



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Μοντέλο Τύχης/Γήρανσης Κηλίδων Πετρελαίου
Τεύχος Β

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χαντζηκωνσταντίνου Αρχοντής

Επιβλέπων : Νικόλαος Π. Βεντίκος
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2008

Copyright © Χαντζηκωνσταντίνου Αρχοντής , 2008
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το SpillSolver, είναι ένα πρόγραμμα που κατασκευάστηκε με το εργαλείο GUIDE του MATLAB, εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη κατασκευή και το προγραμματισμό γραφικών διεπαφών χρήστη (Graphical Users Interface, GUI). Το SpillSolver δέχεται ως δεδομένα διάφορες παραμέτρους και εξάγει αποτελέσματα και γραφήματα για τις κύριες διεργασίες της γήρανσης μιας πετρελαιοκηλίδας.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι, όχι μόνο το να φτιάξει άλλο ένα υπολογιστικό πρόγραμμα για τη μελέτη της γήρανσης της πετρελαιοκηλίδας, αλλά να βοηθήσει στην περαιτέρω ανάπτυξή τους. Για το λόγο αυτό, περιλαμβάνει διεργασίες, όπως η φωτοξείδωση και η ιζηματοποίηση, που δεν έχουν μοντελοποιηθεί από σχεδόν κανένα άλλο υπολογιστικό πακέτο, είναι όμως πολύ σημαντικές. Η σημασία τους έγκειται στο ότι, παρόλο που δεν έχουν άμεσο αντίκτυπο στην γήρανση, είναι πολύ σημαντικές, γιατί η επίδρασή τους στη μόλυνση του περιβάλλοντος είναι τεράστια.

ABSTRACT

SpillSolver is an application which developed in the programming tool for Graphical Users Interface's of MATLAB the GUIDE. As input, SpillSolver has various parameters and us output has figures for the most important proceedings of the weathering of an oilspill.

The purpose of this thesis is not just to create another application for the oil spill weathering process, but also to help for the further development of them. For this reason it includes processes as sentimentation and photoxidation, which rarely are part of an application. These processes are of great importance, because they affect the environment for many years after an oil spill occurs.

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|---|----|
| 1 Βιβλιογραφική Επισκόπηση | 9 |
| 1.1 Εισαγωγή..... | 9 |
| 1.2 Εξάπλωση | 9 |
| 1.3 Εξάτμιση | 13 |
| 1.4 Γαλακτωματοποίηση..... | 14 |
| 1.5 Διασπορά..... | 15 |
| 1.6 Φωτοξείδωση | 16 |
| 1.7 Καταβύθιση..... | 17 |
| 1.8 Μετατόπιση..... | 17 |
| 2 Μαθηματικά μοντέλα διεργασιών υλοποίησης | 21 |
| 2.1 Εισαγωγή..... | 21 |
| 2.2 Μοντέλο Εξάπλωσης | 22 |
| 2.3 Μοντέλο Εξάτμισης | 23 |
| 2.4 Μοντέλο Γαλακτωματοποίησης | 24 |
| 2.5 Μοντέλο Διασποράς | 25 |
| 2.6 Μοντέλο Οξείδωσης | 26 |
| 2.7 Μοντέλο Ιζηματοποίησης | 27 |
| 2.8 Άλλες Παράμετροι της πετρελαιοκηλίδας..... | 29 |
| 2.8.1 Πυκνότητα | 29 |
| 2.8.2 Ιξώδες..... | 29 |
| 2.8.3 Πάχος Πετρελαιοκηλίδας..... | 30 |
| 3 Εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος SpillSolver | 31 |
| 3.1 Εισαγωγή..... | 31 |
| 3.2 Το πρόγραμμα MATLAB | 32 |
| 3.3 Το εγχειρίδιο χρήσης του Spillsolver | 33 |
| 3.3.1 Το εισαγωγικό παράθυρο..... | 33 |
| 3.3.2 Το Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων της εφαρμογής..... | 34 |
| 3.3.2.1 Oil Type..... | 35 |
| 3.3.2.2 Release..... | 36 |
| 3.3.2.3 Environmental Conditions..... | 38 |
| 3.3.2.4 Το κουμπί Solve | 40 |
| 3.4 Το παράθυρο των αποτελεσμάτων..... | 40 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5 Μηνύματα σφάλματος | 47 |
| 4 Έλεγχος Αποτελεσμάτων SpillSolver | 49 |
| 4.1 Εισαγωγή..... | 49 |
| 4.2 Περιγραφή Μεθοδολογίας ελέγχου | 49 |
| 4.3 Αναλυτική παρουσίαση αποτελεσμάτων | 50 |
| 4.3.1 Σενάριο 1..... | 50 |
| 4.3.1.1 Εξάτμιση..... | 51 |
| 4.3.1.2 Διασπορά | 52 |
| 4.3.1.3 Αύξηση ιξώδους | 53 |
| 4.3.1.4 Αύξηση πυκνότητας | 54 |
| 4.3.1.5 Εξάπλωση – Πάχος Κηλίδας | 55 |
| 4.3.1.6 Ιζηματοποίηση – Φωτοξείδωση | 57 |
| 4.3.1.7 Γαλακτωματοποίηση | 58 |
| 4.3.2 Σενάριο 2..... | 59 |
| 4.3.2.1 Εξάτμιση..... | 59 |
| 4.3.2.2 Διασπορά | 61 |
| 4.3.2.3 Αύξηση ιξώδους | 62 |
| 4.3.2.4 Αύξηση πυκνότητας | 62 |
| 5 Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις | 65 |
| 5.1 Σύνοψη-Συμπεράσματα | 65 |
| 5.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις | 66 |
| Βιβλιογραφία | 67 |

