

Polski Rejestr Statków

PRZEPISY RULES

PUBLIKACJA NR 83/P
PUBLICATION NO. 83/P

ZALECENIA DO METODYKI OCENY UKŁADÓW PRZELEWOWYCH BALASTU RECOMMENDATION ON A STANDARD METHOD FOR EVALUATING CROSS-FLOODING ARRANGEMENTS

2012

Publikacje P (Przepisowe) wydawane przez Polski Rejestr Statków są uzupełnieniem lub rozszerzeniem Przepisów i stanowią wymagania obowiązujące tam, gdzie mają zastosowanie.

Publications P (Additional Rule Requirements) issued by Polski Rejestr Statków complete or extend the Rules and are mandatory where applicable.



GDAŃSK

Publikacja Nr 83/P – Zalecenia do metodyki oceny układów przelewowych balastu – 2012 została zatwierdzona przez Zarząd PRS S.A. w dniu 16 kwietnia 2012 r. i wchodzi w życie z dniem 1 maja 2012 r.

Publication No. 83/P – Recommendation on a Standard Method for Evaluating Cross-Flooding Arrangements – 2012 was approved by the PRS Board on 16 April 2012 and enters into force on 1 May 2012.

© Copyright by Polski Rejestr Statków S.A., 2012

PRS/AW, 04/2012

ISBN 978-83-7664-070-9

SPIS TREŚCI

	str.
1 Zakres i cel stosowania	5
2 Określenia	5
3 Wzory	5
4 Kryteria odpowietrzania	7
5 Metody alternatywne	7
Załącznik 1	
Przykład wpływu podejmowanych działań na kąty przechyłu i wysokości słupów wody w różnych etapach zalewania	8
Załącznik 2	
Współczynniki oporu przepływu w układach przelewowych	9
Załącznik 3	
Przykład obliczeniowy dla statku pasażerskiego	12

CONTENTS

	page
1 Publication scope and aim	15
2 Definitions	15
3 Formulae	16
4 Air pipe venting criteria	17
5 Alternatives	17
Appendix 1	
Example for treatment of heel angles and water heads at different stages of cross-flooding	18
Appendix 2	
Friction coefficients in cross-flooding arrangement	19
Appendix 3	
Example of using figures for a passenger ship	22

1 ZAKRES I CEL STOSOWANIA

Publikacja Nr 83/P zostaje opublikowana w celu wprowadzenia metodyki jednolitej oceny układów przelewowych balastu (urządzeń do zalewania poprzecznego) na statkach podlegających wymaganiom dotyczącym stateczności i niezatapialności z rozdziału II-1 konwencji SOLAS. Metodyka ta oparta jest na *Rezolucji MSC. 245(83)*.

2 OKREŚLENIA

Σk – suma współczynników oporu przepływu w rozważanym poprzecznym układzie przelewowym;

S [m²] – powierzchnia przekroju poprzecznego rury lub rurociągu przelewowego. Jeżeli ten przekrój nie jest okrągły, wówczas należy zastosować wzór na powierzchnię równoważną:

$$S_r = \frac{\pi D_r^2}{4}, [\text{m}^2]$$

gdzie:

$$D_r = \frac{4A}{p}, [\text{m}^2];$$

A – rzeczywista powierzchnia przekroju poprzecznego, [m²];

p – rzeczywisty obwód przekroju poprzecznego, [m];

θ_0 [°] – kąt przechyłu przed rozpoczęciem zalewania poprzecznego. Zakłada się, że urządzenie przelewowe jest w pełni zalane, ale że żadna ilość wody nie wpłynęła do przedziału wyrównawczego po przeciwnej stronie niż zaistniałe uszkodzenie (patrz Załącznik 1);

θ_f [°] – kąt przechyłu w stanie końcowej równowagi ($\theta_f \leq \theta$);

θ [°] – dowolny kąt przechyłu pomiędzy początkiem zalewania poprzecznego a stanem końcowej równowagi w danym czasie;

W_f [m³] – objętość wody potrzebnej do przechylenia statku od początku zalewania poprzecznego przy θ_0 do stanu końcowej równowagi przy θ_f ;

W_θ [m³] – objętość wody potrzebnej do przechylenia statku od dowolnego kąta θ do stanu końcowej równowagi przy θ_f ;

H_0 [m] – wysokość słupa wody przed rozpoczęciem zalewania poprzecznego, przy tym samym założeniu, jak w przypadku θ_0 ;

H_θ [m] – wysokość słupa wody w momencie osiągnięcia kąta θ ;

h_f [m] – końcowa wysokość słupa wody po zalewaniu poprzecznym ($h_f = 0$ gdy poziom wewnątrz przedziału wyrównawczego jest równy poziomowi swobodnej powierzchni morza).

3 WZORY

3.1 Czas wymagany do osiągnięcia stanu końcowej równowagi przy kącie θ_f od rozpoczęcia zalewania przy kącie θ_0 można obliczyć ze wzoru:

$$T_f = \frac{2W_f}{SF} \frac{\left(1 - \sqrt{\frac{h_f}{H_0}}\right)}{\sqrt{2gH_0}} \frac{1}{\left(1 - \frac{h_f}{H_0}\right)} \quad (3.1)$$

3.2 Czas wymagany dla wyprostowania statku od dowolnego kąta przechyłu θ do stanu końcowej równowagi przy kącie θ_f można obliczyć ze wzoru:

$$T_\theta = \frac{2W_\theta}{SF} \frac{\left(1 - \sqrt{\frac{h_f}{H_\theta}}\right)}{\sqrt{2gH_\theta}} \frac{1}{\left(1 - \frac{h_f}{H_\theta}\right)} \quad (3.2)$$

3.3 Czas wymagany od rozpoczęcia zalewania przy θ_0 do dowolnego kąta przechyłu θ można obliczyć ze wzoru:

$$T = T_f - T_\theta \quad (3.3)$$

3.4 Bezwymiarowy współczynnik redukcji prędkości przez urządzenie wyrównawcze, zależny od załamań, zaworów itd. w systemie przelewowym, obliczany jest ze wzoru:

$$F = \frac{1}{\sqrt{\sum k}} \quad (3.4)$$

gdzie F nie może być przyjmowany jako większy od jedności.

