m/s
Initial penetrationshastighet i isvallen (tvärskeppsbelastning)	2 m/s	1 m/s	1 m/s	1 m/s

Tabell 6-22: Parametrar för beräkning av maximala belastningar när trustern penetrerar en isvall. Trustern före, t.ex. dubbelverkande fartyg

	IA Super	IA	IB	IC
Tjocklek på den dimensionerade isvallens frusna skikt	1,5 m	1,5 m	1,2 m	1,0 m
Total tjocklek på den dimensionerade vallen, $H_r$	8 m	8 m	6,5 m	5 m
Initial penetrationshastighet i isvallen (långskeppsbelastning)	6 m/s	4 m/s	4 m/s	4 m/s
Initial penetrationshastighet i isvallen (tvärskeppsbelastning)	3 m/s	2 m/s	2 m/s	2 m/s

#### 6.6.5.4 Acceptanskriterium för statiska belastningar

Spänningarna på trustern måste beräknas för extrema belastningar som inträffar en gång under fartygets livslängd, enligt beskrivningen i avsnitt 6.6.5. De nominella von Mises-spänningarna på trusterhuset måste ha en säkerhetsmarginal på 1,3 mot materialets sträckning. I områden med lokala spänningskoncentrationer måste spänningarna ha en säkerhetsmarginal på 1,0 mot sträckning. Svänglagret, bultkopplingarna och andra komponenter måste kunna drivas utan skador som kräver reparation som uppstår när de utsätts för belastningar givna i avsnitt 6.6.5.2 och 6.6.5.3 multiplicerat med säkerhetsfaktorn 1,3.

#### 6.6.5.5 Trusterhusets globalvibration

Det är viktigt att uppskatta trusterhusets vibrationsbeteende om den första parametern för bladens excitationsordning ligger i samma frekvensområde som trusterns globala vibration, vilket inträffar när propellerns rotationshastighet sammanfaller med propulsionslinjens övre effektområde. Uppskattningen är obligatorisk och den ska visa att det antingen inte förekommer någon global bladordningsresonans vid höga propellervarvtal (över 50 % av den maximala kraften) eller att konstruktionen har planerats att motstå vibrationsbelastningar under resonans när motoreffekten överstiger 50 % av den maximala kraften.

Vid uppskattning av trusterns vibrationer långskepps och tvärskepps måste dämpning och ökad massa orsakade av vattnet beaktas. Utöver detta ska styvheten i trusterns infästning i fartygsskrovet modelleras.

## **6.7 Alternativa konstruktionsmetoder**

### **6.7.1 Omfattning**

Som alternativ till avsnitt 6.5 och 6.6 kan en genomgripande konstruktionsutredning genomföras för godkännande av administrationen eller klassificeringssällskapet. Utredningen ska grunda sig på de isförhållanden som gäller för de olika isklasserna enligt avsnitt 6.3. Den ska omfatta såväl utmattningsberäkningar som bestämning av maximal beräkningsbelastning och ska uppfylla pyramidprincipen enligt avsnitt 6.6.1.

### **6.7.2 Belastning**

Belastningar på propellerblad och framdrivningssystem ska baseras på en godtagbar beräkning av hydrodynamiska belastningar och isbelastningar.

### **6.7.3 Dimensioneringsnivåer**

Konstruktionsutredningen ska visa att alla komponenter som överför slumpvisa (tillfälliga) krafter, undantaget propellerblad, inte utsätts för spänningsnivåer som överskrider sträckspänningen hos komponentens material med en rimlig säkerhetsmarginal.

Beräkning av kumulativa utmattningsskador ska påvisa en rimlig säkerhetsfaktor. Vederbörlig hänsyn ska tas till materialegenskaper, spänningsförhöjande faktorer och ökade utmattningspåkänningar.

En vibrationsanalys ska utföras och den ska visa att hela det dynamiska systemet är fritt från skadliga resonanser till följd av växelverkan mellan propeller och is.