1

Βιβλιογραφική Επισκόπηση

1.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζονται τα κυριότερα μοντέλα προσομοίωσης που έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς και εξετάζονται ανά κατηγορία διεργασίας. Στο τέλος κάθε διεργασίας υπάρχουν συγκεντρωτικοί πίνακες των μοντέλων προσομοίωσης με τις εξισώσεις που χρησιμοποιούν και τις επιστημονικές έρευνες που περιέχονται.

1.2 Εξάπλωση

Η διεργασία της εξάπλωσης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη ‘συμπεριφορά’ της πετρελαιοκηλίδας, αφού επιδρά και σε άλλες διεργασίες της γήρανσης, όπως στην εξάτμιση, τη διάλυση, τη φωτοοξειδωση και τη βιοδιάσπαση. Η μοντελοποίηση της εξάπλωσης του πετρελαίου που περιλαμβάνεται σε διάφορα μοντέλα προσομοίωσης πετρελαιοκηλίδων, έχει διάφορες μορφές, από απλούς τύπους μέχρι παλινδρομικές εξισώσεις που προέχονται από στατιστική ανάλυση και περιλαμβάνουν πολύπλοκες μαθηματικές περιγραφές των μηχανισμών εξάπλωσης. Οι αλγόριθμοι εξάπλωσης που περιέχονται σε επιλεγμένα μοντέλα προσομοίωσης, αναφέρονται στον **Πίνακα 1.1**. Αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να ενταχθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Fay’s three-regime spreading theory
2. Fay’s spreading with horizontal turbulent diffusion/dispersion (π.χ. στα μοντέλα: BOSTM, MOST, UOD, Tetra Tech, SEADOCK, NWS/NOAA)

3. Murray's turbulent diffusion theory (π.χ. στο μοντέλο USCG)
4. Random Fickian diffusion (π.χ. στο μοντέλο DRIFT)
5. Empirical regression (π.χ. στο μοντέλο Puget Sound)
6. Mackay's thick & thin slick approach (π.χ. στο μοντέλο UOT)

Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε από τον **Πίνακα 1.1**, η Fay's three-regime theory είναι μακράν η περισσότερο χρησιμοποιούμενη. Το πετρέλαιο εξαπλώνεται στιγμιαία εξαιτίας της δύναμης της βαρύτητας, στη συνέχεια η εξάπλωσή του οφείλεται στις αδρανειακές δυνάμεις και τέλος, επιδρούν οι συνεκτικές δυνάμεις. Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε τρεις φάσεις εξάπλωσης. Ο συνδυασμός βαρυτικών-αδρανειακών δυνάμεων, επιδρά κατά την πρώτη ώρα της εξάπλωσης, ενώ ο συνδυασμός βαρυτικών-συνεκτικών δυνάμεων, επιδρά από το τέλος της πρώτης ώρας της εξάπλωσης και μπορεί να διαρκέσει έως και μία εβδομάδα. Μετά το πέρας της μιας εβδομάδας, πρωτεύοντα ρόλο στο φαινόμενο της εξάπλωσης αναλαμβάνει ο συνδυασμός συνεκτικών δυνάμεων-επιφανειακών τάσεων. Όταν η κηλίδα γίνει αρκετά λεπτή (κατά την έννοια του πάχους), οι επιφανειακές τάσεις στις διεπιφάνειες πετρελαίου-αέρα και πετρελαίου-νερού, γίνονται οι κύριες δυνάμεις 'οδήγησης' της κηλίδας, οι οποίες υπερνικούν την τριβή (αντίσταση) των συνεκτικών δυνάμεων. Αυτό συμβαίνει μέχρι η εξάπλωση να σταματήσει. Εξαιτίας του ότι η θεωρία του Fay περιέχει αυτήν τη λεπτομερή περιγραφή των μηχανισμών εξάπλωσης, αποτελεί τη βάση από την οποία παράγονται οι υπόλοιπες αριθμητικές προσεγγίσεις/θεωρίες που περιγράφουν τη διαδικασία της εξάπλωσης. Φυσικά, θα πρέπει να τονίσουμε ότι η συγκεκριμένη θεωρία είναι εφαρμόσιμη μόνο σε συνθήκες ήρεμου νερού και δεν λαμβάνει υπόψη την αλλαγή του ιξώδους και της επιφανειακής τάσης του πετρελαίου, κατά τη διάρκεια της χρονικής εξέλιξης των διεργασιών της γήρανσης. Επίσης, δεν λαμβάνει υπόψη την τυρβώδη διατμητική δύναμη, η οποία συμβάλει στο φαινόμενο της εξάπλωσης.

Η δεύτερη κατηγορία των μοντέλων προσομοίωσης, εκτιμά περισσότερο ρεαλιστικά το φαινόμενο της εξάπλωσης. Εδώ η εξάπλωση λογίζεται σαν μία διεργασία διάχυσης/διασποράς, η οποία αποτελείται από την 'ατάραχη' (ήρεμο νερό) εξάπλωση σύμφωνα με τη θεωρία του Fay, και από τη διασπορά, εξαιτίας της τυρβώδους δίνης.

Αυτή λοιπόν η διεργασία διάχυσης/διασποράς, συνήθως ενσωματώνεται σε έναν συντελεστή διάχυσης/διασποράς (D_i), ο οποίος χρησιμοποιείται σε μία γενική εξίσωση μεταφοράς μάζας με τύπο :

$$\frac{\partial C^k}{\partial t} = -U_i \left(\frac{\partial C^k}{\partial X_i} \right) + \frac{\partial}{\partial X_i} \left(D_i \frac{\partial C^k}{\partial X_i} \right) + \phi^k \quad (1.1)$$

Όπου : C^k & ϕ^k είναι η συγκέντρωση και οι χρονικές περίοδοι source/sink αντίστοιχα, για το k-οστό κλάσμα του πετρελαίου και U_i, X_i, D_i είναι αντίστοιχα, οι συντελεστές ταχύτητας, απόστασης και διάχυσης/διασποράς ανάλογα με την i χωρική συντεταγμένη.