Wartości k można otrzymać z Załącznika 2 lub innych odpowiednich źródeł informacji.

3.5 Zalewanie poprzeczne poprzez kolejne urządzenia o różnych przekrojach.

Jeśli ten sam przepływ występuje w kolejnych urządzeniach przelewowych (zalewających) o przekrojach S_1, S_2, S_3, \dots , mających odpowiednio współczynniki oporu przepływu k_1, k_2, k_3, \dots , wówczas całkowity współczynnik k odniesiony do przekroju S_1 wynosi:

$$\sum k = k_1 + k_2 \frac{S_1^2}{S_2^2} + k_3 \frac{S_1^2}{S_3^2} \dots \quad (3.5)$$

3.6 Jeżeli przez różne urządzenia zalewające nie przepływa ta sama część (objętość) cieczy, każdy współczynnik k powinien być pomnożony przez kwadratową potęgę ułamka, którego licznikiem jest objętość cieczy przepływającej przez dane urządzenie, a mianownikiem objętość cieczy przepływającej przez przekrój odniesienia¹:

¹ Używanego do obliczeń czasu.

$$\sum k = k_1 + k_2 \frac{S_1^2 W_2^2}{S_2^2 W_1^2} + k_3 \frac{S_1^2 W_3^2}{S_3^2 W_1^2} \dots \quad (3.6)$$

3.7 Przy zatapianiu przez urządzenia ustawione równolegle, które prowadzą do tej samej przestrzeni, czas do osiągnięcia wyprostowania statku powinien być obliczany przy założeniu, że:

$$SF = S_1 F_1 + S_2 F_2 + \dots \quad (3.7)$$

gdzie $F = 1/\sqrt{\sum k}$ dla każdego urządzenia o przekroju S_i .

4 KRYTERIA ODPOWIETRZANIA

4.1 W układach, w których całkowita powierzchnia przekroju poprzecznego rurociągów odpowietrzających wynosi nie mniej niż 10% powierzchni przekroju do zalewania poprzecznego można pominąć ograniczający efekt wstecznego ciśnienia powietrza w obliczeniach związanych z tym procesem. Powierzchnia przekroju poprzecznego rur odpowietrzających powinna być przyjęta jako równa powierzchni minimalnej lub powierzchni netto przekroju poprzecznego któregośkolwiek z automatycznych urządzeń zamykających (w zależności od tego, która z nich jest mniejsza).

4.2 W układach, w których całkowita powierzchnia przekroju poprzecznego rurociągów odpowietrzających jest mniejsza od 10% powierzchni przekroju do zalewania poprzecznego, należy uwzględnić ograniczający efekt ciśnienia wstecznego powietrza w ww. obliczeniach. W tym celu można zastosować następującą metodę:

We współczynniku k należy uwzględnić spadek ciśnienia w rurociągu odpowietrzającym. Może to być dokonane poprzez użycie równoważnego współczynnika k_r obliczanego z następującego wzoru:

$$k_r = k_w + k_p \left(\rho_p / \rho_w \right) \left(S_w / S_p \right)^2 \quad (4.2)$$

gdzie:

k_w – współczynnik k dla układu zalewania poprzecznego (dla wody);

k_p – współczynnik k dla rurociągu odpowietrzającego;

ρ_w – gęstość wody;

ρ_p – gęstość powietrza;

S_w – powierzchnia przekroju poprzecznego urządzenia do zalewania poprzecznego (dla wody);

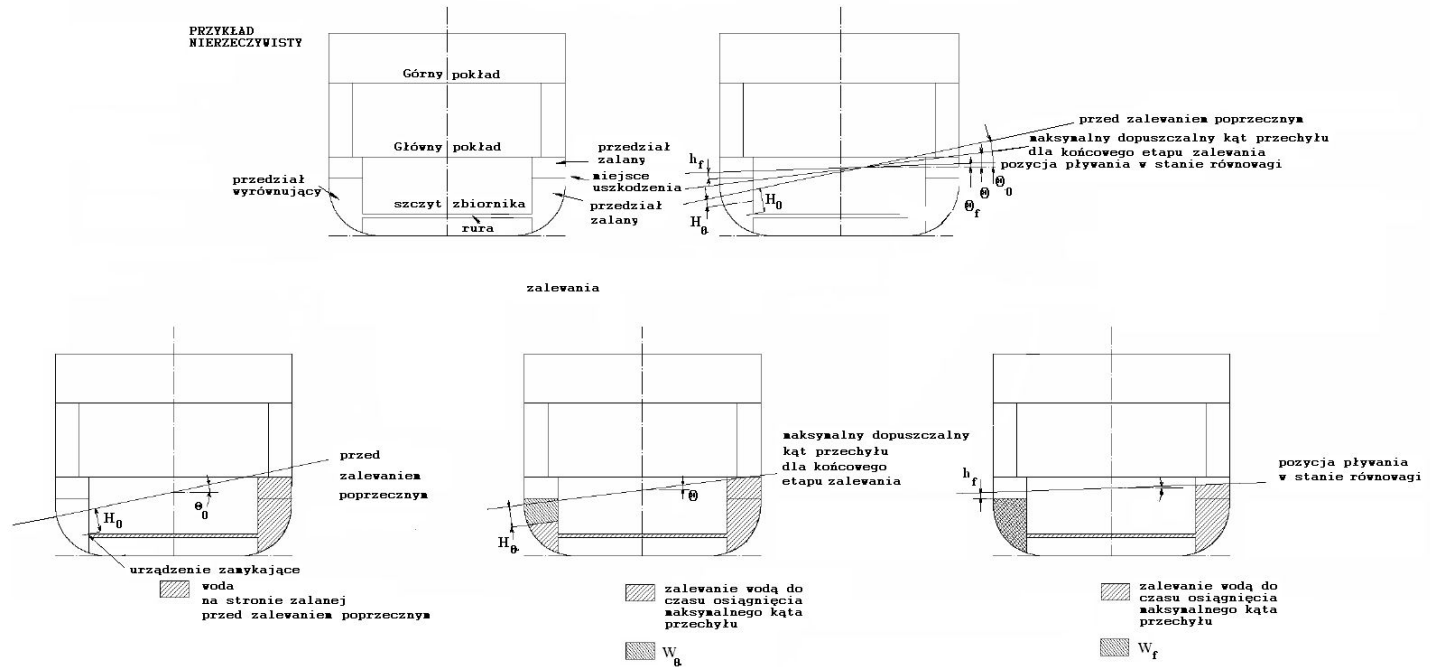
S_p – powierzchnia przekroju poprzecznego rurociągu odpowietrzającego.

