



# **FORMAL SAFETY ASSESSMENT**

**OIKONOMIKH III, 2010-11**

# Υποβαθρο

- Ερευνα από κοινού με
  - Ν. Βεντίκο
  - Χ. Κοντόβα, Υ.Δ. ΕΜΠ
  - Π. Ζαχαριάδη, Atlantic Bulk Carriers Management Ltd.



- [Theses](#)
- [Ongoing Projects](#)
- [Completed Projects](#)
- [List of Publications](#)
- [Our Researchers](#)
- [Contact Us](#)

## PLEASE NOTE THAT THIS SECTION IS CURRENTLY UNDER CONSTRUCTION

### Maritime Safety and Environmental Protection

1. Psaraftis, H.N., C.A. Kontovas (2008), ["Formal Safety Assessment: a critical review"](#), [Marine Technology](#), SNAME (in press)
2. Psaraftis, H.N., C.A. Kontovas (2008), ["Marine Environment Risk Assessment: A Survey on the Disutility Cost of Oil Spills"](#), [SNAME Greek Section's 2nd International Symposium on Ship Operations, Management and Economics](#), Athens, Greece, September
3. Psaraftis, H.N. (2008), ["Environmental Risk Evaluation Criteria"](#), [WMU Journal of Maritime Affairs](#), October 2008 issue (in press)
4. [MEPC 58-Report of the Correspondence Group on Environmental Risk Evaluation Criteria \(Co-ordinated by Prof. Psaraftis\)](#)
5. Psaraftis, H.N., C.A. Kontovas (2008), ["Ship Emissions Study"](#), [National Technical University of Athens](#), report to Hellenic Chamber of Shipping, May
6. Psaraftis H.N., [Environmental Risk Evaluation Criteria, Presentation](#) [2nd International Workshop on Risk-Based Approaches in the Maritime Industry](#), Glasgow, 5-6 May, 2008
7. Psaraftis H.N., [Environmental Risk Evaluation Criteria, Paper](#) [2nd International Workshop on Risk-Based Approaches in the Maritime Industry](#), Glasgow, 5-6 May, 2008
8. [MEPC 57-Report of the Correspondence Group on Environmental Risk Evaluation Criteria \(Co-ordinated by Prof. Psaraftis\)](#)
9. [Ψαραύτης, Χ.](#), ["Θαλάσσια ρύπανση: Πρόληψη και καταστολή"](#), παρουσίαση στο Ευγενίδειο Ίδρυμα, ημερίδα Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, στο πλαίσιο του εορτασμού των 170 ετών του ΕΜΠ, 5/12/2007.
10. [Ψαραύτης, Χ.](#), [Δ. Λυριδής, Ν. Βεντικός](#), ["Θαλάσσια Ασφάλεια"](#), παρουσίαση στο πλαίσιο του εορτασμού των 170 ετών του ΕΜΠ, 4/12/2007.
11. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, [Formal Safety Assessment, Environmental Risk Evaluation Criteria](#), Marine Environment Protection Committee, 4 May 2007
12. Kontovas, C.A., Psaraftis, H.N., Zachariadis, P., [The Two C's of the Risk-Based Approach to Goalbased](#)

### LIBRARY

[...back to Library index](#)[Concerted Action on Shortsea Shipping \(SSS-CA\)](#)[Greek Coastal Shipping](#)[Maritime Safety and Environmental Protection](#)[Ports and Intermodal](#)[Routing Scheduling and Logistics](#)[Ship Air Emissions](#)[Miscellaneous](#)

### CONTACT INFORMATION

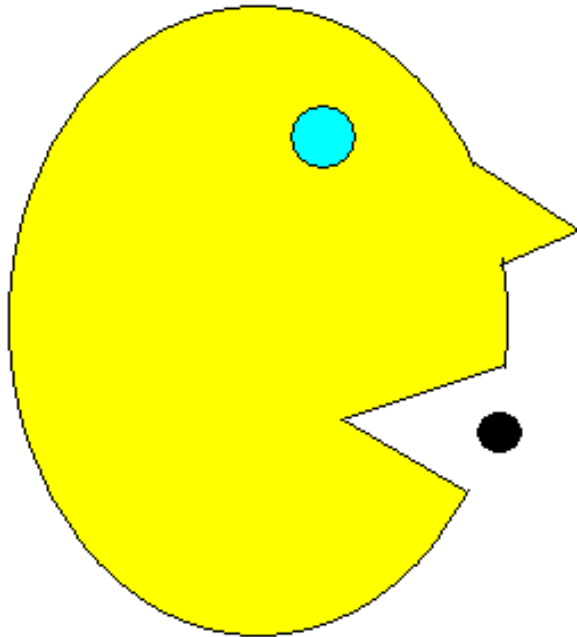
Laboratory for Maritime Transport  
National Technical University of Athens  
9, Iroon Polytechniou str  
157 73 Zografou, Greece  
Tel: +30 210 772 1410 (Secretariat)



# Ο αγώνας για **πρασινή ναυτιλία**

- ασφαλεια
- περιβαλλον
- προληψη
- πολιτικη 'proactive'

# Το πρόβλημα του «μαύρου χαπιού»



- Ένας άνθρωπος καλείται να πάρει το «μαύρο χάπι»
- Με γνωστή πιθανότητα  $P$  (πχ, 0.00001), το χάπι προκαλεί ακαριαίο και ανώδυνο θάνατο
- Ποιο είναι το ελάχιστο ποσό  $X$  (ευρώ) που θα ήθελε να λάβει ο άνθρωπος ώστε να πάρει το χάπι;
- $X=f(P, \text{κλπ})$

# Έκθεση σε κινδύνους (ρίσκο): μέρος της καθημερινής μας ζωής

... κίνδυνοι που μπορεί να είναι μεγαλύτεροι από το μαύρο χάπι

- Καπνιστής
- Μεθυσμένος οδηγός
- Μοτοσυκλετιστής χωρίς κράνος
- Πεζός που διασχίζει το δρόμο
- Κλπ, κλπ, κλπ..
- **Επιβάτης που παίρνει το πλοίο!**
  
- **ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΘΕΜΑ: Ποιος είναι ο καλύτερος τρόπος διαχείρισης του ρίσκου στις θαλάσσιες μεταφορές;**

# Ρίσκο = ???

2 διαστάσεις:

- Πιθανότητα ενός (ανεπιθύμητου) γεγονότος
- Επιπτώσεις αυτού του γεγονότος

# Ρίσκο (συνέχεια)

## ■ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ

- 1/10, 1/100, 1/1000, κλπ
- Όχι το ίδιο με τη συχνότητα

## ■ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

- Θάνατοι
- Τραυματισμοί
- Απώλεια πλοίου
- Οικονομικές ζημιές
- Ζημιές στο περιβάλλον

# Ρίσκο (συνέχεια)

- Πολλές φορές (ιδίως στο πλαίσιο του ΙΜΟ), το ρίσκο ορίζεται ίσο με το γινόμενο της πιθανότητας (η της συχνότητας) ενός ατυχήματος, επί τις επιπτώσεις του
- $\text{Ρίσκο} = (\text{πιθανότητα, η συχνότητα}) \times (\text{επιπτώσεις})$

# Αναγκη για ‘proactive’ (προληπτικο) κανονιστικο πλαισιο

- **ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΗ** αναγνωριση των κυριων παραγοντων ασφαλειας
- Ανάπτυξη κανονισμων για την **ΠΡΟΛΗΨΗ** δυσαρεστων περιστατικων
- Διατυπωση κανονισμων **ΠΡΙΝ** από το ατυχημα
- Διατυπωση κανονισμων **ΜΕΤΑ** από προσεκτικη αναλυση **ΟΛΩΝ** των επιπτώσεων τους

# [παρενθεση:

- Η μεχρι στιγμης ιστορια εν πολλοις ειναι ακριβως το αντιθετο
- Πολλοι κανονισμοι υιοθετηθηκαν **ad hoc** στα απονερα σοβαρων ατυχηματων
- *Exxon Valdez, Estonia, Erika, Prestige,*  
κλπ. ]

# Ο μακρύς δρόμος για ένα προληπτικό κανονιστικό πλαίσιο

- **Formal Safety Assessment** (εδώ και κάποιο καιρό)
- **Goal Based Standards** (πολυ προσφατα)

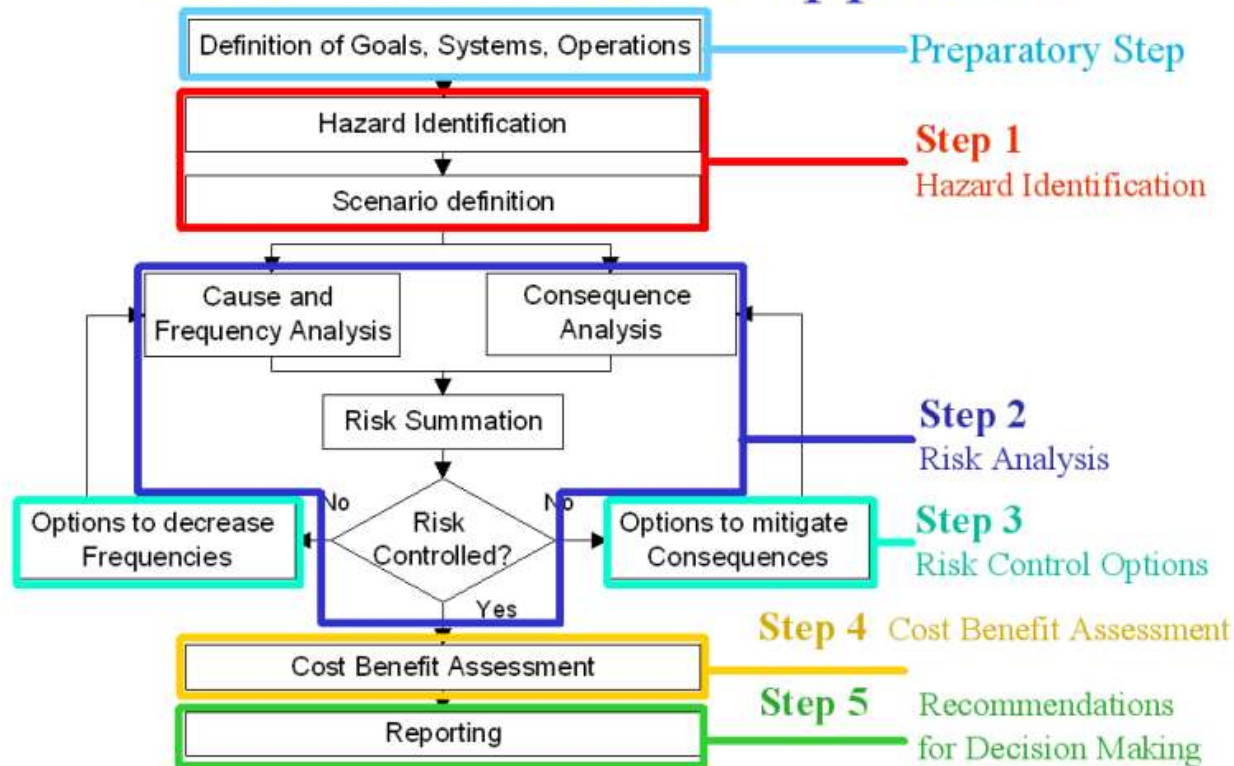
# Formal Safety Assessment (FSA)

FSA ξεκίνησε από τον IMO ως

- “a rational and systematic process for accessing the risk related to maritime safety and the protection of the marine environment and for evaluating the costs and benefits of IMO’s options for reducing these risks” (FSA Guidelines in MSC circ. 1023, MEPC circ. 392)

# FSA steps (IACS – MSC 75)

## FSA - a risk based approach



# Πιο χαρακτηριστικό παραδειγμα (2004)

- Χρήση FSA στον IMO, για την αποφαση ΝΑ ΜΗΝ καταστουν υποχρεωτικα τα διπλα τοιχωματα στα bulk carriers
- Η αρχικη θεση της MSC ήταν για υποχρεωτικα διπλα τοιχωματα και ήταν αποτελεσμα 3 μελετων FSA
- Η αλλαγή πλευσης της MSC βασιστηκε σε μια «review» αυτών των μελετων, που υποβληθηκε από την Ελλαδα.

# Goal Based Standards (GBS)

- Προταθηκε στον IMO από Greece, Bahamas και IACS (2004)
- Κυριος στοχος: Εισαγωγη συστηματος προτυπων (**standards**), ως μετρα βασει των οποιων η ασφαλεια ενος πλοιου μπορει να αξιολογηθει κατα τη σχεδιαση και κατασκευη του, οπως και (αργοτερα) κατα τη λειτουργια του.
- Βασικη αρχη: Τα Standards να ειναι ευρεις, γενικοι στοχοι, εναντι των οποιων η ασφαλεια του πλοιου μπορει να εξακριβωθει.
- **ΔΕΝ υπαρχει προθεση να ορισουν «prescriptive requirements» η να προτεινουν συγκεκριμενες λυσεις.**
- **Αλλα πρεπει να ειναι Σαφη, να επιδεχονται Εξακριβωση και αρκουντως Συγκεκριμενα ωστε να μην υποκεινται σε διαφορετικες ερμηνειες.**
- Μεχρι στιγμης: GBS --→ **ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΟΙΟΥ**

# Prescriptive vs GBS

- Λαμαρινα πυθμενα δεξαμενοπλοιων
- Prescriptive:  
Παχος λαμαρινας  
 $\geq X$  mm
- GBS:  
Η λαμαρινα δεν πρεπει να αστοχησει κατα τη διαρκεια ζωης του tanker (Υ χρόνια) αν αυτο λειτουργει σε συγκεκριμενο περιβαλλον (πχ, Βορειος Ατλαντικος)

# GBS: προσεγγιση 5 επιπεδων

- Tier I: Goals
- Tier II: Functional requirements
- Tier III: Verification of compliance
- Tier IV: Technical procedures and guidelines, classification rules and industry standards
- Tier V: Codes of practice and safety and quality systems for shipbuilding, ship operation, maintenance, training, manning, etc.