Για ‘στιγμιαίες’ πετρελαιοκηλίδες, οι εξισώσεις εξάπλωσης του Fay χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του συντελεστή διάχυσης/διασποράς. Για μεγάλης διάρκειας πετρελαιοκηλίδες, η ‘αρχική’ εξάπλωση συνήθως παραλείπεται και οι συντελεστές τυρβώδους διάχυσης υπολογίζονται από πειραματικά δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται στην ανωτέρω εξίσωση μεταφοράς. Επίσης, αποτελέσματα από πειραματικές μελέτες σε συνθήκες ωκεανού, έχουν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή παλινδρομικών εξισώσεων, χρονικά εξαρτώμενων (π.χ. στα μοντέλα SEADOCK και Puget Sound), με σκοπό την εκτίμηση της έκτασης της εξάπλωσης. Τέτοιες εξισώσεις είναι του τύπου:

$$L = a + bT^c \quad (1.2)$$

Όπου : L είναι η έκταση ή περιοχή της πετρελαιοκηλίδας, T είναι ο χρόνος και a, b, c είναι συντελεστές.

Στο μοντέλο UOT, ο **Mackay (Mackay *et al.*, 1980)** προσπάθησε να χαρακτηρίσει την αρχική διεργασία εξάπλωσης σαν φαινόμενο εξάπλωσης λεπτής (ως προς το πάχος) κηλίδας, όπου η παχιά κηλίδα τείνει να γίνει λεπτή. Η διεργασία εκφράζεται, αυθαίρετα, σαν μία δυναμική συνάρτηση της έκτασης της κηλίδας και του πάχους αυτής :

$$\text{Για λεπτές κηλίδες: } \frac{dA_l}{dt} = C_1 (A_k)^{\frac{1}{3}} \exp\left[\frac{-C_3}{h_k + 0.00001}\right]$$

$$\text{Για παχιές κηλίδες: } \frac{dA_k}{dt} = C_2 (A_k)^{\frac{1}{3}} (h_k)^{\frac{1}{3}}$$

Όπου: A_l και A_k είναι οι περιοχές (επιφάνειες) λεπτής και παχιάς κηλίδας αντίστοιχα (m^2), h_k είναι το πάχος της παχιάς κηλίδας (m), t ο χρόνος (s) και C_1, C_2, C_3 είναι σταθερές.

Οι δύο παραπάνω εξισώσεις φαίνονται απλές και ίσως αποτελούν μια πιο ρεαλιστική ματιά στο φαινόμενο της εξάπλωσης, ωστόσο φαίνεται να έχουν έλλειψη φυσικής βάσης.

Λεπτομερείς αναλύσεις των υδροδυναμικών συνθηκών, κάτω από τις οποίες ένα παχύ στρώμα πετρελαίου εξαπλώνεται, για να σχηματίσει ένα λεπτότερο στρώμα, έχουν προκύψει πρόσφατα. Η πολύπλοκη δυναμική της εξάπλωσης του λεπτού στρώματος πετρελαίου, επίσης έχει μελετηθεί. Δυστυχώς, αυτά τα πολύπλοκα μαθηματικά δεδομένα, δεν είναι ακόμα εύκολο να μετατραπούν σε απλούστερες εξισώσεις, κατάλληλων για τη μοντελοποίηση πετρελαιοκηλίδων.

| Μοντέλα | Επιστημονικές θεωρίες εξάπλωσης πετρελαιοκηλίδας (spreading) |
|------------------------|--|
| UOT | Mackay, <i>et al.</i> 's (1980) thick & thin slicks |
| SLIKFORCAST | Fay (1969,1971) & Fannelop & Waldman (1972) |
| DRIFT | Random walk analogy of Fickian diffusion |
| EDIS/NOAA | Fay (1969,1971) |
| USCG (N.Y.Harbor) | Murray's (1972) turbulent diffusion |
| NWS/NOAA | Numerical solution of oil motion equations |
| RIVERSPIL | Fay (1969,1971) |
| Canadian AES | Fay's (1971) empirical maximum size relationship |
| Puget Sound | Regression equations |
| SEADOCK | Fay (1969,1971) or statistical regression |
| URI (Georges Bank) | Fay (1969,1971) |
| WPMB, Canada | Fay (1969,1971) |
| MOST | Fay's (1971) empirical maximum size relationship incorporated in diffusion |
| USC | Cochran & Scott (1971) |
| UOD | Fay (1971) plus Murray's (1972) turbulent diffusion |
| BOSTM | Fay's (1971) empirical maximum size relationship incorporated in diffusion |
| MARTEC | Fay (1969,1971) |
| Tetra Tech | Fay's (1971) radial spreading coupled with advection |
| URI (Narragansett Bay) | Fay (1969,1971) |
| Rand | Fay (1969,1971) plus turbulent diffusion |