5 METODY ALTERNATYWNE

Jako alternatywne wobec wymagań z rozdziałów 3 i 4 niniejszej *Publikacji* oraz dla układów innych niż te pokazane w Załączniku 2 mogą być stosowane bezpośrednio obliczenia wykorzystujące CFD (Computational Fluid Dynamics), symulacje z czasem jako dziedziną (time-domain simulations) lub próby modelowe.

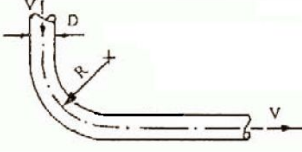
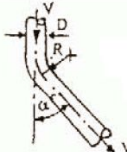
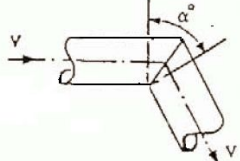
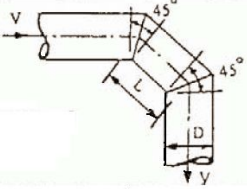
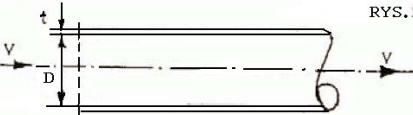
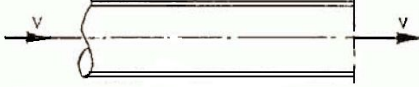
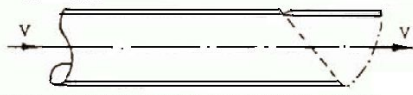
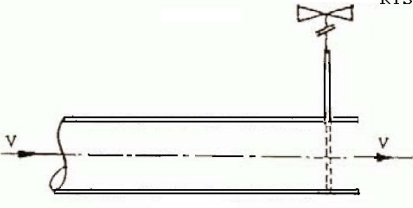
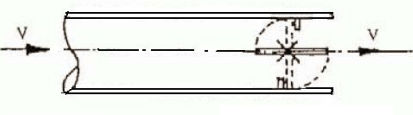
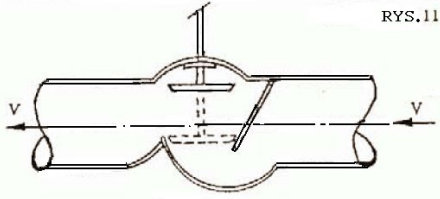
ZALĄCZNIK 1

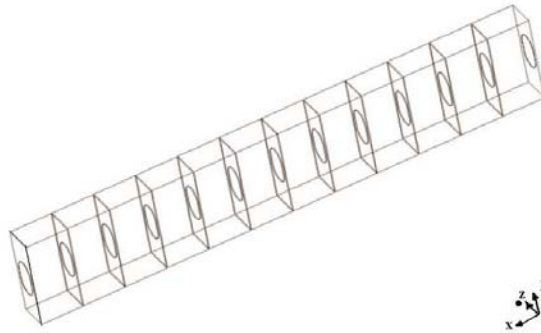
Przykład wpływu podejmowanych działań na kąty przechyłu i wysokości słupów wody w różnych etapach zalewania