## **7 DIVERSE MASKINERIKRAV**

### **7.1 Startarrangemang**

Luftbehållarnas kapacitet ska vara tillräcklig för att utan påfyllning leverera luft till inte mindre än 12 på varandra följande starter av framdrivningsmaskineriet, om detta måste reverseras för back, eller 6 på varandra följande starter om framdrivningsmaskineriet inte behöver reverseras för back.

Om luftbehållarna tjänar några andra ändamål än start av framdrivningsmaskineriet, ska de ha tillräcklig tilläggskapacitet för dessa ändamål.

Luftkompressorernas kapacitet ska vara tillräcklig för att ladda luftbehållarna från atmosfäriskt till fullt tryck inom en (1) timme. Om framdrivningsmaskineriet för ett fartyg med isklass IA Super måste reverseras för back, ska kompressorerna kunna ladda behållarna inom en halv timme.

## **7.2 Sjövattenintag och kylvattensystem**

Kylvattensystemet ska vara konstruerat så att tillgången till kylvatten är säkrad då fartyget går i is.

För detta ändamål ska åtminstone en bottenbrunn för intag av kylvatten vara arrangerad på följande sätt:

1. Sjövattenintaget ska vara placerat nära fartygets centerlinje och om möjligt långt akterut.
2. Som riktvärde för konstruktionen ska bottenbrunnens volym vara omkring en kubikmeter för varje 750 kW maskineffekt för fartyget, inberäknat effekten av de hjälpmaskiner som är nödvändiga för fartygets drift.
3. Brunnen ska vara tillräckligt hög för att tillåta isen att samla sig ovanför inloppsröret.
4. Ett avloppsrör för kylvatten, vilket tillåter avlopp av hela kylvattenkapaciteten, ska anslutas till brunnen.
5. Bottensilens hålarea ska inte vara mindre än 4 gånger tvärsnittsarean av inloppsröret.

Om det är svårt att möta kraven i punkterna 2 och 3 ovan, kan två mindre brunnar arrangeras för alternerande intag och utsläpp av kylvatten. Arrangemanget i övrigt ska vara som ovan.

Värmeslingor kan installeras i brunnens eller brunnarnas övre del.

Arrangemang för användning av barlastvatten för kylning kan vara till nytta som reserv i barlastkondition men kan inte accepteras som ersättning för de sjövattnensbrunnar som beskrivits ovan.

## **8 IKRAFTTRÄDANDE**

Dessa föreskrifter jämte bilagor träder i kraft den 5 juli 2021.

Kirsi Karlamaa  
Huvuddirektör

Jarkko Saarimäki  
Överdirektör

## Bilaga I Parametrar för typfartyg och effekter som fåtts ur formlerna

För att kontrollera resultaten av de beräknade kraftbehoven, anges indata för ett antal typfartyg i tabell I-1.

Tabell I-1: Parametrar för typfartyg och effekter som fåtts ur formlerna

		Exempelfartyg nr								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Isklass		IAS	IA	IB	IC	IAS	IAS	IA	IA	IB
$\alpha$	[grader]	24	24	24	24	24	24	36	20	24
$\varphi_1$	[grader]	90	90	90	90	30	90	30	30	90
$\varphi_2$	[grader]	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 <sup>2</sup> ]	500	500	500	500	500	500	500	500	500
$D_P$	[m]	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Prop. nr/typ		1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/CP	1/FP
Nya fartyg (avsnitt 3.2.2)	[kW]	7840	4941	3478	2253	6799	6406	5343	5017	3872
Existerande fartyg (avsnitt 3.2.4)	[kW]	9192	6614			8466	7645	6614	6614	

## Bilaga II Maskineffekten för ett fartyg med isklass IB eller IC vilket har kölsträckts eller befunnit sig i motsvarande byggnadsstadium före 1 september 2003

Maskineffekten ska inte vara mindre än den som fås ur nedanstående formel och i ingen händelse mindre än 740 kW för isklasserna IB och IC.

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

där

$f_1 = 1,0$  för en propeller med fasta blad  
 $= 0,9$  för en propeller med vridbara blad

$f_2 = \varphi_1 / 200 + 0,675$  men inte större än 1,1,

där

$\varphi_1$  är stävvinkeln i centerlinjen [grader] (se figur 3-1).