Πίνακας 1.1 Θεωρίες & επιστημονικές προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό της εξάπλωσης πετρελαιοκηλίδων και επιλεγμένα μοντέλα προσομοίωσης που τις υιοθετούν

1.3 Εξάτμιση

Επειδή η εξάτμιση ευθύνεται για την απώλεια έως και του 60% του όγκου ενός πετρελαίου που έχει χυθεί στη θάλασσα (light crude oil), είναι μια πολύ σημαντική διεργασία, που επηρεάζει τη ζωή της πετρελαιοκηλίδας. Παρόλα αυτά δεν υπάρχουν πολλά μοντέλα προσομοίωσης για την περιγραφή της εξάτμισης. Όσα υπάρχουν περιέχουν πολύπλοκους υπολογισμούς και χρειάζεται να πραγματοποιηθούν περισσότερες μελέτες, έτσι ώστε να αποσαφηνιστούν τα βασικά χαρακτηριστικά εξάτμισης των διαφόρων συστατικών των υδρογονανθράκων

Τα μοντέλα προσομοίωσης εξάτμισης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: στα μοντέλα που κατασκευάζονται για συγκεκριμένες περιοχές και στα μοντέλα που μελετούν γενικότερα την περιβαλλοντική επίδραση. Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται γνώση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του πετρελαίου.

Επειδή ένα από τα ζητούμενα είναι η γρήγορη επίλυση, η πρώτη κατηγορία μοντέλων προσομοίωσης, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το SLIKTRAK χρησιμοποιεί μια απλή προσέγγιση σε πινακοποιημένη μορφή. Η δεύτερη κατηγορία μοντέλων, όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 1.2**, χρησιμοποιεί πιο πολύπλοκες προσεγγίσεις. Αυτές είναι παρόμοιες μεταξύ τους και γενικά ακολουθούν τις παρακάτω παραδοχές:

1. Το πετρέλαιο θεωρείται ότι αποτελείται από ένα πλήθος υδρογονανθράκων, το μείγμα των οποίων έχει φυσικοχημικά χαρακτηριστικά όμοια με του αρχικού πετρελαίου.
2. Η απώλεια μάζας (εξαιτίας της εξάτμισης) ενός υδρογονάνθρακα ακολουθεί λογαριθμική μορφή.
3. Ο ρυθμός εξάτμισης εξαρτάται από την επιφάνεια της πετρελαιοκηλίδας, την ταχύτητα του ανέμου, την τάση ατμών, το πάχος της κηλίδας και τη θερμοκρασία.

Πέρα από την ομοιότητα στην προσέγγιση, η κύρια διαφορά των μοντέλων της δεύτερης κατηγορίας φαίνεται να είναι το κατά πόσο λαμβάνουν λεπτομερώς υπόψη τους τις φυσικοχημικές ιδιότητες των υδρογονανθράκων στη διεργασία της εξάτμισης.

Η επιφάνεια της πετρελαιοκηλίδας και ο ρυθμός εξάτμισης για τα περισσότερα μοντέλα προσομοίωσης του **Πίνακα 1.2** , είναι στενά συνυφασμένα. Καθώς η κηλίδα εξαπλώνεται τα ελαφρύτερα κλάσματα του πετρελαίου εξατμίζονται, με αποτέλεσμα να αλλάζει η φυσικοχημική σύσταση του πετρελαίου, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει το ρυθμό εξάπλωσης. Το μοντέλο προσομοίωσης ADL εμπεριέχει στις εξισώσεις εξάτμισης την εξίσωση των τριών φάσεων του Fay για την εξάπλωση.