ZAŁĄCZNIK 2

Współczynniki oporu przepływu w układach przelewowych

<p style="text-align: right;">RYS. 1</p>  <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>k</td> <td>0,30</td> <td>0,26</td> <td>0,23</td> <td>0,20</td> <td>0,18</td> <td>0,17</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">KOLANO RUROWE ZAKRĄGLONE 90°</p>	R/D	2	3	4	5	6	7	k	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18	0,17	<p style="text-align: right;">RYS. 2</p>  <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>α°</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>45</th> <th>60</th> <th>75</th> <th>90</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>k</td> <td>0,06</td> <td>0,12</td> <td>0,18</td> <td>0,24</td> <td>0,27</td> <td>0,30</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">KOLANO RUROWE PROMIENIOWE R/D = 2</p>	α°	15	30	45	60	75	90	k	0,06	0,12	0,18	0,24	0,27	0,30
R/D	2	3	4	5	6	7																							
k	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18	0,17																							
α°	15	30	45	60	75	90																							
k	0,06	0,12	0,18	0,24	0,27	0,30																							
<p style="text-align: right;">RYS. 3</p>  <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>α°</th> <th>5</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>45</th> <th>60</th> <th>90</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>k</td> <td>0,02</td> <td>0,06</td> <td>0,17</td> <td>0,32</td> <td>0,68</td> <td>1,26</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">KOLANO RUROWE ŁAMANE</p>	α°	5	15	30	45	60	90	k	0,02	0,06	0,17	0,32	0,68	1,26	<p style="text-align: right;">RYS. 4</p>  <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>L/D</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>k</td> <td>0,41</td> <td>0,40</td> <td>0,43</td> <td>0,46</td> <td>0,46</td> <td>0,44</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">KOLANO RUROWE PODWOJNIE ŁAMANE 90°</p>	L/D	1	2	3	4	5	6	k	0,41	0,40	0,43	0,46	0,46	0,44
α°	5	15	30	45	60	90																							
k	0,02	0,06	0,17	0,32	0,68	1,26																							
L/D	1	2	3	4	5	6																							
k	0,41	0,40	0,43	0,46	0,46	0,44																							
<p style="text-align: right;">RYS. 5</p>  <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>t/D</th> <th>0,01</th> <th>0,02</th> <th>0,03</th> <th>0,04</th> <th>0,05</th> <th>0,06</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>k</td> <td>0,83</td> <td>0,68</td> <td>0,53</td> <td>0,46</td> <td>0,44</td> <td>0,43</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">WLOT RURY</p>	t/D	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	k	0,83	0,68	0,53	0,46	0,44	0,43	<p style="text-align: right;">RYS. 6</p>  <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">$k = 0,1$ WYLOT RURY</p>														
t/D	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06																							
k	0,83	0,68	0,53	0,46	0,44	0,43																							
<p style="text-align: right;">RYS. 7</p> <p>$k = 0,5$</p>  <p style="font-size: small;">Wartość k w rzeczywistości zwiększa się wraz ze zwiększaniem liczby Froude'a, zwłaszcza przy prędkościach mniejszych od 2 m/s</p> <p style="text-align: center;">ZAWÓR ZWROTNY</p>	<p style="text-align: right;">RYS. 8</p> <p>$k = \frac{0,02}{D}$ na jednostkę długości</p> <p style="font-size: x-small;">Powyższy współczynnik jest wartością średnią i w rzeczywistości zmienia się jak liczba Reynoldsa (tzn. zmienia się z prędkością V przy stałej D oraz μ) jak i ze względną chropowatością).</p> <p style="text-align: center;">STRATY OD OPORU PRZEPIYWU W RURZE</p>																												
<p style="text-align: right;">RYS. 9</p>  <p style="text-align: center;">$k = 0,3$ ZASUWA</p>	<p style="text-align: right;">RYS. 10</p>  <p style="text-align: center;">$k = 0,8$ ZAWÓR MOTYLKOWY</p>																												
<p style="text-align: right;">RYS. 11</p>  <p style="text-align: center;">$k = 0,6$ ZAWÓR TALERZOWY</p>																													



RYS.12

Zalewanie poprzeczne dokonywane poprzez ciąg strukturalnych komór z jednym włazem

$$k = 0,2748 \cdot L_i + 0,0313$$

$$\text{dla } 0 < L_i < 1$$

$$k = -0,0986 \cdot L_i^3 + 0,6873 \cdot L_i^2 - 1,0212 \cdot L_i + 0,7386$$

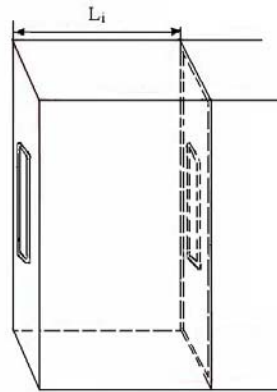
$$\text{dla } 1 \leq L_i \leq 4$$

$$k = 1,34$$

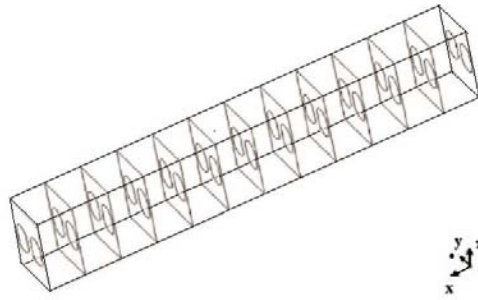
$$\text{dla } L_i > 4$$

Uwaga:

k - współczynnik oporu przepływu cieczy związany z każdą przestrzenią pomiędzy dwoma sąsiednimi wzdłużnikami. k jest wyznaczany z uwzględnieniem efektywnego przekroju poprzecznego. W związku z tym w obliczeniach należy używać rzeczywistego pola przekroju poprzecznego A , a nie S_p . Spadek ciśnienia na wejściu do pierwszego włazu jest już uwzględniony w obliczeniach. Należy dodać $k = 1$, aby uwzględnić straty na wyjściu.



L_i (w metrach)



RYS.13

Zalewanie poprzeczne dokonywane poprzez ciąg strukturalnych komór z dwoma włączami

$$\begin{array}{ll}
 k = 0,4045 \cdot L_i + 0,0627 & \text{dla } 0 < L_i < 1 \\
 k = 0,0424 \cdot L_i^3 - 0,3593 \cdot L_i^2 + 1,1401 \cdot L_i - 0,356 & \text{dla } 1 \leq L_i \leq 4 \\
 k = 1,17 & \text{dla } L_i > 4
 \end{array}$$

Uwaga:

k - współczynnik oporu przepływu cieczy odniesiony do każdej przestrzeni pomiędzy sąsiednimi wzdłużnikami. k jest wyznaczany z uwzględnieniem efektywnego pola przekroju poprzecznego. W związku z tym w obliczeniach należy używać rzeczywistego pola przekroju poprzecznego A , a nie S_r . Spadek ciśnienia na wejściu do pierwszego włączu jest już uwzględniony w obliczeniach. Należy dodać $k = 1$, aby uwzględnić straty na wyjściu.

