

CHALMERS



Utvärdering av skrovkonstruktion för split hoppers

Evaluation of hull structure for split hoppers

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom Maskinteknik

Thomas Karlsson
Charlotta Källqvist

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
Avdelningen för Avancerad oförstörande provning
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige, 2013

Examinator: Gert Persson

Examensarbete No. 101/2013

Förord

Detta examensarbete utfördes åt Fartygskonstruktioner AB Marine Design (FKAB). FKAB är ett företag inom fartygskonstruktion med kontor i Uddevalla, Göteborg och Shanghai.

Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng per person. Det utfördes under våren 2013 som avslutande moment av Maskinteknikprogrammet 180 högskolepoäng med inriktning konstruktion vid Chalmers tekniska högskola.

Vi vill tacka personalen på FKAB, för hjälp och stöd under projektets gång. Ett speciellt tack till vår handledare på FKAB, Stefan Johnsson och vår handledare vid Chalmers tekniska högskola, Gert Persson.

*Thomas Karlsson
Charlotta Källqvist*

Sammanfattning

Projektets syfte är att jämföra två olika konstruktioner av en *split hopper barge* (fartyg med öppet lastutrymme och tvådelat skrov). Skrovhalvorna är sammanbundna med två gångjärn och öppnas med två hydrauliska cylindrar. Vid konstruktion enligt *simply supported ends* är skrovhalvornas ändar fria och vid konstruktion enligt *partly fixed ends* förhindrar låsande plåtar skrovhalvorna att röra sig i förhållande till varandra. Fartyg med tre olika lastvolym; 700 m³, 2800 m³ och 4500 m³ studeras.

Vid konstruktion enligt *partly fixed ends* minskar utböjningen av skrovhalvorna och därmed spänningarna i skrovet. Därför har skrovplåtarnas tjocklek kunnat minskas. För de två största fartygen har viktbesparingen av stål i skrovet beräknats till 56 respektive 97 ton. För det minsta fartyget kunde ingen större besparing göras då skrovets tjocklek inte kunde minskas nämnvärt.

Vid konstruktion enligt *partly fixed ends* ökar krafterna i cylindrar och gångjärn då dessa tar upp krafterna från de låsande plåtarna. Cylinderkrafterna ökar bara marginellt medan krafterna i gångjärnen ökar med 30-50 %.

Ingen hänsyn har tagits till de ökade spänningarna i skrovet vid de låsande plåtarna vid konstruktion enligt *partly fixed ends*. Detta bör utredas vidare.

Abstract

The project's aim is to compare two different designs of a split hopper barge (ship with open cargo area and two-piece hull). The bottom halves are connected by two hinges and are opened by two hydraulic cylinders. In the design, according to *simply supported ends*, the hull halves ends are free. In the design, according to *partly fixed ends*, locking plates prevent the hull halves from moving relative to each other. Ships with three different cargo volumes; 700 m³, 2800 m³ and 4500 m³ have been analyzed.

In the design of partly fixed ends, the deflection of the hull halves is reduced and thereby the stresses in the hull. As a consequence of this, the thicknesses of the hull plates can be reduced. For the two largest vessels, the saving of steel in the hull has been calculated to 56 and 97 tons, respectively. For the smallest vessel there cannot be any great savings as the hull thickness cannot be reduced significantly.

In the design of partly fixed ends the forces in cylinders and hinges increase as they support the forces from the locking plates. The cylinder forces were only increased marginally, while the forces in the hinges were increased by 30-50%.

No account has been taken as to the increased stress in the hull, at the locking plates, when the design is according to partly fixed ends. This should be further investigated.

The report is written in Swedish.

Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	3
1.4 Precisering av frågeställningen	3
2 Teori	4
2.1 Teknisk balkteori	4
3 Introduktion av fartygstermer	5
3.1 Fartygskonstruktion	7
4 Metod	8
4.1 Regelverk för klassificering	8
4.1.1 Bureau Veritas regelverk för klassificering från 1996	8
4.1.2 Bureau Veritas regelverk för klassificering från 2013	8
4.2 Bureau Veritas Mars 2000	8
4.3 AutoCAD	9
5 Genomförande	10
5.1 Momentberäkningar	10
5.2 Utböjningen av skrovet	13
5.3 Spänningar i hopperskrovet	21
5.4 Krafter i cylindrar och gångjärn	23
6 Resultat	27
6.1 Momentresultat	27
6.2 Utböjningsresultat	28
6.3 Spänningar i hopperskrovet	28
6.4 Reducering av stål i hopperskrovet	28
6.4.1 Skrovplåtens tjocklek	29
6.4.2 Längsgående förstärkningar	32
6.5 Cylinder och gångjärnskrafter	34
7 Diskussion och slutsats	35
Referenser	36

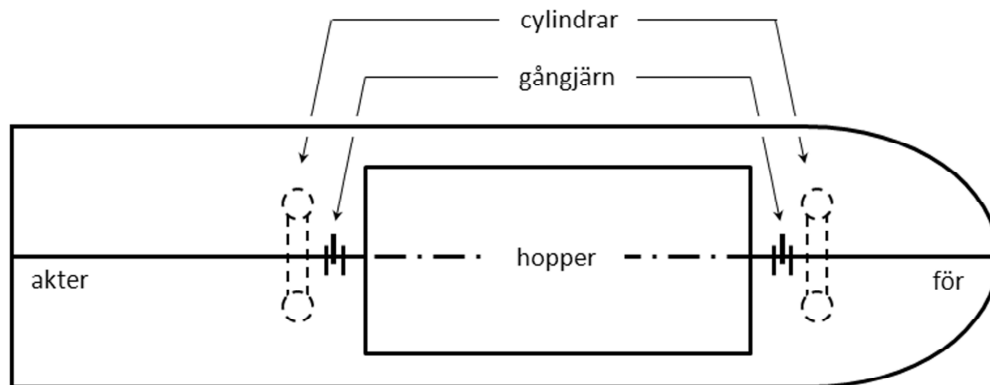
1 Inledning

Bakgrunden och syftet till projektet beskrivs i detta kapitel. Här ges dessutom en precisering av frågeställningen och projektets avgränsningar.

1.1 Bakgrund

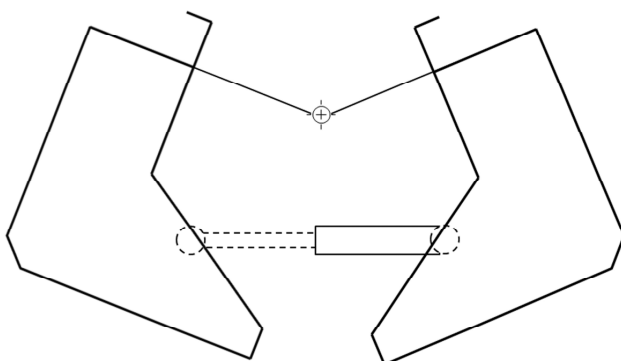
FKAB är ett konsultbolag med inriktning mot fartygskonstruktioner, projektledning och andra marina applikationer. De har bland annat konstruerat en rad olika fartyg som används vid muddring, det vill säga då man gräver eller suger upp slam och sten från botten [1]. Projektet avser att analysera två olika konstruktioner av en *split hopper barge*.

En *split hopper barge* är ett fartyg som fraktar muddringsmassa och är uppbyggt av två skrovhalvor sammanbundna med två gångjärn, vilket kan ses i figur 1.1. Hoppert är utrymmet där muddringsmassan förvaras.



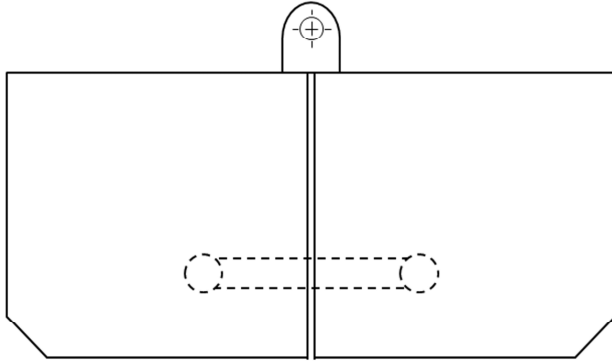
Figur 1.1 Split hopper barge

Skrovhalvorna öppnas med hjälp av två hydrauliska cylindrar för att tömma sin last. Figur 1.2 visar tvärsnittet av hopperdelen i öppet läge.



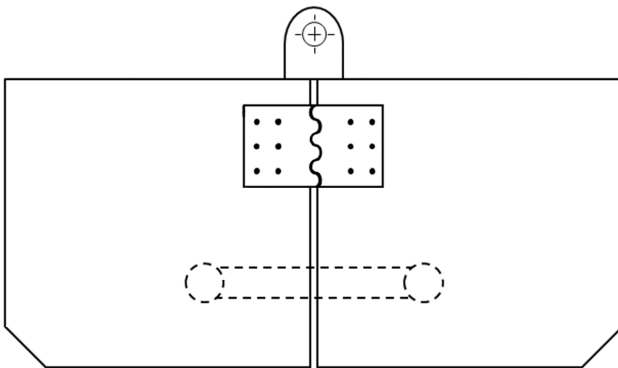
Figur 1.2 Tvärsnittet av en öppen split hopper

I dagsläget är *split hopper*-fartygens skrovhalvor sammanbundna med två gångjärn placerade på var sin sida om hopporn. Denna teknik kallas *simply supported ends*, eftersom skrovhalvornas ändrar i för och akter är fria. Med tekniken *simply supported ends* fås stora utböjningar i hopperskrovet på grund av lastens tryck. Figur 1.3 visar akterdelen av ett fartyg byggt enligt *simply supported ends*.



Figur 1.3 Akter vid konstruktion enligt *simply supported ends*

FKAB vill undersöka om det går att minska utböjningen i skrovet genom att konstruera enligt tekniken *partly fixed ends* där låsande plåtar i för och akter förhindrar skrovhalvornas ändrar att röra sig i förhållande till varandra. I figur 1.4 visas de låsande plåtarna i aktern.



Figur 1.4 Akter vid konstruktion enligt *partly fixed ends*

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att studera för och nackdelar med att konstruera *split hopper barges* enligt tekniken *partly fixed ends* jämfört med *simply supported ends*.

1.3 Avgränsningar

Rapporten behandlar ett stort storleksintervall av *split hopper barges* med beräkningar utförda för fartyg med hoppervolymer; 700 m³, 2800 m³ samt 4500 m³. Dimensioner och fartygsdata för respektive fartyg finns i bilaga 1.

Klassificeringsregler enligt Bureau Veritas tillämpas.

Beräkningar av skrovets utböjning i horisontalled samt cylinder och gångjärnskrafter utförs vid extremfallet maximal last vid lastdensiteten 2 ton/m³.

Endast maximal utböjning i horisontalled beräknas.

Beräkningar kommer att utföras enligt två olika konstruktioner; *simply supported ends* och *partly fixed ends*.

FEM-beräkningar kommer ej att genomföras.

Förenklingar enligt teknisk balkteori samt vedertagen praxis tillämpas.

Endast spänningar i midskeppsskrovet undersöks.

1.4 Precisering av frågeställningen

Projektet avser att beräkna den maximala utböjningen i horisontalled av skrovhalvorna samt kontrollera möjligheten att minska mängden stål i skrovet av en *split hopper barge* genom att konstruera enligt *partly fixed ends* jämfört med *simply supported ends*. Beräkningskontrollen genomförs för fartyg med tre olika hoppervolymer.

Projektet avser dessutom att undersöka påverkan på cylinder och gångjärnskrafter vid respektive tillverkningsteknik och hoppervolym.

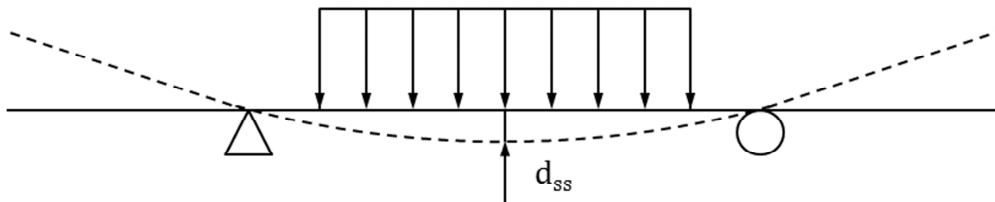
2 Teori

Teorier tillämpade i den här rapporten är teknisk balkteori samt vedertagen praxis. Med vedertagen praxis avses kraft och momentjämvikt.

2.1 Teknisk balkteori

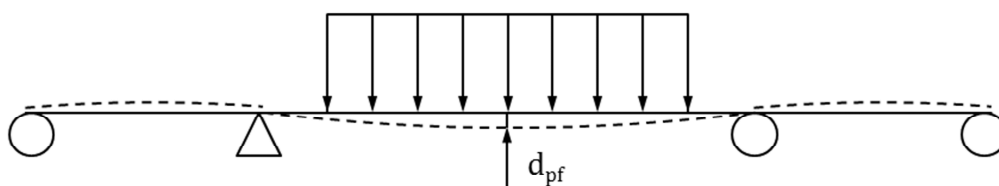
Ett fartyg kan på grund av sin långa och smala form samt beteende vid belastningar förenklas till en balk [11]. Skrovhalvornas utböjning och böjmoment kan därför beräknas enligt teknisk balkteori.

För fartyg konstruerade enligt *simply supported ends* kan skrovhalvorna betraktas som en fritt upplagd balk med fria ändar samt en utbredd last över hopperområdet. Figur 2.1 visar hur en skrovhalva förenklas till en balk vid *simply supported ends*, där d_{ss} är den maximala utböjningen i horisontalled. Stöden symboliserar gångjärnen och den utbredda lasten symboliserar lastens tryck mot hopporn.



Figur 2.1 *Simply supported ends* förenklat enligt teknisk balkteori, där d_{ss} är balkens maximala utböjning

Vid konstruktion enligt *partly fixed ends* betraktas skrovhalvorna som en delvis inspänd balk med två stöd samt en utbredd last över hopperområdet. Figur 2.2 visar hur en skrovhalva förenklas till en balk vid *partly fixed ends*, där de två yttre stöden symboliserar de låsande plåtarna. Den maximala utböjningen d_{pf} , vid konstruktion enligt *partly fixed ends* är mindre än utböjningen d_{ss} vid *simply supported ends*.



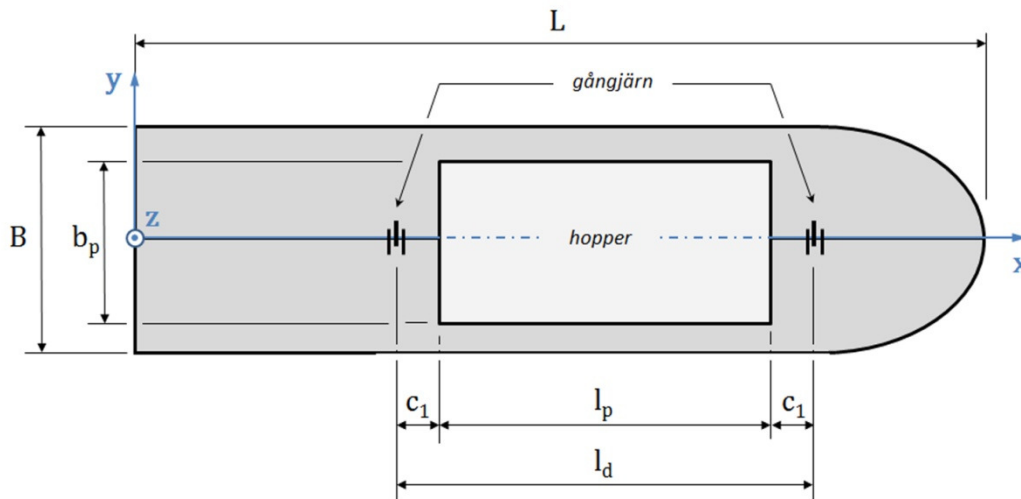
Figur 2.2 *Partly fixed ends* förenklat enligt teknisk balkteori, där d_{pf} är balkens maximala utböjning

I projektet används elementarfall vid utböjningsberäkningarna. Elementarfall med fast inspänd, fritt upplagd och gaffellagrad balk tillämpas. En gaffellagrad balk förhindrar utböjning och rotation av ändarna [2].

3 Introduktion av fartygstermer

Grundläggande fartygstermer definieras och förklaras i detta kapitel.

Figur 3.1 visar en *split hopper barge* schematiskt ovanifrån med längdbeteckningar och koordinatsystemet, xyz .



Figur 3.1 Schematisk vy av en split hopper med längdbeteckningar

Koordinatsystemet utgår från den punkt där baslinjen skär roderaxeln i centrumlinjen. Roderaxeln är axeln som rodet vrider sig runt och baslinjen går utmed fartygets köl. yz -planet ger skrovets tvärsnitt. Beteckningar definierade i figur 3.1 förklaras i tabell 3.1.

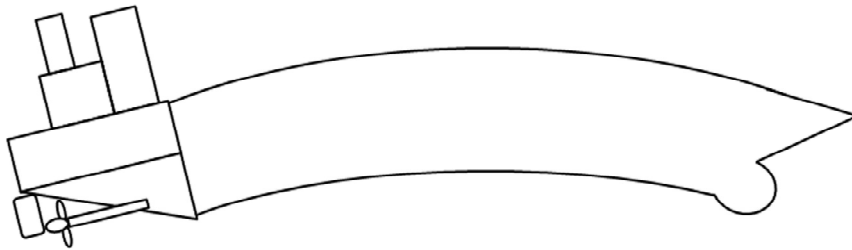
Tabell 3.1 Förklaring till beteckningar i figur 3.1

Beteckning	Förklaring	Enhet
L	Fartygets längd, mätt från $x=0$ till där fören skär vattenlinjen	m
B	Fartygets bredd	m
l_d	Längden mellan gångjärnen	m
l_p	Hopperlängd	m
b_p	Hopperbredd	m
c_1	Längden mellan gångjärn och början av hoppert	m

Djupgåendet är avståndet från baslinjen till vattenlinjen och midskeppet är i mitten av fartyget.

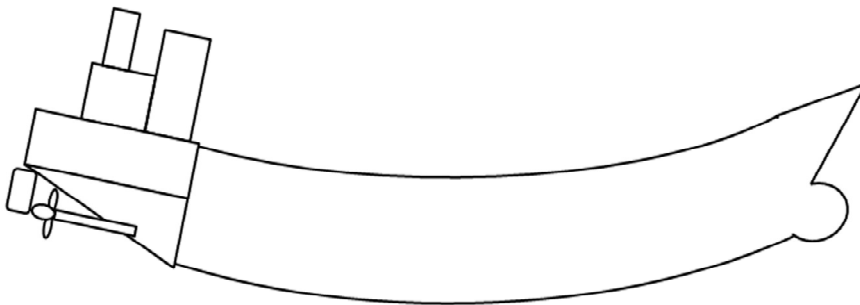
Vattentrycket runt ett fartyg ger upphov till böjande moment. Momenten delas upp i stillvattenmoment och vågböjningsmoment. Stillvattenmoment är det moment som påverkar fartyget i lugnt vatten. Vågböjningsmoment är det moment som påverkar fartyget vid vågor och drift [3].

Då en våg av samma längd som skrovet är mitt under fartyget och lyfter midskeppet uppåt samtidigt som fören och aktern befinner sig i vågdalar kallas det för hogging [4]. I figur 3.2 visas ett fartyg i hoggingtillstånd.



Figur 3.2 Fartyg i hoggingtillstånd

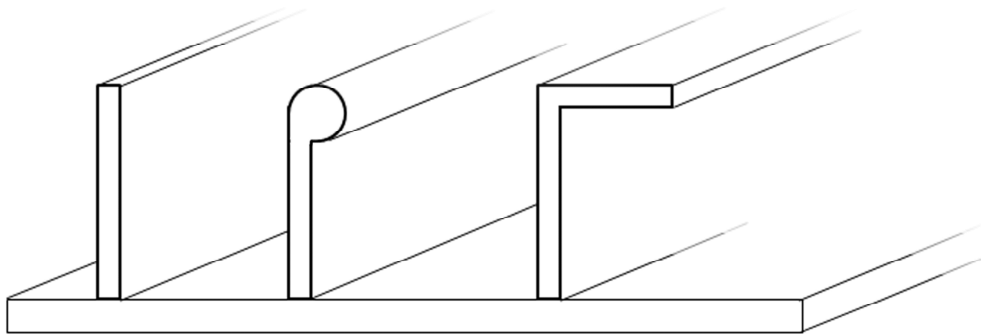
Motsatsen till hogging kallas sagging och inträffar då fören och aktern befinner sig på vågtoppar och midskeppet befinner sig i en vågdal. När fartyget är fullastat gör lastens tyngd att hogging inte kan inträffa. Figur 3.3 visar ett fartyg i saggingtillstånd.



Figur 3.3 Fartyg i saggingtillstånd

3.1 Fartygskonstruktion

Fartygets skrov är bland annat uppbyggt av skrovplåtar samt längs och tvärgående förstärkningar. De längsgående förstärkningarna löper på insidan skrovet och ökar fartygets styvhet. Figur 3.4 visar de tre olika typerna av längsgående förstärkningar som ingår i projektet; *flat*, *bulb* och *angle* [5].



Figur 3.4 Längsgående förstärkningar, *flat*, *bulb* och *angle*

De tvärgående förstärkningarna kallas för spant och avståndet mellan dem kallas spantbredd. För fartygen studerade i projektet är var fjärde spant extra förstärkt och kallas då vebbspannt. Vebbspanntbredden är avståndet mellan vebbspannten [6].

4 Metod

Fartygstillverkning är en bransch hårt styrd av regelverk. För att ett fartyg skall godkännas för trafik måste det uppfylla ett regelverk för klassificering. Enligt [11] tas ritningar som används vid klassificeringen fram i samråd mellan fartygsbeställare, varv och konstruktör.

4.1 Regelverk för klassificering

För att fartygsbranchen på ett systematiskt sätt skall kunna överblicka alla olika typer av fartyg används klassificeringsregler. Det finns en rad aktörer som arbetar med att klassificera fartyg där i bland Bureau Veritas, American Bureau of Shipping, Det Norske Veritas med flera. FKAB använder sig av Bureau Veritas för att klassificera de muddringsfartyg man konstruerar. Enligt [11] är Bureau Veritas ledande inom klassificeringsregler för *split hopper*-fartyg. Bureau Veritas klassificeringsregler för *split hoppers* innehåller bland annat beräkningsformler för de moment och krafter som uppstår i fartyget på grund av de olika belastningarna.

Enligt [11] tillverkades *split hoppers* tidigare både enligt *partly fixed ends* och *simply supported ends*. I dagens läge tillverkas de flesta fartyg enligt *simply supported ends* och reglerna för *partly fixed ends* har därför tagits bort ur klassificeringsregler för 2013.

4.1.1 Bureau Veritas regelverk för klassificering från 1996

Klassificeringsregler som ger beräkningsformler och regler för dimensionering och konstruktion av *hopper dredgers and split hopper dredgers* enligt *simply supported ends* och *partly fixed ends* [7]. Klassificeringsreglerna behandlar bland annat minsta tillåtna skrovtjocklek, storleken på de horisontella och vertikala momenten samt kraften i cylindrarna och gångjärnen.