Produkten  $f_1 f_2$  ska inte vara mindre än 0,85.

$f_2 = 1,1$  för en bulbstäv

$f_3 = 1,2 B / \Delta^{1/3}$  men inte mindre än 1,0

$f_4$  och  $P_0$  ska tas som följer:

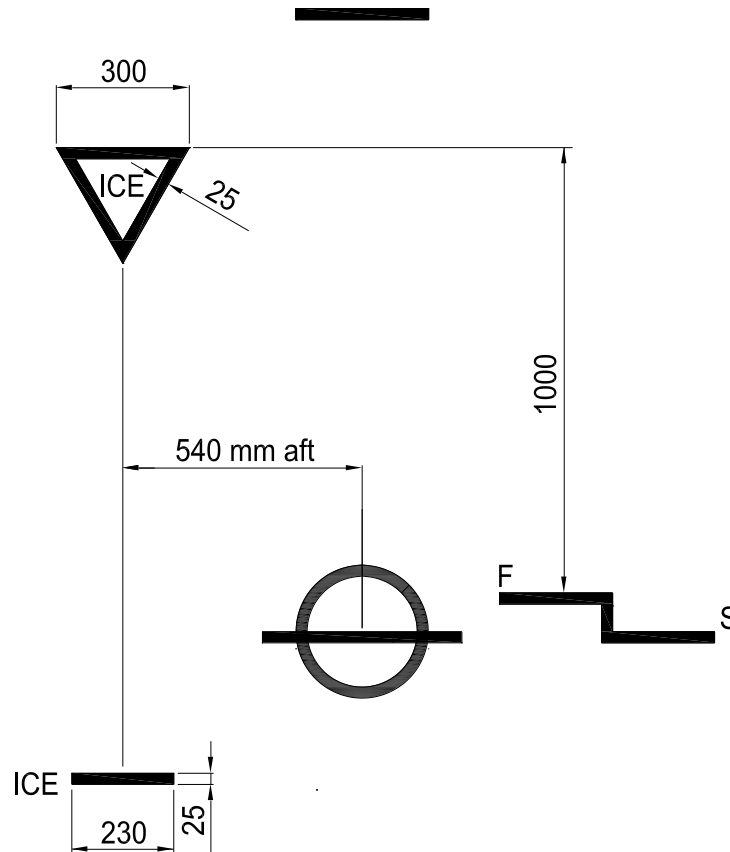
Isklass	IB	IC	IB	IC
Displacement	$\Delta < 30\,000$		$\Delta \geq 30\,000$	
$f_4$	0,22	0,18	0,13	0,11
$P_0$	370	0	3 070	2 100

$\Delta$  är fartygets displacement [t] på det största isklassdjupgåendet enligt avsnitt 2.1. Detta behöver inte vara större än 80 000 t.



### Bilaga III Markering av isklassdjupgående

Enligt avsnitt 2.2 ska det på vardera fartygssidan finnas en varningstriangel och ett märke för djupgåendet vid det största tillåtna isklassdjupgåendet midskepps (se figur III-1) Varningstriangeln är till för att visa att fartyget har en djupgåendebegränsning vid gång i is. Denna information är viktig för befäl på isbrytare och inspektörer i hamn.



Figur III-1. Markering av isklassdjupgående

#### Kommentarer till figur III-1

1. Övre kanten av varningstriangeln ska vara placerad vertikalt ovanför ICE-märket, 1 000 mm över sommarlastlinjen i färskvatten men i ingen händelse över däckslinjen. Triangelns sidor ska ha en längd av 300 mm.
2. Märket för isklassdjupgåendet ska vara placerat 540 mm akter om lastmärkets mittpunkt eller 540 mm akter om trälastmärkets vertikala markering, om detta är tillämpligt.
3. Markeringarna ska utföras i 5–8 mm plåt och svetsas på fartygssidan. Markeringarna ska målas röda eller gula i reflekterande färg för att markeringarna ska vara väl synliga även under isförhållanden.
4. Alla bokstäver ska ha samma dimensioner som lastlinjemärket.