ZAŁĄCZNIK 3

Przykład obliczeniowy dla statku pasażerskiego

Założone wymiary rurociągu układu zalewania przelewowego:

Średnica $D = 0,39$ m

Długość $l = 21,0$ m

Powierzchnia przekroju poprzecznego $S = 0,12$ m²

Grubość ścianki $t = 17,5$ mm

Wartości współczynnika k dla rozważanego układu:

Wlot 0,45

Opór przepływu w rurze $\frac{0,02l}{D}$ 1,08

Dwa kolana promieniowe ($\alpha = 45^\circ$) 0,36

Zawór zwrotny 0,50

Wylot $\frac{1,00}{\Sigma = 3,39}$

Zakłada się występowanie dostatecznego odpowietrzania.

Stąd:

Podstawiając do wzoru $F = \frac{1}{\sqrt{\Sigma k}}$ właściwe dane otrzymujemy $F = \frac{1}{\sqrt{3,39}} = 0,54$

Czas potrzebny od rozpoczęcia zalewania przy kącie θ_0 do osiągnięcia stanu końcowej równowagi przy kącie θ_f :

$$T_f = \frac{2W_f}{SF} \frac{\left(1 - \sqrt{\frac{h_f}{H_0}}\right)}{\sqrt{2gH_0}} \frac{1}{\left(1 - \frac{h_f}{H_0}\right)}$$

Wysokość słupa wody przed rozpoczęciem zalewania:

$$H_0 = 5,3 \text{ m}$$

Objętość wody potrzebnej do wyprostowania statku od początku zalewania przy kącie θ_0 do stanu końcowej równowagi przy kącie θ_f :

$$W_f = 365 \text{ m}^3$$

Końcowa wysokość słupa wody po wyrównawczym zalewaniu poprzecznym:

$$h_f = 1,5 \text{ m}$$

$$T_f = \frac{2 \times 365 \text{ m}^3}{0,12 \text{ m}^2 \times 0,54} \frac{\left(1 - \sqrt{\frac{1,5 \text{ m}}{5,3 \text{ m}}}\right)}{\sqrt{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 5,3 \text{ m}}} \frac{1}{\left(1 - \frac{1,5 \text{ m}}{5,3 \text{ m}}\right)}$$

$$T_f = 721 \text{ s} \approx 12,0 \text{ min}$$

Czas wymagany do wyprostowania statku od maksymalnego dopuszczalnego kąta przechyłu θ dla końcowego etapu zalewania do stanu końcowej równowagi przy kącie θ_f :

$$T_\theta = \frac{2W_\theta}{SF} \frac{1 - \sqrt{\frac{h_f}{H_\theta}}}{\sqrt{2gH_\theta}} \frac{1}{\left(1 - \frac{h_f}{H_\theta}\right)}$$

Maksymalny dopuszczalny kąt przechyłu w końcowym etapie zalewania $\theta = 7^\circ$

Ciężność słupa wody po osiągnięciu ww. kąta przechyłu θ $H_\theta = 3,7 \text{ m}$

Objętość wody potrzebnej do wyprostowania przechylenia statku od dowolnego kąta θ do stanu końcowej równowagi $W_\theta = 160 \text{ m}^3$

$$T_\theta = \frac{2 \times 160 \text{ m}^3}{0,12 \text{ m}^2 \times 0,54} \frac{\left(1 - \sqrt{\frac{1,5 \text{ m}}{3,7 \text{ m}}}\right)}{\sqrt{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 3,7 \text{ m}}} \frac{1}{\left(1 - \frac{1,5 \text{ m}}{3,7 \text{ m}}\right)}$$

$$T_\theta = 354 \text{ s} = 5,9 \text{ min}$$

Czas potrzebny od rozpoczęcia zalewania przy kącie θ_0 do osiągnięcia maksymalnego dopuszczalnego kąta przechyłu dla końcowego etapu zalewania:

$$T = T_f - T_\theta = 12,0 \text{ min} - 5,9 \text{ min} = 6,1 \text{ min}$$

**RECOMMENDATION ON A STANDARD METHOD
FOR EVALUATING CROSS-FLOODING ARRANGEMENTS**

1 PUBLICATION SCOPE AND AIM

Publication No. 83/P has been published in order to implement the method of standard evaluation of ballast cross-flooding arrangements on ships liable to the requirements concerning stability and subdivision of *SOLAS*, Chapter II-1. The method is based on *Resolution MSC. 245(83)*.

2 DEFINITIONS

Σk – sum of friction coefficients in the considered cross-flooding arrangement;

S [m²] – cross-section area of the cross-flooding pipe or duct. If the cross-section area is not circular, then the below formula shall be applied:

$$S_\gamma = \frac{\pi D_r^2}{4}, [\text{m}^2]$$

where

$$D_r = \frac{4A}{p}, [\text{m}^2];$$

A – actual cross-section area, [m²], actual cross-section area,

p – actual cross-section perimeter, [m];

θ_0 [°] – angle before commencement of cross-flooding. This assumes that the cross-flooding device is fully flooded but that no water has entered into the equalizing compartment on the opposite side of the damage (see appendix 1).

θ_f [°] – heel angle at final equilibrium ($\theta_f \leq \theta$);

θ [°] – any angle of heel between the commencement of cross-flooding and the final equilibrium at a given time;

W_f [m³] – volume of water which is used to bring the ship from commencement of cross-flooding θ_0 to final equilibrium θ_f ;

W_θ [m³] – volume of water which is used to bring the ship from any angle of heel θ to the final equilibrium θ_f ;

H_0 [m] – head of water before commencement of cross-flooding, with the same assumption as in the case of θ_0 ;

H_θ [m] – head of water when any angle of heel θ is achieved;

h_f [m] – final head of water after cross-flooding ($h_f = 0$, when the level inside the equalizing compartment is equal to the free level of the sea).