# Ο λεγομενος διαλογος της “risk based” προσεγγισης

- Πρεπει το “risk based approach” να χρησιμοποιηθει στο GBS?
- Πρεπει το GBS να χρησιμοποιει FSA και άλλες παρομοιες τεχνικες ρισκου
- Αν ναι, πως;
- Κλπ, κλπ

# Γιατι ο διαλογος;

- Δεν υπάρχει αμφιβολια οτι οι αρχες του ρισκου ειναι κεντρικες στους συγχρονους κανονισμους ασφαλειας
- Τα FSA και GBS αναπτυχθηκαν μεχρι στιγμης παραλληλα
- Πολλοι συνδεσμοι μεταξυ FSA και GBS υπαρχουν
- Αρα ειναι φυσιολογικο το οπλοστασιο της θεωριας ρισκου να χρησιμοποιηθει στα GBS
- Η βασική ερωτηση: **ΠΩΣ, και ΠΟΤΕ;**

# Συνδεσμοί GBS-FSA

GBS	FSA
Tier I (Goals)	Step 1 (HAZID) Step 2 (Risk Analysis)
Tier II (Functional requirements)	Step 2 (Risk Analysis) Step 3 (RCOs)
Tier III (Verification of compliance)	Step 4 (Cost benefit assessment) Step 5 (Recommendations)
Tier IV (Technical procedures and guidelines, classification rules and industry standards)	Step 3 (RCOs) Step 4 (Cost benefit assessment) Step 5 (Recommendations)
Tier V (Codes of practice and safety and quality systems for shipbuilding, ship operation, maintenance, training, manning, etc)	Step 3 (RCOs) Step 4 (Cost benefit assessment) Step 5 (Recommendations)

# FSA Guidelines

- Παραπομπή στις αναθεωρημένες (MSC 83/INF.2)
- (συνέχιση αναθεώρησης: 2011)

# FSA Step 1 (HAZID)

## ΣΤΟΧΟΙ

- Αναγνώριση όλων των δυνητικών επικινδύνων σεναρίων που μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις, και
- Ιεραρχηση των σεναρίων αυτών με βάση το επίπεδο ρίσκου

**Table 2: Top-ranked hazards**

No	Hazard	FI	SI	RI
8-2	Failure of evacuation equipment during an emergency	4.78	3.33	<b>8.11</b>
4-1 & 3-5	Fire in accommodation while in open sea or navigating in coastal waters	3.89	4.00	<b>7.89</b>
8-3	Human error and/or lack of training during an evacuation	4.56	3.22	<b>7.78</b>
4-2 & 3-2	Collision with other ships while in open sea or navigating in coastal waters	3.22	3.78	<b>7.00</b>
6-1	Fire on vehicle deck while unloading due to accumulation of fuel spills during journey	3.33	3.22	<b>6.56</b>
4-1 & 3-4	Fire in machinery spaces while in open sea or navigating in coastal waters	3.44	3.11	<b>6.56</b>
8-7	Evacuation arrangements and plans not as effective as designed for	3.44	3.11	<b>6.56</b>
8-5	No or reduced visibility and high toxicity due to smoke during evacuation	3.00	3.33	<b>6.33</b>
8-4	Evacuating following a fire or explosion	3.11	3.00	<b>6.11</b>
3-1	Grounding while navigating in coastal waters	3.22	2.89	<b>6.11</b>

# ΠΡΟΣΟΧΗ

- Χρήση συχνότητας αντι για πιθανότητα προβληματική αν υπάρχουν λίγα στοιχεία ή καθολού στοιχεία.
- Η προσέγγιση του «Risk index» έχει κάποια προβλήματα.

# Στην FSA, η “συχνότητα” χρησιμοποιείται αντι για την “πιθανότητα”

ΑΛΛΑ:

- συχνότητα  $\neq$  πιθανότητα!
- 1 θάνατος σε 1 πλοίο ανά ετος  $\neq$  1.000 θάνατοι σε 1.000 πλοία ανά ετος
- συχνότητα  $\rightarrow$  πιθανότητα μόνο αν το ιστορικό δείγμα δεδομένων είναι μεγάλο
- **Ανάλυση που βασίζεται σε ιστορικά στοιχεία δεν είναι proactive**
- Τι γίνεται αν δεν υπάρχουν καθολού στοιχεία?
- Πχ, νέοι κανονισμοί

# ΔΕΙΚΤΕΣ «ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ» ΚΑΙ «ΔΕΙΝΟΤΗΤΑΣ» (MSC Circ. 1023)

Frequency Index			
FI	FREQUENCY	DEFINITION	F (per ship year)
7	Frequent	Likely to occur once per month on one ship	10
5	Reasonably probable	Likely to occur once per year in a fleet of 10 ships, i.e. likely to occur a few times during the ship's life	0.1
3	Remote	Likely to occur once per year in a fleet of 1000 ships, i.e. likely to occur in the total life of several similar ships	$10^{-3}$
1	Extremely remote	Likely to occur once in the lifetime (20 years) of a world fleet of 5000 ships.	$10^{-5}$

Severity Index				
SI	SEVERITY	EFFECTS ON HUMAN SAFETY	EFFECTS ON SHIP	S (Equivalent fatalities)
1	Minor	Single or minor injuries	Local equipment damage	0.01
2	Significant	Multiple or severe injuries	Non-severe ship damage	0.1
3	Severe	Single fatality or multiple severe injuries	Severe damage	1
4	Catastrophic	Multiple fatalities	Total loss	10

# Πιθανά προβλήματα

- 10 σοβαροί τραυματισμοί αντιστοιχούν με 1 θάνατο?
- Μη διακρίση για  $> 10$  θανάτους
- Δηλαδή 50, 100, 1000, 3000, ή περισσότεροι θάνατοι είναι ισοδύναμοι με 10?

# Risk index $RI = FI + SI$

(MSC Circ. 1023)

- Risk = frequency X severity

Risk Index (RI)					
FI	FREQUENCY	SEVERITY (SI)			
		1	2	3	4
		Minor	Significant	Severe	Catastrophic
7	Frequent	8	9	10	11
6		7	8	9	10
5	Reasonably probable	6	7	8	9
4		5	6	7	8
3	Remote	4	5	6	7
2		3	4	5	6
1	Extremely remote	2	3	4	5

# παραδοξο

Once a month ( $FI=7$ ), an accident leads to an injury ( $SI=1$ ). This means that  $RI=8$ .

Within a year in a 1,000-ship fleet ( $FI=3$ ), an accident leads to more than 10 deaths ( $SI=4$ ). This means that  $RI=7$ .

- Γιατι το 2<sup>ο</sup> σεναριο ειναι λιγοτερο σοβαρο απο το 1<sup>ο</sup>?!

# Διαγνωση

- Ρισκο είναι 2-διαστατο (πιθανοτητα, επιπτωση)
- Αλλά το Risk Index is 1-διαστατο
- Συμπτυξη από 2 σε 1 διασταση χανει καποια πληροφορηση
- **Ο πινακας ρισκου (Risk matrix), ετσι οπως είναι, θεωρει πιο σημαντικα γεγονοτα με υψηλη συχνοτητα και μη σοβαρες επιπτωσεις από το αντιστροφο.**

# ΤΟ “ΠΟΛΙΤΙΚΟ ΡΙΣΚΟ”:

- .. Είναι ότι οι κανονισμοί που υιοθετούνται μετά από μια τέτοια ανάλυση είναι περισσότερο για σενάρια ατυχημάτων υψηλής συχνότητας και μη σοβαρών επιπτώσεων παρά το αντίστροφο
- Χρειάζεται κάποιος τρόπος να καλυπτονται και οι 2 περιπτώσεις

# Προτάσεις για FSA Step 1

- Χρήση πιθανότητας αντι για συχνότητα
- Χρήση πιθανοθεωρητικών μοντελών αν δεν υπάρχουν στοιχεία
- Χρήση προσεγγίσεων Bayes για αναθεώρηση πιθανοτήτων
- Διατήρηση 2-διαστατού ρίσκου
- Ειδική μεταχείριση για περιβαλλοντικά κριτήρια

# Γκρουπ εμπειρογνωμονων και γνωμη ειδικων

- Είναι κοινή η χρήση ενός διεθνούς γκρουπ ειδικων στις μελετες FSA, περιλαμβανομένου του HAZID step.
- Ποιος οριζει τους ειδικους;
- Ποσοι ειδικοι;
- Τι γινεται αν δεν συμφωνουν μεταξυ τους;

# Συντελεστής συμφωνίας (concordance coef.)

- $J$  ειδικοί καλούνται να ιεραρχησουν έναν αριθμο από σεναρια ατυχηματων ( $I$  σεναρια, 1, 2, 3, .. , $I$ ).
- Ο ειδικος  $j$  δινει ιεραρχηση (σειρα)  $x_{ij}$  στο σεναριο  $i$ .

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^I \left[ \sum_{j=1}^J x_{ij} - \frac{1}{2} J(I+1) \right]^2}{J^2 (I^3 - I)}$$

- $0 \leq W \leq 1$

# Βαθμος συμφωνιας

(από MSC81, Λονδino, Μαιος 2006)

- $W=0$  πληρης ασυμφωνια
- $0 < W < 0,5$  ισχνη συμφωνια
- $0,5 < W < 0,7$  μετρια συμφωνια
- $W > 0,7$  καλη συμφωνια
- $W=1$  τελεια συμφωνια

# FSA Step 2 Αναλυση Ρισκου

- Σκοπος: Αναλυτικη εξεταση των αιτιων και των επιπτωσεων των πιο σημαντικων σεναριων, από αυτα που αναγνωρισθηκαν σημαντικα στο Step 1 (HAZID)
- Περισσοτερα αργοτερα

# FSA step 3 Risk Control Options (RCOs)

- ΣΚΟΠΟΣ: προταση πρακτικων και αποτελεσματικων εναλλακτικων ελέγχου του ρισκου (RCOs) ως εξης
  - 1. εστιαση σε θεματα ρισκου που επιδεχονται ελεγχο;
  - 2. αναγνωριση πιθανων μετρων ελέγχου του ρισκου (RCMs);
  - 3. αξιολογηση της αποτελεσματικοτητας καθε ενος από αυτα, συμφωνα με το step 2; και
  - 4. ομαδοποιηση των RCMs σε πρακτικες κανονιστικες εναλλακτικες λυσεις

# Παραδειγματα RCOs

- Διπλα τοιχωματα
- Ειδικα designs
- Παχυτερα ελασματα
- Εσωτερικες υποδιαιρεσεις στα Ro/ro (συμφωνια Στοκχολμης)
- Μετρα πυροπροστασιας
- Ελεγχος θαλασσιας κυκλοφοριας
- Απαγορευση αποπλου οταν καιρος ειναι κακος
- Ορια ηλικιας
- κλπ

# Αλληλεπιδράσεις RCO

- Ένα RCO μπορεί να επιδράσει σε άλλα RCOs, είτε πολύ, είτε λίγο
- Αν τα RCOs έχουν αλληλεπιδράσεις, τότε η συνολική επιπτώση τους ΔΕΝ είναι το άθροισμα των επιμέρους επιπτώσεων!
- Η ανάλυση πρέπει να εξετάσει πιθανές αλληλεπιδράσεις RCO
- Θεώρηση ότι ένας συνδυασμός RCOs είναι ένα ξεχωριστό RCO

# Από την MSC 81 (Μαιος 06, Λονδino)

“Before adopting a combination of RCOs for which a quantitative assessment of the combined effects was not performed, a qualitative evaluation of RCO interdependencies should be performed. Such an evaluation could take the form of a matrix as illustrated in the following table:

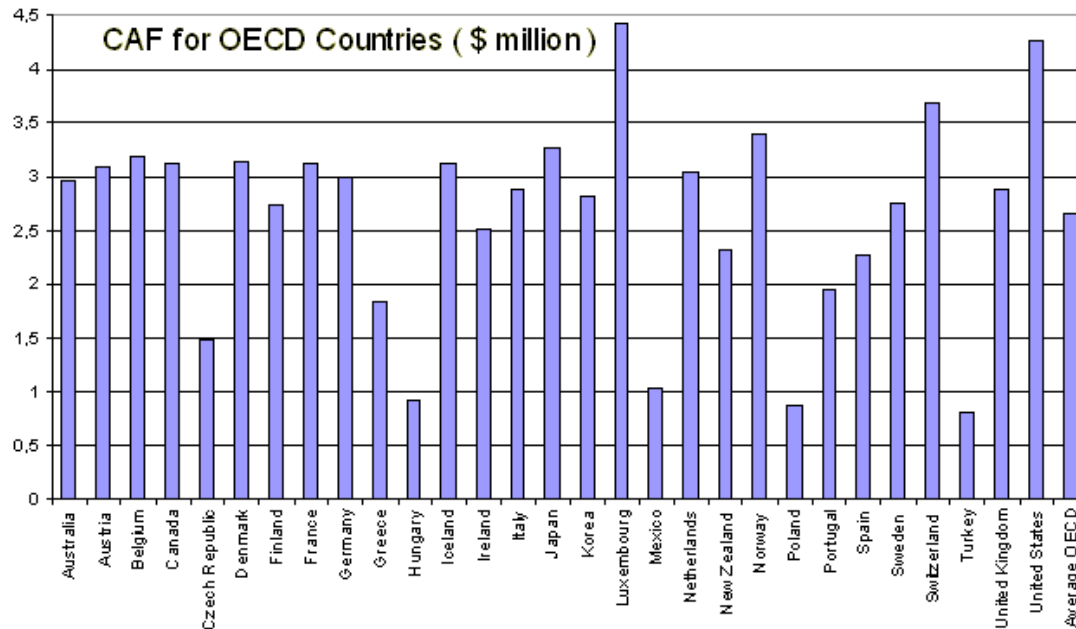
<b>Table: Interdependencies of RCOs</b>				
<b>RCO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>1</b>		Strong	No	Weak
<b>2</b>	Weak		Weak	No
<b>3</b>	No	Weak		No
<b>4</b>	Weak	No	No	

# FSA Step 4 (αναλυση κοστους ωφελειας)

- Το πλεον κρισιμο και τρωτο σημειο μιας FSA
- **Αν καποιος θελει να χειραγωγησει τα αποτελεσματα μιας FSA, αυτο συνηθως γινεται εδω**
- $\Delta C$  = κοστος ανα πλοιο του RCO που εξεταζεται.
- $\Delta B$  = **οικονομικο οφελος ανα πλοιο** που απορρειει από την υλοποιηση του RCO.
- $\Delta R$  = μειωση ρισκου ανα πλοιο, σε αριθμο θανατων που αποφευγονται, αν υλοποιηθει αυτο το RCO.
- $GCAF = \Delta C / \Delta R$
- $NCAF = (\Delta C - \Delta B) / \Delta R$