4.1.2 Bureau Veritas regelverk för klassificering från 2013

Klassificeringsregler tagna i kraft från och med första januari 2013 som finns tillgängliga på erules.veristar.com. Till skillnad från Bureau Veritas klassificeringsregler från 1996 innehåller inte 2013 års version formler för konstruktion enligt *partly fixed ends*. Dessutom har beteckningar och formler för en del konstanter förändrats.

4.2 Bureau Veritas Mars 2000

Vid dimensionering av midskeppsskrovet och de längsgående förstärkningarna ritas fartygets tvärsnitt upp i beräkningsprogrammet Mars 2000 som räknar enligt [3]. Fartygets dimensioner, material, lastens densitet samt stillvattenmomentet ges som indata.

Programmet presenterar en rapport med bland annat yttröghetsmomenten för huvudspänningsaxlarna 1 och 2, tyngdpunktens koordinater enligt koordinatsystemet yz samt de fyra referenspunkterna med högst spänning i tvärsnittet.

4.3 AutoCAD

FKAB använder programmet AutoCAD för att göra tvådimensionella ritningar av fartygen. Vyer av hela fartyget, från sidorna och uppifrån, tvärsnittet av hopperskrovet samt andra delar och detaljer ritas upp som konstruktionsunderlag. Som underlag för detta projekt har endast ritningarna generalarrangemang och midskeppstvårsnitt använts. Generalarrangemanget visar vyer av fartyget. Midskeppstvårsnittet visar tvärsnittet av hopperskrovet, vid både spant och vebbspant. I ritningarna som använts i projektet finns fartygets längd, bredd, djupgående samt stillvattenmoment med. I bilaga 2 visas exempel på hur ett generalarrangemang respektive midskeppstvårsnitt ritas.

5 Genomförande

Beräkningsgången för att dimensionera skrovets tjocklek inleds med beräkning av vertikala och horisontella moment. Där det vertikala momentet ger en utböjning i vertikalled och det horisontella i horisontalled. Med dessa fås utböjningen av skrovhalvorna i horisontalled. Momenten används vid beräkning av spänningarna i hopperskrovet. Spänningarna bestämmer skrovplåtarnas tjocklek.

Cylinder och gångjärnkrafterna beräknas med kraft och momentjämvikt för en skrovhalva.

5.1 Momentberäkningar

Nedan följer beräkningsformler för framtagning av de vertikala och horisontella böjmomenten vid konstruktion enligt *partly fixed ends*. Projektet avser endast att jämföra påverkan vid maximal last vilket ger att beräkningar endast utförs för fallet då fartyget befinner sig i sagging. Arbetsområdet för samtliga fartyg är muddring 8-15 nautiska mil från land.

Det vertikala böjmomentet, M_V , applicerat på halva skrovet beräknas enligt:

$$M_V = \frac{1}{2}(r_d M_{HV} + M_{DC}) \quad (1)$$

Enligt definition är det vertikala böjmomentet vid sagging alltid negativt [7].

Reduktionsfaktorn, r_d , vid det aktuella arbetsområdet:

$$r_d = \frac{2}{3} \quad (2)$$

M_{HV} är det vertikala vågmomentet och beräknas enligt:

$$M_{HV} = C_V F L^2 B (C_B + 0,7) \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

M_{DC} är det maximala stillvattenmomentet och kan utläsas ur ritningen av midskeppstvärsnittet.

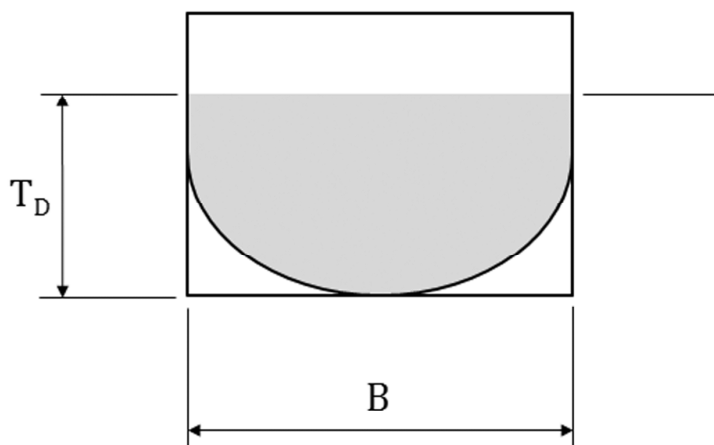
C_V är en konstant beroende på om fartyget befinner sig i sagging eller hoggingtillstånd. I det aktuella fallet fås därför:

$$C_{V,sagging} = 65 \quad (4)$$

F är en konstant som vid fartygslängd mindre än 120 m beräknas enligt:

$$F = \left(109,5 - \frac{L}{3}\right) \frac{L}{1000} \quad (5)$$

Blockkoefficienten, C_B , är ett mått på hur väl skrovformen liknar en rektangel. Det skuggade området i figur 5.1 visar det undanträngda vattnets volym. Blockkoefficienten beräknas som kvoten mellan det undanträngda vattnets volym och den rektangulära volymen, det vill säga volymen beräknad av längden, bredden och djupgåendet [3].



Figur 5.1 Blockkoefficienten

Reduktionskoefficienten, r_1 , vid aktuellt fall är:

$$r_1 = 0,92 \quad (6)$$

Fartygets minsta böjmotstånd, W_m , beräknas enligt:

$$W_m = FL^2B(C_B + 0,7) \cdot 10^{-6} \quad (7)$$

Det horisontella böjmomentet applicerat på halva skrovet beräknas både vid hopprens mitt, M_H , och som inspänningsmomentet vid hopprens ändrar, M'_H enligt:

$$M_H = r_d M_{HH} + M_{DCH} \quad (8)$$

$$M'_H = r_d M'_{HH} + M'_{DCH} \quad (9)$$

Det horisontella vågböjningsmomentet vid hopprens mitt, M_{HH} , och hopprens ändrar, M'_{HH} , beräknas enligt:

$$M_{HH} = M_{HV} \frac{T_D}{B} \left(\alpha_1 + \frac{\alpha_2 F'}{T_D} \right) \quad (10)$$

$$M'_{HH} = -M_{HV} \frac{T_D}{B} \left(\alpha_3 + \frac{\alpha_4 F'}{T_D} \right) \quad (11)$$

Det horisontella stillvattenmomentet vid hopprens mitt, M_{DCH} , och hopprens ändrar, M'_{DCH} , beräknas enligt:

$$M_{DCH} = -\alpha_6 p l_p^2 \quad (12)$$

$$M'_{DCH} = \alpha_6 p l_p^2 \quad (13)$$

Vid konstruktion enligt *simply supported ends* är det horisontella böjmomentet vid hopprens ändrar noll. [3].

F' är en konstant som beräknas enligt:

$$F' = 0,128r_d F(C_B + 0,7) \quad (14)$$

Konstanterna α_1 , α_2 , α_3 och α_4 fås ur tabell 5.1 med kvoten l_d/L och interpolering.

Tabell 5.1 Kvoten l_d/L samt konstanterna α_1 , α_2 , α_3 och α_4 [7]

l_d/L	α_1	α_2	α_3	α_4
0,50	0,182	0,134	0,318	0,134
0,55	0,214	0,158	0,364	0,151
0,60	0,248	0,184	0,407	0,168
0,65	0,282	0,211	0,445	0,186

Konstanten α_6 fås ur tabell 5.2 med kvoten c_1/l_p och interpolering.

Tabell 5.2 Kvoten c_1/l_p samt konstanten α_6 [7]

c_1/l_p	α_6
0,045	0,0980
0,050	0,0996
0,055	0,1013

Lasten per meter betecknas p och ges av formeln:

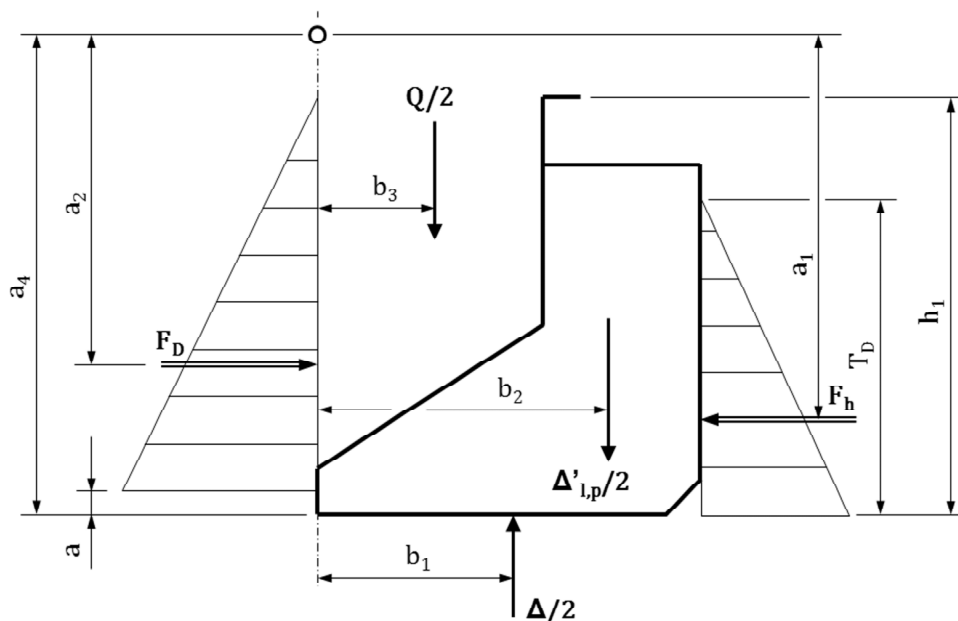
$$p = 4,904\rho(h_1 - a)^2 - 5,026(T_D - a)^2 \quad (15)$$

Där $4,904 = \frac{g}{2}$ och $5,026 = \frac{g \cdot \rho_{\text{saltvatten}}}{2}$ enligt [3].

Ekvation (1)-(15) erhålls ur [7].

5.2 Utböjningen av skrovet

Den maximala utböjningen, i Y-led, av skrovhalvorna uppstår på grund av lasten, vattentrycket, skrovets egenvikt samt det vertikala vågmomentet. Vid konstruktion enligt *partly fixed ends* motverkar inspänningsmomentet vid hopprens ändrar, M'_H , skrovets utböjning. Utböjningen på grund av respektive belastning beräknas med elementarfall och summeras till den totala utböjningen d . Figur 5.2 visar krafter och hävarmar verkandes på en skrovhalva.



Figur 5.2 En skrovhalva med krafter och hävarmar

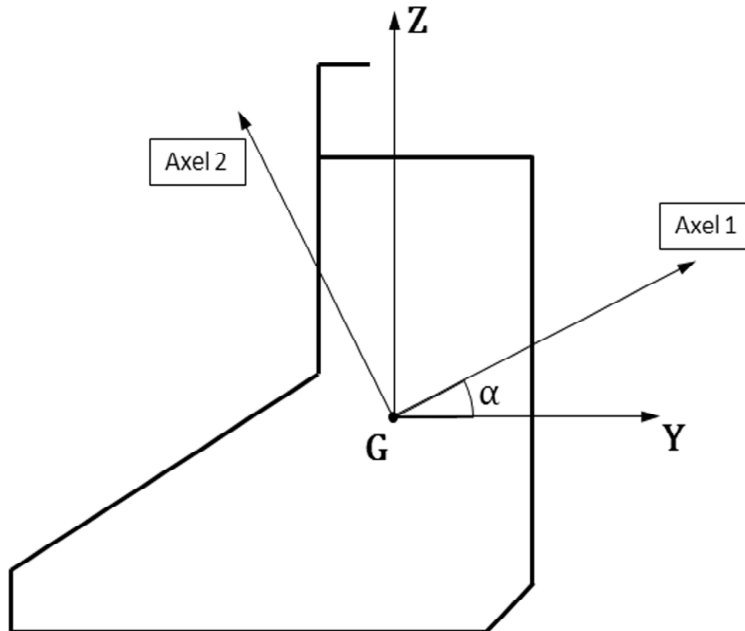
Beteckningar definierade i figur 5.2 finns förklarade i tabell 5.3.

Tabell 5.3 Förklaringar till beteckningar i figur 5.2

Beteckning	Förklaring	Enhet
T_D	Fartygets djupgående	m
h_1	Höjden av lasten räknat från baslinjen	m
a	Längden från baslinjen till packningen	m
F_h	Resultierande kraften av det horisontella hydrostattrycket*	kN/m
F_D	Resultierande kraften av det horisontella trycket pga. lasten	kN/m
$\Delta/2$	Vattnets vertikala lyftkraft för en skrovhalva	kN/m
$\Delta'_{l,p}/2$	Halva hopperskrovets tyngdkraft	kN/m
a_1	Vertikal hävarm från F_h till gångjärnet	m
a_2	Vertikal hävarm från F_D till gångjärnet	m
a_4	Avståndet från baslinjen till gångjärnet	m
b_1	Horisontell hävarm från $\Delta/2$ till gångjärnet	m
b_2	Horisontell hävarm från $\Delta'_{l,p}/2$ till gångjärnet	m
b_3	Horisontell hävarm från $Q/2$ till gångjärnet	m

* F_h tar dessutom hänsyn till det hydrostatiska trycket mellan skrovhalvorna upp till packningen.

Ur beräkningsprogrammet Mars 2000 kan koordinaterna för en skrovhalvas tyngdpunkt, G, utläsas som CGY (*center of gravity* i y-led) och CGZ (*center of gravity* i z-led) från koordinatsystemet xyz definierat i figur 3.1. Även huvudspänningsaxlarna, Axel 1 och 2s, vinkel α relativt YZ presenteras i Mars 2000. Figur 5.3 visar en skrovhalvas tvärsnitt med huvudspänningsaxlar och tyngdpunkt.



Figur 5.3 Halva hopperskrovets tvärsnitt med huvudspänningsaxlar

Beteckningar definierade i figur 5.3 finns förklarade i tabell 5.4.

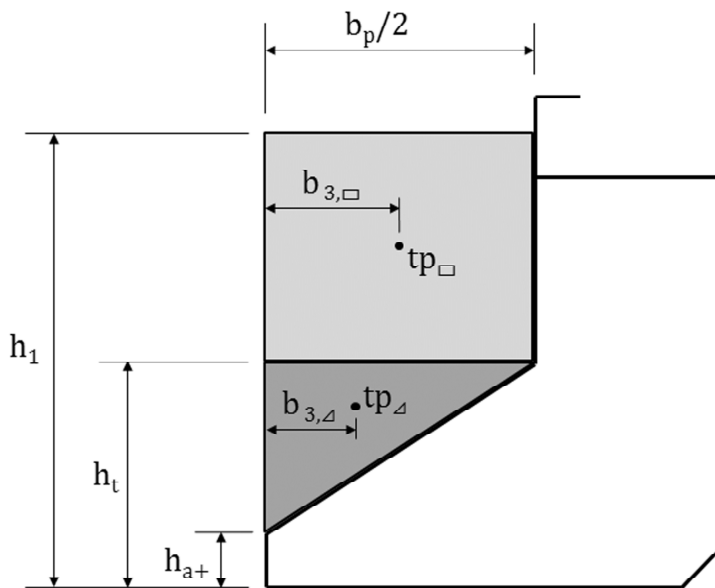
Tabell 5.4 Förklaringar till beteckningar i figur 5.3

Beteckning	Förklaring	Enhet
G	Skrovhalvans tyngdpunkt	
Y, Z	Koordinatsystem med origo i skrovhalvans tyngdpunkt	
α	Vinkelvridningen av huvudspänningsaxlarna	grader
Axel 1,2	Huvudspänningsaxlar	

Lastens höjd i hopporn, h_1 , enligt figur 5.2, tas fram vid två fall; vid maximal lastvolym, V_{\max} , med lastdensitet given av fartygsbeställaren samt vid lastvolym, $V_{\rho=2}$, med lastdensiteten 2 ton/m³. I det första fallet kan den maximala höjden av lasten utläsas från ritningen midskeppstvärsnitt. I det andra fallet beräknas lastens höjd, $h_{1,\rho=2}$, enligt:

$$h_{1,\rho=2} = h_1 - \frac{V_{\max} - V_{\rho=2}}{l_p b_p} \quad (16)$$

b_3 är lastens hävarm till gångjärnet. För att beräkna den delas skrovhalvans last upp i två kända geometrier, en rektangel och en triangel, enligt figur 5.4.



Figur 5.4 En skrovhalva med tillhörande last, uppdelad i en rektangel och en triangel

Beteckningar definierade i figur 5.4 förklaras i tabell 5.5.

Tabell 5.5 Förklaringar till beteckningar i figur 5.4

Beteckning	Förklaring	Enhet
h_1	Höjden av lasten räknat från baslinjen	m
h_t	Höjden från baslinjen till den vertikala hopperväggen	m
h_{a+}	Höjden från baslinjen till hopperbotten	m
$b_p/2$	Halva hopperbredden	m
$b_{3,\square}$	Hävarm till rektangelareans tyngdpunkt	m
$b_{3,\Delta}$	Hävarm till triangelareans tyngdpunkt	m
tp_{\square}	Rektangelareans tyngdpunkt	
tp_{Δ}	Triangelareans tyngdpunkt	

Arean för respektive del beräknas med mått från ritningen midskeppstvärnsnitt. Hävarmen för respektive del ges av avståndet till den geometriska tyngdpunkten. Hävarmen för hela skrovhalvans lasts tyngdpunkt kan då beräknas enligt:

$$b_3 = \frac{A_{\square} b_{3,\square} + A_{\Delta} b_{3,\Delta}}{b_{3,\square} + b_{3,\Delta}} \quad (17)$$

Vattentrycket, lasten och skrovets egenvikt ger upphov till krafterna som påverkar skrovets utböjning. Krafterna räknas per meter av hopperlängden.

Den vertikala kraften på grund av lastens tryck mot en skrov halva beräknas enligt:

$$\frac{Q}{2} = \frac{V\rho g}{2l_p} \quad (18)$$

Vattnets vertikala lyftkraft för halva skrovet beräknas enligt:

$$\frac{\Delta}{2} = 1,025T_D g \frac{B}{2} \quad (19)$$

Den horisontella kraften på grund av lastens tryck mot skrovet beräknas enligt:

$$F_D = \frac{(h_1-a)^2}{2} \rho g \quad (20)$$

Den horisontella kraften på grund av det hydrostatiska trycket på skrovet beräknas enligt:

$$F_h = \frac{(T_D-a)^2}{2} 1,025g \quad (21)$$

Skrovets egenvikt i hopperdelen, $\Delta'_{l,p}$, beräknas genom att summera ihop vikten av skrovplåtarna, de längsgående förstärkningarna samt vebbspanten.

Krafterna verkandes på en skrov halva summeras till vertikala och horisontella komponenter, V och H. Krafterna i huvudspänningsaxlarnas riktningar beräknas som resultanterna av V och H vid vinkeln α .

V_1 och V_2 är resultanterna av de vertikala krafterna som verkar i Axel 1 respektive 2-riktning och beräknas enligt:

$$\nearrow: V_1 = \frac{1}{2}(\Delta - Q - \Delta'_{l,p}) \sin \alpha \quad (22)$$

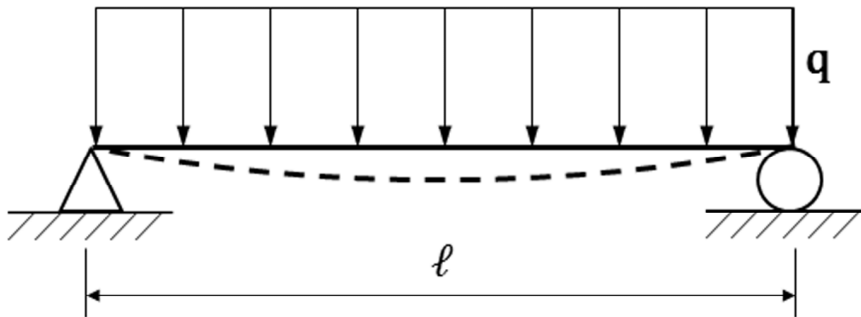
$$\searrow: V_2 = \frac{1}{2}(\Delta - Q - \Delta'_{l,p}) \cos \alpha \quad (23)$$

H_1 och H_2 är resultanterna av de horisontella krafterna som verkar i Axel 1 respektive 2-riktning och beräknas enligt:

$$\nearrow: H_1 = (F_D - F_h) \cos \alpha \quad (24)$$

$$\searrow: H_2 = -(F_D - F_h) \sin \alpha \quad (25)$$

Den maximala utböjningen på grund av krafterna beräknas med elementarfall 1 som en fritt upplagd balk med en utbredd last över hela balken, se figur 5.5.



Figur 5.5 Elementarfall 1: Fritt upplagd balk med utbredd last

[8] ger den maximala utböjningen vid $l/2$ enligt:

$$y_{max} = \frac{5q\ell^4}{384EI} \quad (26)$$

Med beteckningar enligt tidigare definiering fås utböjningarna i Axel 1 och 2-riktning, d_1 och d_2 , på grund av krafterna enligt:

$$d_1 = \frac{5(V_1+H_1)\left(\frac{l_p+l_d}{2}\right)^4}{384EI_1} \quad (27)$$

$$d_2 = \frac{5(V_2+H_2)\left(\frac{l_p+l_d}{2}\right)^4}{384EI_2} \quad (28)$$

Det vertikala vågböjningsmomentet, M_{wv} , påverkar utböjningen av skrovet. Vid *simply supported ends* används vågböjningsmomentet som beräknas i Mars 2000. Vid *partly fixed ends* beräknas vågböjningsmomentet enligt:

$$M_{wv} = r_d M_{HV} \quad (29)$$

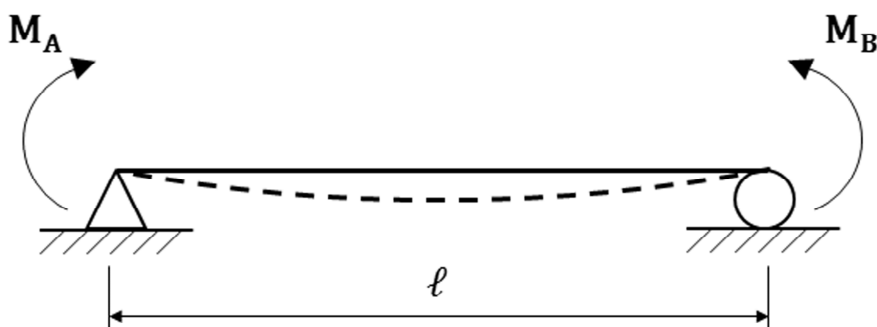
Där M_{HV} fås ur ekvation (3) i momentberäkning.

M_{w1} och M_{w2} är vågböjningsmomenten runt Axel 1 och 2 och beräknas enligt:

$$M_{w1} = M_{wv} \cos \alpha \quad (30)$$

$$M_{w2} = M_{wv} \sin \alpha \quad (31)$$

Beräkning av maximal utböjning på grund av vågböjningsmoment förenklas enligt [11] med elementarfall 2, som en fritt upplagd balk med moment verkandes vid stöden, se figur 5.6.