Άλλα μοντέλα προσομοίωσης, γενικά υιοθετούν μία πιο διαδραστική προσέγγιση. Με άλλα λόγια χρησιμοποιούν την επιφάνεια εξάπλωσης ως δεδομένο για τη διεργασία της εξάτμισης, που με τη σειρά της τη χρησιμοποιούν για να υπολογίσουν την επόμενη τιμή της εξάπλωσης. Ωστόσο παρόλο τη στενή σχέση που έχουν οι δύο διεργασίες μεταξύ τους, το USC και το SEADOCK δεν λαμβάνουν υπόψη τους την επιφάνεια εξάπλωσης της κηλίδας στην εξάτμιση. Το USC εμπεριέχει παραμέτρους, όπως για παράδειγμα η τραχύτητα της θάλασσας, που δεν λαμβάνονται υπόψη από άλλα μοντέλα. Στην περίπτωση του SLIKFORCAST, το πάχος της κηλίδας υπολογίζεται από τη διαίρεση του όγκου πετρελαίου που έχει χυθεί προς την επιφάνεια εξάπλωσης. Το πάχος της πετρελαιοκηλίδας λαμβάνεται υπόψη τα τελευταία χρόνια στα μοντέλα προσομοίωσης.

| Μοντέλα | Επιστημονικές θεωρίες εξάτμισης πετρελαιοκηλίδας (evaporation) |
|----------------|---|
| SEADOCK | Williams, <i>et al.</i> , (1975) |
| UOD | Wang, <i>et al.</i> , (1976) |
| USC | Kolpack, <i>et al.</i> ,(1977) |
| URI | Kornillon & Spaulding, (1978) |
| SLIKFORCAST | Audunson, <i>et al.</i> ,(1980) |
| UOT | Mackay, <i>et al.</i> , (1980) |
| ADL | Aravamudan, <i>et al.</i> , (1982) |

Πίνακας 1.2 Θεωρίες & επιστημονικές προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό της εξάτμισης πετρελαιοκηλίδων και επιλεγμένα μοντέλα προσομοίωσης που τις υιοθετούν.

1.4 Γαλακτωματοποίηση

Η γαλακτωματοποίηση σχετίζεται με τη διάλυση σταγονιδίων νερού μέσα στο πετρέλαιο, μετατρέποντας το σε ένα παχύ κολλώδες μείγμα. Η διαδικασία αυτή είναι ελάχιστα κατανοητή, παρόλο το ότι παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, γιατί έχει ως

αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου του πετρελαίου έως 4 με 5 φορές, κάνοντας τη διαδικασία καθαρισμού της κηλίδας πολύ δύσκολη.

Ο μηχανισμός με τον οποίο τα σταγονίδια νερού εισχωρούν στην κηλίδα είναι ακόμα αμφίβολος. Για το λόγο αυτό, τα μοντέλα της γαλακτωματοποίησης που υπάρχουν μέχρι σήμερα είναι εμπειρικά. Είναι γενικά διαδεδομένο ότι διαφορετικά πετρέλαια έχουν διαφορετική τάση στο σχηματισμό γαλακτώματος και το ότι η γαλακτωματοποίηση εξαρτάται από την τύρβη και τη σύνθεση του πετρελαίου. Επίσης η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό γαλακτώματος.

Το μοντέλο USC χρησιμοποιεί τις πολύπλοκες μαθηματικές σχέσεις που χαρακτηρίζουν το ρυθμό γαλακτωματοποίησης ως μια συνάρτηση της ασφαλίνης, της ρητίνης, την ενέργεια αναμειξιμότητας, το pH και τη θερμοκρασία. Το μοντέλο USC για τη γαλακτωματοποίηση είναι αρκετά πολύπλοκο και έχει ως είσοδο αρκετές παραμέτρους. Ένα πιο απλό και διαφορετικό στον τρόπο προγραμματισμού του μοντέλο προσομοίωσης, το οποίο στηρίζεται σε πειραματικά δεδομένα, είναι το UOT. Το συγκεκριμένο μοντέλο λόγω της παρουσίας της τύρβης, θεωρεί ότι το κλάσμα του νερού στο πετρέλαιο αυξάνεται ανάλογα μέχρι να φτάσει το 75-80%. Αυτό το κάνει λαμβάνοντας υπόψη του στην εξίσωση ότι ο ρυθμός πρόσληψης νερού, εξαρτάται από το ιξώδες του πετρελαίου και την περιεκτικότητα του γαλακτώματος σε νερό.