# Cost to avert a fatality (CAF)

(Skjong and Ronold, 2002)



# Ο πήχυς των 3 εκατομμυριων \$

Ενα RCO είναι αποδεκτο, εαν

- $GCAF < \$3$  εκ
- $NCAF < \$3$  εκ
  
- Μεταξυ εναλλακτικων RCOs που περνανε αυτο το τεστ, διαλεγουμε το RCO με το μικροτερο CAF

# ΠΡΟΣΟΧΗ!

- Υποθετικό παραδειγμα

	$\Delta R$	$\Delta C$ (\$)	$\Delta B$ (\$)	GCAF (\$m)	NCAF (\$m)
<b>RCO1</b>	0.10	100 000	90 000	1.0	0.10
<b>RCO2</b>	0.01	9 000	8 500	0.9	0.05

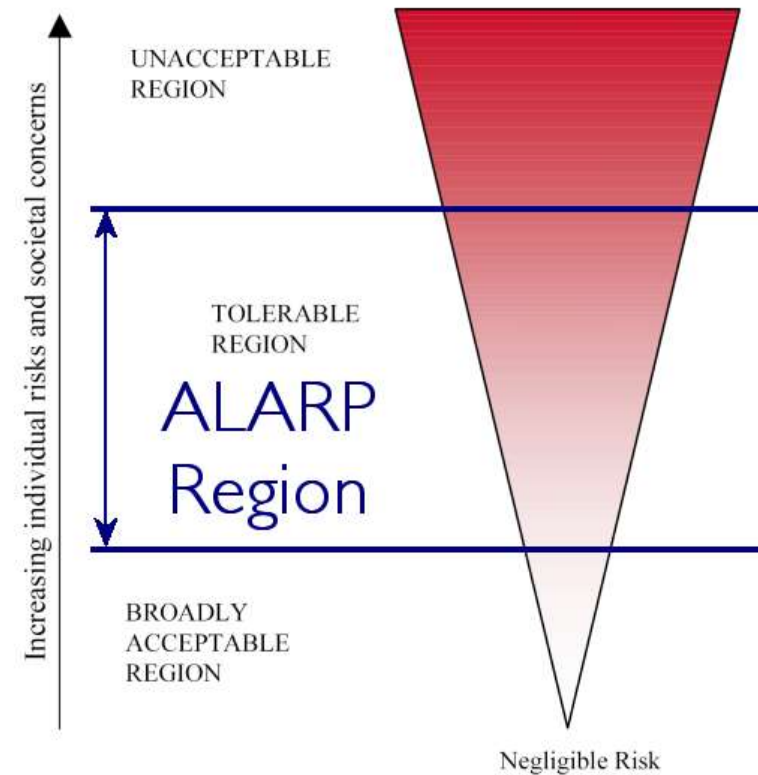
- Και τα 2 RCO είναι αποδεκτα:  $GCAF < \$3$  εκ και  $NCAF < \$3$  εκ.
- Το RCO2 είναι καλύτερο του RCO1 συμφωνα και με τα 2 κριτηρια.
- Όμως, το RCO1 μειώνει το ρισκο θανατου 10 φορές περισσότερο από το RCO2!
- **Δηλαδή το RCO που διαλεγουμε αυξανει το ρισκο θανατου 10 φορές περισσότερο από εκείνο που απορριπτουμε!**

# Προτάσεις για FSA Step 4

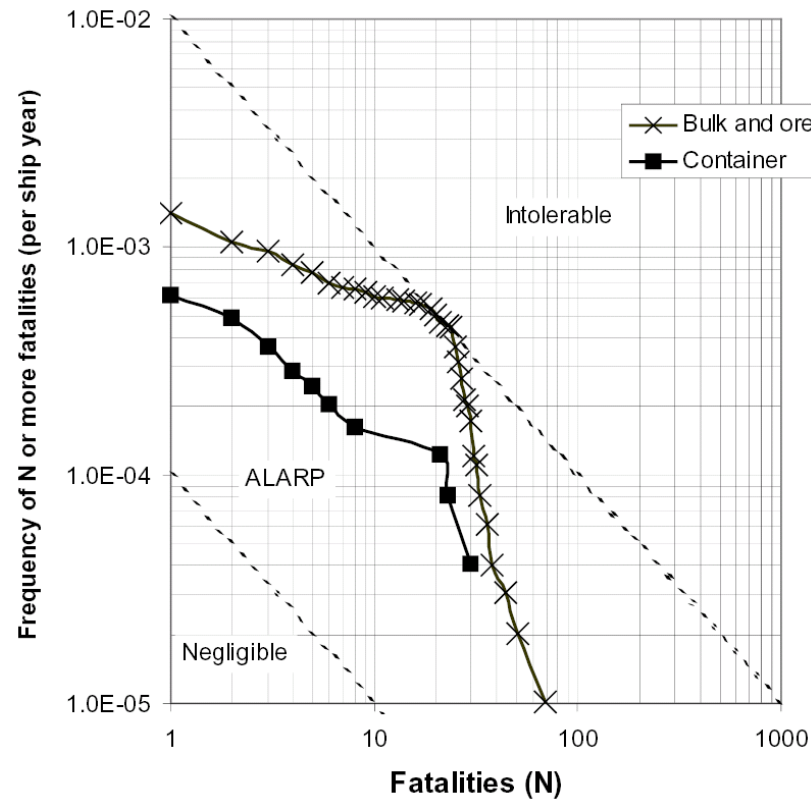
- ΠΡΟΣΟΧΗ στον υπολογισμό των  $\Delta R$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ !
- GCAF ιεραρχικά ανωτερη απο NCAF.
- εξέταση NCAF, μόνο εαν GCAF ικανοποιει το κριτηριο.
- Προσοχη με NCAF, ιδιως αν  $< 0$ .
- Αλληλεπιδραση RCOs επιφερεει επανυπολογισμο των CAFs.
- Προσοχη στον υπολογισμο των περιβαλλοντικων επιπτωσεων! (βλ. και αργοτερα)

# FSA Step 5 (συστασεις για ληψη αποφασεων)

- Ποιο ειναι το επιθυμητο επιπεδο ρισκου?
- Αρχη ALARP



# F-N διαγράμματα



# Το σφάλμα του “ατομικού ρίσκου”

## § κριτηρια αποδοχής ατομικού ρίσκου

- ΒΑΣΙΚΗ ΕΡΩΤΗΣΗ: ποιο είναι το αποδεκτό επίπεδο ρίσκου για κάποιο άνθρωπο?
- Απάντηση (οσο απιστευτο και αν φαινεται):  
Ουτε ο ΙΜΟ, ουτε κανενα αλλο σωμα δεν εχει  
ακομη οριστικη απαντηση στο θεμα αυτο!
- Ο,τι υπάρχει είναι μόνο ενδεικτικό

# ΑΠΟ ΤΑ IMO FSA guidelines

(υιοθετηθηκαν το 2002, επικαιροποιηθηκαν το 2006):

Μεγιστο ανεκτο ετησιο ρισκο θανατου  
(ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΟΝΟ):

- Για μελη πληρωματος: 1/1.000
- Για επιβατες: 1/10.000
- Για τριτους η το κοινο στην ξηρα: 1/10.000

αμελητεο ρισκο: 1/1.000.000

# Συγκριση με αεροπορικες μεταφορες

- Πιθανοτητα καποιος να εμπλακει σε μοιραιο αεροπορικο δυστυχημα: 1 στα 8 εκατομμυρια ανα πτηση, σε εταιριες του 1<sup>ου</sup> κοσμου (Barnett, 2006)
- Μια πτηση ανα ημερα: προσδοκωμενος χρονος μεχρι το θανατο = 22.000 ετη!
- 8 πτησεις το χρονο: ετησιο ρισκο θανατου 1/1.000.000
- Γιατι ο επιβατης που παιρνει το πλοιο επιτρεπεται να εχει ετησιο ρισκο 100 φορες πιο πανω? (1/10.000)
- **Ειναι οι επιβατες των πλοιων πολιτες δευτερης κατηγοριας?**

# Τρεχουσες εξελιξεις FSA: 2 σχεδον παραλληλοι δρομοι

- MSC
- MEPC

# MSC

- FSA Group of Experts (2009-2010)
- Κριση 7 μελετων FSA
  - LNG carriers
  - Container vessels
  - Cruise vessels
  - RoPax ships
  - Crude oil tankers
  - Hazardous cargoes for open top containerships
  - General cargo ships

# FSA Group of Experts

- Πρωτη συνάντηση, MSC 86 (Μαιος- Ιουνιος 2009)
- Δευτερη συνάντηση: Νοεμβ. 2009
- Τριτη συνάντηση: MSC 87 (Μαιος 2010)
- Εκθεση κρισης για ολες (πλην μιας!) τις μελετες FSA
- Αναθεωρηση FSA Guidelines (2011)

# FSA on LNG

## ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ RCOs

- Risk based maintenance – Navigational systems
- Improved navigational safety – ECDIS
- Improved navigational safety -AIS integrated with radar
- Improved navigational safety – Track control system
- Improved navigational safety – Improved bridge design

# FSA on container vessels

## ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ RCOs

- AIS (Automatic Identification System) integrated with radar
- Track control system.

# FSA on cruise ships

## ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ RCOs

- Implementation of procedures for Bridge Resource Management and
- Increase in the required subdivision index for damage stability.
- Improved bridge design (above SOLAS),
- ECDIS - Electronic Chart Display and Information System, and
- Increased Simulator Training for Navigators.

# FSA on RoPax ships

## ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ RCOs

- improved damage stability and survivability after flooding,
- all measures aimed at improving navigational safety not requiring additional manning levels,
- improved fire prevention and protection and
- improved evacuation arrangements.

# FSA on crude oil tankers

## ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ RCOs

- Hot Works Procedures Training.
- Active Steering Gear Redundancy;
- Electronic Chart Display Information System;
- Navigational Sonar;
- Ship Design Modifications – Enhanced Cargo Tank Subdivision;
- Ship Design Modifications – Increased Double Bottom Height (not economically viable for VLCC);
- Ship Design Modifications – Increased Side Tanks Width.

# FSA on hazardous cargoes in open-top containerships

## ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ RCOs

- Installation of permanent high-volume ventilation in the cargo hold (RCO 1), with respect to DG classes 2.1, 2.2, 2.3 and 5.1
- Installation of flammable gas sensors in cargo holds (RCO 2), with respect to DG class 2.1
- Installation of foam extinguishing systems in cargo holds (RCO 4), with respect to DG class 4.2
- Installation of a fixed breathing air supply system in cargo hold (RCO 5), with respect to DG classes 2.3 and 6.1
- Provision of improved portable air supply (RCO 7b), with respect to DG classes 2.3 and 6.1
- Provision of improved protective clothing (RCO 7c) , with respect to DG classes 2.3 and 6.1

# Εκθεση Group of Experts

- Αναλυτική αξιολόγηση των μελετών
- Υποδείξεις για διορθώσεις
- Υποδείξεις για βάσεις δεδομένων
- Υποδείξεις για αναθεώρηση FSA guidelines

# Βασεις δεδομενων

- Databases shall not confuse cause and effect, shall contain information on the **root causes of accidents**, and allow for multiple causation factors;
- Databases shall be able to describe the casualty in complete detail whenever possible, but be flexible enough to also handle casualties for which limited information is available;
- All sources used shall be clearly stated, and there should be a distinction between the 'factual' fields (eg, date) and the 'judgmental' fields (e.g., causal factor). Background information on decisions and judgements shall be readily available;
- Search engines for the IMO GISIS casualty database should be further developed to allow searching by types of ship, casualty date and place, ship particulars, initiating event, and in general the main information contained in the casualty report forms;
- Cooperation with the European Maritime Safety Agency (EMSA) regarding casualty databases could be considered. EMSA is developing an European Casualty Information Platform (EMCIP), which includes most desired features mentioned above; and
- It is necessary to devise a new and efficient method to utilize the huge source of data available inside the seafaring community which up to now remains mainly untapped (e.g., near-miss data). data on psychological factors as well as adequateness of man-machine interface of hardware systems based on practical on-board experiences should be taken into account.

# Βασεις δεδομενων

- Κυριοτερο προβλημα
- Πληροφορια για το “root cause” συνηθως δεν υπαρχει
- Συγκρουσεις, προσαραξεις, πυρκαγιες, κλπ ειναι ΕΚΒΑΣΕΙΣ οχι αιτιες

# Αναθεωρηση FSA guidelines (2011)

- description/discussion of experts participation in FSAs
- description of the structure, selection and composition of the project team, HAZID team and any other team, if established for taking any decision making
- information and analysis on root causes and details of casualties, with a view to obtaining RCOs focused on prevention rather than mitigation;
- development of risk models;
- unification of terminologies;
- reporting the method and justification for the final selection of RCOs;
- indices for cost-benefit analysis for risks other than safety of life;
- clarification on the use of NCAF and GCAF;
- methodologies to analyze possible side effect of RCOs;
- methodologies for sensitivity and uncertainty analysis;
- consideration of the human element (to have more detailed and specific guidance);
- methodologies to reach the consensus or agreement as well as reporting the degree of agreement, or concordance;
- how to present reports; and
- how to review FSA studies.