Figur 5.6 Elementarfall 2: Fritt upplagd balk med moment vid stöden

[9] ger formeln för den maximala utböjningen, $w(\ell/2)$ enligt:

$$w(\ell/2) = \frac{\ell^2}{6EI} \left\{ \frac{3}{8} (M_A + M_B) \right\} \quad (32)$$

Med beteckningar enligt tidigare definiering fås utböjningarna, d_{w1} och d_{w2} , på grund av det vertikala vågmomentet i Axel 1 respektive 2-riktning enligt:

$$d_{w1} = \frac{l_d^2}{8EI_1} M_{w2} \quad (33)$$

$$d_{w2} = \frac{l_d^2}{8EI_2} M_{w1} \quad (34)$$

Vid konstruktion enligt *partly fixed ends* motverkar det horisontella inspänningsmomentet, M'_H , den utböjande kraften i hoppert och ger en negativ utböjning. Det horisontella inspänningsmomentet beräknas enligt ekvation (9). Vid konstruktion enligt *simply supported ends* påverkas inte utböjningen av inspänningsmomentet då detta är noll.

M'_{H1} och M'_{H2} är de horisontella momenten runt Axel 1 och 2 och beräknas enligt:

$$M'_{H1} = M'_H \sin \alpha \quad (35)$$

$$M'_{H2} = -M'_H \cos \alpha \quad (36)$$

Den negativa utböjningen i Axel 1 och 2-riktning, d_{M1} och d_{M2} , på grund av inspänningsmomentet beräknas enligt elementarfall 2, se figur 5.6 och ekvation (32) Med beteckningar enligt tidigare definiering fås:

$$d_{M1} = \frac{l_d^2}{8EI_1} M'_{H2} \quad (37)$$

$$d_{M2} = \frac{l_d^2}{8EI_2} M'_{H1} \quad (38)$$

Förutom den direkta påverkan krafterna har på skrovets utböjning ger de även upphov till ett vridande moment i x-riktning runt skrovhalvans tyngdpunkt. De vridande momenten räknas per meter av hopperlängden enligt:

$$T_Q = \frac{Q}{2}(CGY - b_3) \quad (39)$$

$$T_\Delta = \frac{\Delta}{2}(b_1 - CGY) \quad (40)$$

$$T_{FD} = F_D(CGZ - (a_4 - a_2)) \quad (41)$$

Där $a_4 - a_2$ är avståndet till F_D från baslinjen och beräknas enligt:

$$a_4 - a_2 = \frac{T_D - a}{3} + a \quad (42)$$

$$T_{Fh} = F_h((a_4 - a_1) - CGZ) \quad (43)$$

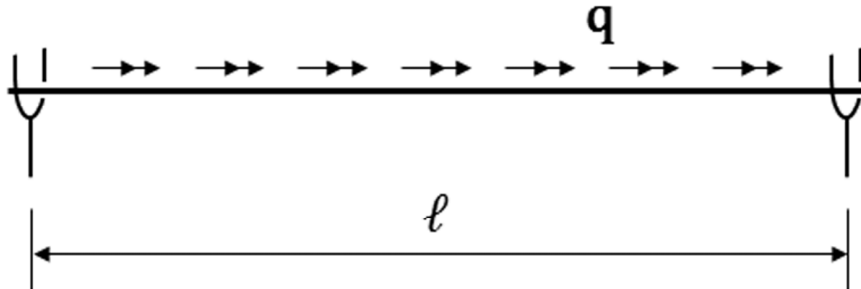
Där $a_4 - a_1$ är avståndet till F_h från baslinjen och beräknas enligt:

$$a_4 - a_1 = \frac{h_1 - a}{3} + a \quad (44)$$

Det totala vridande momentet runt tyngdpunkten, T , på grund av krafterna som verkar på skrovet beräknas genom att summera de vridande momenten:

$$T = T_Q + T_\Delta + T_{Fh} + T_{FD} \quad (45)$$

Vridvinkeln, θ , i hopperskrovet förenklas enligt [11] till elementarfall 3; en gaffellagrad balk med ett utbrett moment över hela balken, se figur 5.7.



Figur 5.7 Elementarfall 3: Gaffellagrad balk med utbrett moment

[10] ger formeln för den maximala vridvinkeln, φ , som uppstår vid $l/2$ enligt:

$$\varphi = \frac{q l^2}{8K_v G} \quad (46)$$

Med beteckningar enligt tidigare definiering fås:

$$\theta = \frac{T \left(\frac{l_p + l_d}{2} \right)^2}{8K_v G} \quad (47)$$

Där G är materialets skjuvmodul och K_v är vridstyvhetens tvärsnittsfaktor för ett godtyckligt tunnvägigt rör och beräknas enligt [9] enligt:

$$K_v = \frac{4A^2}{\oint_{st(s)} ds} \quad (48)$$

Utböjningarna i huvudaxelriktningarna transformeras till en utböjning i Y-led.

d_y är utböjningen på grund av de krafter som påverkar skrovet och beräknas enligt:

$$d_y = d_1 \cos \alpha - d_2 \sin \alpha \quad (49)$$

d_{yw} är utböjningen på grund av det vertikala vågmomentet och beräknas enligt:

$$d_{yw} = d_{w1} \cos \alpha - d_{w2} \sin \alpha \quad (50)$$

d_M är den negativa utböjningen på grund av inspänningsmomentet som påverkar skrovet vid konstruktionen *partly fixed ends* och beräknas enligt:

$$d_M = d_{M1} \cos \alpha - d_{M2} \sin \alpha \quad (51)$$

d_{yt} är utböjningen på grund av de vridande momenten med avseende på tyngdpunkten och beräknas enligt:

$$d_{yt} = \theta \cdot CGZ \quad (52)$$

Den totala utböjningen av skrovhalvan beräknas genom summering av resultaten av ekvationerna (49-52).

Skrovhalvans utböjning, d_{pf} , vid konstruktion enligt *partly fixed ends* beräknas då enligt:

$$d_{pf} = d_y + d_{yw} + d_M + d_{yt} \quad (53)$$

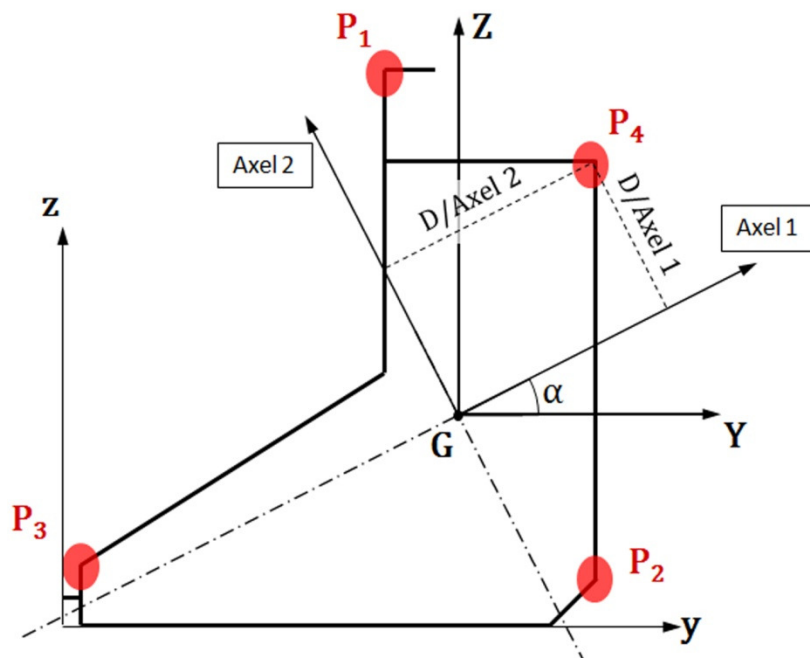
Vid konstruktion enligt *simply supported ends* är utböjningen på grund av inspänningsmomentet noll. Skrovhalvans totala utböjning, d_{ss} , i Y-led blir därför:

$$d_{ss} = d_y + d_{yw} + d_{yt} \quad (54)$$

5.3 Spänningar i hopperskrovet

Spänningarna i skrovet uppkommer på grund av det horisontella och vertikala momentet som verkar i hopperskrovets mitt. Skrovets tjocklek optimeras med avseende på den maximalt tillåtna spänningen i skrovmaterialiet.

Figur 5.8 visar en skrovhalvas tvärsnitt med exempel på var spänningarna kan bli som störst.



Figur 5.8 En skrovhalva med huvudspänningsaxlar samt punkter med höga spänningar

Beteckningar definierade i figur 5.8 förklaras i tabell 5.6.

Tabell 5.6 Förklaringar till beteckningar i figur 5.8

Beteckning	Förklaring	Enhet
G	Skrovhalvas tyngdpunkt	
y, z	Koordinatsystem definierat i figur 3.1	
Y, Z	Koordinatsystem med origo i skrovhalvas tyngdpunkt	
α	Vinkelvridningen av huvudspänningsaxlarna	grader
Axel 1,2	Huvudspänningsaxlar	
$P_{1,2,3,4}$	Spänningspunkter med koordinater enligt yz-systemet	m
D/Axel 1	Vinkelrätt avstånd från referenspunkt till Axel 1	m
D/Axel 2	Vinkelrätt avstånd från referenspunkt till Axel 2	m

Det horisontella momentet, M_H , och det vertikala momentet, M_V , vrids för att verka i huvudspänningsriktningarna enligt [7]:

$$M_1 = M_V \cos \alpha + M_H \sin \alpha \quad (55)$$

$$M_2 = -M_V \sin \alpha + M_H \cos \alpha \quad (56)$$

Där momenten vid konstruktion enligt *simply supported ends* kan utläsas ur rapporten från Mars 2000 medan vid konstruktion enligt *partly fixed ends* beräknas enligt ekvation (1) och (8).

I beräkningsprogrammet Mars 2000 ritas en skrovhalva av hopperskrovets tvärsnitt upp. Dimensionerna på skrovets plåtar och de längsgående förstärkningarna anges. Programmet presenterar en rapport med beräkningar utförda enligt [3].

Skrovet dimensioneras så att spänningarna ligger precis under maximalt tillåtna spänningar för materialet samt att tjockleken i skrovet inte understiger minsta tillåtna tjocklek. Ur rapporten från Mars 2000 kan koordinater för de fyra referenspunkter, enligt yz-systemet, där spänningarna i tvärsnittet är som högst utläsas, enligt figur 5.8.

Spänningen, σ , i respektive referenspunkt beräknas enligt [3]:

$$\sigma = \left(\frac{M_1}{W_1} - \frac{M_2}{W_2} \right) 10^{-3} \quad (57)$$

Där 10^{-3} ger svaret i MPa.

Böjmotståndet, W , i respektive referenspunkt, relativt Axel 1 och 2, beräknas enligt:

$$W/Axel\ 1 = \frac{I_1}{D/Axel\ 1} \quad (58)$$

$$W/Axel\ 2 = \frac{I_2}{D/Axel\ 2} \quad (59)$$

Yttröghetsmomenten I_1 och I_2 kan utläsas ur rapporten från Mars 2000. $D/Axel\ 1$ och $D/Axel\ 2$ är avstånden mellan respektive referenspunkt och Axel 1 och 2 enligt figur 5.8 och beräknas enligt:

$$D/Axel\ 1 = \sqrt{\left(\frac{z + \frac{y}{\tan \alpha} - CGZ + CGY \tan \alpha}{\tan \alpha + \frac{1}{\tan \alpha}} - y \right)^2 + \left(\frac{z + \frac{y}{\tan \alpha} - CGZ + CGY \tan \alpha}{\tan \alpha + \frac{1}{\tan \alpha}} \cdot \frac{-1}{\tan \alpha} + \frac{y}{\tan \alpha} \right)^2} \quad (60)$$

$$D/Axel\ 2 = \sqrt{\left(\frac{z - y \tan \alpha - CGZ - \frac{CGY}{\tan \alpha}}{\frac{-1}{\tan \alpha} - \tan \alpha} - y \right)^2 + \left(\frac{z - y \tan \alpha - CGZ - \frac{CGY}{\tan \alpha}}{\frac{-1}{\tan \alpha} - \tan \alpha} \cdot \tan \alpha - y \tan \alpha \right)^2} \quad (61)$$

Formlerna för $D/Axel\ 1$ och $D/Axel\ 2$ tar inte hänsyn till om referenspunktens läge är positivt eller negativt. Referenspunktens position relativt huvudspänningsaxlarna, enligt figur 5.8, avgör om den har ett negativt eller positivt värde.

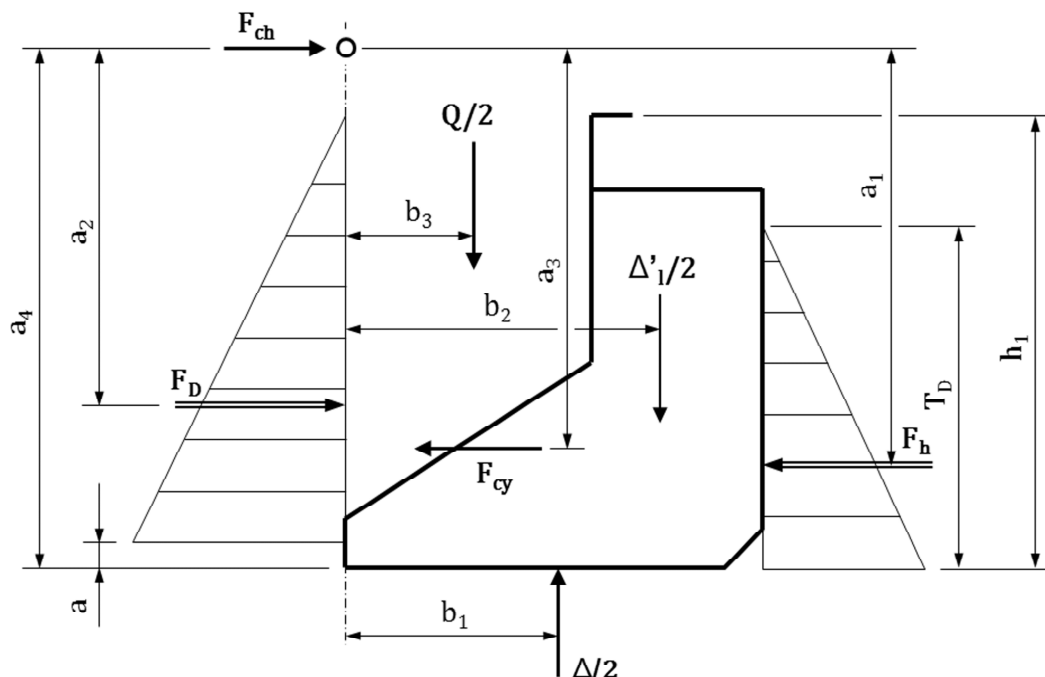
Den maximalt tillåtna spänningen, σ , i midskeppsskrovet beräknas enligt [3]:

$$\sigma = \frac{175}{k} \quad (62)$$

Där k är en materialparameter.

5.4 Krafter i cylindrar och gångjärn

Den statiska lasten i hoppet påverkar cylinderkraften, F_{cy} , som ger upphov till ett moment runt gångjärnen. Momentet verkar för att vrida isär de två skrovhalvorna. Figur 5.9 visar krafter och hävarmar för en skrovhalva.



Figur 5.9 En skrovhalva med krafter och dess hävarmar

Beteckningar definierade i figur 5.9 förklaras i tabell 5.7.

Tabell 5.7 Förklaringar till beteckningar i figur 5.9

Beteckning	Förklaring	Enhet
T_D	Fartygets djupgående	m
h_1	Höjden av lasten räknat från baslinjen	m
a	Längden från baslinjen till packningen	m
F_h	Resultande kraften av det horisontella hydrostattrycket*	kN
F_D	Resultande kraften av det horisontella trycket pga. lasten	kN
F_{ch}	Kraften i ett gångjärn	kN
F_{cy}	Kraften i en cylinder	kN
$\Delta/2$	Vattnets vertikala lyftkraft för en skrovhalva	kN
$Q/2$	Halva lastens tyngdkraft	kN
$\Delta'/2$	Tyngdkraften på grund av skrovhalvans egenvikt	kN
a_1	Vertikal hävarm från F_h till gångjärnet	m
a_2	Vertikal hävarm från F_D till gångjärnet	m
a_3	Vertikal hävarm från F_{cy} till gångjärnet	m
a_4	Avståndet från baslinjen till gångjärnet	m
b_1	Horisontell hävarm från $\Delta/2$ till gångjärnet	m
b_2	Horisontell hävarm från $\Delta'/2$ till gångjärnet	m
b_3	Horisontell hävarm från $Q/2$ till gångjärnet	m

* F_h tar dessutom hänsyn till det hydrostatiska trycket mellan skrovhalvorna upp till packningen.

Den vertikala kraften på grund av lastens tryck mot skrovhalvan, $Q/2$, beräknas enligt:

$$\frac{Q}{2} = \frac{V\rho g}{2} \quad (63)$$

Vattnets vertikala lyftkraft för en skrovhalva, $\Delta/2$, beräknas enligt:

$$\frac{\Delta}{2} = \frac{1,025T_D B l_p g}{2} \quad (64)$$

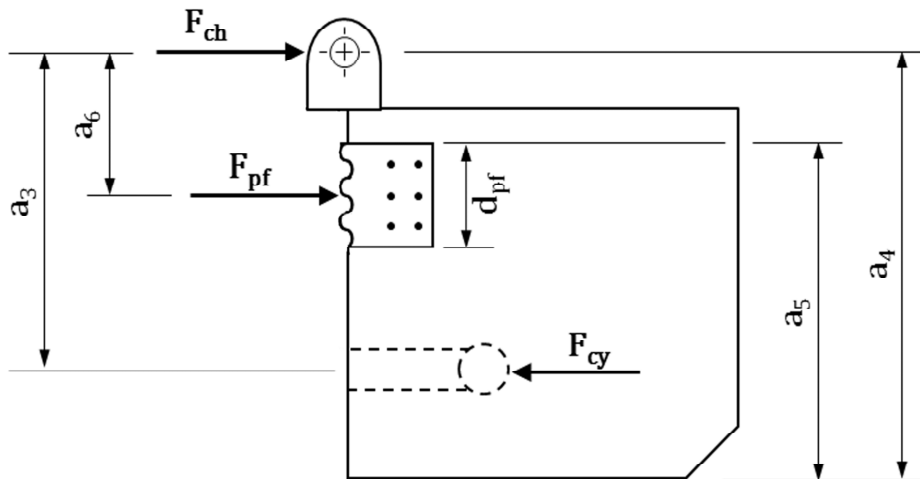
Den horisontella kraften på grund av lastens tryck mot skrovet, F_D , beräknas enligt:

$$F_D = \frac{(h_1 - a)^2}{2} \rho g l_p \quad (65)$$

Vattnets horisontella kraft verkandes på skrovet, F_h , beräknas enligt:

$$F_h = \frac{(T_D - a)^2}{2} 1,025 g l_p \quad (66)$$

Vid konstruktion enligt *partly fixed ends* uppkommer kraften F_{pf} i de låsande plåtarna, på grund av inspänningsmomentet, M'_H . Kraften i de låsande plåtarna verkar i horisontell riktning enligt figur 5.10.



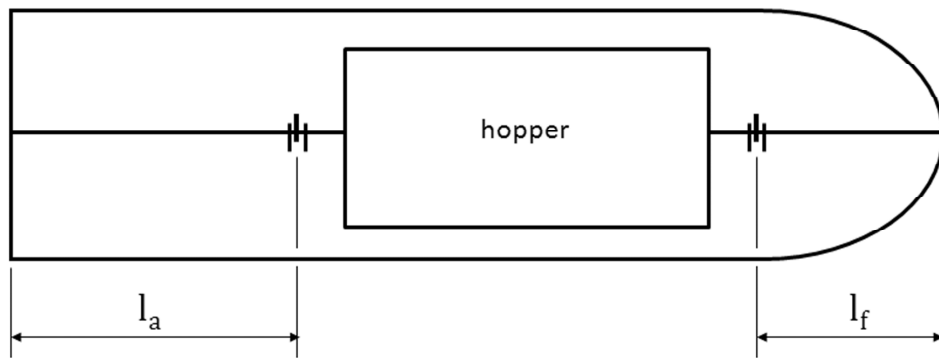
Figur 5.10 Kraft i låsningsplåten vid konstruktion enligt *partly fixed ends*

Beteckningar definierade i figur 5.10 förklaras i tabell 5.8.

Tabell 5.8 Förklaringar till beteckningar i figur 5.10

Beteckning	Förklaring	Enhet
F_{ch}	Kraften i ett gångjärn	kN
F_{cy}	Kraften i en cylinder	kN
F_{pf}	Kraften som verkar på den låsande plåten	kN
a_3	Vertikal hävarm från F_{cy} till gångjärnet	m
a_4	Avståndet från baslinjen till gångjärnet	m
a_5	Höjden från baslinjen till låsningsplåtens överkant	m
a_6	Vertikal hävarm från F_{pf} till gångjärnet	m
d_{pf}	Bredden av den låsande plåten	m

Kraften i de låsande plåtarna beror på avstånden mellan gångjärn och plåt, vilka definieras i figur 5.11.



Figur 5.11 Avstånd mellan låsningsplåtar och gångjärn

Beteckningar definierade i figur 5.11 förklaras i tabell 5.9.

Tabell 5.9 Förklaringar till beteckningar i figur 5.11

Beteckning	Förklaring	Enhet
l_a	Avståndet från aktern till bakre gångjärnet	m
l_f	Avståndet från fören till främre gångjärnet	m

Eftersom avstånden kan vara olika i för och akter beräknas kraften i den plåt som har kortast avstånd till gångjärnet enligt:

$$F_{pf} = \frac{M'_H}{l_{min}} \quad (67)$$

Där M'_H beräknas enligt ekvation (9) och l_{min} är det kortaste avståndet av l_a och l_f .

Det resulterande momentet, M , runt gångjärnen beräknas genom momentjämvikt av krafterna, F_h , F_D , $\Delta/2$, $\Delta'/2$ och $Q/2$ med respektive hävarm enligt:

$$M = -F_h a_1 + F_D a_2 + \frac{\Delta}{2} b_1 - \frac{\Delta'}{2} b_2 - \frac{Q}{2} b_3 \quad (68)$$

Den minsta cylinderkraften vid konstruktion enligt *simply supported ends*, $F_{mc,ss}$, som krävs för att hålla ihop de två skrovhalvorna beräknas enligt [7]:

$$F_{mc,ss} = \frac{M}{n_1 a_3} \quad (69)$$

Där n_1 är antalet hydrauliska cylindrar.

Vid konstruktion enligt *partly fixed ends* ger kraften i låsningsplåtarna ett tillskott till cylinderkraften som då beräknas enligt:

$$F_{mc,pf} = \frac{M}{n_1 a_3} + \frac{F_{pf} a_6}{a_3} \quad (70)$$

Jämvikt av de krafter som verkar på en skrovhalvas tvärsnitt enligt figur 5.9, ger den resulterande kraften, vid konstruktion enligt *simply supported ends*, i respektive gångjärn, $F_{ch,ss}$, enligt [7]:

$$F_{ch,ss} = \frac{1}{2} \left[F_h - F_D + n_1 \left(1 - \frac{a_3}{a_4} \right) F_{mc} + \frac{M}{a_4} \right] \quad (71)$$

Vid konstruktion enligt *partly fixed ends* ger kraften i låsningsplåtarna ett tillskott till gångjärnskraften som då beräknas enligt:

$$F_{ch,pf} = \frac{1}{2} \left[F_h - F_D + n_1 \left(1 - \frac{a_3}{a_4} \right) F_{mc} + \frac{M}{a_4} \right] + \frac{F_{pf}(a_3 - a_6)}{a_3} \quad (72)$$

Enligt [3] får cylinderkraften och gångjärnskraften ett dynamiskt tillägg på grund fartygets rörelse i vattnet.