3 FORMULAE

3.1 Time required from commencement of cross-flooding θ_0 to the final equilibrium θ_f :

$$T_f = \frac{2W_f}{SF} \frac{\left(1 - \sqrt{\frac{h_f}{H_0}}\right)}{\sqrt{2gH_0}} \frac{1}{\left(1 - \frac{h_f}{H_0}\right)} \quad (3.1)$$

3.2 Time required to bring the ship from any angle of heel θ to the final equilibrium θ_f :

$$T_\theta = \frac{2W_\theta}{SF} \frac{\left(1 - \sqrt{\frac{h_f}{H_\theta}}\right)}{\sqrt{2gH_\theta}} \frac{1}{\left(1 - \frac{h_f}{H_\theta}\right)} \quad (3.2)$$

3.3 Time required from commencement of cross-flooding θ_0 until any angle of heel θ is achieved:

$$T = T_f - T_\theta \quad (3.3)$$

3.4 Dimensionless factor of reduction of speed through an equalization device, being a function of bends, valves, etc., in the cross-flooding system:

$$F = \frac{1}{\sqrt{\sum k}} \quad (3.4)$$

where F is not to be taken as more than 1.

Values for k can be obtained from appendix 2 or other appropriate sources.

3.5 Cross-flooding through successive devices of different cross-section.

If the same flow crosses successive flooding devices of cross-section S_1, S_2, S_3, \dots , having corresponding friction coefficients k_1, k_2, k_3, \dots , then the total k coefficient referred to S_1 is:

$$\sum k = k_1 + k_2 \frac{S_1^2}{S_2^2} + k_3 \frac{S_1^2}{S_3^2} \dots \quad (3.5)$$

3.6 If different flooding devices are not crossed by the same volume, each k coefficient should be multiplied by the square of the ratio of the volume crossing the device and the volume crossing the reference section¹:

¹ which will be used for the time calculation

$$\Sigma k = k_1 + k_2 \frac{S_1^2 W_2^2}{S_2^2 W_1^2} + k_3 \frac{S_1^2 W_3^2}{S_3^2 W_1^2} \dots \quad (3.6)$$

3.7 For cross-flooding through devices in parallel that lead to the same space, equalization time should be calculated assuming that:

$$SF = S_1 F_1 + S_2 F_2 + \dots \quad (3.7)$$

with $F = 1/\sqrt{\Sigma k}$ for each device of cross-section S_i .

4 AIR PIPE VENTING CRITERIA

4.1 In arrangements where the total air pipe sectional area is 10% or more of the cross-flooding sectional area, the restrictive effect of any air back pressure may be neglected in the cross-flooding calculations. The air pipe sectional area should be taken as the minimum or the net sectional area of any automatic closing devices, if that is less.

4.2 In arrangements where the total air pipe sectional area is less than 10% of the cross-flooding sectional area, the restrictive effect of air back pressure should be considered in the cross-flooding calculations. The following method may be used for this purpose:

The k coefficient used in the calculation of cross-flooding time should take into account the drop of head in the air pipe. This can be done using an equivalent coefficient k_e , which is calculated according to the following formula:

$$k_e = k_w + k_a (\rho_a / \rho_w) (S_w / S_a)^2 \quad (4.2)$$

where:

k_w = k coefficient for the cross-flooding arrangement (water);

k_a = k coefficient for the air pipe;

ρ_a = air density;

ρ_w = water density;

S_w = cross-section area of the cross-flooding device (water);

S_a = cross-section of air pipe.

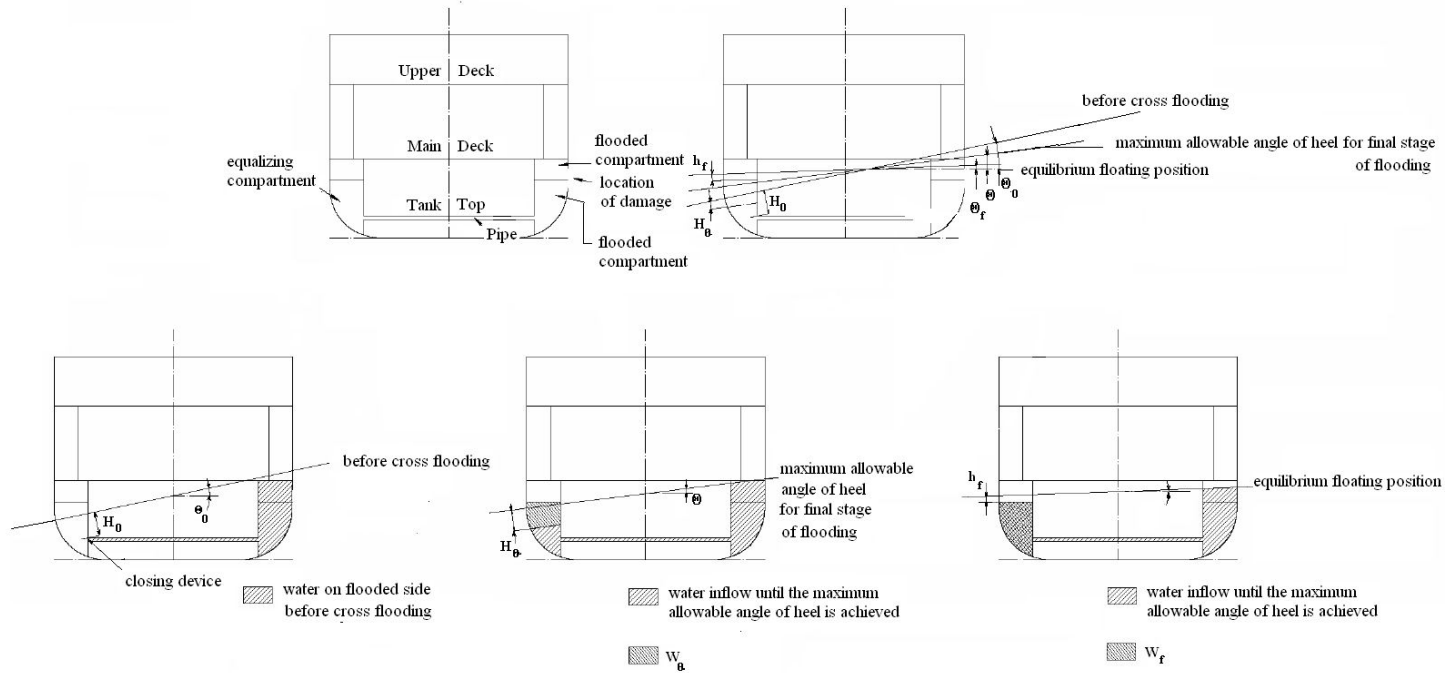
5 ALTERNATIVES

As an alternative to the provisions in sections 3 and 4, and for arrangements other than those shown in appendix 2, direct calculation using computational fluid dynamics (CFD), time-domain simulations or model testing may also be used.