# ΜΕΡС: Κριτήρια περιβαλλοντικού ρίσκου

- Πολύ σημαντικό θέμα
- Μέχρι στιγμής το Formal Safety Assessment δεν έχει αποτιμήσει το περιβαλλοντικό ρίσκο
- Διάφορες προσεγγίσεις
  
- Ο ΙΜΟ έχει μόλις αρχίσει να συζητάει το θέμα



# Περιβαλλοντικό ρίσκο

- Πετρελαϊκή ρύπανση
- Πάσης φύσεως απόβλητα
- Χρώματα
- Σκουπίδια
- Καυσαέρια
- Θόρυβος
- Θαλάσσιο έρμα
- Ραδιενεργά και επικίνδυνα φορτία
- Κλπ

# Προσέγγιση στον IMO

- Πως μπορούν να ενσωματωθούν περιβαλλοντικά κριτήρια στη μεθοδολογία του Formal Safety Assessment?
- Μέχρι τώρα συζήτηση ΜΟΝΟ για πετρελαϊκή ρύπανση
  - Από φορτίο tankers
  - Από καύσιμα παντός πλοίου

# Κόστος πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει όγκου

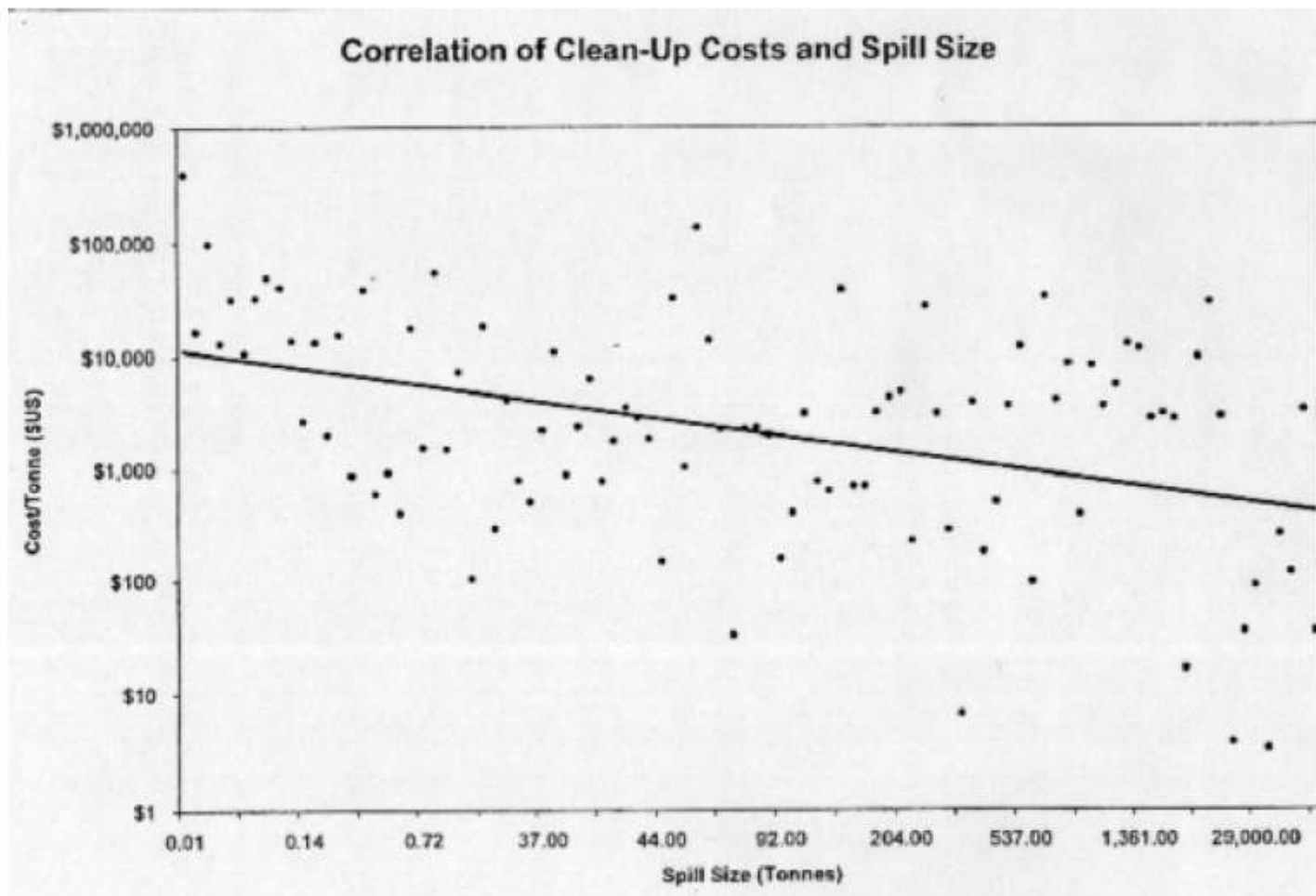


Figure 18: Correlation of per-tonne cleanup costs and spill size based on analysis of oil spill cost data in the OSIR International Oil spill data base [75].

# CATS=Cost to Avert one Tonne of Spilled Oil

- Μεγεθος αντιστοιχο του CAF
- CATS: υπολογισμος από το προγραμμα “Safedor” (κυριως DNV) σε **\$60.000/μετρικο τοννο**

# Για να φτάσει κάποιος στα \$60.000:

Ανα MT κοστος καθαρισμου υποτεθηκε:

- Σταθερο με το μεγαθος της κηλιδας
- Ανεξαρτητο από τυπο πετρελαιου
- Σταθερο γεωγραφικα
- Ανεξαρτητο από ολους τους άλλους παραγοντες!

ΣΚΕΠΤΙΚΟ?

# Τι σημαίνει \$60.000/MT

■ Prestige 4,9 δισ. δολαρια	(1.633)*
■ Braer 6 δισ. δολαρια	(2.000)*
■ Torrey Canyon 8,5 δισ. δολαρια	(2.833)*
■ Haven 9,9 δισ. δολαρια	(3.300)*
■ Amoco Cadiz 16 δισ. δολαρια	(5.333)*
■ Castillo de Bellver 17,8 δισ. δολαρια	(5.933)*
■ Atlantic Empress <b>19,7 δισ. δολαρια!</b>	<b>(6.567)*</b>

\*αντιστοιχοι θανατοι (\$3εκ/θανατο - IMO)

# Παρέμβαση της Ελλάδας στον IMO (Marine Environment Protection Committee- MEPC)

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION



IMO

*E*

MARINE ENVIRONMENT PROTECTION  
COMMITTEE  
56th session  
Agenda item 18

MEPC 56/18/1  
4 May 2007  
Original: ENGLISH

## FORMAL SAFETY ASSESSMENT

### Environmental Risk Evaluation Criteria

Submitted by Greece

#### SUMMARY

*Executive summary:* This document brings to the Committee's attention some points pertaining to Environmental Risk Evaluation Criteria. This document may be useful within the process of revision of the FSA guidelines

*Action to be taken:* Paragraph 29

*Related documents:* MSC 81/18; MSC 81/WP.8; MSC 82/INF.3; MSC 82/24; MEPC 55/18; MEPC 55/23 and MEPC 56/18

# MEPC 56 (Ιουλιος 2007): δημιουργία “correspondence group”

18.7 The Committee, noting that further work, including more research, was needed on the subject, agreed to establish a correspondence group, under the co-ordination of Greece\*, with the following terms of reference:

- .1 to review the draft Environmental Risk Acceptance Criteria as set out in annex 3 to document MEPC 55/18, taking into account document MEPC 56/18/1 (Greece) and the comments made in plenary with a view to finalize the Criteria; and
- .2 to submit a written report to MEPC 57.

---

\* **Co-ordinator of the correspondence group:**

Professor Harilaos N. Psaraftis  
Laboratory for Maritime Transport  
Division of Ship Design and Maritime Transport  
School of Naval Architecture and Marine Engineering  
National Technical University of Athens  
Iroon Polytechniou 9  
Zografou 15773 Greece  
tel. +302107721403;  
fax +302107721408  
Email [hpsar@deslab.ntua.gr](mailto:hpsar@deslab.ntua.gr)

I:\MEPC\56\23.DOC



# Προσεγγιση

- Βασική ερωτηση: Πως μπορεί η FSA να επεκταθει σε περιβαλλοντικα κριτηρια;
- Μελετη μόνο για πετρελαικη ρυπανση
  - Από το φορτιο δεξαμενοπλοιων
  - Από τα καυσιμα καθε πλοιου



# Αργότερα

- Residues
- Recycling
- Paints
- Garbage
- Air emissions
- Noise
- Water ballast
- Radioactive and dangerous cargoes
- etc

# Εργο μεχρι τωρα

- Πολλοι γυροι υποβολων
- Πολλες θεσεις (γενικα αποκλινουσες)
- Web site
- 4 reports στην ΜΕΡC:
  - ΜΕΡC 57 (Απρ. 2008)
  - ΜΕΡC 58 (Οκτ. 2008)
  - ΜΕΡC 59 (Ιουλ. 2009)
  - ΜΕΡC 60 (Μαρ. 2010)



# MEPC 58 (Οκτ. 2008)

- Συζήτηση (ατυπη) απο
  - Canada, China, Finland, Greece, Japan, Malaysia, New Zealand, Norway, Turkey, and United States. Observers: BIMCO, OCIMF, Intertanko.
- Συγκλιση σε ορισμενα θεματα
- Σε αλλα οχι

# ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ

- Χρήση “oil spill cost per unit volume” ως κριτήριο
- Μη γραμμικότητα κόστους- ογκου

# Ημεριδα 27/2/2009 (Αθηνα)



ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΙΙΙ FSA 2010-11

# Εν τω μεταξύ!

- FSA για δεξαμενοπλοια υποβληθηκε στην MEPC 58 απο Δανια
- Βασισμενη στην αναλυση του SAFEDOR, δηλ. \$60.000 για το οριο του CATS
- Συνιστα 7 RCOs για υποχρεωτικη υιοθετηση, περιλαμβανομενων:
  - Αυξημενα πλατη πλευρικων δεξαμενων και υψη διπτυθμενων για νεα tankers

# MEPC 59 (Ιουλ. 2009)

- Εκθεση ομάδας (MEPC 59/17)
- Πολυ λιγη συζητηση
- Η Επιτροπη συμφωνησε να συνεχιστει το εργο
- Η Επιτροπη συμφωνησε στο volume-dependent CATS

# MEPC 60 (Μαρτιος 2010)

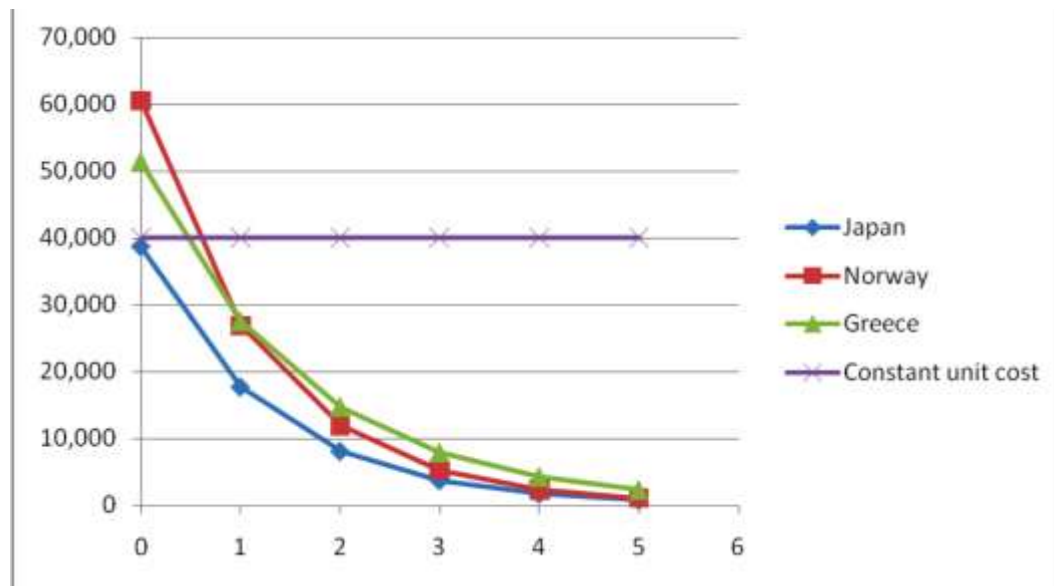
- Working Group on FSA
- Μεγαλη (και δυσκολη) συζητηση
- Επιβεβαιωση για χρηση μη γραμμικων συναρτησεων
- Επιλογη της δικης μας καμπυλης για το κοστος της πετρελαιοκηλιδας ως βαση συζητησης

# MEPC 61 (Σεπτ-Οκτ. 2010)

- Πολυ λιγη συζητηση
- Παραπομπη για MEPC 62 (Ιουλ. 2011)

# Μοναδιαίο κόστος κηλίδας

- Total Unit Spill Cost (\$/tonne) vs  $\log(V)$  for  $V \geq 1$  tonne



# Μοναδιαίο κόστος κηλίδας II

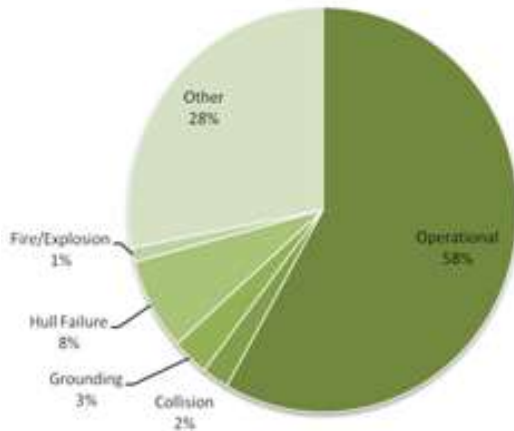
**Table 4: Total Unit Spill Cost (Total Spill Cost/Spill Size) \$/tonne<sup>8</sup>**

V- tonnes	Log(V)	Japan	Norway	Greece	Constant Unit Cost
1	0	38,735	60,515	51,432	40,000
10	1	17,705	26,845	27,494	40,000
100	2	8,093	11,909	14,697	40,000
1,000	3	3,699	5,283	7,857	40,000
10,000	4	1,691	2,343	4,200	40,000
100,000	5	773	1,040	2,245	40,000

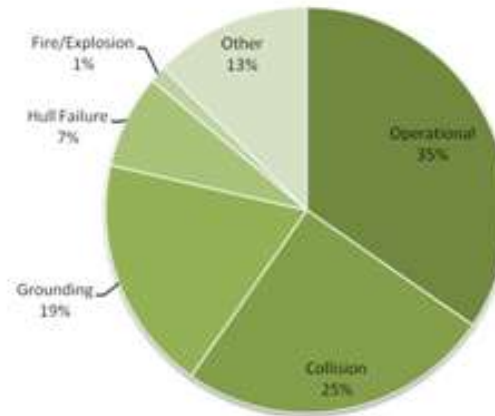


# ITOPF DATA – ΑΙΤΙΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Incidence of Spills  
less than 7 tonnes by Cause