Vid konstruktion enligt *simply supported ends* ökas cylinderkraften med 67 % enligt [11]. Vilket ger att den dynamiska cylinderkraften beräknas enligt:

$$F_{mc,ss,dyn} = F_{mc,ss} \cdot 1,67 \quad (73)$$

Då inget känt värde på det dynamiska tillägget till cylinderkraften vid konstruktion enligt *partly fixed ends* finns tillgängligt beräknas den enligt:

$$F_{mc,pf,dyn} = F_{mc,ss} \cdot 1,67 + \frac{F_{pf}a_6}{a_3} \quad (74)$$

Vid konstruktion enligt *simply supported ends* ökas gångjärnskraften med 130 % enligt [11]. Vilket ger att den dynamiska gångjärnskraften beräknas enligt:

$$F_{ch,ss,dyn} = F_{ch,ss} \cdot 2,30 \quad (75)$$

Då inget känt värde på det dynamiska tillägget till gångjärnskraften vid konstruktion enligt *partly fixed ends* finns tillgängligt beräknas den enligt:

$$F_{ch,pf,dyn} = F_{ch,ss} \cdot 2,30 + \frac{F_{pf}(a_3 - a_6)}{a_3} \quad (76)$$

Då det finns risk för statisk jämvikt i beräkningen av gångjärnskraften sätts erfarenhetsmässigt en minsta gångjärnskraft som är 30 % av den dynamiska cylinderkraften [11].

6 Resultat

Tre *split hopper barges* med olika lastvolym har undersökts vid konstruktion enligt *simply supported ends* och *partly fixed ends*. Vid konstruktion enligt *partly fixed ends* förhindrar låsningsplåtar skrovhalvornas ändrar att röra sig i förhållande till varandra. Nedan följer resultat av beräkningarna för respektive fartyg och konstruktion.

6.1 Momentresultat

De vertikala och horisontella momenten vid konstruktion enligt *partly fixed ends* beräknas i bilaga 3. Resultaten av momentberäkningarna för respektive fartyg presenteras i tabell 6.1.

Tabell 6.1 Moment vid konstruktion enligt *partly fixed ends*

	Vertikalt böjmoment midskepps	Horisontellt böjmoment midskepps	Horisontellt böjmoment hopperände
Hoppervolym	M_V [kNm]	M_H [kNm]	M'_H [kNm]
700 m ³	-19 309	-11 559	11 095
2800 m ³	-127 086	-56 686	53 757
4500 m ³	-141 173	-92 810	88 133

Momenten vid konstruktion enligt *simply supported ends* beräknas av Mars 2000 och presenteras i tabell 6.2.

Tabell 6.2 Moment vid konstruktion enligt *simply supported ends*

	Vertikalt böjmoment midskepps	Horisontellt böjmoment midskepps	Horisontellt böjmoment hopperände
Hoppervolym	M_V [kNm]	M_H [kNm]	M'_H [kNm]
700 m ³	-22 855	-24 286	0
2800 m ³	-155 521	-128 296	0
4500 m ³	-173 943	-206 692	0

6.2 Utböjningsresultat

Utböjningen i respektive skrovhalva beräknas i bilaga 4. Tabell 6.3 visar den maximala utböjningen vid konstruktion enligt *partly fixed ends* respektive *simply supported ends*.

Tabell 6.3 Maximal utböjning vid konstruktion enligt *partly fixed ends* respektive *simply supported ends*

	<i>Partly fixed ends</i>	<i>Simply supported ends</i>	Skillnad
Hoppervolym	d_{pf} [mm]	d_{ss} [mm]	[mm]
700 m ³	7,7	15,6	7,9
2800 m ³	31,4	46,6	15,2
4500 m ³	33,2	59,7	26,5

Höjden av lasten, h_1 , lastens hävarm, b_3 , och hopperskrovets tyngdkraft, $\Delta'_{l,p}$, beräknas i bilaga 5 och vridstyvhetsfaktorn, K_v , beräknas i bilaga 6.

6.3 Spänningar i hopperskrovet

Både vid konstruktion enligt *simply supported ends* och vid *partly fixed ends* dimensioneras tjockleken i skrovet så att de högsta spänningarna precis understiger maximalt tillåtna spänning för materialet. De högsta spänningarna i hopperskrovet för respektive fartyg och konstruktion beräknas och presenteras i bilaga 7.

6.4 Reducering av stål i hopperskrovet

Mars 2000 beräknar den geometriska arean av stålet i tvärsnittet för hela hopperskrovet. Tabell 6.4 presenterar stålarean för respektive fartyg och konstruktion samt minskningen av stålarean vid konstruktion enligt *partly fixed ends*.

Tabell 6.4 Stålarea i hopperskrovets tvärsnitt

	<i>Partly fixed ends</i>	<i>Simply supported ends</i>	Skillnad
Hoppervolym	Stålarea [m ²]	Stålarea [m ²]	Stålarea [m ²]
700 m ³	0,5468	0,5875	0,0407
2800 m ³	1,1778	1,3362	0,1584
4500 m ³	1,3001	1,5350	0,2349

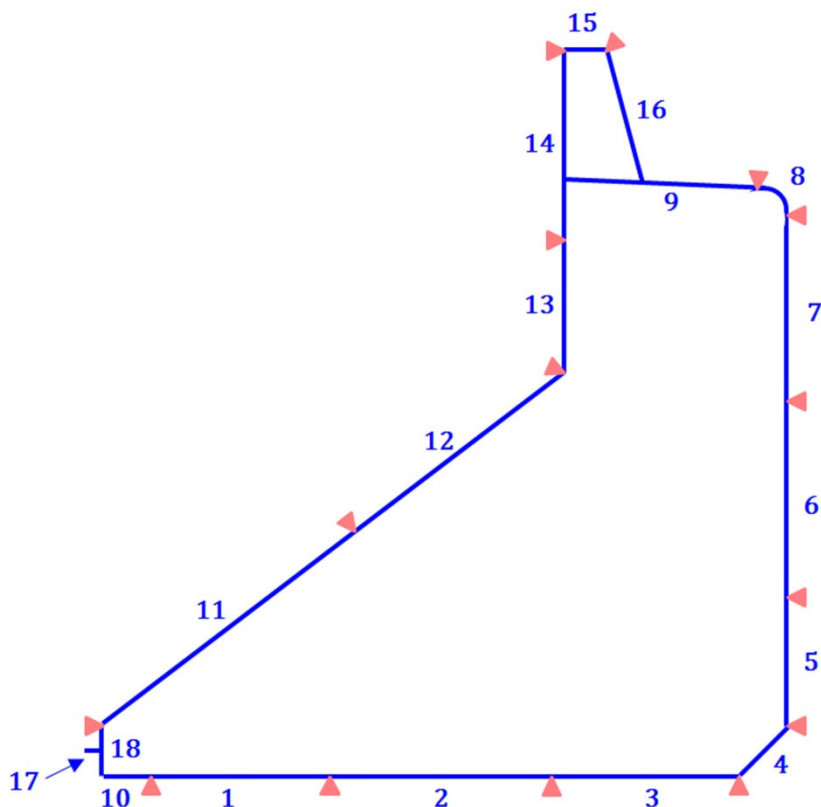
I tabell 6.5 presenteras vikten, utan webbspant, av hopperskrovet vid respektive konstruktion samt skillnaden.

Tabell 6.5 Hopperskrovets stålvikt

	<i>Partly fixed ends</i>	<i>Simply supported ends</i>	Skillnad
Hoppervolym	Vikt [ton]	Vikt [ton]	Vikt [ton]
700 m ³	108	116	8
2800 m ³	414	470	56
4500 m ³	536	633	97

6.4.1 Skrovplåtens tjocklek

Skrovplåtarnas tjocklek i hopperskrovet har dimensionerats för att ta upp de spänningar som uppkommer då fartyget påverkas av de vertikala och horisontella momenten. Figur 6.1 visar de numrerade plåtarna i hopperskrovet i tvärsnitt för fartyget med hoppervolymen 700 m^3 .



Figur 6.1 Hoppervoly m³, halva hopperskrovet med numrerade plåtar

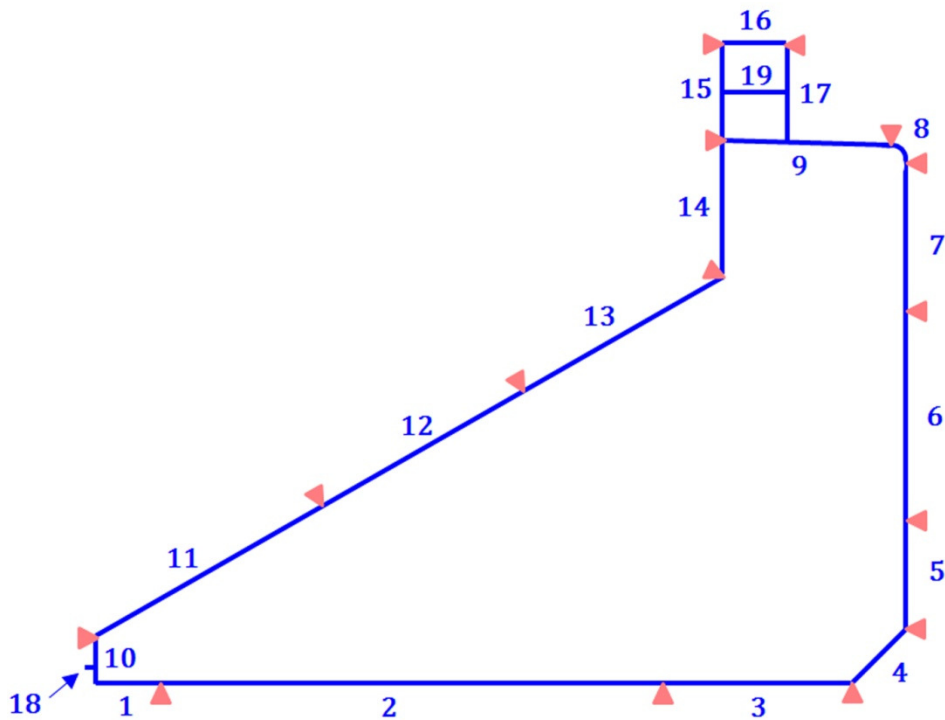
I tabell 6.6 presenteras de plåttjocklekar, numrerade enligt figur 6.1, som förändrats vid konstruktion enligt *partly fixed ends* relativt *simply supported ends* samt skillnaden.

Tabell 6.6 Hoppervoly m³, plåttjocklek vid konstruktion enligt *partly fixed ends* respektive *simply supported ends*

Plåt	Längd [m]	<i>Partly fixed ends</i>	<i>Simply supported ends</i>	Skillnad [mm]
		Tjocklek [mm]	Tjocklek [mm]	
3	0,975	9	13	4
4	0,530	9	26	17
5	0,900	9	13	4
13	0,325	29,06	40,78	12

Plåt nummer 13 har förenklats i Mars 2000, från ett rör till en plåt. Stålärean av röret är den samma som arean av plåten. Den verkliga minskningen av rörets tjocklek är därför endast 3,5 mm.

Figur 6.2 visar de numrerade plåtarna i hopperskrovets tvärsnitt för fartyget med hoppervolymer 2800 m³.



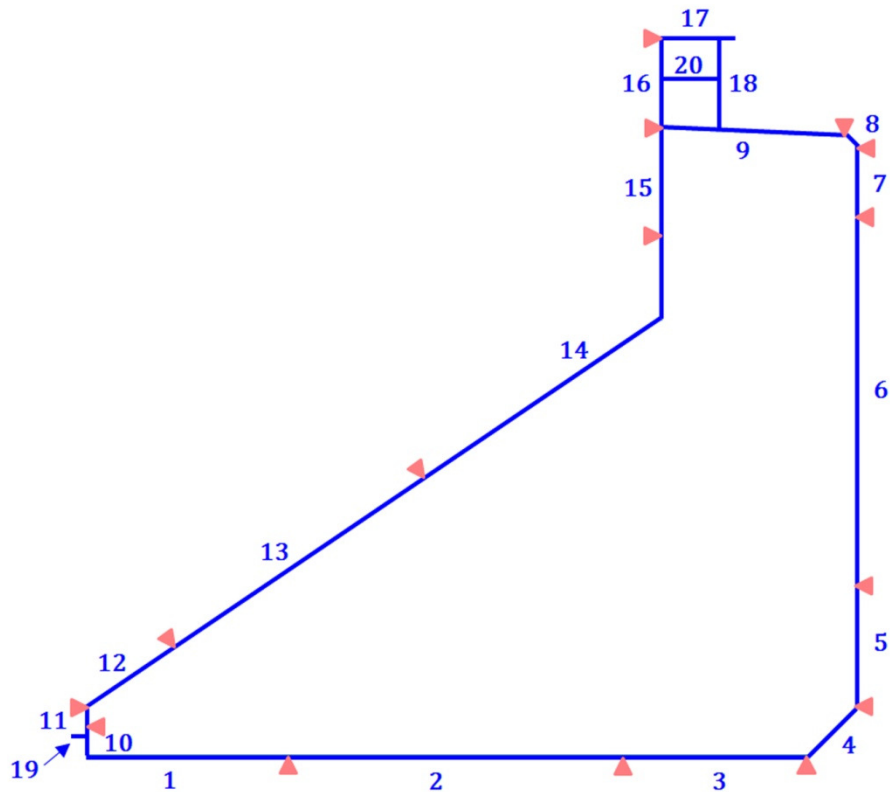
Figur 6.2 Hoppervolymer 2800 m³, halva hopperskrovet med numrerade plåtar

I tabell 6.7 presenteras de plåttjocklekar, numrerade enligt figur 6.2, som förändrats vid konstruktion enligt *partly fixed ends* relativt *simply supported ends* samt skillnaden.

Tabell 6.7 Hoppervolymer 2800 m³, plåttjocklek vid konstruktion enligt *partly fixed ends* respektive *simply supported ends*

Plåt	Längd [m]	<i>Partly fixed ends</i> Tjocklek [mm]	<i>Simply supported ends</i> Tjocklek [mm]	Skillnad [mm]
3	1,700	24	38	14
4	0,849	30	52	22
5	1,500	24	38	14
16	0,750	35	45	10

Figur 6.3 visar de numrerade plåtarna i hopperskrovets tvärsnitt för fartyget med hoppervolymen 4500 m³.



Figur 6.3 Hoppervolym 4500 m³, halva hopperskrovet med numrerade plåtar

I tabell 6.8 presenteras de plåttjocklekar, numrerade enligt figur 6.3, som förändrats vid konstruktion enligt *partly fixed ends* relativt *simply supported ends* samt skillnaden.

Tabell 6.8 Hoppervolym 4500 m³, plåttjocklek vid konstruktion enligt *partly fixed ends* respektive *simply supported ends*

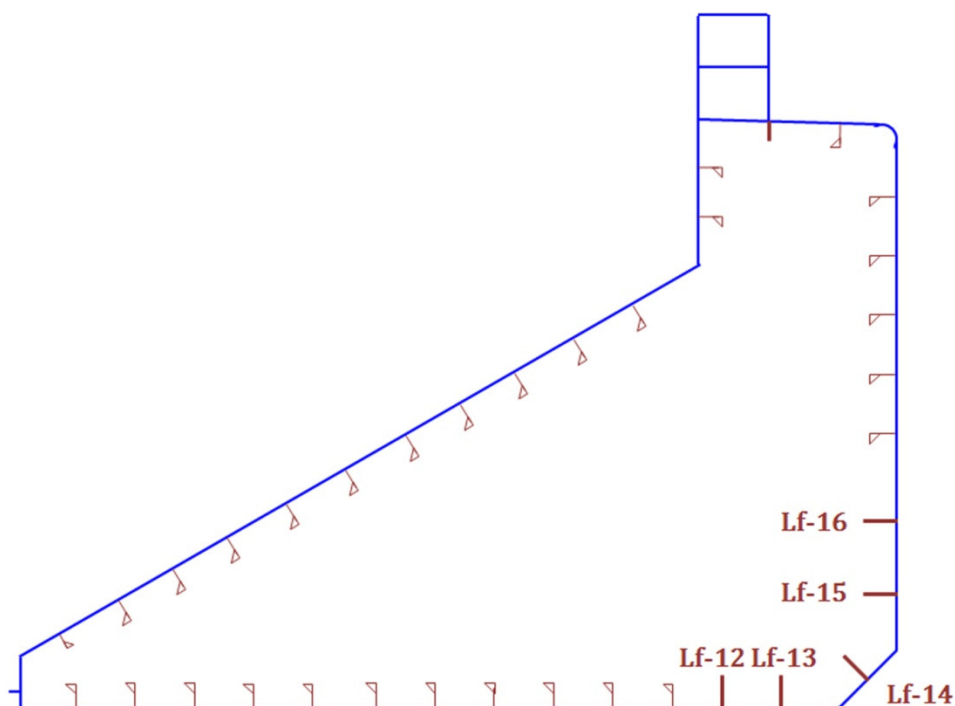
Plåt	Längd [m]	<i>Partly fixed ends</i>	<i>Simply supported ends</i>	Skillnad [mm]
		Tjocklek [mm]	Tjocklek [mm]	
1	2,500	10	12	2
3	2,260	18	35	17
4	0,849	24	44	20
5	1,500	18	35	17
17	0,900	20	40	20

I bilaga 6 presenteras plåttjockleken för samtliga skrovplåtar.

6.4.2 Längsgående förstärkningar

Vid konstruktion enligt *simply supported ends* är skrovets längsgående förstärkningar kraftigare vid plåtarna 3,4 och 5, se figur 6.2 och 6.3. Vid konstruktion enligt *partly fixed ends* dimensioneras de längsgående förstärkningarna enligt dimensionerna av förstärkningarna vid plåtarna 2 och 6.

I figur 6.4 visas de längsgående förstärkningarna av fartyget med hoppervolymen 2800 m³ vid konstruktion enligt *simply supported ends*. De förstärkningar som förändras vid konstruktion enligt *partly fixed ends* är numrerade.



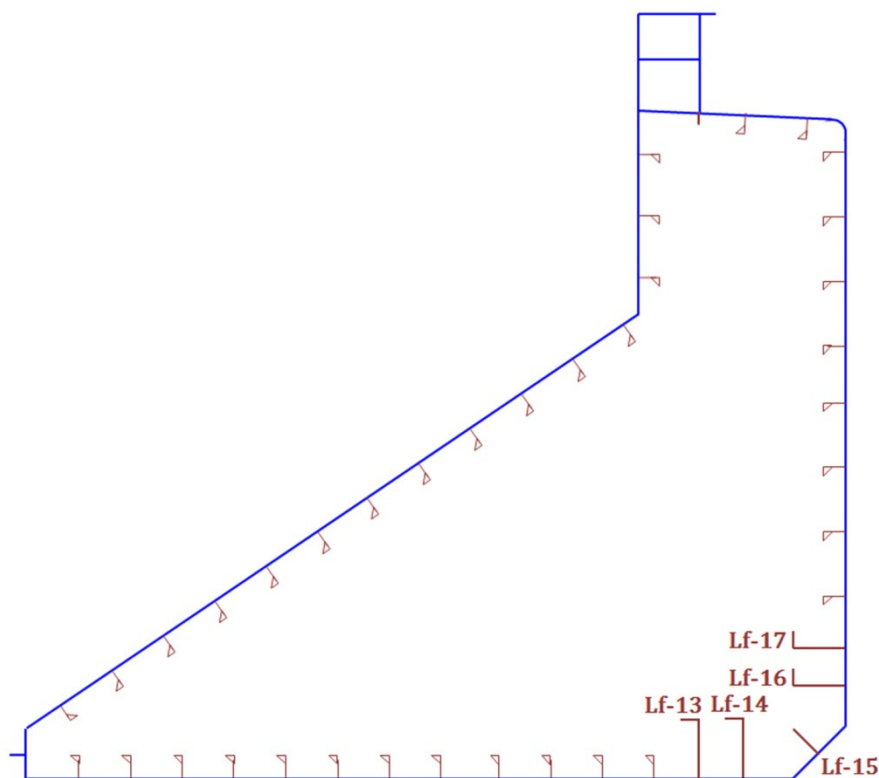
Figur 6.4 Hoppervolym 2800 m³, längsgående förstärkningar vid konstruktion enligt *simply supported ends*

Tabell 6.9 presenterar ändringarna av de numrerade förstärkningarna i figur 6.4 för fartyget med hoppervolymen 2800 m³.

Tabell 6.9 Hoppervolym 2800 m³, längsgående förstärkningar vid konstruktion enligt *partly fixed ends* respektive *simply supported ends*

Längsgående förstärkning	<i>Partly fixed ends</i>		<i>Simply supported ends</i>	
	Typ	Dimensioner [mm]	Typ	Dimensioner [mm]
Lf-12	<i>Bulb</i>	200*9	<i>Flat</i>	200*20
Lf-13	<i>Bulb</i>	200*9	<i>Flat</i>	200*20
Lf-14	<i>Bulb</i>	200*9	<i>Flat</i>	200*20
Lf-15	<i>Bulb</i>	200*9	<i>Flat</i>	200*20
Lf-16	<i>Bulb</i>	200*9	<i>Flat</i>	200*20

I figur 6.5 visas de längsgående förstärkningarna av fartyget med hoppervolymen 4500 m³ vid konstruktion enligt *simply supported ends*. De förstärkningar som förändras vid konstruktion enligt *partly fixed ends* är numrerade.



Figur 6.5 Hoppervolym 4500 m³, längsgående förstärkningar vid konstruktion enligt *simply supported ends*

Tabell 6.10 presenterar ändringarna av de numrerade förstärkningarna i figur 6.5 för fartyget med hoppervolymen 4500 m³.

Tabell 6.10 Hoppervolym 4500 m³, längsgående förstärkningar vid konstruktion enligt *partly fixed ends* respektive *simply supported ends*

Längsgående förstärkning	<i>Partly fixed ends</i>		<i>Simply supported ends</i>	
	Typ	Dimensioner [mm]	Typ	Dimensioner [mm]
Lf-13	<i>Bulb</i>	240*10	<i>Angle</i>	700*10 200*15
Lf-14	<i>Bulb</i>	240*10	<i>Angle</i>	700*10 200*15
Lf-15	<i>Bulb</i>	240*10	<i>Flat</i>	250*20
Lf-16	<i>Bulb</i>	240*10	<i>Angle</i>	600*10 200*15
Lf-17	<i>Bulb</i>	240*10	<i>Angle</i>	600*10 200*15

6.5 Cylinder och gångjärnskrafter

Cylinder och gångjärnskrafterna beräknas i bilaga 8. Tabell 6.11 presenterar krafterna vid konstruktion enligt *partly fixed ends* respektive *simply supported ends*.