APPENDIX 1

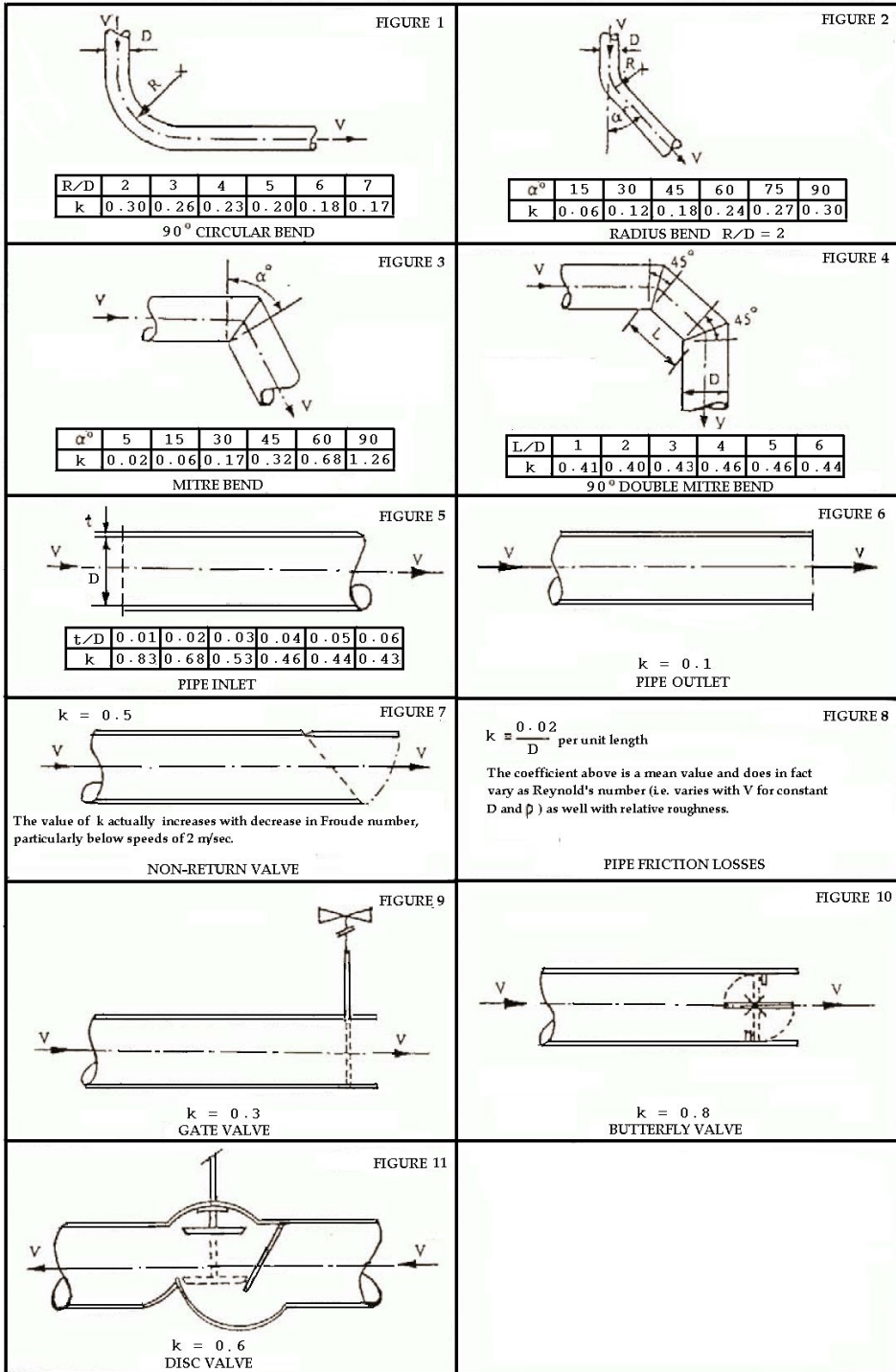
Example for treatment of heel angles and water heads at different stages of cross-flooding

Fictitious example



APPENDIX 2

Friction coefficients in cross-flooding arrangement



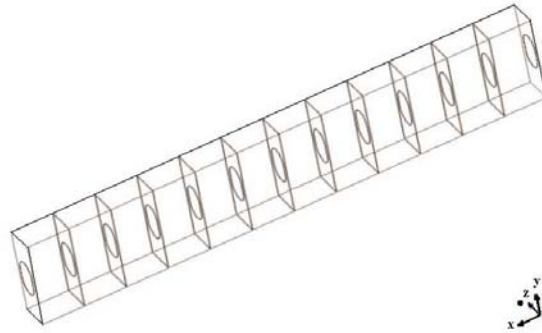
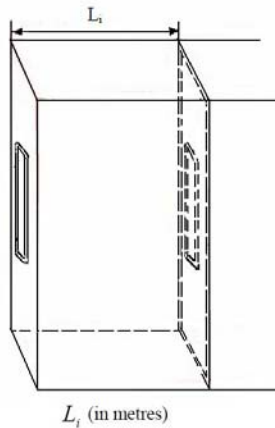


Figure 12
Cross-flooding through a series of structural ducts with 1 manhole

$$\begin{aligned}
 k &= 0.2748 \cdot L_i + 0.0313 && \text{if } 0 < L_i < 1 \\
 k &= -0.0986 \cdot L_i^3 + 0.6873 \cdot L_i^2 - 1.0212 \cdot L_i + 0.7386 && \text{if } 1 \leq L_i \leq 4 \\
 k &= 1.34 && \text{if } L_i > 4
 \end{aligned}$$

Note: k is the friction coefficient related to each space between two adjacent girders. k is evaluated with effective cross-section area therefore in calculations use the real cross-section area A and not S_{equiv} . The pressure loss for entrance in the first manhole is already computed in the calculation, and $k = 1$ has to be added to take into account the outlet losses.