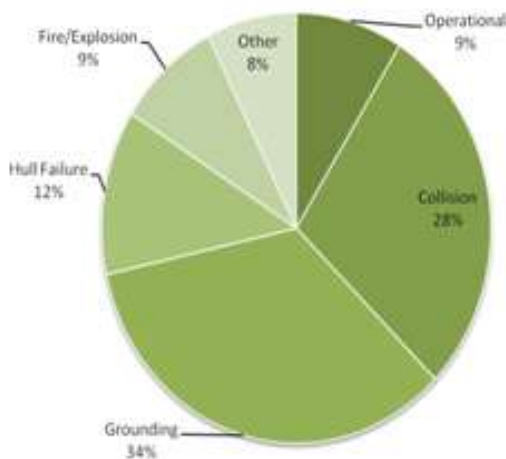
Incidence of Spills  
of 7-700 tonnes by Cause



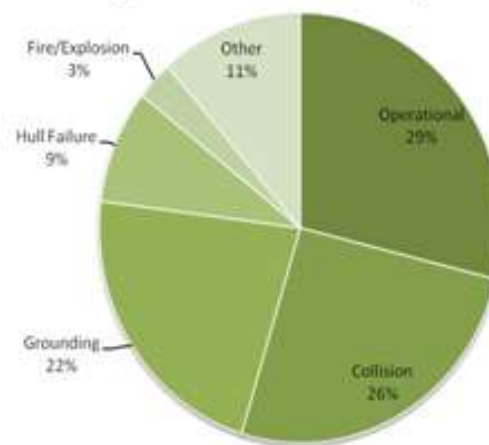
Most spills from tankers

- result from routine operations
- occur in ports and oil terminals
- are small (less than 7 tonnes)

Incidence of Spills  
greater than 700 tonnes by Cause



Incidence of Spills of  
greater than 7 tonnes by Cause



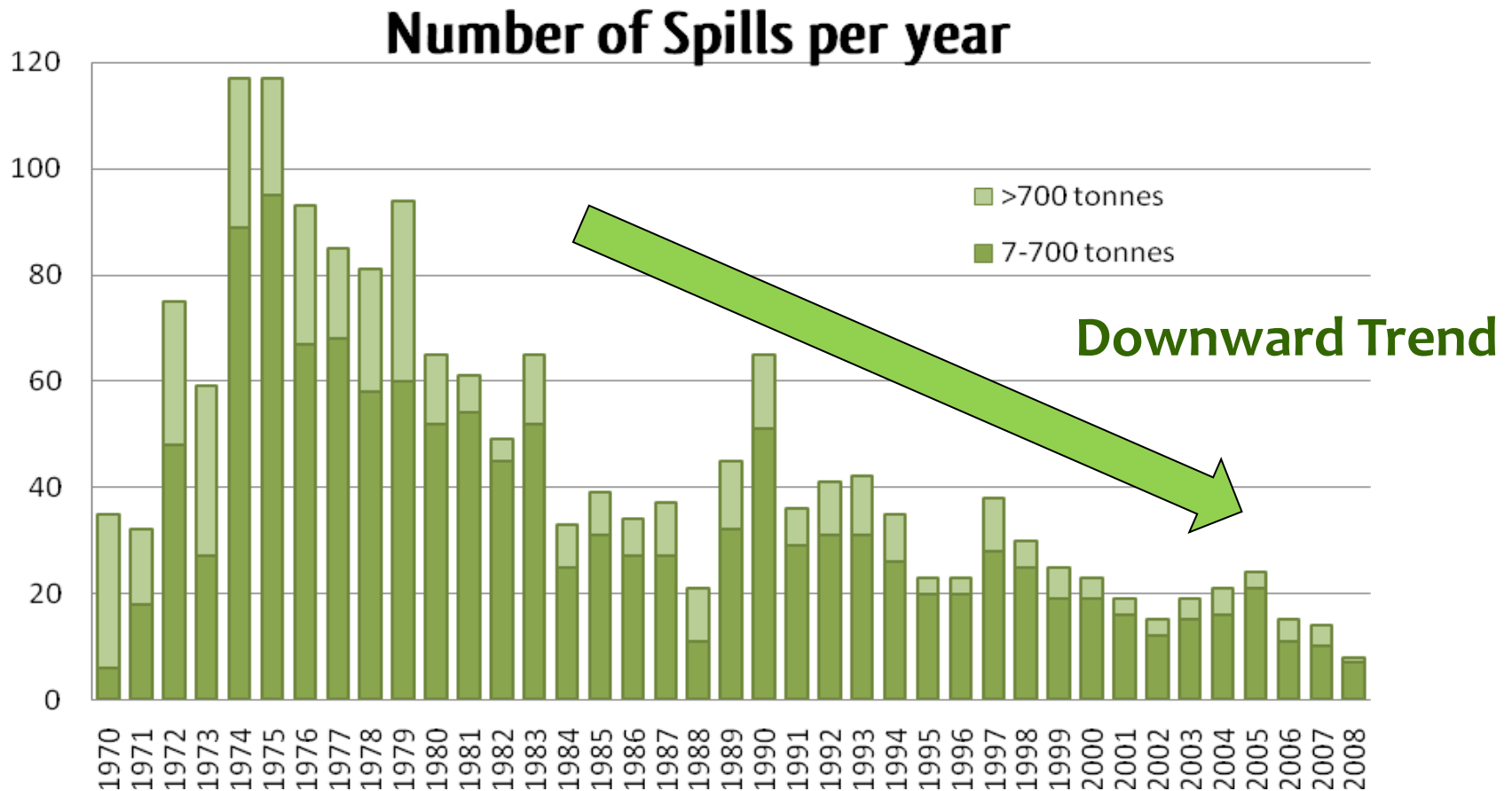
Of the accidental causes

- most incidents are from collisions and groundings.



# ITOPF DATA – ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΗΛΙΔΩΝ

Statistical Analysis  
Autocorrelation Function (ACF)  
Mann-Kendall Test

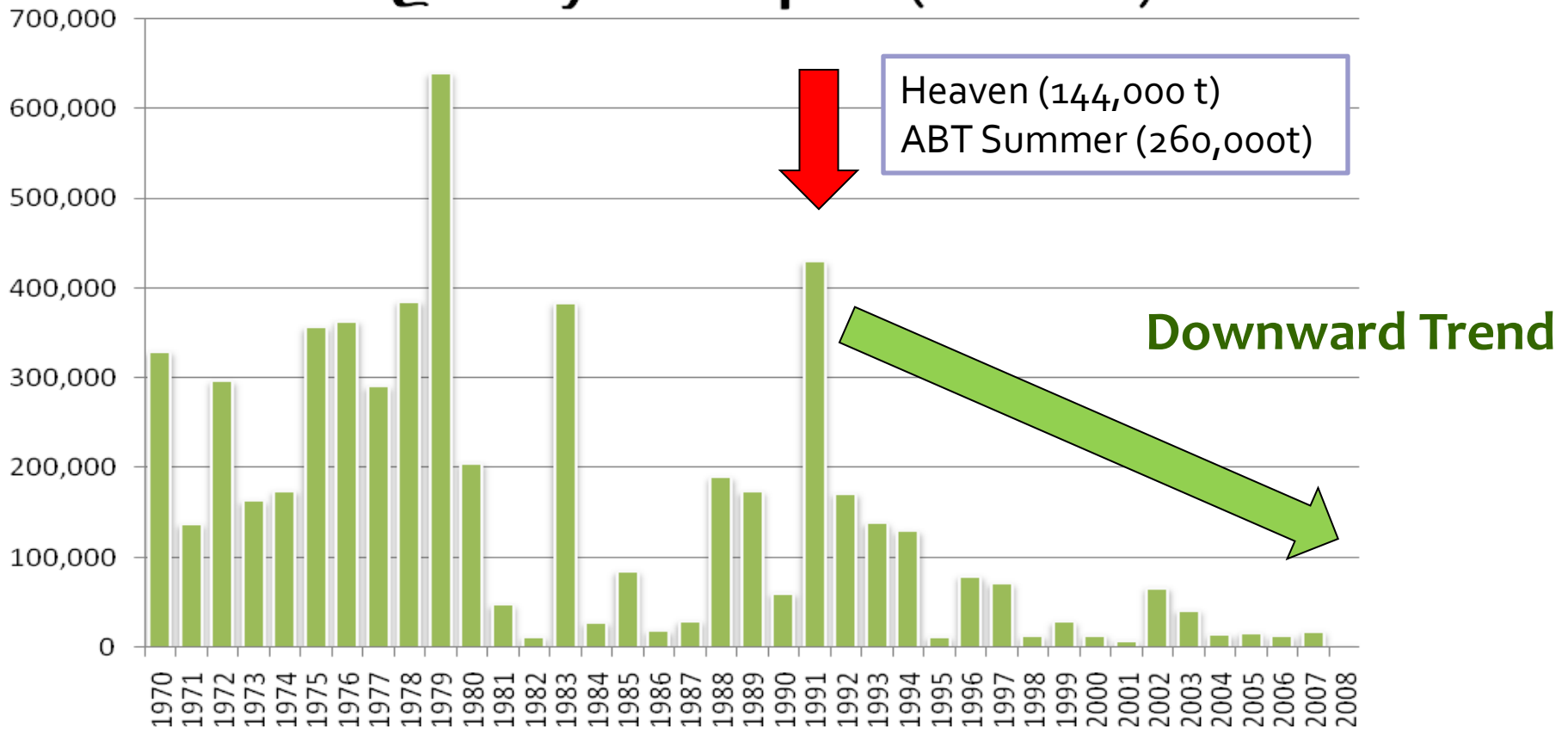




# ITOPF DATA – ΠΟΣΟΤΗΤΑ

Statistical Analysis  
Autocorrelation Function (ACF)  
Mann-Kendall Test

## Annual Quantity of Oil Spilt (in tonnes)

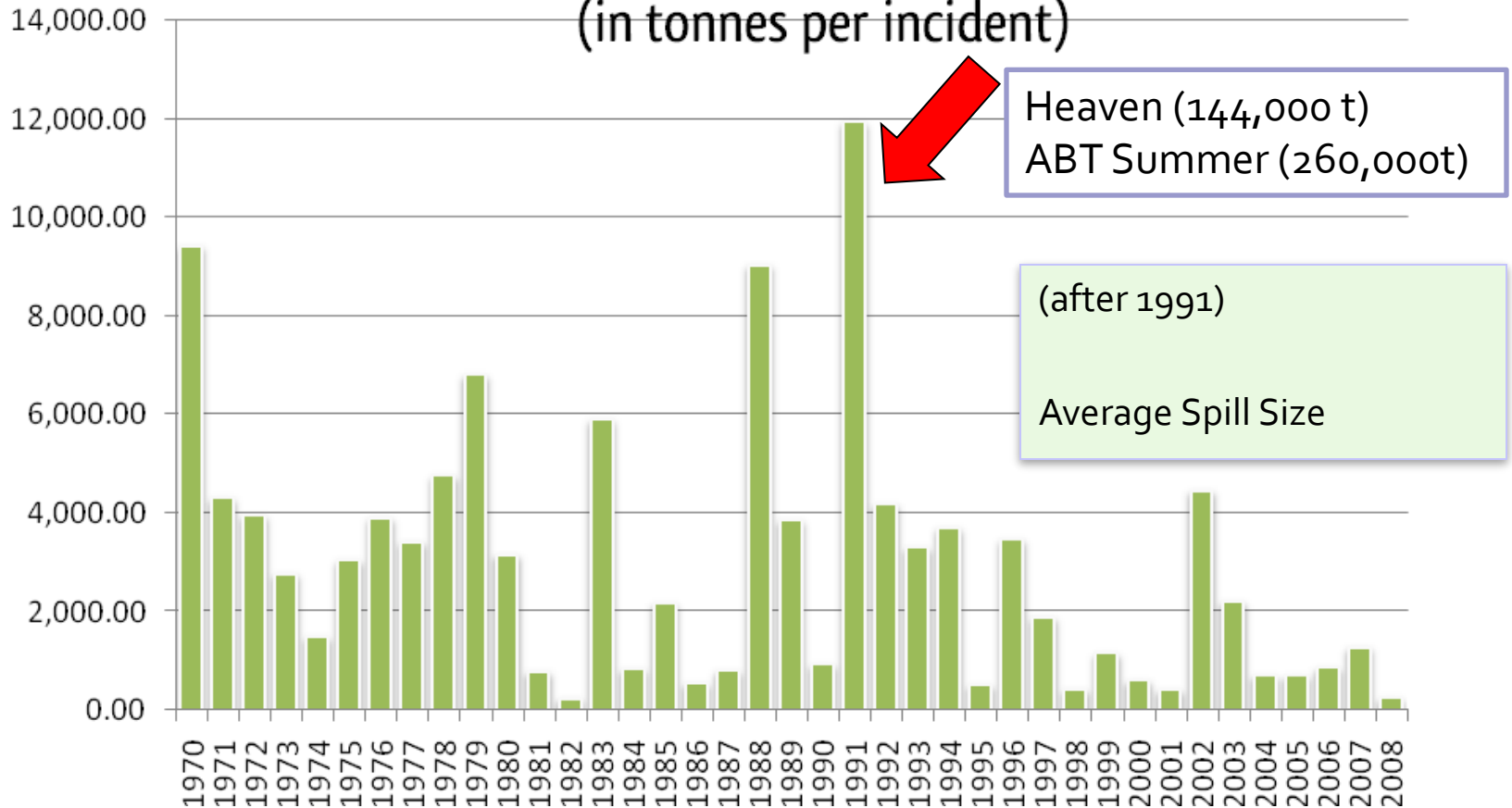


Annual Quantity of Oil Spilt, 1970-2008  
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΩΤΑ 2010-11