1.5 Διασπορά

Η διεργασία της διασποράς του πετρελαίου στο νερό, είναι πάρα πολύ σημαντική, γιατί σε μεγάλο βαθμό προσδιορίζει τη ζωή μιας κηλίδας, η οποία με τη σειρά της προσδιορίζει εάν ή όχι η πετρελαιοκηλίδα φτάσει στην ακτή. Εκφράσεις για το ρυθμό διασποράς έχουν προταθεί στα ακόλουθα μοντέλα προσομοίωσης: ADL, SEADOCK, SLIKTRAK, UOT, URI, USC.

Η πιο απλή προσέγγιση της διασποράς είναι η μοντελοποίηση που γίνεται στο SLIKTRAK στο οποίο ο ρυθμός διασποράς εξαρτάται από την κατάσταση θάλασσας και το χρόνο παραμονής της κηλίδας σε αυτή. Το SLIKFORCAST χρησιμοποιεί ένα παρόμοιο, αλλά πιο περίπλοκο μοντέλο. Χρησιμοποιείται μία πρώτου βαθμού έκφραση για το ρυθμό διασποράς σαν συνάρτηση του ανέμου. Οι σταθερές της έκφρασης λαμβάνονται από μία γεννήτρια τυχαίων αριθμών.

Μία πιο πολύπλοκη μαθηματική αντιμετώπιση της διασποράς, χωρίζοντας τη συγκέντρωση του πετρελαίου στην οριζόντια και κάθετη διάσταση, προσφέρεται από το SEADOCK. Τα σταγονίδια του πετρελαίου σε αυτό λαμβάνονται ως μία κανονική κατανομή.

Η στατιστική προσέγγιση που γίνεται από το SEADOCK στερείται των φυσικών χαρακτηριστικών του μηχανισμού διασποράς.

Το USC παρουσιάζει μία έκφραση για τη διασπορά παρόμοια με αυτή του SEADOCK αλλά για το οριζόντιο επίπεδο. Και αυτό στερείται των φυσικών χαρακτηριστικών του μηχανισμού της κάθετης διασποράς.

Το URI θεωρεί τη διασπορά σαν μία «παγιδευμένη» διαδικασία, στην οποία τα σταγονίδια του πετρελαίου παγιδεύονται μέσα στο νερό από μηχανισμούς όπως η βροχή, το κύμα, η καταβύθιση και η αυθόρμητη γαλακτωματοποίηση. Τα παγιδευμένα σταγονίδια μπορούν να διασκορπιστούν ακόμα πιο πολύ μέσα στο νερό από την τυρβώδη ροή που προκαλείται από τοπικά κύματα και ρεύματα. Η διαδικασία της διασποράς είναι αρκετά πολύπλοκη και οι μηχανισμοί της μηχανικής των ρευστών δεν είναι αρκετά κατανοητοί.

Βασισμένο σε αυτή την αντίληψη ο Mackay συμπεριέλαβε στο UOT εμπειρικές σχέσεις για το ρυθμό διασποράς για παχιές και λεπτές πετρελαιοκηλίδες. Ο ρυθμός της διασποράς για παχιές πετρελαιοκηλίδες είναι ευθέως ανάλογος του τετραγώνου της ταχύτητας του ανέμου και αντιστρόφως ανάλογος του πάχους της πετρελαιοκηλίδας. Στις λεπτές πετρελαιοκηλίδες, από την άλλη, ο ρυθμός διασποράς είναι ανάλογος και του πάχους της κηλίδας και του τετραγώνου της ταχύτητας του ανέμου, αλλά αντιστρόφως ανάλογος της επιφανειακής τάσης. Αυτές οι σχέσεις είναι αρκετά εμπειρικές και χρειάζονται περαιτέρω αποσαφήνιση.