Tabell 6.11 Dynamiska cylinder och gångjärnskrafter vid konstruktion enligt *partly fixed ends* respektive *simply supported ends*

Hoppervolym	<i>Partly fixed ends</i>		<i>Simply supported ends</i>	
	$F_{mc,pf,dyn}$ [kN]	$F_{ch,pf,dyn}$ [kN]	$F_{mc,ss,dyn}$ [kN]	$F_{ch,ss,dyn}$ [kN]
700 m ³	5 300	1 974	4 945	1 338
2800 m ³	16 956	9 854	16 517	7 605
4500 m ³	22 026	14 131	21 783	9 636

7 Diskussion och slutsats

Vid konstruktion enligt *partly fixed ends* minskar det horisontella böjmomentet till mindre än hälften av det vid konstruktion enligt *simply supported ends*. De vertikala böjmomenten påverkas inte nämnvärt vid respektive konstruktion.

För fartygen med hoppervolymer 700 m^3 och 4500 m^3 minskar den horisontella utböjningen av en skrovhalva vid konstruktion enligt *partly fixed ends* till nästan hälften av utböjningen vid konstruktion enligt *simply supported ends*. För fartyget med hoppervolymer 2800 m^3 minskar den horisontella utböjningen av skrovhalvan vid konstruktion enligt *partly fixed ends* med en tredjedel av utböjningen vid konstruktion enligt *simply supported ends*.

För fartygen med hoppervolymer 2800 m^3 och 4500 m^3 har plåttjocklekarna och de längsgående förstärkningarna kunnat minskas ordentligt vid konstruktion enligt *partly fixed ends*. I fartygen sparas då 56 respektive 97 ton stål i hopperskrovet. Plåttjockleken i fartyget med hoppervolymer 700 m^3 kunde inte minskas nämnvärt och stålbesparingen blev därför endast 8 ton.

Cylinderkrafterna ökar marginellt vid konstruktion enligt *partly fixed ends*. För fartygen med hoppervolymer 700 m^3 och 4500 m^3 ökar gångjärnskrafterna med nästan 50 % jämfört med vid konstruktion enligt *simply supported ends*. För fartyget med hoppervolymer 2800 m^3 ökar gångjärnskraften med cirka 30 % vid konstruktion enligt *partly fixed ends*.

Slutsatsen är att för fartyg med lastvolym från 2800 m^3 och uppåt kan stora mängder stål i hopperskrovet sparas vid konstruktion enligt *partly fixed ends*. En jämförelse av gångjärnskraftens ökning relativt minskningen av stål och packningar bör göras för att bestämma om konstruktion skall ske enligt *partly fixed ends* eller *simply supported ends*.

För fartyg med lastvolym 700 m^3 eller mindre kan minskningen av stål i hopperskrovet vid konstruktion enligt *partly fixed ends* försummas. Eftersom kraften i gångjärnen ökar ordentligt är slutsatsen att konstruktion enligt *simply supported ends* är att föredra.

Innan val av konstruktion kan göras bör de spänningar som uppkommer i skrovet vid de låsande plåtarna vid konstruktion enligt *partly fixed ends* undersökas.

Referenser

Skriftliga källor

- [1] Layton, C. W. T et al. (1982) *Dictionary of Nautical words and terms*. Upplaga 2. Glasgow: Brown, Son & Ferguson.
- [2] Gaffellagring. *Nationalencyklopedin*. www.ne.se/gaffellagring (05-06-2013)
- [3] Bureau Veritas. (2013) Bureau Veritas Steel Ships. eRules 1.4, www.erules.veristar.com (19-03-2013)-(08-06-2013)
- [4] Kemp, P. (1976) *The Oxford companion to ships and the sea*. Oxford: Oxford University Press.
- [5] Morgans, N. (1990) *Marine Technology Reference Book*. Butterworth & Co.
- [6] Zubaly, R.B. (1996) *Applied naval architecture*. Upplaga 3. Centerville, Maryland: Cornell Maritime Press
- [7] Bureau Veritas (1996) Bureau Veritas Rules: and Regulation for the Classification of Ships.
- [8] Wahlström, B et al. (1972) *Bygg: handbok för hus-, väg- och vattenbyggnad. 1B, Allmänna grunder. Avd. 16-18*. Upplaga 3. Stockholm: AB Byggmästarens förlag.
- [9] Dahlberg, T. (2001) *Formelsamling i hållfasthetslära*. Upplaga 3. Studentlitteratur.
- [10] Wahlström, B et al. (1972) *Bygg: handbok för hus-, väg- och vattenbyggnad. 1A, Allmänna grunder. Avd. 11-15*. Upplaga 3. Stockholm: AB Byggmästarens förlag.

Muntliga källor

- [11] Stefan Johnsson (Teknisk Chef, FKAB) intervjuad av författarna allmänt under perioden 19-03-2013 till 10-06-2013.

Fartygsdata

700 m³

Hoppervolym	V=	700	m ³
Längd	L=	50.44	m
Djupgående	T _D =	4.00	m
Bredd	B=	11.00	m
Hopperlängd	l _p =	25.20	m
Längd mellan gångjärnen	l _d =	27.60	m
Hopperbredd	b _p =	7.50	m
Höjd från baslinje till packning	a=	0.175	m
Blockkoefficient	C _B =	0.820	
Höjd av last (maximal last)	h ₁ =	5.625	m
Lastens densitet	ρ=	1.850	ton/m ³
Skrovets egenvikt (lättvikt + bunker)	Δ' ₁ =	4 905	ton
Antal cylindrar	n ₁ =	2	
Vert. avstånd från cylinder till gångjärn	a ₃ =	4.050	m
Vert. avstånd från baslinje till gångjärn	a ₄ =	5.850	m
Vert. avstånd från baslinje till låsningsplåtens överkant	a ₅ =	4.600	m
Horis. avstånd från gångjärn till halva vattenlyftkraften	b ₁ =	2.750	m
Horis. avstånd från gångjärn till halva skrovets tyngdpunkt	b ₂ =	3.200	m
Horis. avstånd från gångjärn till halva lastens tyngdpunkt	b ₃ =	1.630	m
Avstånd från fören till främre gångjärnet	l _f =	11.2	m
Avstånd från aktern till bakre gångjärnet	l _a =	13.2	m
Bredden av den låsande plåten	d _{pf} =	0.40	m

Fartygsdata

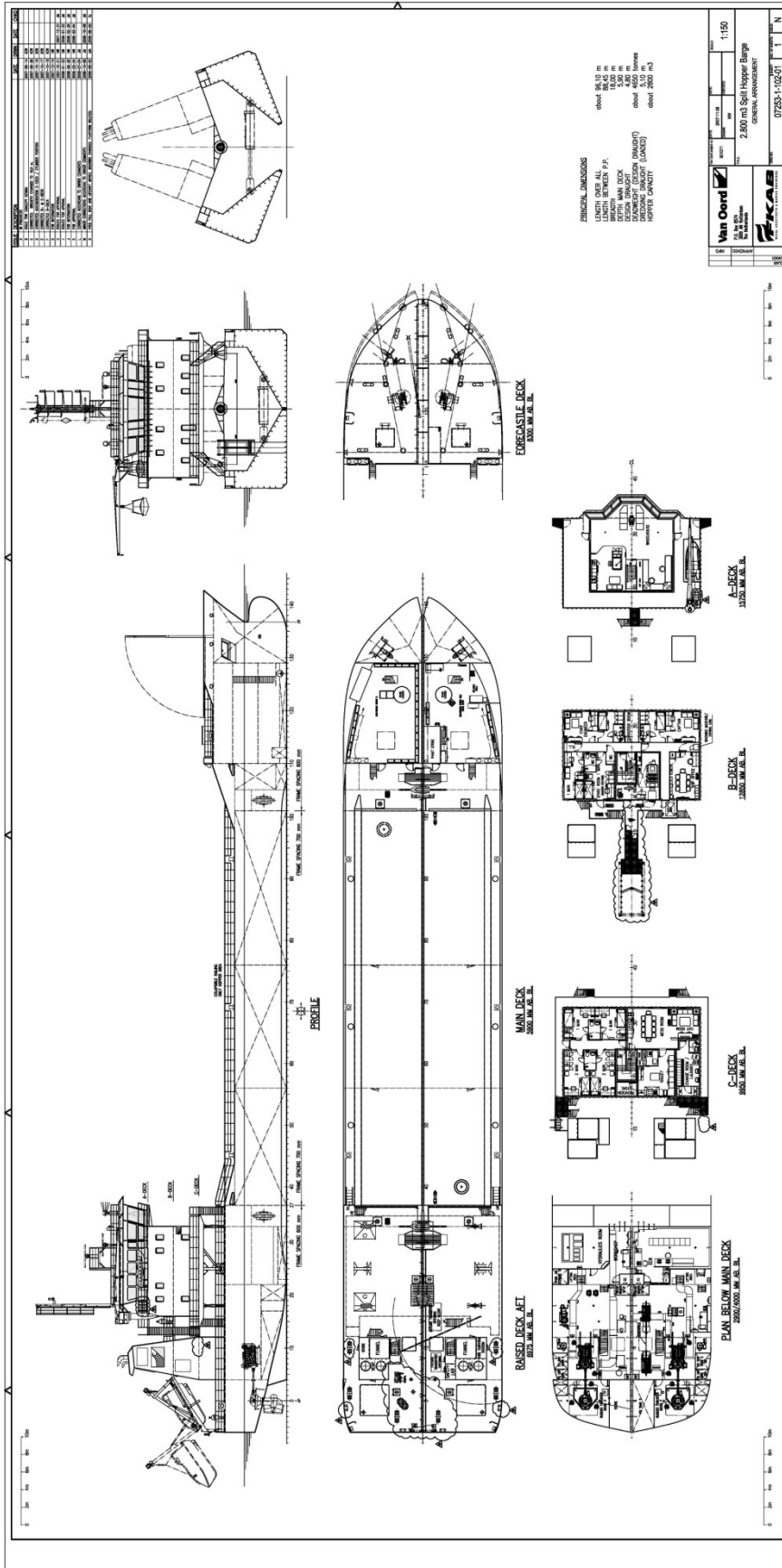
2800 m³

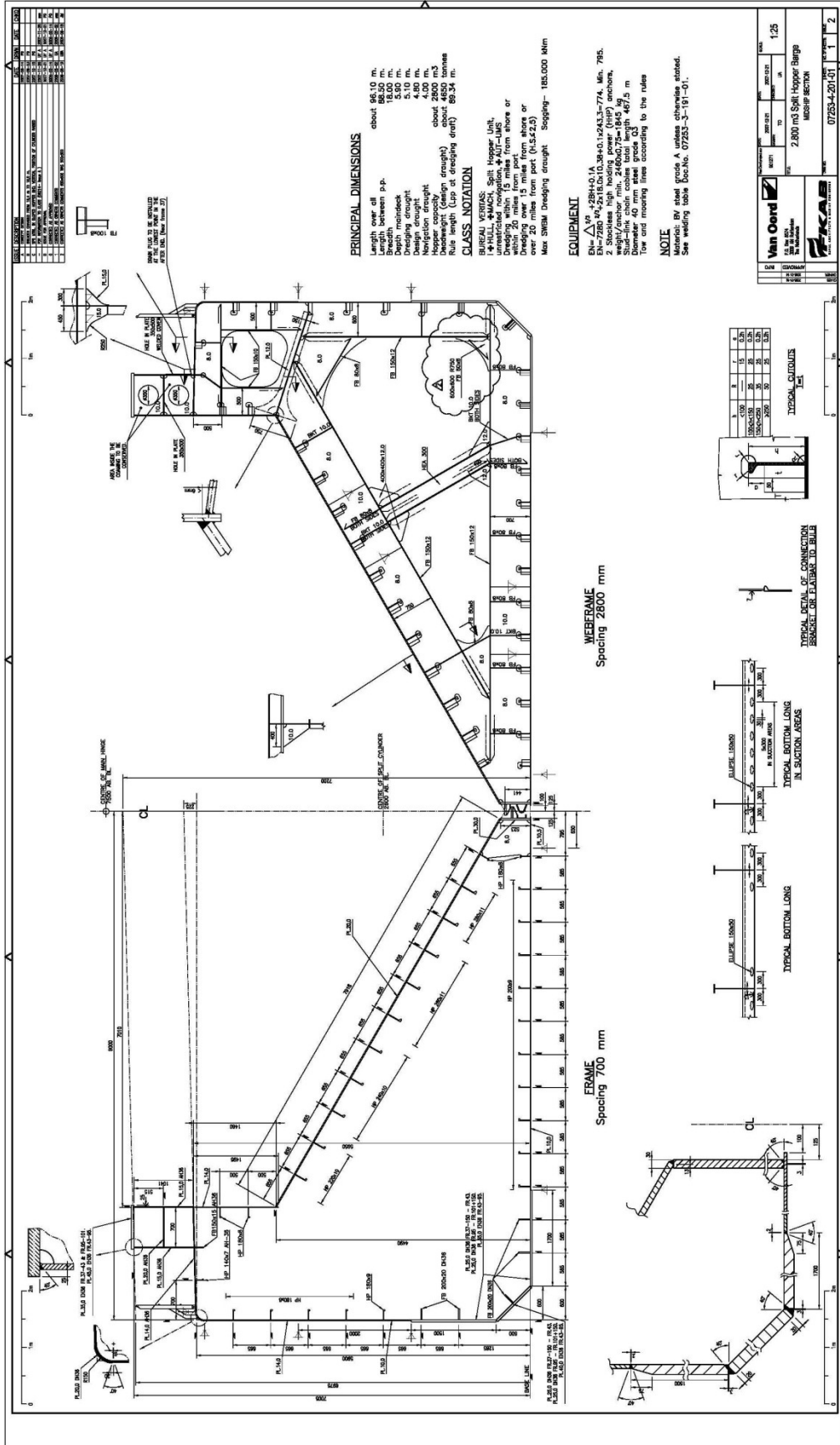
Hoppervolym	V=	2 800	m ³
Längd	L=	89.34	m
Djupgående	T _D =	5.10	m
Bredd	B=	18.00	m
Hopperlängd	l _p =	44.80	m
Längd mellan gångjärnen	l _d =	49.60	m
Hopperbredd	b _p =	14.02	m
Höjd från baslinje till packning	a=	0.150	m
Blockkoefficient	C _B =	0.860	
Höjd av last (maximal last)	h ₁ =	7.050	m
Lastens densitet	ρ=	1.830	ton/m ³
Skrovets egenvikt (lättvikt + bunker)	Δ' ₁ =	21 435	ton
Antal cylindrar	n ₁ =	2	
Vert. avstånd från cylinder till gångjärn	a ₃ =	4.900	m
Vert. avstånd från baslinje till gångjärn	a ₄ =	7.500	m
Vert. avstånd från baslinje till låsningsplåtens överkant	a ₅ =	7.000	m
Horis. avstånd från gångjärn till halva vattenlyftkraften	b ₁ =	4.500	m
Horis. avstånd från gångjärn till halva skrovets tyngdpunkt	b ₂ =	5.200	m
Horis. avstånd från gångjärn till halva lastens tyngdpunkt	b ₃ =	2.942	m
Avstånd från fören till främre gångjärnet	l _f =	20.0	m
Avstånd från aktern till bakre gångjärnet	l _a =	23.4	m
Bredden av den låsande plåten	d _{pf} =	0.60	m

Fartygsdata

4500 m³

Hoppervolym	V=	4 500	m ³
Längd	L=	93.85	m
Djupgående	T _D =	7.00	m
Bredd	B=	19.40	m
Hopperlängd	l _p =	52.50	m
Längd mellan gångjärnen	l _d =	57.30	m
Hopperbredd	b _p =	14.59	m
Höjd från baslinje till packning	a=	0.238	m
Blockkoefficient	C _B =	0.815	
Höjd av last (maximal last)	h ₁ =	8.900	m
Lastens densitet	ρ=	1.640	ton/m ³
Skrovets egenvikt (lättvikt + bunker)	Δ' ₁ =	26 055	ton
Antal cylindrar	n ₁ =	2	
Vert. avstånd från cylinder till gångjärn	a ₃ =	5.850	m
Vert. avstånd från baslinje till gångjärn	a ₄ =	8.350	m
Vert. avstånd från baslinje till låsningsplåtens överkant	a ₅ =	8.350	m
Horis. avstånd från gångjärn till halva vattenlyftkraften	b ₁ =	4.850	m
Horis. avstånd från gångjärn till halva skrovets tyngdpunkt	b ₂ =	5.500	m
Horis. avstånd från gångjärn till halva lastens tyngdpunkt	b ₃ =	3.035	m
Avstånd från fören till främre gångjärnet	l _f =	18.6	m
Avstånd från aktern till bakre gångjärnet	l _a =	23.0	m
Bredden av den låsande plåten	d _{pf} =	0.60	m





PRINCIPAL DIMENSIONS

Length over all about 96.10 m.
 Length between p.p. 86.50 m.
 Depth 5.80 m.
 Drafting draught 5.10 m.
 Navigation draught 4.00 m.
 Hopper capacity about 2800 m³.
 Max. speed 8.5 knots.
 Run length (Lsp at drafting draught) 89.34 m.

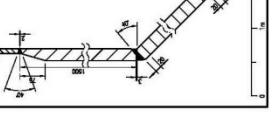
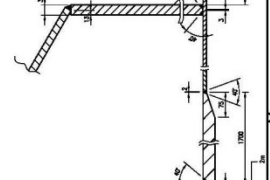
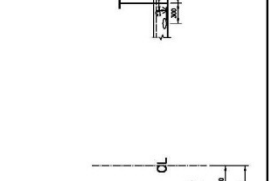
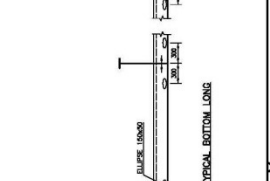
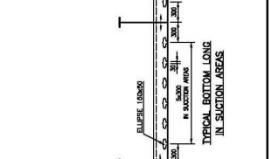
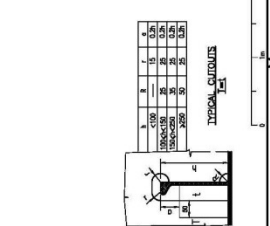
CLASS NOTATION
 BARGES, VERMARS, Split Hopper Unit,
 Unrestricted service, all-weather or
 within 20 miles from port.
 Max. SWM Dredging draught 185.000 Mmm
 Max SWM Dredging draught 185.000 Mmm

EQUIPMENT

DN-2800 M³ Split Hopper Unit
 2 Stockless high holding power (HIP) anchors,
 weight/anchor min. 24600/750-180 kg
 Diameter 40 mm steel grade Q3
 Top and mooring lines according to the rules

NOTE
 Material: BV steel grade A unless otherwise stated.
 See welding table Dec.No. 07253-3-191-01.

DESIGN NO.	07253-3-191-01
TITLE	2,800 m ³ Split Hopper Barge
ISSUE NO.	1.25
REVISION	MISSIP SECTION



Momentberäkningar *Partly fixed ends*
700 m³

Längd	L=	50.44	m
Djupgående	T _D =	4.00	m
Bredd	B=	11.00	m
Hopperlängd	l _p =	25.20	m
Längd mellan gångjärnen	l _d =	27.60	m
Blockkoefficient	C _B =	0.820	
Saggingkoefficient	C _V =	65	
Reduktionskoefficient	r ₁ =	0.92	
Reduktionsfaktor	r _d =	0.67	
Höjd från baslinje till packning	a=	0.175	m
Lastens densitet	ρ=	1.850	ton/m ³
Höjd av last	h ₁ =	5.625	m
Konstant	F=	4.6751	
Konstant	F'=	0.6064	
Längd mellan gångjärn och hopper	c ₁ =	1.20	m
Minsta böjmotstånd	W _m =	0.1989	m ³
Kvot	l _d /L=	0.5472	
Kvot	c ₁ /l _p =	0.0476	
Koefficient beroende av kvoten l _d /L	α ₁ =	0.2122	
Koefficient beroende av kvoten l _d /L	α ₂ =	0.1566	
Koefficient beroende av kvoten l _d /L	α ₃ =	0.3614	
Koefficient beroende av kvoten l _d /L	α ₄ =	0.1500	
Koefficient beroende av kvoten c ₁ /l _p	α ₆ =	0.0988	
Last per meter	p=	195.94	kN/m
Vertikalt stillvattenmoment, midskepps	M _{DC} =	30 000	kNm
Vertikalt vågböjningsmoment, midskepps	M _{HV} =	12 927	kNm
Horisontellt stillvattenmoment, midskepps	M _{DCH} =	-12 298	kNm
Horisontellt vågböjningsmoment, midskepps	M _{HH} =	1 109	kNm
Horisontellt stillvattenmoment, hopperslut	M' _{DCH} =	12 298	kNm
Horisontellt vågböjningsmoment, hopperslut	M' _{HH} =	-1 806	kNm
Vertikalt böjmoment, midskepps för en skrovhalva	M _V =	-19 309	kNm
Horisontellt böjmoment, midskepps för en skrovhalva	M _H =	-11 559	kNm
Horisontellt böjmoment, hopperände för en skrovhalva	M' _H =	11 095	kNm

Momentberäkningar **Partly fixed ends**
2800 m³

Längd	L=	89.34	m
Djupgående	T _D =	5.10	m
Bredd	B=	18.00	m
Hopperlängd	l _p =	44.80	m
Längd mellan gångjärnen	l _d =	49.60	m
Blockkoefficient	C _B =	0.860	
Saggingkoefficient	C _V =	65	
Reduktionskoefficient	r ₁ =	0.92	
Reduktionsfaktor	r _d =	0.67	
Höjd från baslinje till packning	a=	0.150	m
Lastens densitet	ρ=	1.830	ton/m ³
Höjd av last	h ₁ =	7.050	m
Konstant	F=	7.1222	
Konstant	F'=	0.9481	
Längd mellan gångjärn och hopper	c ₁ =	2.40	m
Minsta böjmotstånd	W _m =	1.5963	m ³
Kvot	l _d /L=	0.5552	
Kvot	c ₁ /l _p =	0.0536	
Koefficient beroende av kvoten l _d /L	α ₁ =	0.2175	
Koefficient beroende av kvoten l _d /L	α ₂ =	0.1607	
Koefficient beroende av kvoten l _d /L	α ₃ =	0.3685	
Koefficient beroende av kvoten l _d /L	α ₄ =	0.1528	
Koefficient beroende av kvoten c ₁ /l _p	α ₆ =	0.1008	
Last per meter	p=	304.12	kN/m
Vertikalt stillvattenmoment, midskepps	M _{DC} =	185 000	kNm
Vertikalt vågböjningsmoment, midskepps	M _{HV} =	103 757	kNm
Horisontellt stillvattenmoment, midskepps	M _{DCH} =	-61 535	kNm
Horisontellt vågböjningsmoment, midskepps	M _{HH} =	7 273	kNm
Horisontellt stillvattenmoment, hopperslut	M' _{DCH} =	61 535	kNm
Horisontellt vågböjningsmoment, hopperslut	M' _{HH} =	-11 667	kNm
Vertikalt böjmoment, midskepps för en skrovhalva	M _V =	-127 086	kNm
Horisontellt böjmoment, midskepps för en skrovhalva	M _H =	-56 686	kNm
Horisontellt böjmoment, hopperände för en skrovhalva	M' _H =	53 757	kNm