# ΙΤΟΡΦ DATA – ΠΟΣΟΤΗΤΑ

## Average Quantity of Oil Spilt (in tonnes per incident)

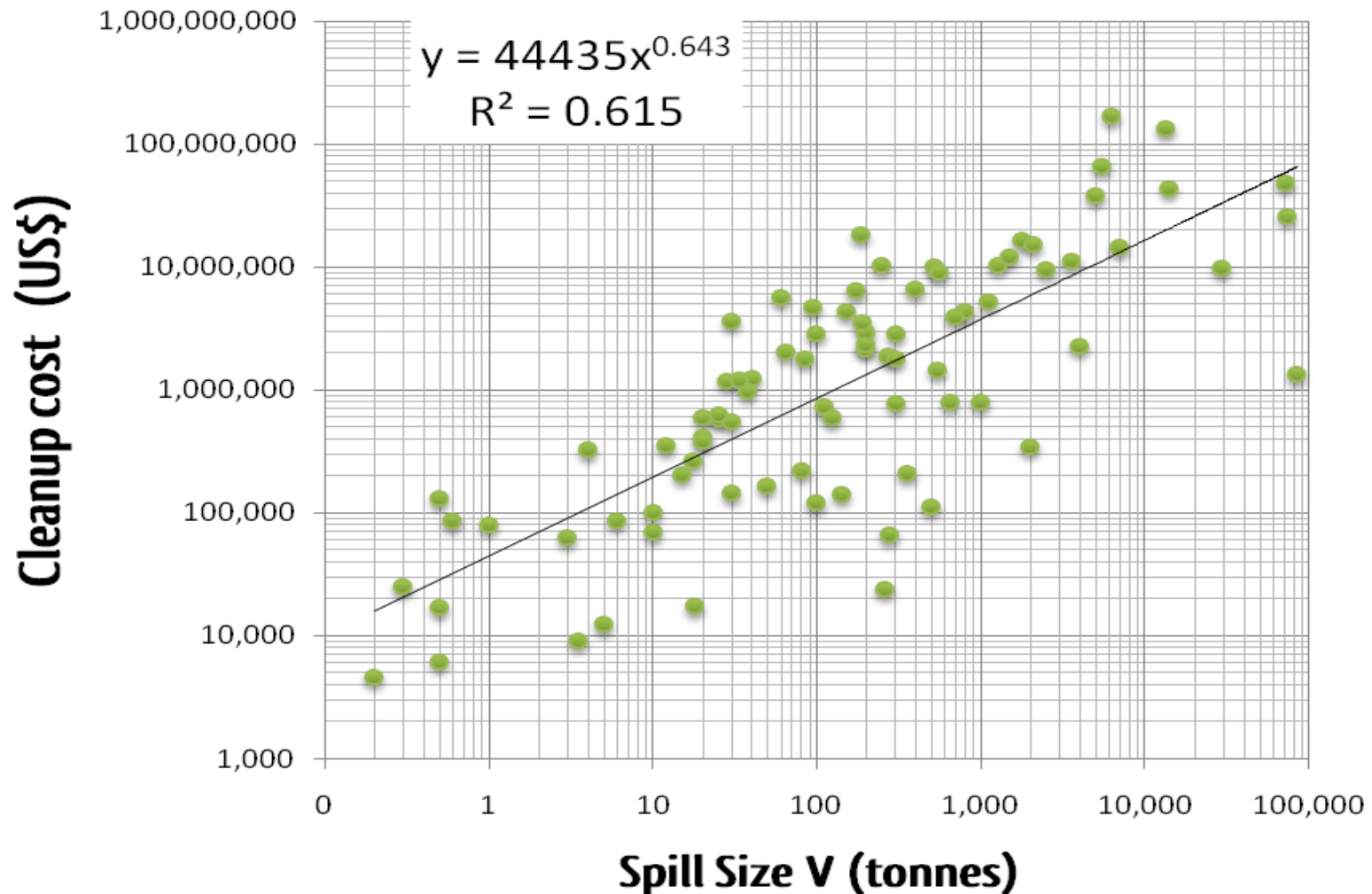


Average Quantity of Oil Spilt per Incident, 1974-2008

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΑΡΤΗΡΙΑ

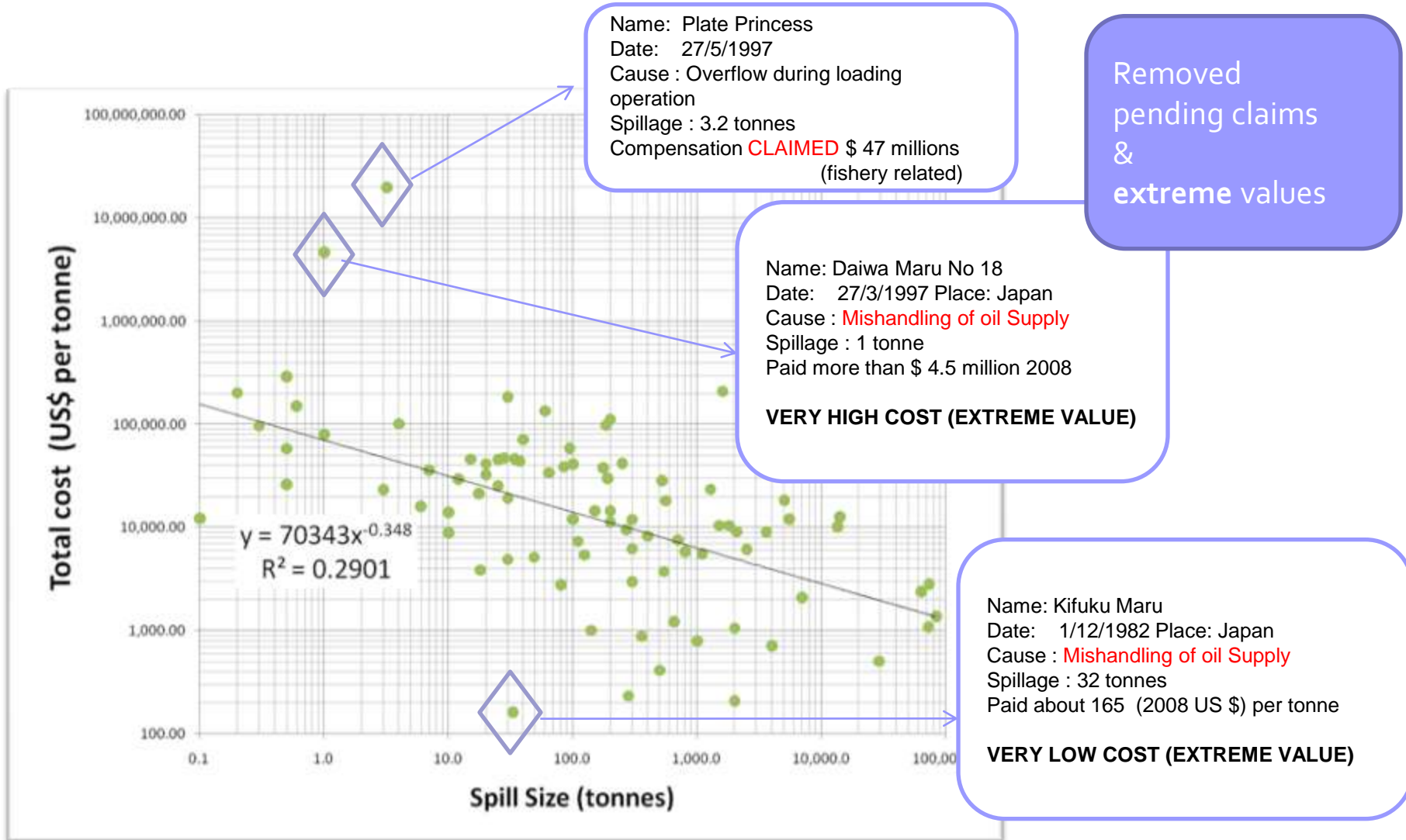


# IOPC FUND – Κόστος καθαρισμου



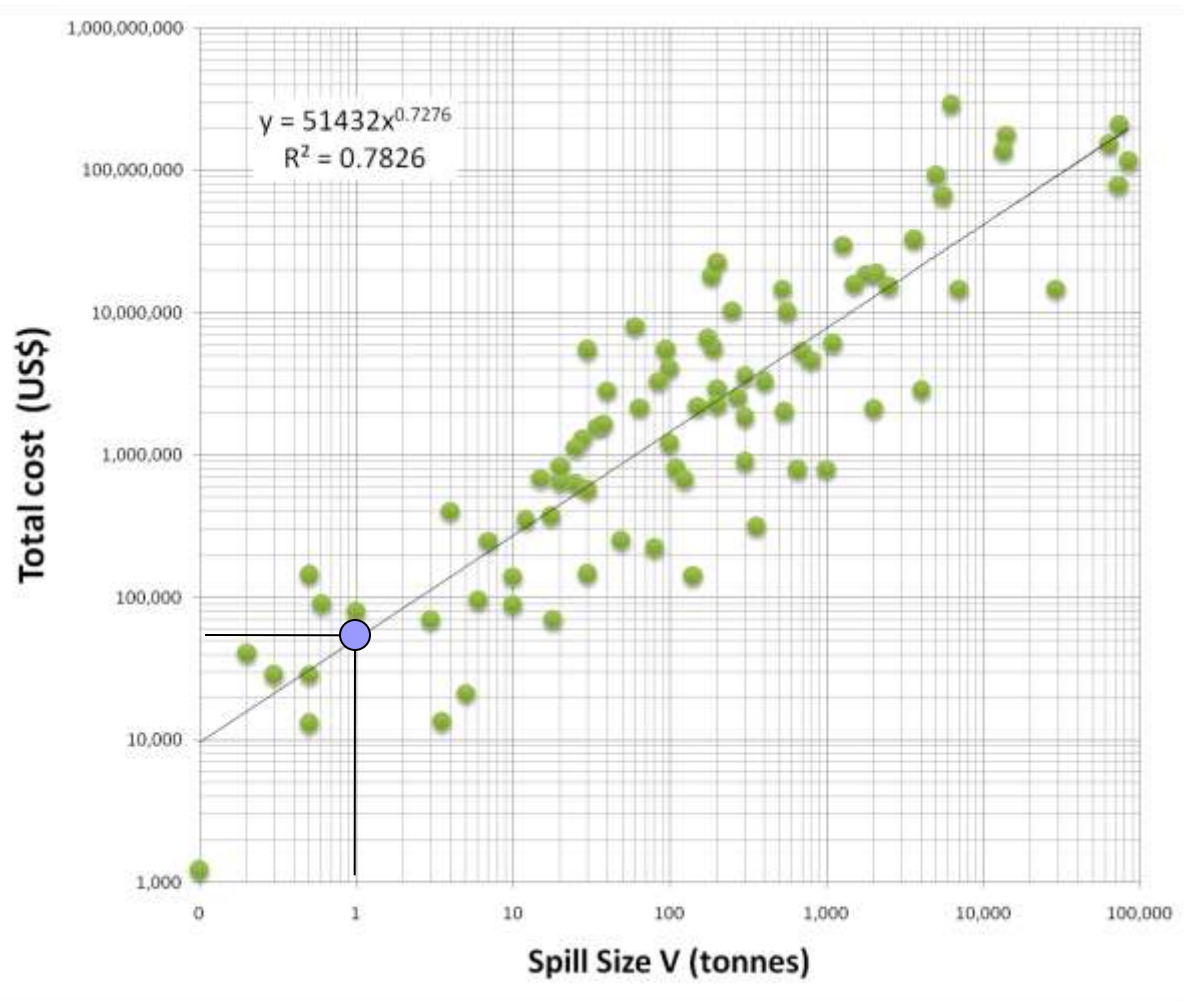


# ΙΟΡΡC FUND – ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ





# ΙΟΡΡΚ FUND –ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΙΙ



## Sensitivity Analysis

**Total cost (in 2008 US \$)  
for a hypothetical spill of 1 tonne**  
(based on the equation derived from the  
regression analysis)

Total Cost : 51,432 US\$

Extreme LOW value ( about 165 \$/tonne)

If the case of Kifuku Maru had been  
included  
the total cost for an ONE tonne would be

Total Cost : 46,706 US\$

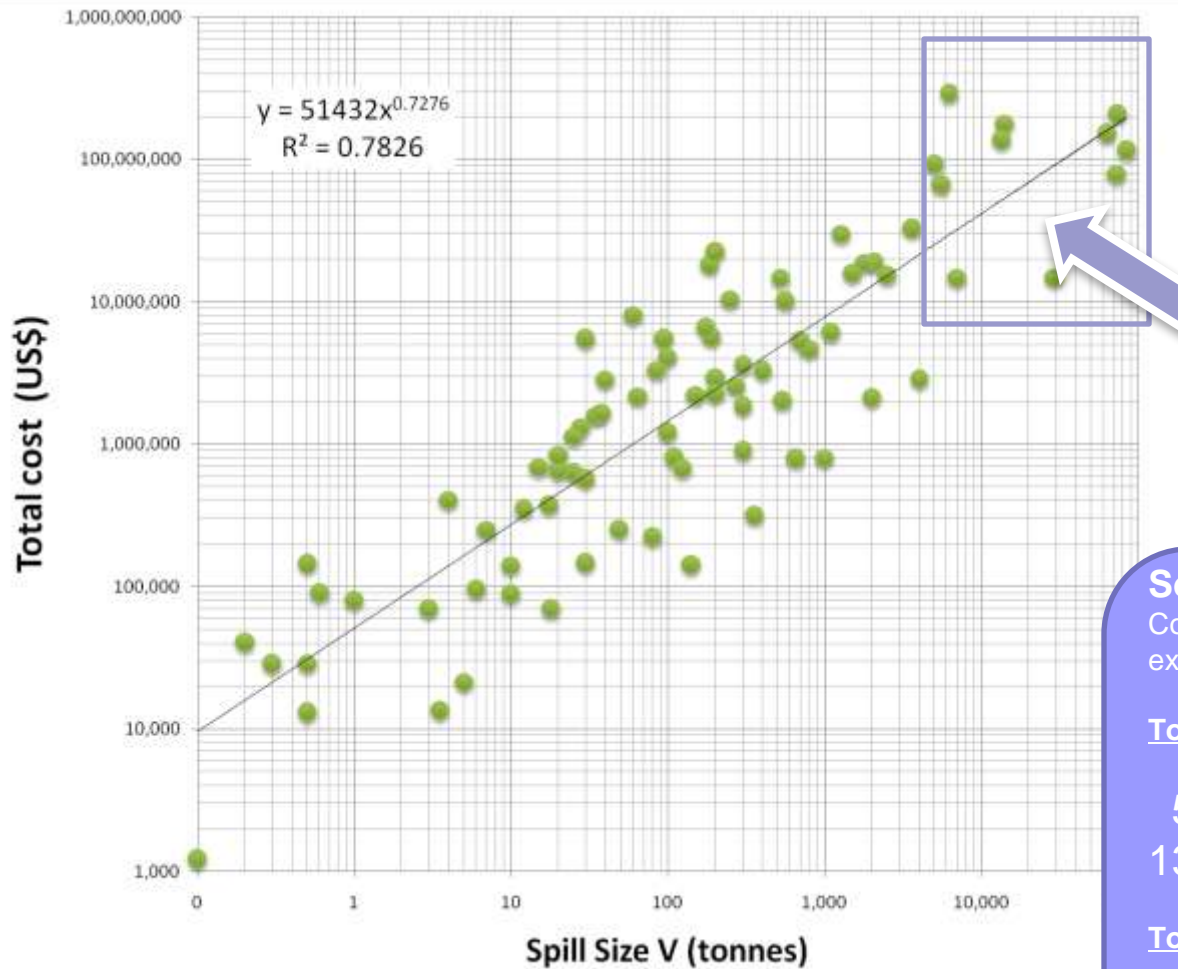
Extreme HIGH value ( about 4.6 millions \$/tonne)