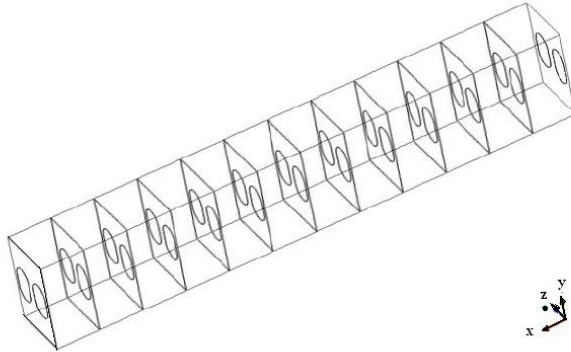


Figure 13
Cross-flooding through a series of structural ducts with 2 manholes

$$\begin{array}{ll}
 k = 0.4045 \cdot L_i + 0.0627 & \text{if } 0 < L_i < 1 \\
 k = 0.0424 \cdot L_i^3 - 0.3593 \cdot L_i^2 + 1.1401 \cdot L_i - 0.356 & \text{if } 1 \leq L_i \leq 4 \\
 k = 1.17 & \text{if } L_i > 4
 \end{array}$$

Note: k is the friction coefficient related to each space between two adjacent girders. k is evaluated with effective cross-section area therefore in calculations use the real cross-section area A and not S_{equiv} . The pressure loss for entrance in the first manhole is already computed in the calculation, and $k = 1$ has to be added to take into account the outlet losses.

APPENDIX 3

Example using figures for a passenger ship

Dimension of the considered cross-flooding pipe:

Diameter	$D = 0.39 \text{ m}$
Length	$l = 21.0 \text{ m}$
Cross-section area	$S = 0.12 \text{ m}^2$
Wall thickness	$t = 17.5 \text{ mm}$

k – values for the considered cross-flooding system:

Inlet	0.45
Pipe friction $\frac{0,02l}{D}$	1.08
2 radius bends ($\alpha = 45^\circ$)	0.36
Non-return valve	0.50
Outlet	<u>1.00</u>
	$\Sigma k = 3.39$

Sufficient air venting is assumed to be in place.

From this follows:

$$F = \frac{1}{\sqrt{\Sigma k}}$$

$$F = \frac{1}{\sqrt{3.39}} = 0.54$$

Time required from commencement of cross flooding θ_0 to the final equilibrium condition θ_f :

$$T_f = \frac{2W_f}{SF} \frac{\left(1 - \sqrt{\frac{h_f}{H_0}}\right)}{\sqrt{2gH_0}} \frac{1}{\left(1 - \frac{h_f}{H_0}\right)}$$

Head of water before commencement of cross-flooding:

$$H_0 = 5.3 \text{ m}$$

Volume of water which is used to bring the ship from commencement of cross-flooding at angle θ_0 to the final equilibrium condition at angle θ_f :

$$W_f = 365 \text{ m}^3$$

Final head of water after cross-flooding:

$$h_f = 1.5 \text{ m}$$

$$T_f = \frac{2 \times 365 \text{ m}^3}{0.12 \text{ m}^2 \times 0.54} \frac{\left(1 - \sqrt{\frac{1.5 \text{ m}}{5.3 \text{ m}}}\right)}{\sqrt{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 5.3 \text{ m}}} \frac{1}{\left(1 - \frac{1.5 \text{ m}}{5.3 \text{ m}}\right)}$$

$$T_f = 721 \text{ s} \approx 12.0 \text{ min}$$

Time required to bring the vessel from the maximum allowable angle of heel for final stage of flooding θ to the final equilibrium condition θ_f :

$$T_\theta = \frac{2W_\theta}{SF} \frac{1 - \sqrt{\frac{h_f}{H_\theta}}}{\sqrt{2gH_\theta}} \frac{1}{\left(1 - \frac{h_f}{H_\theta}\right)}$$

Maximum allowable angle of heel for final stage of flooding

$$\theta = 7^\circ$$

Head of water when the maximum allowable angle of heel for final stage of flooding θ is achieved

$$H_\theta = 3.7 \text{ m}$$

Volume of water which is used to bring the vessel from the maximum allowable angle of heel for final stage of flooding θ to the final equilibrium condition

$$W_\theta = 160 \text{ m}^3$$

$$T_\theta = \frac{2 \times 160 \text{ m}^3}{0.12 \text{ m}^2 \times 0.54} \frac{\left(1 - \sqrt{\frac{1.5 \text{ m}}{3.7 \text{ m}}}\right)}{\sqrt{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 3.7 \text{ m}}} \frac{1}{\left(1 - \frac{1.5 \text{ m}}{3.7 \text{ m}}\right)}$$

$$T_\theta = 354 \text{ s} = 5.9 \text{ min}$$

Time required from commencement of cross-flooding θ_0 until the maximum allowable angle of heel for final stage of flooding is achieved:

$$T = T_f - T_\theta = 12.0 \text{ min} - 5.9 \text{ min} = 6.1 \text{ min}$$