Momentberäkningar *Partly fixed ends*
4500 m³

Längd	L=	93.85	m
Djupgående	T _D =	7.00	m
Bredd	B=	19.40	m
Hopperlängd	l _p =	52.50	m
Längd mellan gångjärnen	l _d =	57.30	m
Blockkoefficient	C _B =	0.815	
Saggingkoefficient	C _V =	65	
Reduktionskoefficient	r ₁ =	0.92	
Reduktionsfaktor	r _d =	0.67	
Höjd från baslinje till packning	a=	0.238	m
Lastens densitet	ρ=	1.640	ton/m ³
Höjd av last	h ₁ =	8.900	m
Konstant	F=	7.3406	
Konstant	F'=	0.9490	
Längd mellan gångjärn och hopper	c ₁ =	2.40	m
Minsta böjmotstånd	W _m =	1.9003	m ³
Kvot	l _d /L=	0.6105	
Kvot	c ₁ /l _p =	0.0457	
Koefficient beroende av kvoten l _d /L	α ₁ =	0.2552	
Koefficient beroende av kvoten l _d /L	α ₂ =	0.1897	
Koefficient beroende av kvoten l _d /L	α ₃ =	0.4150	
Koefficient beroende av kvoten l _d /L	α ₄ =	0.1718	
Koefficient beroende av kvoten c ₁ /l _p	α ₆ =	0.0982	
Last per meter	p=	373.62	kN/m
Vertikalt stillvattenmoment, midskepps	M _{DC} =	200 000	kNm
Vertikalt vågböjningsmoment, midskepps	M _{HV} =	123 518	kNm
Horisontellt stillvattenmoment, midskepps	M _{DCH} =	-101 156	kNm
Horisontellt vågböjningsmoment, midskepps	M _{HH} =	12 519	kNm
Horisontellt stillvattenmoment, hopperslut	M' _{DCH} =	101 156	kNm
Horisontellt vågböjningsmoment, hopperslut	M' _{HH} =	-19 535	kNm
Vertikalt böjmoment, midskepps för en skrovhalva	M _V =	-141 173	kNm
Horisontellt böjmoment, midskepps för en skrovhalva	M _H =	-92 810	kNm
Horisontellt böjmoment, hopperände för en skrovhalva	M' _H =	88 133	kNm

Utböjning i Y-led

700 m³

Partly fixed ends

Hopperlängd	$l_p =$	25.20	m
Längd mellan gångjärnen	$l_d =$	27.60	m
Höjd från baslinje till packning	$a =$	0.175	m
Avstånd från baslinje till gångjärn	$a_4 =$	5.85	m
Tyngdpunktens Y-koordinat	$CGY =$	3.306	m
Tyngdpunktens Z-koordinat	$CGZ =$	2.243	m
Vinkeländring Y/axel 1	$\alpha =$	53.509	grader
Yttröghetsmoment, axel 1	$I_1 =$	0.394	m ⁴
Yttröghetsmoment, axel 2	$I_2 =$	1.115	m ⁴
Vridstyvhetens tvärsnittfaktor	$K_v =$	1.80	m ⁴
Vertikalt vågmoment	$M_{wv} =$	-12 873	kNm
Inspänningsmoment vid gångjärnen	$M'_H =$	11 095	kNm
Hopperskrovets tyngdkraft per meter	$\Delta'_{l,p} =$	57.52	kN/m
Lastens volym	$V =$	648	m ³
Lastens densitet	$\rho =$	2.00	ton/m ³
Djupgående	$T_D =$	4.00	m
Höjd av last	$h_1 =$	5.347	m
Halva bredden av fartyget	$B/2 =$	5.50	m
Vattenkraftens hävarm	$b_1 =$	2.570	m
Halva lastens hävarm	$b_3 =$	1.630	m
Elastisitetsmodul (stål)	$E =$	210 000	MPa
Skjuvmodul (stål)	$G =$	80 000	MPa
Avståndet från baslinjen till lastens tyngdpunkt	$a_4 - a_2 =$	1.899	m
Avståndet från baslinjen till den hori. vattenkraften	$a_4 - a_1 =$	1.450	m
Lastens vertikala kraft	$Q/2 =$	252	kN/m
Vattnets vertikala kraft	$\Delta/2 =$	221	kN/m
Lastens horisontella kraft	$F_D =$	262	kN/m
Vattnets horisontella kraft	$F_h =$	74	kN/m

Utböjning i Y-led 700 m ³	Partly fixed ends	
Total vertikal kraft i axel 1	$V_1 =$	-48 kN/m
Total vertikal kraft i axel 2	$V_2 =$	-35.6 kN/m
Total horisontell kraft i axel 1	$H_1 =$	112 kN/m
Total horisontell kraft i axel 2	$H_2 =$	-152 kN/m
Vertikala vågmomentet runt axel 1	$M_{w1} =$	-7 655 kNm
Vertikala vågmomentet runt axel 2	$M_{w2} =$	-10 349 kNm
Inspänningsmomentet runt axel 1	$M'_{H1} =$	8 920 kNm
Inspänningsmomentet runt axel 2	$M'_{H2} =$	-6 598 kNm
Moment runt tyngdpunkten pga. lastens vert. kraft	$T_Q =$	423 kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. vattnets vert. kraft	$T_{\Delta} =$	-163 kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. lastens hori. kraft	$T_{FD} =$	90 kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. vattnets hori. kraft	$T_{Fh} =$	-58 kNm/m
Totalt vridande moment runt tyngdpunkten	$T =$	292 kNm/m
Vridvinkeln	$\theta =$	0.0002 rad
Utböjning i axel 1-riktning pga. krafter	$d_1 =$	1.7 mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. krafter	$d_2 =$	-14.3 mm
Utböjning i axel 1-riktning pga. vågmoment	$d_{w1} =$	-4.2 mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. vågmoment	$d_{w2} =$	-8.8 mm
Utböjning i axel 1-riktning pga. inspänningsmoment	$d_{M1} =$	-2.7 mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. inspänningsmoment	$d_{M2} =$	10.3 mm
Utböjning i Y-led på grund av vridande moment	$d_{yt} =$	0.4 mm
Utböjning i Y-led på grund av krafter	$d_y =$	12.5 mm
Utböjning i Y-led på grund av vågmoment	$d_{yw} =$	4.6 mm
Utböjning i Y-led på grund av inspänningsmoment	$d_M =$	-9.8 mm
Utböjning i Y-led på grund av vridande moment	$d_{yt} =$	0.4 mm
Total utböjning i Y-led	$d_{pf} =$	7.7 mm

Utböjning i Y-led

700 m³

Simply supported ends

Hopperlängd	$l_p =$	25.20	m
Längd mellan gångjärnen	$l_d =$	27.60	m
Höjd från baslinje till packning	$a =$	0.175	m
Avstånd från baslinje till gångjärn	$a_4 =$	5.85	m
Tyngdpunktens Y-koordinat	$CGY =$	3.437	m
Tyngdpunktens Z-koordinat	$CGZ =$	2.168	m
Vinkeländring Y/axel 1	$\alpha =$	56.967	grader
Yttröghetsmoment, axel 1	$I_1 =$	0.515	m ⁴
Yttröghetsmoment, axel 2	$I_2 =$	1.161	m ⁴
Vridstyvhetens tvärsnittfaktor	$K_v =$	1.83	m ⁴
Vertikalt vågmoment	$M_{wv} =$	-22 855	kNm
Inspänningsmoment vid gångjärnen	$M'_{H} =$	0	kNm
Hopperskrovets tyngdkraft per meter	$\Delta'_{l,p} =$	60.65	kN/m
Lastens volym	$V =$	648	m ³
Lastens densitet	$\rho =$	2.00	ton/m ³
Djupgående	$T_D =$	4.00	m
Höjd av last	$h_1 =$	5.347	m
Halva bredden av fartyget	$B/2 =$	5.50	m
Vattenkraftens hävarm	$b_1 =$	2.570	m
Halva lastens hävarm	$b_3 =$	1.630	m
Elastisitetsmodul (stål)	$E =$	210 000	MPa
Skjuvmodul (stål)	$G =$	80 000	MPa
Avståndet från baslinjen till lastens tyngdpunkt	$a_4 - a_2 =$	1.899	m
Avståndet från baslinjen till den hori. vattenkraften	$a_4 - a_1 =$	1.450	m
Lastens vertikala kraft	$Q/2 =$	252	kN/m
Vattnets vertikala kraft	$\Delta/2 =$	221	kN/m
Lastens horisontella kraft	$F_D =$	262	kN/m
Vattnets horisontella kraft	$F_h =$	74	kN/m

Utböjning i Y-led *Simply supported ends*
700 m³

Total vertikal kraft i axel 1	$V_1 =$	-51	kN/m
Total vertikal kraft i axel 2	$V_2 =$	-33.5	kN/m
Total horisontell kraft i axel 1	$H_1 =$	103	kN/m
Total horisontell kraft i axel 2	$H_2 =$	-158	kN/m
Vertikala vågmomentet runt axel 1	$M_{w1} =$	-12 459	kNm
Vertikala vågmomentet runt axel 2	$M_{w2} =$	-19 161	kNm
Inspänningsmomentet runt axel 1	$M'_{H1} =$	0	kNm
Inspänningsmomentet runt axel 2	$M'_{H2} =$	0	kNm
Moment runt tyngdpunkten pga. lastens vert. kraft	$T_Q =$	456	kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. vattnets vert. kraft	$T_{\Delta} =$	-192	kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. lastens hori. kraft	$T_{FD} =$	70	kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. vattnets hori. kraft	$T_{Fh} =$	-53	kNm/m
Totalt vridande moment runt tyngdpunkten	$T =$	282	kNm/m
Vridvinkeln	$\theta =$	0.0002	rad
Utböjning i axel 1-riktning pga. krafter	$d_1 =$	1.3	mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. krafter	$d_2 =$	-11.2	mm
Utböjning i axel 1-riktning pga. vågmoment	$d_{w1} =$	-7.5	mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. vågmoment	$d_{w2} =$	-11.0	mm
Utböjning i axel 1-riktning pga. inspänningsmoment	$d_{M1} =$	0.0	mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. inspänningsmoment	$d_{M2} =$	0.0	mm
Utböjning i Y-led på grund av vridande moment	$d_{yt} =$	0.4	mm
Utböjning i Y-led på grund av krafter	$d_y =$	10.1	mm
Utböjning i Y-led på grund av vågmoment	$d_{yw} =$	5.1	mm
Utböjning i Y-led på grund av inspänningsmoment	$d_M =$	0.0	mm
Utböjning i Y-led på grund av vridande moment	$d_{yt} =$	0.4	mm
Total utböjning i Y-led	$d_{ss} =$	15.6	mm

Utböjning i Y-led

2800 m³

Partly fixed ends

Hopperlängd	$l_p =$	44.80	m
Längd mellan gångjärnen	$l_d =$	49.60	m
Höjd från baslinje till packning	$a =$	0.150	m
Avstånd från baslinje till gångjärn	$a_4 =$	7.5	m
Tyngdpunktens Y-koordinat	$CGY =$	5.703	m
Tyngdpunktens Z-koordinat	$CGZ =$	2.539	m
Vinkeländring Y/axel 1	$\alpha =$	32.437	grader
Yttröghetsmoment, axel 1	$I_1 =$	2.012	m ⁴
Yttröghetsmoment, axel 2	$I_2 =$	5.257	m ⁴
Vridstyvhets tvärsnittfaktor	$K_v =$	1.98	m ⁴
Vertikalt vågmoment	$M_{wv} =$	-84 724	kNm
Inspänningsmoment vid gångjärnen	$M'_H =$	53 757	kNm
Hopperskrovets tyngdkraft per meter	$\Delta'_{l,p} =$	101.87	kN/m
Lastens volym	$V =$	2 562	m ³
Lastens densitet	$\rho =$	2.00	ton/m ³
Djupgående	$T_D =$	5.10	m
Höjd av last	$h_1 =$	6.671	m
Halva bredden av fartyget	$B/2 =$	9.00	m
Vattenkraftens hävarm	$b_1 =$	4.500	m
Halva lastens hävarm	$b_3 =$	2.943	m
Elastisitetsmodul (stål)	$E =$	210 000	MPa
Skjuvmodul (stål)	$G =$	80 000	MPa
Avståndet från baslinjen till lastens tyngdpunkt	$a_4 - a_2 =$	2.324	m
Avståndet från baslinjen till den hori. vattenkraften	$a_4 - a_1 =$	1.800	m
Lastens vertikala kraft	$Q/2 =$	561	kN/m
Vattnets vertikala kraft	$\Delta/2 =$	462	kN/m
Lastens horisontella kraft	$F_D =$	417	kN/m
Vattnets horisontella kraft	$F_h =$	123	kN/m

Utböjning i Y-led 2800 m ³	Partly fixed ends	
Total vertikal kraft i axel 1	$V_1 =$	-81 kN/m
Total vertikal kraft i axel 2	$V_2 =$	-126.9 kN/m
Total horisontell kraft i axel 1	$H_1 =$	248 kN/m
Total horisontell kraft i axel 2	$H_2 =$	-158 kN/m
Vertikala vågmomentet runt axel 1	$M_{w1} =$	-71 506 kNm
Vertikala vågmomentet runt axel 2	$M_{w2} =$	-45 444 kNm
Inspänningsmomentet runt axel 1	$M'_{H1} =$	28 834 kNm
Inspänningsmomentet runt axel 2	$M'_{H2} =$	-45 370 kNm
Moment runt tyngdpunkten pga. lastens vert. kraft	$T_Q =$	1 548 kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. vattnets vert. kraft	$T_{\Delta} =$	-555 kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. lastens hori. kraft	$T_{FD} =$	90 kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. vattnets hori. kraft	$T_{Fh} =$	-91 kNm/m
Totalt vridande moment runt tyngdpunkten	$T =$	992 kNm/m
Vridvinkeln	$\theta =$	0.0017 rad
Utböjning i axel 1-riktning pga. krafter	$d_1 =$	9.8 mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. krafter	$d_2 =$	-43.5 mm
Utböjning i axel 1-riktning pga. vågmoment	$d_{w1} =$	-12.7 mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. vågmoment	$d_{w2} =$	-52.0 mm
Utböjning i axel 1-riktning pga. inspänningsmoment	$d_{M1} =$	-12.6 mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. inspänningsmoment	$d_{M2} =$	21.0 mm
Utböjning i Y-led på grund av vridande moment	$d_{yt} =$	4.4 mm
Utböjning i Y-led på grund av krafter	$d_y =$	31.6 mm
Utböjning i Y-led på grund av vågmoment	$d_{yw} =$	17.2 mm
Utböjning i Y-led på grund av inspänningsmoment	$d_M =$	-21.9 mm
Utböjning i Y-led på grund av vridande moment	$d_{yt} =$	4.4 mm
Total utböjning i Y-led	$d_{pf} =$	31.4 mm

Utböjning i Y-led **Simply supported ends**
2800 m³

Hopperlängd	$l_p =$	44.80	m
Längd mellan gångjärnen	$l_d =$	49.60	m
Höjd från baslinje till packning	$a =$	0.150	m
Avstånd från baslinje till gångjärn	$a_4 =$	7.5	m
Tyngdpunktens Y-koordinat	$CGY =$	6.032	m
Tyngdpunktens Z-koordinat	$CGZ =$	2.363	m
Vinkeländring Y/axel 1	$\alpha =$	29.690	grader
Yttröghetsmoment, axel 1	$I_1 =$	2.699	m ⁴
Yttröghetsmoment, axel 2	$I_2 =$	5.509	m ⁴
Vridstyvhetens tvärsnittfaktor	$K_v =$	2.24	m ⁴
Vertikalt vågmoment	$M_{wv} =$	-155 521	kNm
Inspänningsmoment vid gångjärnen	$M'_{H} =$	0	kNm
Hopperskrovets tyngdkraft per meter	$\Delta'_{l,p} =$	114.06	kN/m
Lastens volym	$V =$	2 562	m ³
Lastens densitet	$\rho =$	2.00	ton/m ³
Djupgående	$T_D =$	5.10	m
Höjd av last	$h_1 =$	6.671	m
Halva bredden av fartyget	$B/2 =$	9.00	m
Vattenkraftens hävarm	$b_1 =$	4.500	m
Halva lastens hävarm	$b_3 =$	2.943	m
Elastisitetsmodul (stål)	$E =$	210 000	MPa
Skjuvmodul (stål)	$G =$	80 000	MPa
Avståndet från baslinjen till lastens tyngdpunkt	$a_4 - a_2 =$	2.324	m
Avståndet från baslinjen till den hori. vattenkraften	$a_4 - a_1 =$	1.800	m
Lastens vertikala kraft	$Q/2 =$	561	kN/m
Vattnets vertikala kraft	$\Delta/2 =$	462	kN/m
Lastens horisontella kraft	$F_D =$	417	kN/m
Vattnets horisontella kraft	$F_h =$	123	kN/m

Utböjning i Y-led *Simply supported ends*
2800 m³

Total vertikal kraft i axel 1	$V_1 =$	-78	kN/m
Total vertikal kraft i axel 2	$V_2 =$	-136.0	kN/m
Total horisontell kraft i axel 1	$H_1 =$	255	kN/m
Total horisontell kraft i axel 2	$H_2 =$	-146	kN/m
Vertikala vågmomentet runt axel 1	$M_{w1} =$	-135 104	kNm
Vertikala vågmomentet runt axel 2	$M_{w2} =$	-77 031	kNm
Inspänningsmomentet runt axel 1	$M'_{H1} =$	0	kNm
Inspänningsmomentet runt axel 2	$M'_{H2} =$	0	kNm
Moment runt tyngdpunkten pga. lastens vert. kraft	$T_Q =$	1 733	kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. vattnets vert. kraft	$T_{\Delta} =$	-707	kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. lastens hori. kraft	$T_{FD} =$	16	kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. vattnets hori. kraft	$T_{Fh} =$	-69	kNm/m
Totalt vridande moment runt tyngdpunkten	$T =$	973	kNm/m
Vridvinkeln	$\theta =$	0.0015	rad
Utböjning i axel 1-riktning pga. krafter	$d_1 =$	9.9	mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. krafter	$d_2 =$	-32.1	mm
Utböjning i axel 1-riktning pga. vågmoment	$d_{w1} =$	-20.5	mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. vågmoment	$d_{w2} =$	-73.3	mm
Utböjning i axel 1-riktning pga. inspänningsmoment	$d_{M1} =$	0.0	mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. inspänningsmoment	$d_{M2} =$	0.0	mm
Utböjning i Y-led på grund av vridande moment	$d_{yt} =$	3.6	mm
Utböjning i Y-led på grund av krafter	$d_y =$	24.5	mm
Utböjning i Y-led på grund av vågmoment	$d_{yw} =$	18.5	mm
Utböjning i Y-led på grund av inspänningsmoment	$d_M =$	0.0	mm
Utböjning i Y-led på grund av vridande moment	$d_{yt} =$	3.6	mm
Total utböjning i Y-led	$d_{ss} =$	46.6	mm

Utböjning i Y-led
4500 m³
Partly fixed ends

Hopperlängd	$l_p =$	52.50	m
Längd mellan gångjärnen	$l_d =$	57.30	m
Höjd från baslinje till packning	$a =$	0.238	m
Avstånd från baslinje till gångjärn	$a_4 =$	8.35	m
Tyngdpunktens Y-koordinat	$CGY =$	6.167	m
Tyngdpunktens Z-koordinat	$CGZ =$	3.201	m
Vinkeländring Y/axel 1	$\alpha =$	41.953	grader
Yttröghetsmoment, axel 1	$I_1 =$	3.018	m ⁴
Yttröghetsmoment, axel 2	$I_2 =$	7.770	m ⁴
Vridstyvhetens tvärsnittfaktor	$K_v =$	2.81	m ⁴
Vertikalt vågmoment	$M_{wv} =$	-94 115	kNm
Inspänningsmoment vid gångjärnen	$M'_{H} =$	88 133	kNm
Hopperskrovets tyngdkraft per meter	$\Delta'_{l,p} =$	113.72	kN/m
Lastens volym	$V =$	3 690	m ³
Lastens densitet	$\rho =$	2.00	ton/m ³
Djupgående	$T_D =$	7.00	m
Höjd av last	$h_1 =$	7.842	m
Halva bredden av fartyget	$B/2 =$	9.70	m
Vattenkraftens hävarm	$b_1 =$	4.850	m
Halva lastens hävarm	$b_3 =$	3.035	m
Elastisitetsmodul (stål)	$E =$	210 000	MPa
Skjuvmodul (stål)	$G =$	80 000	MPa
Avståndet från baslinjen till lastens tyngdpunkt	$a_4 - a_2 =$	2.773	m
Avståndet från baslinjen till den hori. vattenkraften	$a_4 - a_1 =$	2.492	m
Lastens vertikala kraft	$Q/2 =$	690	kN/m
Vattnets vertikala kraft	$\Delta/2 =$	683	kN/m
Lastens horisontella kraft	$F_D =$	567	kN/m
Vattnets horisontella kraft	$F_h =$	230	kN/m

Utböjning i Y-led 4500 m ³	<i>Partly fixed ends</i>	
Total vertikal kraft i axel 1	$V_1 =$	-43 kN/m
Total vertikal kraft i axel 2	$V_2 =$	-47.3 kN/m
Total horisontell kraft i axel 1	$H_1 =$	251 kN/m
Total horisontell kraft i axel 2	$H_2 =$	-226 kN/m
Vertikala vågmomentet runt axel 1	$M_{w1} =$	-69 993 kNm
Vertikala vågmomentet runt axel 2	$M_{w2} =$	-62 918 kNm
Inspänningsmomentet runt axel 1	$M'_{H1} =$	58 919 kNm
Inspänningsmomentet runt axel 2	$M'_{H2} =$	-65 544 kNm
Moment runt tyngdpunkten pga. lastens vert. kraft	$T_Q =$	2 160 kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. vattnets vert. kraft	$T_{\Delta} =$	-899 kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. lastens hori. kraft	$T_{FD} =$	243 kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. vattnets hori. kraft	$T_{Fh} =$	-163 kNm/m
Totalt vridande moment runt tyngdpunkten	$T =$	1 340 kNm/m
Vridvinkeln	$\theta =$	0.0022 rad
Utböjning i axel 1-riktning pga. krafter	$d_1 =$	15.1 mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. krafter	$d_2 =$	-50.9 mm
Utböjning i axel 1-riktning pga. vågmoment	$d_{w1} =$	-15.8 mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. vågmoment	$d_{w2} =$	-45.3 mm
Utböjning i axel 1-riktning pga. inspänningsmoment	$d_{M1} =$	-16.5 mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. inspänningsmoment	$d_{M2} =$	38.2 mm
Utböjning i Y-led på grund av vridande moment	$d_{yt} =$	7.2 mm
Utböjning i Y-led på grund av krafter	$d_y =$	45.3 mm
Utböjning i Y-led på grund av vågmoment	$d_{yw} =$	18.5 mm
Utböjning i Y-led på grund av inspänningsmoment	$d_M =$	-37.8 mm
Utböjning i Y-led på grund av vridande moment	$d_{yt} =$	7.2 mm
Total utböjning i Y-led	$d_{pf} =$	33.2 mm