If the case of Daiwa Maru No 18 had been  
included

Total Cost : 56,058 US\$



# IOPC FUND - παλινδρομηση



## Extreme Cautious is necessary

Total Number of cases : 88

Min Spillage = 0.1 tonnes  
Maximum = 84,000 tonnes

Average = 4,854.29  
Median = 140.00  
Geometric Mean = 127.52

only 11 spills above 5,000 tonnes

### Some Interesting Figures

Cost figure based on regression formula and expressed in 2009 US Dollars)

#### Total cost of hypothetical spills

5,094.87 \$/tonne (Average spill size)

13,385.30 \$/tonne (Median)

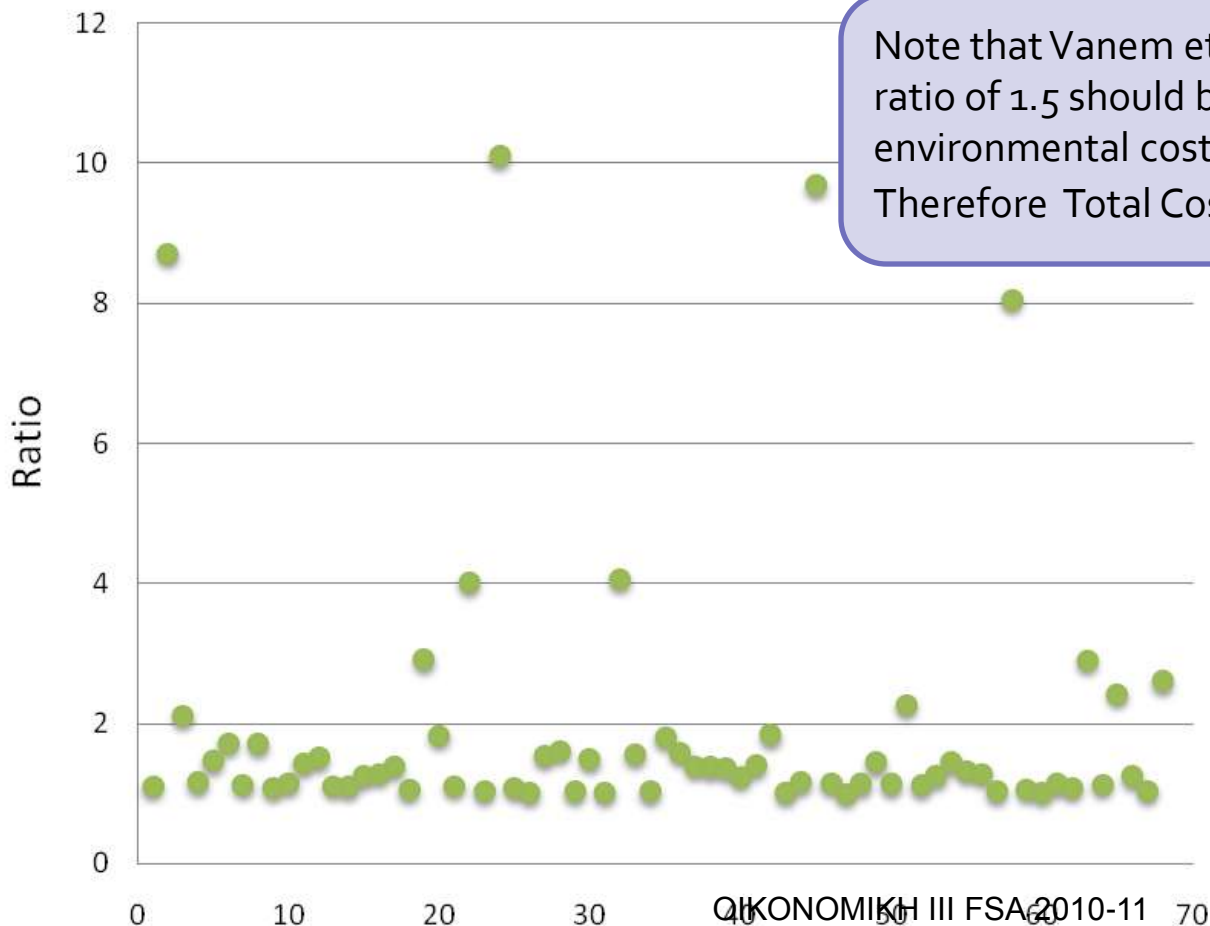
#### Total Amount Paid / Total Oil spill

4,118.23 \$/tonne

Total Cost in 2009 US \$ (Data based on IOPCF Annual Report)  
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΙΙΙ FSA 2010-11

# ΙΟΡCF–Λογος συνολικου κοστους προς κοστος καθαρισμου

## Total Cost / Cleanup Cost Ratio



Note that Vanem et al (2007a, 2007b) concluded that a ratio of 1.5 should be assumed for socioeconomic and environmental costs as compared to cleanup costs. Therefore  $\text{Total Cost/CleanUp} = 2.5$

## Some Interesting Figures

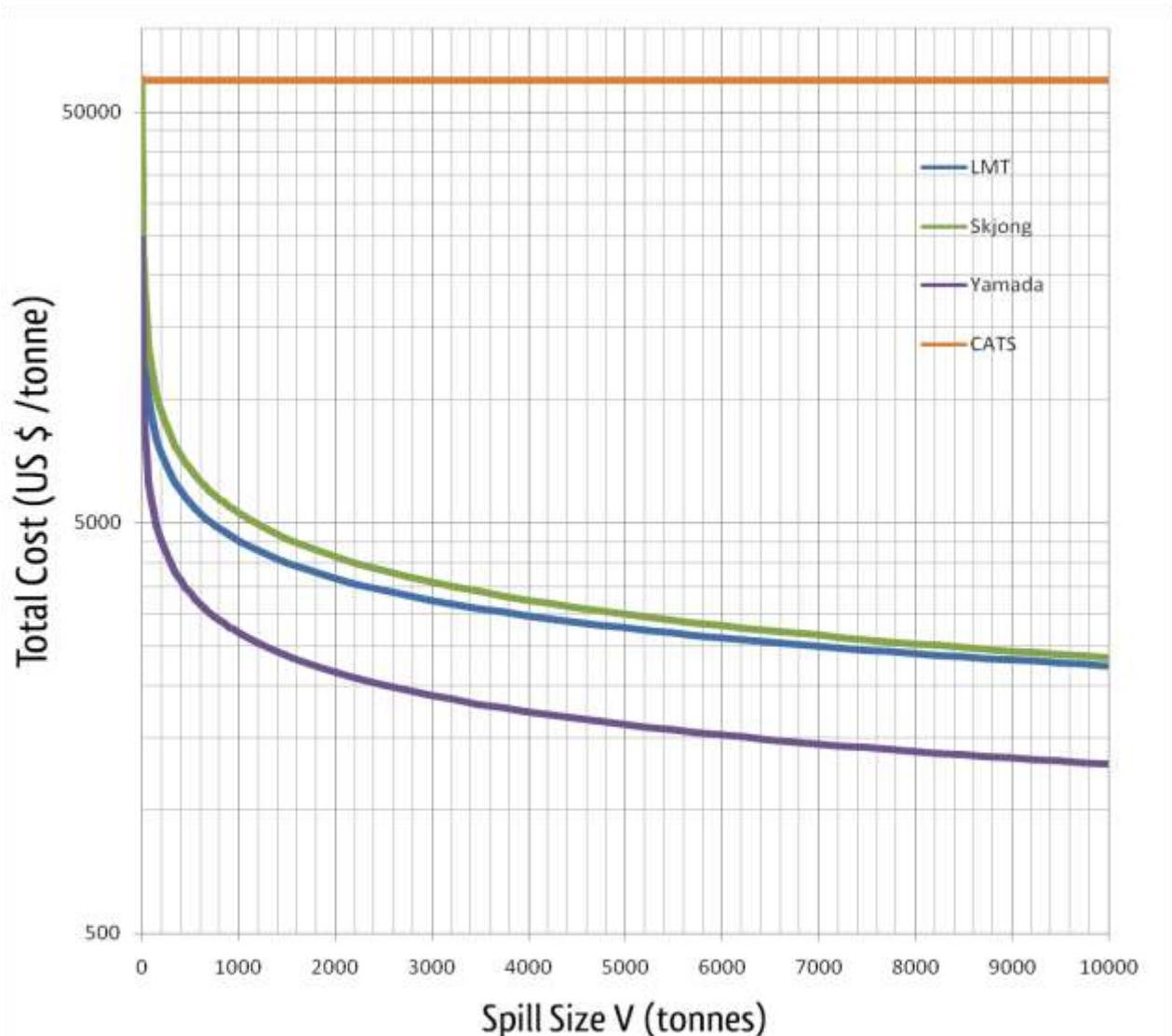
Dataset of N=68 ratios  
(ratios equal to 1 and extreme values removed)

minimum ratio of 1.002

maximum of 10.01

mean = 1.929 & median = 1.287

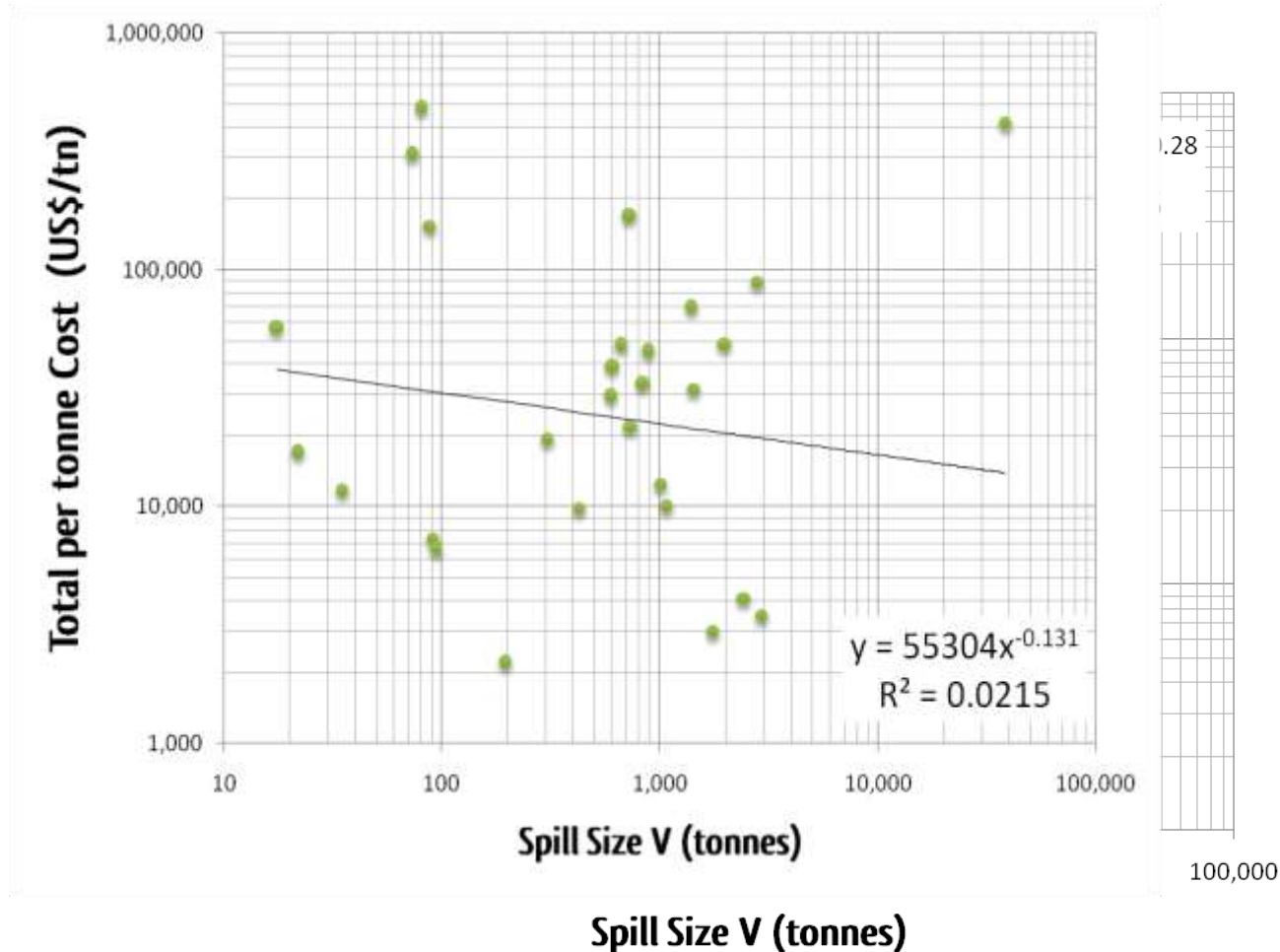
# Συγκριση 3 μελετων





# Natural Resource Damage Costs

Based on Helton & Penn (NOAA)