Utböjning i Y-led **Simply supported ends**
4500 m³

Hopperlängd	$l_p =$	52.50	m
Längd mellan gångjärnen	$l_d =$	57.30	m
Höjd från baslinje till packning	$a =$	0.238	m
Avstånd från baslinje till gångjärn	$a_4 =$	8.35	m
Tyngdpunktens Y-koordinat	$CGY =$	6.563	m
Tyngdpunktens Z-koordinat	$CGZ =$	2.990	m
Vinkeländring Y/axel 1	$\alpha =$	45.629	grader
Yttröghetsmoment, axel 1	$I_1 =$	4.364	m ⁴
Yttröghetsmoment, axel 2	$I_2 =$	8.321	m ⁴
Vridstyvhets tvärsnittfaktor	$K_v =$	3.21	m ⁴
Vertikalt vågmoment	$M_{wv} =$	-173 943	kNm
Inspänningsmoment vid gångjärnen	$M'_{H} =$	0	kNm
Hopperskrovets tyngdkraft per meter	$\Delta'_{l,p} =$	131.41	kN/m
Lastens volym	$V =$	3 690	m ³
Lastens densitet	$\rho =$	2.00	ton/m ³
Djupgående	$T_D =$	7.00	m
Höjd av last	$h_1 =$	7.842	m
Halva bredden av fartyget	$B/2 =$	9.70	m
Vattenkraftens hävarm	$b_1 =$	4.850	m
Halva lastens hävarm	$b_3 =$	3.035	m
Elastisitetsmodul (stål)	$E =$	210 000	MPa
Skjuvmodul (stål)	$G =$	80 000	MPa
Avståndet från baslinjen till lastens tyngdpunkt	$a_4 - a_2 =$	2.773	m
Avståndet från baslinjen till den hori. vattenkraften	$a_4 - a_1 =$	2.492	m
Lastens vertikala kraft	$Q/2 =$	690	kN/m
Vattnets vertikala kraft	$\Delta/2 =$	683	kN/m
Lastens horisontella kraft	$F_D =$	567	kN/m
Vattnets horisontella kraft	$F_h =$	230	kN/m

Utböjning i Y-led *Simply supported ends*
4500 m³

Total vertikal kraft i axel 1	$V_1 =$	-52	kN/m
Total vertikal kraft i axel 2	$V_2 =$	-50.7	kN/m
Total horisontell kraft i axel 1	$H_1 =$	236	kN/m
Total horisontell kraft i axel 2	$H_2 =$	-241	kN/m
Vertikala vågmomentet runt axel 1	$M_{w1} =$	-121 639	kNm
Vertikala vågmomentet runt axel 2	$M_{w2} =$	-124 339	kNm
Inspänningsmomentet runt axel 1	$M'_{H1} =$	0	kNm
Inspänningsmomentet runt axel 2	$M'_{H2} =$	0	kNm
Moment runt tyngdpunkten pga. lastens vert. kraft	$T_Q =$	2 433	kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. vattnets vert. kraft	$T_{\Delta} =$	-1 170	kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. lastens hori. kraft	$T_{FD} =$	123	kNm/m
Moment runt tyngdpunkten pga. vattnets hori. kraft	$T_{Fh} =$	-115	kNm/m
Totalt vridande moment runt tyngdpunkten	$T =$	1 272	kNm/m
Vridvinkeln	$\theta =$	0.0019	rad
Utböjning i axel 1-riktning pga. krafter	$d_1 =$	12.5	mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. krafter	$d_2 =$	-37.7	mm
Utböjning i axel 1-riktning pga. vågmoment	$d_{w1} =$	-29.2	mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. vågmoment	$d_{w2} =$	-54.5	mm
Utböjning i axel 1-riktning pga. inspänningsmoment	$d_{M1} =$	0.0	mm
Utböjning i axel 2-riktning pga. inspänningsmoment	$d_{M2} =$	0.0	mm
Utböjning i Y-led på grund av vridande moment	$d_{yt} =$	5.6	mm
Utböjning i Y-led på grund av krafter	$d_y =$	35.6	mm
Utböjning i Y-led på grund av vågmoment	$d_{yw} =$	18.5	mm
Utböjning i Y-led på grund av inspänningsmoment	$d_M =$	0.0	mm
Utböjning i Y-led på grund av vridande moment	$d_{yt} =$	5.6	mm
Total utböjning i Y-led	$d_{ss} =$	59.7	mm

Beräkning av lastens höjd i hoppert, h_1

		700 m ³	2800 m ³	4500 m ³	
Höjd av last	$h_1 =$	5.625	7.050	8.900	m
Hopperlängd	$l_p =$	25.20	44.80	52.50	m
Hopperbredd	$b_p =$	7.50	14.02	14.59	m
Maximal lastvolym	$V_{\max} =$	700	2 800	4 500	m ³
Lastens densitet	$\rho =$	1.85	1.83	1.64	ton/m ³
Lastens maximala densitet	$\rho_{\max} =$	2.00	2.00	2.00	ton/m ³
Maximal vikt	$m =$	1 295	5 124	7 380	ton
Volym	$V_{\rho=2} =$	648	2 562	3 690	m ³
Höjd av last	$h_{1,\rho=2} =$	5.347	6.671	7.842	m

Beräkning av hävarmen, b_3 , till lastens tyngdpunkt

		700 m ³	2800 m ³	4500 m ³	
Halva hopperbredden	$b_p/2 =$	3.750	7.010	7.294	m
Höjd av last	$h_{1,\rho=2} =$	5.347	6.671	7.840	m
Höjd till hopperbotten	$h_{a+} =$	0.320	0.441	0.441	m
Höjd till vertikala hopperväggen	$h_t =$	3.150	4.490	5.396	m
Area, övre del	$A_{\square} =$	8.240	15.290	17.827	m ²
Area, undre del	$A_{\Delta} =$	5.306	14.192	18.071	m ²
Övre lastens hävarm	$b_{3,\square} =$	1.875	3.505	3.647	m
Undre lastens hävarm	$b_{3,\Delta} =$	1.250	2.337	2.431	m
Totala lastens hävarm	$b_{3,\rho=2} =$	1.630	2.943	3.035	m

Beräkning av hopperskrovets tyngdkraft, $\Delta'_{l,p}$

700 m³

	<i>Simply supported ends</i>		<i>Partly fixed ends</i>	
Ordinarie spantbredd	$s =$	0.6 m	0.6 m	
Vebspantbredd	$s_w =$	2.4 m	2.4 m	
Hopperlängd	$l_p =$	25.2 m	25.2 m	
Densitet för stål	$\rho_{\text{steel}} =$	7.850 ton/m ³	7.850 ton/m ³	
Stålärea, ordinarie spant	$A_{rf} =$	0.5875 m ²	0.5469 m ²	
Stålvoly, ordinarie spant	$V_{rf} =$	14.806 m ³	13.781 m ³	
Stålvoly, vebspant	$V_{wf} \approx$	0.240 m ³	0.240 m ³	
Antal vebspant i hopperområdet	$n_{\text{web}} =$	10.5	10.5	
Total stålvoly i hopperskrovet	$V_{\text{tot}} =$	19.846 m ³	18.821 m ³	
Hopperskrovets vikt	$m_p =$	155.79 ton	147.75 ton	
Hopperskrovets tyngdkraft per meter	$\Delta'_{l,p} =$	60.65 kN/m	57.52 kN/m	

2800 m³

	<i>Simply supported ends</i>		<i>Partly fixed ends</i>	
Ordinarie spantbredd	$s =$	0.7 m	0.7 m	
Vebspantbredd	$s_w =$	2.8 m	2.8 m	
Hopperlängd	$l_p =$	44.8 m	44.8 m	
Densitet för stål	$\rho_{\text{steel}} =$	7.850 ton/m ³	7.850 ton/m ³	
Stålärea, ordinarie spant	$A_{rf} =$	1.3362 m ²	1.1778 m ²	
Stålvoly, ordinarie spant	$V_{rf} =$	59.860 m ³	52.767 m ³	
Stålvoly, vebspant	$V_{wf} \approx$	0.203 m ³	0.203 m ³	
Antal vebspant i hopperområdet	$n_{\text{web}} =$	16.0	16.0	
Total stålvoly i hopperskrovet	$V_{\text{tot}} =$	66.356 m ³	59.263 m ³	
Hopperskrovets vikt	$m_p =$	520.89 ton	465.21 ton	
Hopperskrovets tyngdkraft per meter	$\Delta'_{l,p} =$	114.06 kN/m	101.87 kN/m	

4500 m³

	<i>Simply supported ends</i>		<i>Partly fixed ends</i>	
Ordinarie spantbredd	$s =$	0.7 m	0.7 m	
Vebspantbredd	$s_w =$	2.8 m	2.8 m	
Hopperlängd	$l_p =$	52.5 m	52.5 m	
Densitet för stål	$\rho_{\text{steel}} =$	7.850 ton/m ³	7.850 ton/m ³	
Stålärea, ordinarie spant	$A_{rf} =$	1.5350 m ²	1.3001 m ²	
Stålvoly, ordinarie spant	$V_{rf} =$	80.586 m ³	68.254 m ³	
Stålvoly, vebspant	$V_{wf} \approx$	0.240 m ³	0.240 m ³	
Antal vebspant i hopperområdet	$n_{\text{web}} =$	18.8	18.8	
Total stålvoly i hopperskrovet	$V_{\text{tot}} =$	89.586 m ³	77.254 m ³	
Hopperskrovets vikt	$m_p =$	703.25 ton	606.44 ton	
Hopperskrovets tyngdkraft per meter	$\Delta'_{l,p} =$	131.41 kN/m	113.32 kN/m	

Skrovtjocklek, längsgående förstärkningar samt vridstyvhetsfaktor
700 m³

Strake	Längd [m]	<i>Simply supported ends</i>	<i>Partly fixed ends</i>	Minskning [mm]
		Tjocklek [mm]	Tjocklek [mm]	
1	1.850	9	9	0
2	1.850	9	9	0
3	0.975	13	9	-4
4	0.530	26	9	-17
5	0.900	13	9	-4
6	1.567	7.50	7.50	0
7	1.567	7.50	7.50	0
8	0.320	8	8	0
9	1.545	8	8	0
10	0.310	9	9	0
11	2.269	13	13	0
12	2.269	13	13	0
13	1.175	13	13	0
14	1.362	14	14	0
15	0.325	40.78	29.06	-12
16	1.076	11	11	0
17	0.140	4	4	0
18	0.400	10	10	0

	<i>Simply supported ends</i>	<i>Partly fixed ends</i>
Area sektion	29.56 m ²	29.56 m ²
Omkrets	20.43 m	20.43 m
Medeltjocklek	0.0107 m	0.0105 m
Vridstyvhetsfaktor	$K_v = 1.83 \text{ m}^4$	$K_v = 1.80 \text{ m}^4$

Skrovtjocklek, längsgående förstärkningar samt vridstyvhetsfaktor
2800 m³

Strake	Längd [m]	Simply supported ends	Partly fixed ends	Minskning [mm]
		Tjocklek [mm]	Tjocklek [mm]	
1	0.525	10.5	10.5	0
2	6.050	10	10	0
3	1.700	38	24	-14
4	0.849	52	30	-22
5	1.500	38	24	-14
6	2.000	10	10	0
7	1.650	14	14	0
8	0.235	20	20	0
9	1.841	14	14	0
10	0.523	30	30	0
11	2.639	20	20	0
12	2.639	20	20	0
13	2.639	20	20	0
14	1.489	14	14	0
15	1.055	15	15	0
16	0.750	45	35	-10
17	1.074	15	15	0
18	0.125	4	4	0
19	0.700	20	20	0

Längsgående förstärkning	Simply supported ends		Partly fixed ends	
	Typ	Dimensioner [mm]	Typ	Dimensioner [mm]
Lf-12	Flat	200*20	Bulb	200*9
Lf-13	Flat	200*20	Bulb	200*9
Lf-14	Flat	200*20	Bulb	200*9
Lf-15	Flat	200*20	Bulb	200*9
Lf-16	Flat	200*20	Bulb	200*9

	Simply supported ends	Partly fixed ends
Area sektion	29.56 m ²	29.56 m ²
Omkrets	29.98 m	29.98 m
Medeltjocklek	0.0192 m	0.0170 m
Vridstyvhetsfaktor	$K_v = 2.24 \text{ m}^4$	$K_v = 1.98 \text{ m}^4$

Skrovtjocklek, längsgående förstärkningar samt vridstyvhetsfaktor
4500 m³

Strake	Längd [m]	Simply supported ends	Partly fixed ends	Minskning [mm]
		Tjocklek [mm]	Tjocklek [mm]	
1	2,500	12	10	-2
2	4,150	10	10	0
3	2,260	35	18	-17
4	0,849	44	24	-20
5	1,500	35	18	-17
6	4,550	14	14	0
7	0,900	14	14	0
8	0,235	20	20	0
9	2,259	14	14	0
10	0,382	14	14	0
11	0,200	28	28	0
12	1,071	22	22	0
13	3,500	19	19	0
14	5,208	14	14	0
15	1,205	14	14	0
16	1,100	14	14	0
17	0,900	40	20	-20
18	1,131	14	14	0
19	0,190	4	4	0
20	0,700	20	20	0

Längsgående förstärkning	Simply supported ends		Partly fixed ends	
	Typ	Dimensioner [mm] [mm]	Typ	Dimensioner [mm]
Lf-13	Angle	700*10 200*15	Bulb	240*10
Lf-14	Angle	700*10 200*15	Bulb	240*10
Lf-15	Flat	250*20	Bulb	240*10
Lf-16	Angle	600*10 200*15	Bulb	240*10
Lf-17	Angle	600*10 200*15	Bulb	240*10

	Simply supported ends	Partly fixed ends
Area sektion	40,37 m ²	40,37 m ²
Omkrrets	34,79 m	34,79 m
Medeltjocklek	0,0171 m	0,0150 m
Vridstyvhetsfaktor	$K_v = 3,21 \text{ m}^4$	$K_v = 2,81 \text{ m}^4$

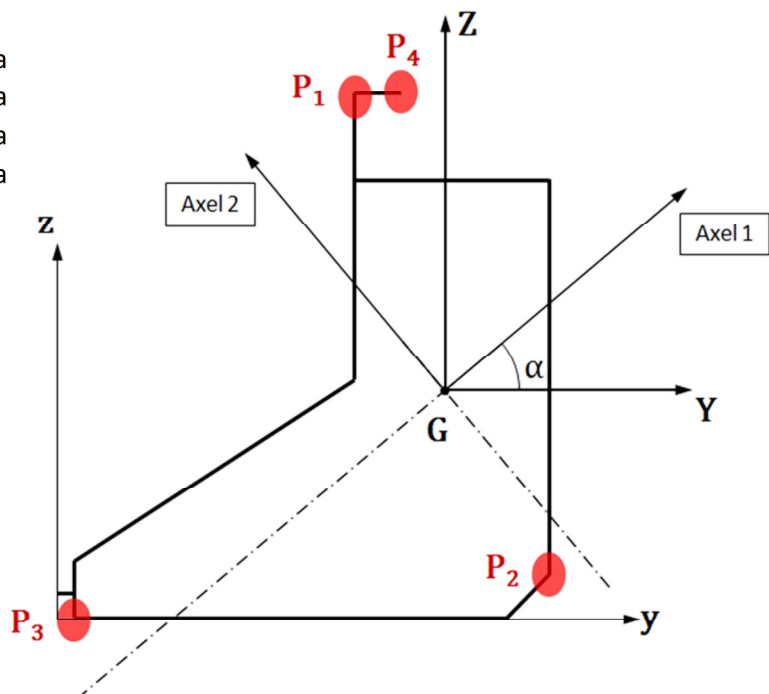
Normalspänningar
700 m³

Partly fixed ends

Horisontellt böjmoment, midskepps	$M_H =$	-11 559 kNm	
Vertikalt böjmoment, midskepps	$M_V =$	-19 309 kNm	
Vinkeländring Y/Axel 1	$\alpha =$	53.509 grader	Från Mars 2000
Yttröghetsmoment, Axel 1	$I_1 =$	0.394262 m ⁴	Från Mars 2000
Yttröghetsmoment, Axel 2	$I_2 =$	1.114781 m ⁴	Från Mars 2000
Tyngdpunktens Y-koordinat	CGY =	3.30562 m	Från Mars 2000
Tyngdpunktens Z-koordinat	CGZ =	2.24324 m	Från Mars 2000
Moment runt axel 1	$M_1 =$	-20 776 kNm	
Moment runt axel 2	$M_2 =$	8 649 kNm	

Data från Mars 2000 (Net scantling)						
	Y	Z	D/Axel 1	D/Axel 2	W/Axel 1	W/Axel 2
P ₁	3.750	5.688	1.691	3.034	0.23311	0.36747
P ₂	5.500	0.375	-2.875	-0.197	-0.13712	-5.65931
P ₃	0.140	0.000	1.211	-3.686	0.32558	-0.30243
P ₄	4.075	5.688	1.430	3.227	0.27570	0.34546

Ref.	σ	
P ₁	-112.7	MPa
P ₂	153.0	MPa
P ₃	-35.2	MPa
P ₄	-100.4	MPa



Maximalt tillåten normalspänning:

Mild steel: $\sigma = 175/1.00 = 175$ MPa.

Normalspänningar

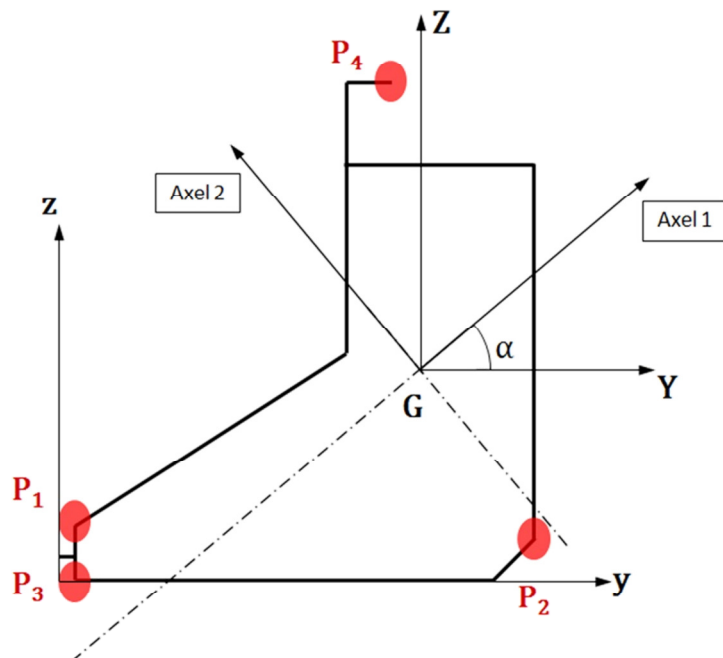
Simply supported ends

700 m³

Horisontellt böjmoment, midskepps	$M_H =$	-24 286 kNm	Från Mars 2000
Vertikalt böjmoment, midskepps	$M_V =$	-22 855 kNm	Från Mars 2000
Vinkeländring Y/Axel 1	$\alpha =$	56.967 grader	Från Mars 2000
Yttröghetsmoment, Axel 1	$I_1 =$	0.515260 m ⁴	Från Mars 2000
Yttröghetsmoment, Axel 2	$I_2 =$	1.160851 m ⁴	Från Mars 2000
Tyngdpunktens Y-koordinat	CGY =	3.43713 m	Från Mars 2000
Tyngdpunktens Z-koordinat	CGZ =	2.16760 m	Från Mars 2000
Moment runt axel 1	$M_1 =$	-32 819 kNm	
Moment runt axel 2	$M_2 =$	5 922 kNm	

Data från Mars 2000 (Net scantling)						
	Y	Z	D/Axel 1	D/Axel 2	W/Axel 1	W/Axel 2
P ₁	0.140	0.400	1.801	-3.279	0.28616	-0.35400
P ₂	5.500	0.375	-2.707	-0.378	-0.19037	-3.06842
P ₃	0.140	0.000	1.583	-3.615	0.32559	-0.32116
P ₄	4.075	5.688	1.384	3.299	0.37222	0.35187

Ref.	σ	
P ₁	-98.0	MPa
P ₂	174.3	MPa
P ₃	-82.4	MPa
P ₄	-105.0	MPa



Maximalt tillåten normalspänning:

Mild steel: $\sigma = 175/1.00 = 175$ MPa.

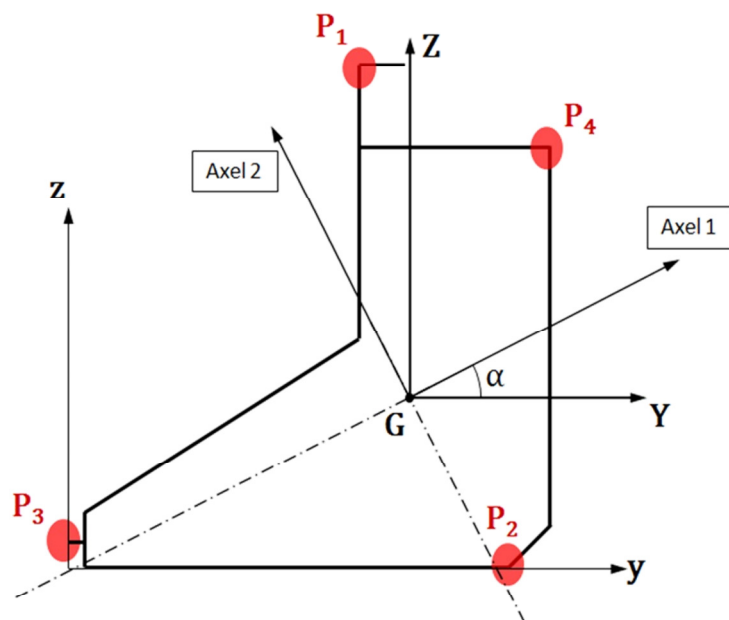
Normalspänningar
2800 m³

Partly fixed ends

Horisontellt böjmoment, midskepps	$M_H =$	-56 686 kNm	
Vertikalt böjmoment, midskepps	$M_V =$	-127 086 kNm	
Vinkeländring Y/Axel 1	$\alpha =$	32.437 grader	Från Mars 2000
Yttröghetsmoment, Axel 1	$I_1 =$	2.011777 m ⁴	Från Mars 2000
Yttröghetsmoment, Axel 2	$I_2 =$	5.256792 m ⁴	Från Mars 2000
Tyngdpunktens Y-koordinat	CGY =	5.70286 m	Från Mars 2000
Tyngdpunktens Z-koordinat	CGZ =	2.53929 m	Från Mars 2000
Moment runt axel 1	$M_1 =$	-137 663 kNm	
Moment runt axel 2	$M_2 =$	20 323 kNm	

Data från Mars 2000 (Net scantling)						
	Y	Z	D/Axel 1	D/Axel 2	W/Axel 1	W/Axel 2
P ₁	7.010	7.005	3.068	3.498	0.65576	1.50259
P ₂	8.400	0.000	-3.590	0.914	-0.56042	5.74932
P ₃	0.000	0.150	1.042	-6.095	1.93006	-0.86252
P ₄	8.977	5.830	1.021	4.528	1.97012	1.16086

Ref.	σ	
P ₁	-223.5	MPa
P ₂	242.1	MPa
P ₃	-47.8	MPa
P ₄	-87.4	MPa



Maximalt tillåten normalspänning:

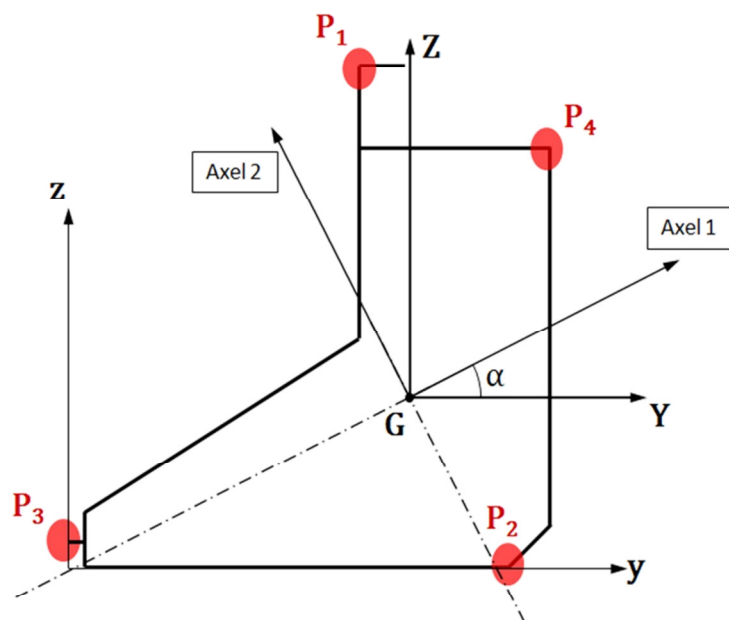
HT - steel: $\sigma = 175/0.72 = 243$ MPa.