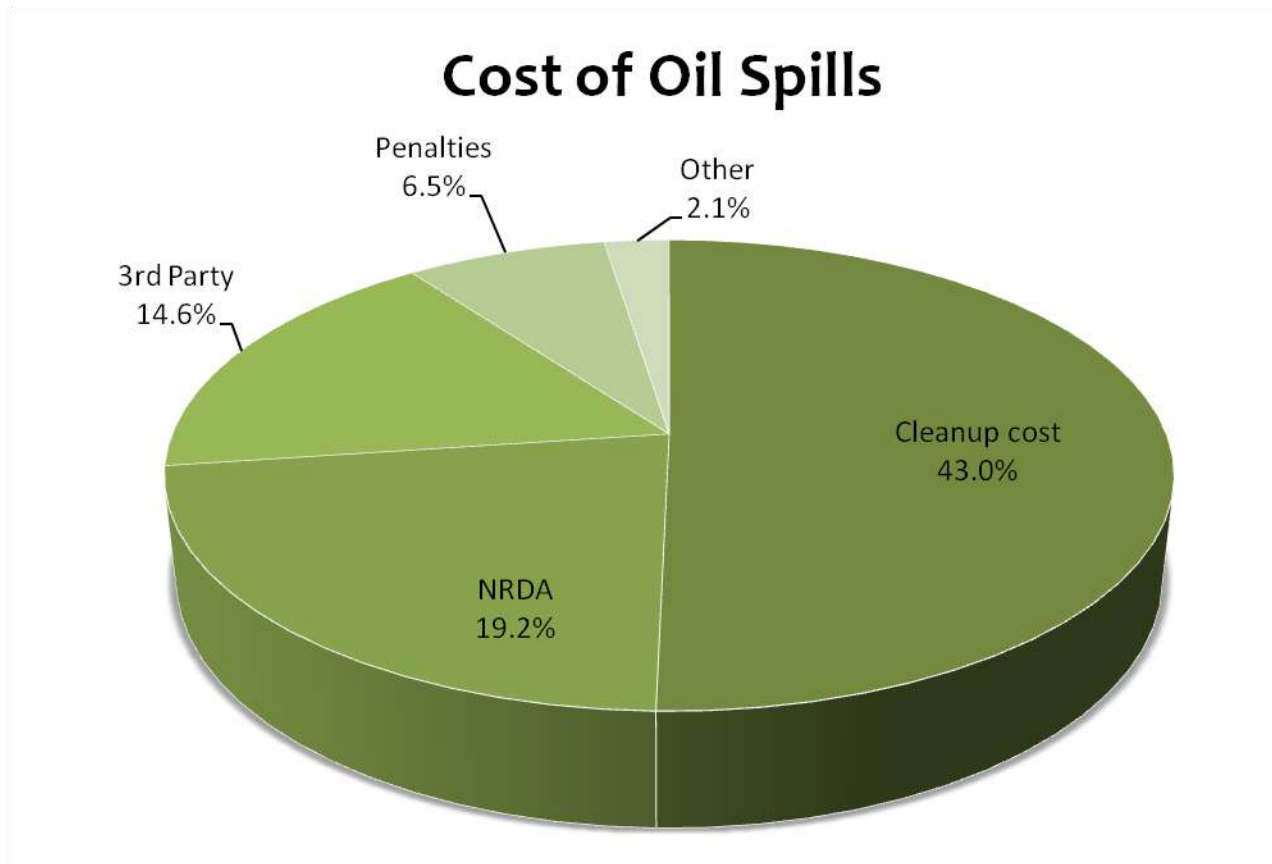


Total and NRDA per unit costs (2009\$/tn)



# Natural Resource Damage Costs

Based on Helton & Penn (NOAA) - Chart shows average values



# Βιβλιογραφική αναφορά

Marine Pollution Bulletin 60 (2010) 1455–1466



Contents lists available at ScienceDirect

Marine Pollution Bulletin

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/marpolbul](http://www.elsevier.com/locate/marpolbul)



## An empirical analysis of IOPCF oil spill cost data

Christos A. Kontovas \*, Harilaos N. Psaraftis, Nikolaos P. Ventikos

*Laboratory for Maritime Transport, National Technical University of Athens, Greece*

# ΠΟΛΛΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΑ:

- <http://www.martrans.org/lmsf.htm>
- <http://www.martrans.org/limo.htm>

# Συμπέρασμα

- Περιοχη σημαντικη
- Εξελιξεις τρεχουν
- Το ΕΜΠ ειναι μεσα

# Παράρτημα

- Γενικό πλαίσιο χρήσης περιβαλλοντικών κριτηρίων στην FSA
- Αναφορά: Psaraftis, H.N., (2008), “Environmental Risk Evaluation Criteria”, WMU Journal of Maritime Affairs, vol. 7, No. 2, pp 411–430.
-



# RCOs to reduce oil pollution risk

- Any RCO that **reduces oil pollution risk** may also, in general, **reduce the risk of fatalities**, of injuries, and maybe also the risk of damage or of loss of the ship and/or cargo.
  - Although incidents that lead to fatalities may not necessarily lead to oil pollution, or vice versa.
- A specific methodology already exists in FSA for looking at fatalities and injuries.
- Attention is due when **combining the benefits of fatality risk reduction** to those due to **oil pollution risk reduction**.



# Assume two scenarios:

- (A) the status quo
- (B) a specific RCO is applied to waterborne transport on a global basis.
- The purpose of this RCO is to reduce the risk of oil pollution.
- Need a way to decide if this RCO is cost-effective and hence should be recommended for adoption



# Reduce oil pollution risk: how?

## BASICALLY 2 WAYS:

- Reduce probability of spillage
  - Mitigate consequences of spillage, if it happens
- (risk= probability X consequences)



# Typical RCOs

- ECDIS
- VTMIS
- Tanker double sides
- Tanker double bottoms
- Smaller tanks
- Inert gas in ballast tanks
- More steel
- Fuel tanks not close to ship hull
- Coulombi egg/ passive vacuum
- A specific design that limits discharge once it happens
- (purely theoretically?) Rescinding double bottoms!
- Twin screws (for tankers)
- Etc



# STATUS QUO (without RCO):

Define  $E(TOT)$  as the expected annual total cost of all spills worldwide.

## TWO COMPONENTS:

- (A) Expected annual **total damage cost** of these spills, taking into account
  - economic consequences to the ship owner,
  - the cargo owner,
  - fisheries,
  - tourism,
  - other industries that may be impacted negatively by the spill,
  - quantifiable damages to the environment,
  - etc
- (B) Expected annual **total cleanup cost** of these spills, either at sea or when they hit the shoreline.
  - This cost depends on the response level and response tactics, which here we assume to be a constant.
  - Addressing oil spill response alternatives is outside the scope of this work.



# Assume that

- We know how to calculate  $E(TOT)$
- (method how to do it, later)



# How can $E(TOT)$ be reduced?

- Introduce a specific RCO
  - choose from list
- Apply RCO:
  - Globally (to all ships, everywhere)
  - Or locally (to some ships or to a certain geographical area)
- Cost of RCO application =  $\Delta K$  (known)  
(annualized basis)



# Effects of $RCO = 2$

- Spill frequency may change because of it
  - Presumably it will be reduced
- Probability distribution of spill volume may change because of it
  - Presumably less oil will be spilled, and expected spill volume will be reduced



# WITH this RCO applied:

- $E_{RCO}(TOT)$  = New expected annual total cost of all spills worldwide
- Presumably  $E_{RCO}(TOT) < E(TOT)$
- $E_{RCO}(TOT)$  can be computed same way as  $E(TOT)$ - more later



# Cost Benefit Assessment

- Define  $\Delta E(\text{TOT}) = E(\text{TOT}) - E_{\text{RCO}}(\text{TOT})$
- $\Delta E(\text{TOT}) =$  Expected benefit from RCO
- RCO is cost-effective globally if

$$\Delta K < \Delta E(\text{TOT})$$



# Comparison among RCOs

- Among alternative RCOs for which  $\Delta K < \Delta E(\text{TOT})$ , pick the one that achieves **the highest positive difference**  $\{\Delta E(\text{TOT}) - \Delta K\}$
- NOTE: **NOT** the one that achieves the **highest ratio**  $\Delta E(\text{TOT})/\Delta K$  !



# Beware of ratio tests?

RCO	$\Delta K$	$\Delta E(TOT)$	$\Delta E(TOT) - \Delta K$	$\Delta E(TOT) / \Delta K$
RCO1	2	5	3	2.5
RCO2	3	6.5	3.5	2.17
RCO3	4	8	4	2

(in \$billion/yr)

- Highest difference: RCO3
- Highest ratio: RCO1
- If RCO1 is chosen, \$1 billion/yr less expected benefits



# Important note

- The stakeholders who will receive the expected benefits  $\Delta E(\text{TOT})$  can be many.
- But they may not be the same with those who will incur cost  $\Delta K$  to adopt RCO!
- We do not deal with this issue here (distribution of costs and benefits), assuming that our black box is “society”.
- But it is an issue that needs to be addressed, otherwise those who pay but do not receive benefits will react.



# Combining environmental and safety risk

- RCOs that reduce pollution risk may also improve safety, i.e. reduce the risk of fatalities.
- How can this be incorporated into the CBA?



# Currently in FSA

- Cost to Avert a Fatality (CAF)
- GCAF and NCAF



# GCAF

- If  $GCAF = \Delta C / \Delta R < VHL$ , then RCO is cost-effective, otherwise not
  - $\Delta C$ : Cost of introducing RCO
  - $\Delta R$ : Expected reduction of fatalities
- Among alternatives that pass this test, **choose the one with the minimum GCAF.**
- $VHL = \$3\text{million}$



# [NCAF

- If  $NCAF = (\Delta C - \Delta B) / \Delta R < VHL$ , then RCO is cost-effective, otherwise not.
  - $\Delta B$ : Benefit of introducing RCO
- Among alternatives that pass this test, choose the one with the minimum NCAF.]

# Note 1: CAF is another ratio test

- $\Delta C / \Delta R < VHL$
- But can also be written as a difference  
 $VHL * \Delta R - \Delta C > 0$

(see MSC82/INF.3 on possible pitfalls on the use of ratio tests in CBA)



# Combining the criteria

- The specific RCO under consideration is cost-effective globally if its cost

$\Delta K < \Delta E(\text{TOT}) + \text{VHL} * \Delta R$ , otherwise it is not.

- Among alternative RCOs that pass this test, choose the one that achieves the **highest positive difference**

$\{\Delta E(\text{TOT}) + \text{VHL} * \Delta R - \Delta K\}$ .



# Note 2

- Unclear **if or how** this can be expressed as a ratio test
- Unclear **why** it should be expressed as a ratio test!



# Note 3 (NCAF)

- The specific RCO under consideration is cost-effective globally if its cost  $\Delta K < \Delta E(\text{TOT}) + \text{VHL} * \Delta R + \Delta B$ , otherwise it is not.
- Among alternative RCOs that pass this test, choose the one that achieves the highest positive difference

$$\{\Delta E(\text{TOT}) + \text{VHL} * \Delta R + \Delta B - \Delta K\}.$$



# Other environmental consequences

- These may include shipbuilding and ship recycling residues, ballast water, coatings, garbage, sewage, gas emissions, noise, radioactive and other hazardous materials, bio-fouling, chemicals, other dangerous cargoes, and others.



# Approach can still be applied!

## FOR A SPECIFIC CASE, DEFINE:

- $E(TOT)$  and  $E_{RCO}(TOT)$ : Expected annual total costs associated with environmental consequences, **before** and **after** the application of a specific RCO (respectively).
- For instance, one may contemplate a measure to mitigate SOx emissions, a measure to reduce recycling residues, and so on.



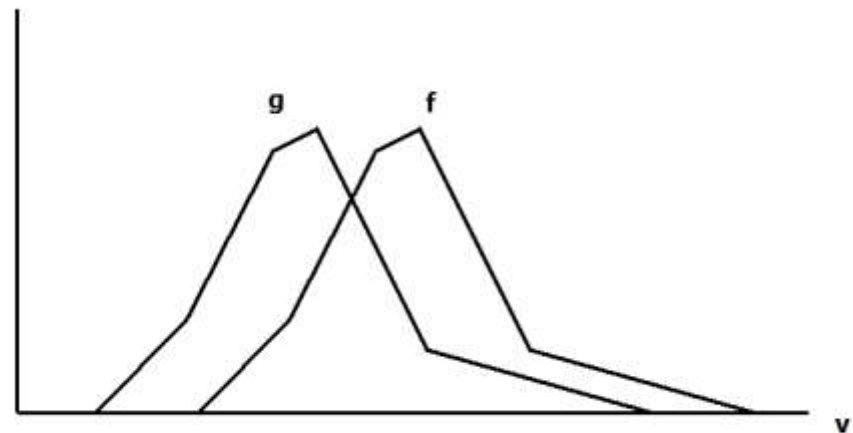
# HOW TO COMPUTE $E(TOT)$

- SEE **ANNEX A** OF PAPER
- Assumes spills are generated according to a **Poisson process** of known frequency  $\lambda$
- Assumes known **spill volume distribution**  $f(v)$
- Assumes various other known probabilities and damage & cleanup cost functions (generally **non-linear** with spill volume)
- Accounts for different **spill locations** and **oil types**



# What an RCO may do

- It may reduce spill frequency to  $\mu < \lambda$
- It may change spill volume distribution from  $f(v)$  to  $g(v)$
- both  $\mu$  and  $g(v)$  known
  - use of probabilistic modelling, Bayesian analysis and/or the help of expert opinion





# Special cases

- Special case  $\mu=\lambda$ 
  - RCO concerns only measures to mitigate damage once pollution occurs
  - Many “ship-design” measures are in this category
- Total cost function **assumed linear** in spill volume  $v$  (or linear approximation is used)



# Then, criterion reduces to

$$\delta k / (\Delta E_{\text{year}}(v)/N) < B$$

- Numerator = per ship cost of implementing the RCO (on an annual basis)
- Denominator = per ship reduction of expected total volume spilled in one year
- B: a constant (function of input data)
- B  $\leftrightarrow$  CATS threshold! (but computed differently)



# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ?