Normalspänningar *Simply supported ends*
2800 m³

Horisontellt böjmoment, midskepps	$M_H =$	-128 296 kNm	Från Mars 2000
Vertikalt böjmoment, midskepps	$M_V =$	-155 521 kNm	Från Mars 2000
Vinkeländring Y/Axel 1	$\alpha =$	29.690 grader	Från Mars 2000
Yttröghetsmoment, Axel 1	$I_1 =$	2.698951 m ⁴	Från Mars 2000
Yttröghetsmoment, Axel 2	$I_2 =$	5.509980 m ⁴	Från Mars 2000
Tyngdpunktens Y-koordinat	CGY =	6.03246 m	Från Mars 2000
Tyngdpunktens Z-koordinat	CGZ =	2.36286 m	Från Mars 2000
Moment runt axel 1	$M_1 =$	-198 650 kNm	
Moment runt axel 2	$M_2 =$	-34 422 kNm	

Data från Mars 2000 (Net scantling)						
	Y	Z	D/Axel 1	D/Axel 2	W/Axel 1	W/Axel 2
P ₁	7.010	7.005	3.549	3.148	0.76058	1.75004
P ₂	8.400	0.000	-3.225	0.886	-0.83680	6.21625
P ₃	0.000	0.150	1.066	-6.337	2.53287	-0.86955
P ₄	8.977	5.830	1.554	4.275	1.73732	1.28880

Ref.	σ	
P ₁	-241.5	MPa
P ₂	242.9	MPa
P ₃	-118.0	MPa
P ₄	-87.6	MPa



Maximalt tillåten normalspänning:

HT - steel: $\sigma = 175/0.72 = 243$ MPa.

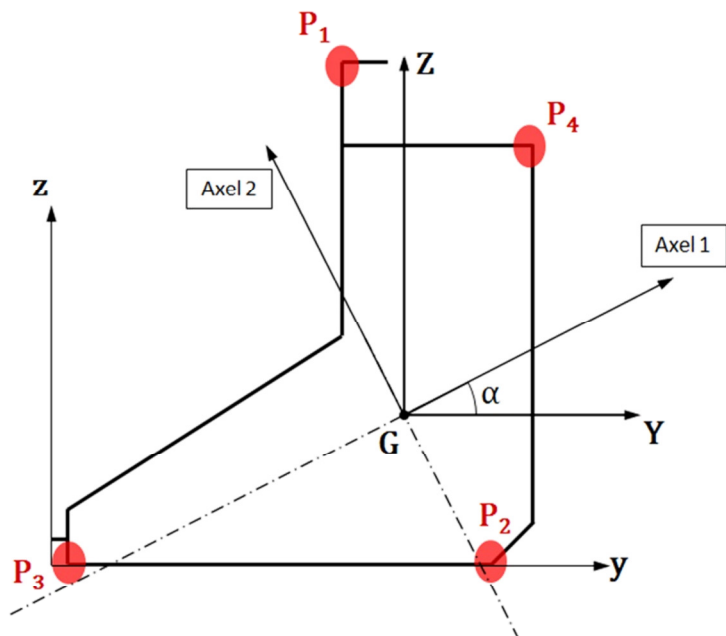
Normalspänningar
4500 m³

Partly fixed ends

Horisontellt böjmoment, midskepps	$M_H =$	-92 810	kNm	
Vertikalt böjmoment, midskepps	$M_V =$	-141 173	kNm	
Vinkeländring Y/Axel 1	$\alpha =$	41.953	grader	Från Mars 2000
Yttröghetsmoment, Axel 1	$I_1 =$	3.017684	m ⁴	Från Mars 2000
Yttröghetsmoment, Axel 2	$I_2 =$	7.770163	m ⁴	Från Mars 2000
Tyngdpunktens Y-koordinat	CGY =	6.16694	m	Från Mars 2000
Tyngdpunktens Z-koordinat	CGZ =	3.20101	m	Från Mars 2000
Moment runt axel 1	$M_1 =$	-167 035	kNm	
Moment runt axel 2	$M_2 =$	25 355	kNm	

Data från Mars 2000 (Net scantling)						
	Y	Z	D/Axel 1	D/Axel 2	W/Axel 1	W/Axel 2
P ₁	7.294	8.900	3.485	4.648	0.86595	1.67169
P ₂	9.100	0.000	-4.341	0.041	-0.69510	187.88538
P ₃	0.190	0.000	1.615	-6.585	1.86837	-1.17999
P ₄	9.662	7.650	0.972	5.573	3.10409	1.39413

Ref.	σ	
P ₁	-208.1	MPa
P ₂	240.2	MPa
P ₃	-67.9	MPa
P ₄	-72.0	MPa



Maximalt tillåten normalspänning:

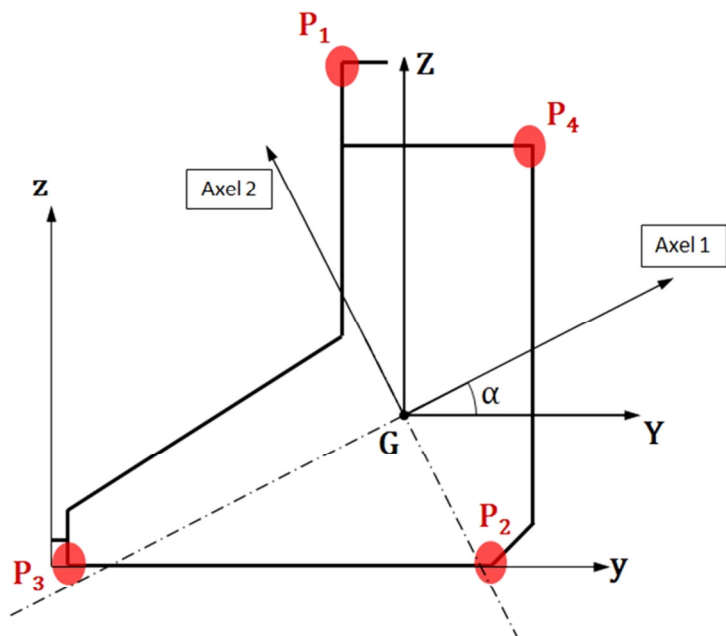
HT - steel: $\sigma = 175/0.72 = 243$ MPa.

Normalspänningar *Simply supported ends*
4500 m³

Horisontellt böjmoment, midskepps	$M_H =$	-206 692 kNm	Från Mars 2000
Vertikalt böjmoment, midskepps	$M_V =$	-173 943 kNm	Från Mars 2000
Vinkeländring Y/Axel 1	$\alpha =$	45.629 grader	Från Mars 2000
Yttröghetsmoment, Axel 1	$I_1 =$	4.364299 m ⁴	Från Mars 2000
Yttröghetsmoment, Axel 2	$I_2 =$	8.320918 m ⁴	Från Mars 2000
Tyngdpunktens Y-koordinat	CGY =	6.56309 m	Från Mars 2000
Tyngdpunktens Z-koordinat	CGZ =	2.99010 m	Från Mars 2000
Moment runt axel 1	$M_1 =$	-269 388 kNm	
Moment runt axel 2	$M_2 =$	-20 201 kNm	

Data från Mars 2000 (Net scantling)						
	Y	Z	D/Axel 1	D/Axel 2	W/Axel 1	W/Axel 2
P ₁	7.294	8.900	3.610	4.736	1.20884	1.75707
P ₂	9.700	0.600	-3.914	0.485	-1.11512	17.15162
P ₃	0.190	0.000	2.465	-6.594	1.77074	-1.26187
P ₄	9.655	7.657	1.053	5.498	4.14310	1.51339

Ref.	σ	
P ₁	-211.4	MPa
P ₂	242.8	MPa
P ₃	-168.1	MPa
P ₄	-51.7	MPa



Maximalt tillåten normalspänning: **HT - steel: $\sigma = 175/0.72 = 243$ MPa.**

Cylinder och gångjärnskrafter **Partly fixed ends**
700 m³

Lastens volym	V=	648	m ³
Hopperlängd	l _p =	25.20	m
Djupgående	T _D =	4.00	m
Höjd från baslinje till packning	a=	0.175	m
Höjd av last	h ₁ =	5.347	m
Vertikal hävarm från F _{Cy} till gångjärnet	a ₃ =	4.050	m
Avståndet från baslinjen till gångjärnet	a ₄ =	5.850	m
Vert. avstånd från baslinjen till låsningsplåtens överkant	a ₅ =	4.600	m
Bredden av den låsande plåten	d _{pf} =	0.40	m
Tyngdkraften på grund av skrovets egenvikt	Δ' ₁ =	4 905	kN
Antal cylindrar	n ₁ =	2	
Lastens densitet	ρ _{max} =	2.00	ton/m ³
Horisontell hävarm från Δ/2 till gångjärnet	b ₁ =	2.750	m
Horisontell hävarm från Δ' ₁ /2 till gångjärnet	b ₂ =	3.200	m
Horisontell hävarm från Q/2 till gångjärnet	b ₃ =	1.630	m
Avstånd från fören till främre gångjärnet	l _f =	11.2	m
Avstånd från aktern till bakre gångjärnet	l _a =	13.2	m
Inspänningsmoment	M' _H =	11 095	kNm
Vertikal hävarm från F _n till gångjärnet	a ₁ =	4.400	m
Vertikal hävarm från F _D till gångjärnet	a ₂ =	3.951	m
Vertikal hävarm från F _{pf} till gångjärnet	a ₆ =	1.450	m
Minsta av avstånden l _f och l _a	l _{min} =	11.20	m
Lastens vertikala kraft	Q=	12 714	kN
Vattnets vertikala kraft	Δ=	17 619	kN
Lastens horisontella kraft	F _D =	6 611	kN
Vattnets horisontella kraft	F _h =	1 853	kN
Moment runt gångjärnen	M=	23 985	kNm
Kraften som verkar på den låsande plåten	F _{pf} =	991	kN
Kraften i en cylinder	F _{mc,pf} =	3 316	kN
Kraften i ett gångjärn	F _{ch,pf} =	1 218	kN
Dynamisk cylinderkraft	F _{mc,pf,dyn} =	5 300	kN
Dynamisk gångjärnskraft	F _{ch,pf,dyn} =	1 974	kN
Inte mindre än (30 % av F _{mc}):		1 590	kN

Cylinder och gångjärnskrafter
700 m³ **Simply supported ends**

Lastens volym	V=	648	m ³
Hopperlängd	l _p =	25.20	m
Djupgående	T _D =	4.00	m
Höjd från baslinje till packning	a=	0.175	m
Höjd av last	h ₁ =	5.347	m
Vertikal hävarm från F _{cy} till gångjärnet	a ₃ =	4.050	m
Avståndet från baslinjen till gångjärnet	a ₄ =	5.850	m
Tyngdkraften på grund av skrovets egenvikt	Δ' _l =	4 905	kN
Antal cylindrar	n ₁ =	2	
Lastens densitet	ρ _{max} =	2.00	ton/m ³
Horisontell hävarm från Δ/2 till gångjärnet	b ₁ =	2.750	m
Horisontell hävarm från Δ' _l /2 till gångjärnet	b ₂ =	3.200	m
Horisontell hävarm från Q/2 till gångjärnet	b ₃ =	1.630	m
Avstånd från fören till främre gångjärnet	l _f =	11.2	m
Avstånd från aktern till bakre gångjärnet	l _a =	13.2	m
Inspänningsmoment	M' _H =	0	kNm
Vertikal hävarm från F _h till gångjärnet	a ₁ =	4.400	m
Vertikal hävarm från F _D till gångjärnet	a ₂ =	3.951	m
Minsta av avstånden l _f och l _a	l _{min} =	11.20	m
Lastens vertikala kraft	Q=	12 714	kN
Vattnets vertikala kraft	Δ=	17 619	kN
Lastens horisontella kraft	F _D =	6 611	kN
Vattnets horisontella kraft	F _h =	1 853	kN
Moment runt gångjärnen	M=	23 985	kNm
Kraften i en cylinder	F _{mc,ss} =	2 961	kN
Kraften i ett gångjärn	F _{ch,ss} =	582	kN
Dynamisk cylinderkraft	F _{mc,ss,dyn} =	4 945	kN
Dynamisk gångjärnskraft	F _{ch,ss,dyn} =	1 338	kN
Inte mindre än (30 % av F _{mc}):		1 483	kN

Cylinder och gångjärnskrafter **Partly fixed ends**
2800 m³

Lastens volym	V=	2 562	m ³
Hopperlängd	l _p =	44.80	m
Djupgående	T _D =	5.10	m
Höjd från baslinje till packning	a=	0.150	m
Höjd av last	h ₁ =	6.671	m
Vertikal hävarm från F _{cy} till gångjärnet	a ₃ =	4.900	m
Avståndet från baslinjen till gångjärnet	a ₄ =	7.500	m
Vert. avstånd från baslinjen till låsningsplåtens överkant	a ₅ =	7.000	m
Bredden av den låsande plåten	d _{pf} =	0.60	m
Tyngdkraften på grund av skrovets egenvikt	Δ' ₁ =	21 435	kN
Antal cylindrar	n ₁ =	2	
Lastens densitet	ρ _{max} =	2.00	ton/m ³
Horisontell hävarm från Δ/2 till gångjärnet	b ₁ =	4.500	m
Horisontell hävarm från Δ' ₁ /2 till gångjärnet	b ₂ =	5.200	m
Horisontell hävarm från Q/2 till gångjärnet	b ₃ =	2.942	m
Avstånd från fören till främre gångjärnet	l _f =	20.0	m
Avstånd från aktern till bakre gångjärnet	l _a =	23.4	m
Inspänningsmoment	M' _H =	53 757	kNm
Vertikal hävarm från F _n till gångjärnet	a ₁ =	5.700	m
Vertikal hävarm från F _D till gångjärnet	a ₂ =	5.176	m
Vertikal hävarm från F _{pf} till gångjärnet	a ₆ =	0.800	m
Minsta av avstånden l _f och l _a	l _{min} =	20.00	m
Lastens vertikala kraft	Q=	50 266	kN
Vattnets vertikala kraft	Δ=	71 701	kN
Lastens horisontella kraft	F _D =	18 685	kN
Vattnets horisontella kraft	F _h =	5 517	kN
Moment runt gångjärnen	M=	96 929	kNm
Kraften som verkar på den låsande plåten	F _{pf} =	2 688	kN
Kraften i en cylinder	F _{mc,pf} =	10 330	kN
Kraften i ett gångjärn	F _{ch,pf} =	5 556	kN
Dynamisk cylinderkraft	F _{mc,pf,dyn} =	16 956	kN
Dynamisk gångjärnskraft	F _{ch,pf,dyn} =	9 854	kN
Inte mindre än (30 % av F _{mc}):		5 087	kN

Cylinder och gångjärnskrafter *Simply supported ends*
2800 m³

Lastens volym	$V=$	2 562	m ³
Hopperlängd	$l_p=$	44.80	m
Djupgående	$T_D=$	5.10	m
Höjd från baslinje till packning	$a=$	0.150	m
Höjd av last	$h_1=$	6.671	m
Vertikal hävarm från F_{cy} till gångjärnet	$a_3=$	4.900	m
Avståndet från baslinjen till gångjärnet	$a_4=$	7.500	m
Tyngdkraften på grund av skrovets egenvikt	$\Delta'_1=$	21 435	kN
Antal cylindrar	$n_1=$	2	
Lastens densitet	$\rho_{max}=$	2.00	ton/m ³
Horisontell hävarm från $\Delta/2$ till gångjärnet	$b_1=$	4.500	m
Horisontell hävarm från $\Delta'_1/2$ till gångjärnet	$b_2=$	5.200	m
Horisontell hävarm från $Q/2$ till gångjärnet	$b_3=$	2.942	m
Avstånd från fören till främre gångjärnet	$l_f=$	20.0	m
Avstånd från aktern till bakre gångjärnet	$l_a=$	23.4	m
Inspänningsmoment	$M'_H=$	0	kNm
Vertikal hävarm från F_h till gångjärnet	$a_1=$	5.700	m
Vertikal hävarm från F_D till gångjärnet	$a_2=$	5.176	m
Minsta av avstånden l_f och l_a	$l_{min}=$	20.00	m
Lastens vertikala kraft	$Q=$	50 266	kN
Vattnets vertikala kraft	$\Delta=$	71 701	kN
Lastens horisontella kraft	$F_D=$	18 685	kN
Vattnets horisontella kraft	$F_h=$	5 517	kN
Moment runt gångjärnen	$M=$	96 929	kNm
Kraften i en cylinder	$F_{mc,ss}=$	9 891	kN
Kraften i ett gångjärn	$F_{ch,ss}=$	3 307	kN
Dynamisk cylinderkraft	$F_{mc,ss,dyn}=$	16 517	kN
Dynamisk gångjärnskraft	$F_{ch,ss,dyn}=$	7 605	kN
Inte mindre än (30 % av F_{mc}):		4 955	kN

Cylinder och gångjärnskrafter
4500 m³
Partly fixed ends

Lastens volym	$V=$	3 690	m ³
Hopperlängd	$l_p=$	52.50	m
Djupgående	$T_D=$	7.00	m
Höjd från baslinje till packning	$a=$	0.238	m
Höjd av last	$h_1=$	7.842	m
Vertikal hävarm från F_{cy} till gångjärnet	$a_3=$	5.850	m
Avståndet från baslinjen till gångjärnet	$a_4=$	8.350	m
Vert. avstånd från baslinjen till låsningsplåtens överkant	$a_5=$	8.350	m
Bredden av den låsande plåten	$d_{pf}=$	0.60	m
Tyngdkraften på grund av skrovets egenvikt	$\Delta'_1=$	26 055	kN
Antal cylindrar	$n_1=$	2	
Lastens densitet	$\rho_{max}=$	2.00	ton/m ³
Horisontell hävarm från $\Delta/2$ till gångjärnet	$b_1=$	4.850	m
Horisontell hävarm från $\Delta'_1/2$ till gångjärnet	$b_2=$	5.500	m
Horisontell hävarm från $Q/2$ till gångjärnet	$b_3=$	3.035	m
Avstånd från fören till främre gångjärnet	$l_f=$	18.6	m
Avstånd från aktern till bakre gångjärnet	$l_a=$	23.0	m
Inspänningsmoment	$M'_H=$	88 133	kNm
Vertikal hävarm från F_h till gångjärnet	$a_1=$	5.858	m
Vertikal hävarm från F_D till gångjärnet	$a_2=$	5.577	m
Vertikal hävarm från F_{pf} till gångjärnet	$a_6=$	0.300	m
Minsta av avstånden l_f och l_a	$l_{min}=$	18.60	m
Lastens vertikala kraft	$Q=$	72 398	kN
Vattnets vertikala kraft	$\Delta=$	98 453	kN
Lastens horisontella kraft	$F_D=$	29 773	kN
Vattnets horisontella kraft	$F_h=$	12 065	kN
Moment runt gångjärnen	$M=$	152 610	kNm
Kraften som verkar på den låsande plåten	$F_{pf}=$	4 738	kN
Kraften i en cylinder	$F_{mc,pf}=$	13 287	kN
Kraften i ett gångjärn	$F_{ch,pf}=$	8 685	kN
Dynamisk cylinderkraft	$F_{mc,pf,dyn}=$	22 026	kN
Dynamisk gångjärnskraft	$F_{ch,pf,dyn}=$	14 131	kN
Inte mindre än (30 % av F_{mc}):		6 608	kN

Cylinder och gångjärnskrafter *Simply supported ends*
4500 m³

Lastens volym	V=	3 690	m ³
Hopperlängd	l _p =	52.50	m
Djupgående	T _D =	7.00	m
Höjd från baslinje till packning	a=	0.238	m
Höjd av last	h ₁ =	7.842	m
Vertikal hävarm från F _{cy} till gångjärnet	a ₃ =	5.850	m
Avståndet från baslinjen till gångjärnet	a ₄ =	8.350	m
Tyngdkraften på grund av skrovets egenvikt	Δ' _l =	26 055	kN
Antal cylindrar	n ₁ =	2	
Lastens densitet	ρ _{max} =	2.00	ton/m ³
Horisontell hävarm från Δ/2 till gångjärnet	b ₁ =	4.850	m
Horisontell hävarm från Δ' _l /2 till gångjärnet	b ₂ =	5.500	m
Horisontell hävarm från Q/2 till gångjärnet	b ₃ =	3.035	m
Avstånd från fören till främre gångjärnet	l _f =	18.6	m
Avstånd från aktern till bakre gångjärnet	l _a =	23.0	m
Inspänningsmoment	M' _H =	88 133	kNm
Vertikal hävarm från F _h till gångjärnet	a ₁ =	5.858	m
Vertikal hävarm från F _D till gångjärnet	a ₂ =	5.577	m
Minsta av avstånden l _f och l _a	l _{min} =	18.60	m
Lastens vertikala kraft	Q=	72 398	kN
Vattnets vertikala kraft	Δ=	98 453	kN
Lastens horisontella kraft	F _D =	29 773	kN
Vattnets horisontella kraft	F _h =	12 065	kN
Moment runt gångjärnen	M=	152 610	kNm
Kraften i en cylinder	F _{mc,ss} =	13 044	kN
Kraften i ett gångjärn	F _{ch,ss} =	4 190	kN
Dynamisk cylinderkraft	F _{mc,ss,dyn} =	21 783	kN
Dynamisk gångjärnskraft	F _{ch,ss,dyn} =	9 636	kN
Inte mindre än (30 % av F _{mc}):		6 535	kN