1.6 Φωτοξείδωση

Η φωτοξείδωση περιλαμβάνει την οξείδωση των υδρογονανθράκων, παράγοντας μερικά ενδιάμεσα ή τελικά παράγωγα, τα οποία είναι υδατιδιαλυτά. Η διεργασία συμβαίνει επί εβδομάδες ή μήνες, αλλά επηρεάζει σε πάρα πολύ μικρό βαθμό τον όγκο της πετρελαιοκηλίδας. Παρόλα αυτά, έχει λόγω της τοξικότητας των παραγώγων της, μεγάλη επίδραση στους θαλάσσιους οργανισμούς. Το να μοντελοποιηθεί η φωτοοξείδωση σε μια κηλίδα είναι δύσκολο, εξαιτίας του ότι δεν

γνωρίζουμε τους ρυθμούς επίδρασης, τους μηχανισμούς και τα παράγωγα, τα οποία διαφέρουν ανάλογα με τη σύνθεση του πετρελαίου και το βαθμό της ηλιοφάνειας.

Υπάρχει μόνο ένα μαθηματικό μοντέλο για τη φωτοοξειδωση που χρησιμοποιείται από το USC.

1.7 Καταβύθιση

Η ιζηματοποίηση του πετρελαίου αρχίζει να συμβαίνει όταν η πυκνότητα του πετρελαίου γίνει μεγαλύτερη από αυτή του νερού. Αρκετές επιστημονικές μελέτες έδειξαν ότι ο τύπος, το μέγεθος, το sediment load, η αλατότητα του θαλασσινού νερού, η περιεκτικότητα του πετρελαίου σε θεικές ενώσεις και το μέγεθος του κύματος, επηρεάζουν την απορρόφηση του πετρελαίου από ιζήματα. Βασιζόμενοι σε αυτά τα αποτελέσματα, ο Kolpack κατέληξε σε ένα μοντέλο ιζηματοποίησης, το οποίο το ενσωμάτωσε στο μοντέλο προσομοίωσης USC. Επίσης το USC περιλαμβάνει ακόμα ένα μοντέλο το οποίο υπολογίζει το ρυθμό ιζηματοποίησης. Αυτά τα δύο μοντέλα είναι ίσως τα μοναδικά τα οποία χρησιμοποιούνται για τη διεργασία της ιζηματοποίησης. Σε αυτά περιλαμβάνονται μόνο δύο παράγοντες, οι οποίοι κατά πάσα πιθανότητα θα παραμένουν σταθεροί σε ολόκληρη ζωή της κηλίδας. Συνεπώς ο ρυθμός ιζηματοποίησης θα παραμείνει σταθερός. Αυτό αποτελεί μία υπεραπλούστευση της πολύπλοκης αλληλεπίδρασης μεταξύ του πετρελαίου, των ιζημάτων και των περιβαλλοντικών συνθηκών. Θα πρέπει να σημειώσουμε πως χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για να αποσαφηνιστεί καλύτερα η διεργασία αυτή.

Σε πετρελαιοκηλίδες με μεγάλο πάχος, ο ρυθμός μεταφοράς μάζας κατά την εξάτμιση είναι μικρότερος από κηλίδες μικρότερου πάχους. Το UOT είναι το μοναδικό μοντέλο προσομοίωσης, που υποθέτει ότι το ποσοστό εξάτμισης δεν εξαρτάται μόνο από το πάχος της κηλίδας αλλά και από το πώς αυτό μεταβάλλεται στο χρόνο.

1.8 Μετατόπιση

Ο άνεμος παίρνει διάφορες τιμές ανάλογα με το χώρο και το χρόνο και μπορεί να αλλάζει συνεχώς ταχύτητα και διεύθυνση, ειδικά στον ωκεανό. Δυστυχώς, μερικά μοντέλα, ελλείψει επαρκών πληροφοριών, χρησιμοποιούν για την εκτίμηση της

συμπεριφοράς της πετρελαιοκηλίδας, σταθερή ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου. Αυτή η πρακτική μπορεί να έχει βάση, εάν οι χωρικές και χρονικές κλίμακες του προβλήματος είναι μικρές, π.χ. αν κάνουμε λόγο για μία πετρελαιοκηλίδα κοντά στην ακτή. Αντίθετα, δεν μπορούμε να κάνουμε λόγο για σταθερό άνεμο σε ανοιχτή θάλασσα.

Βασικά, υπάρχουν τρία αναλυτικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης πετρελαιοκηλίδων, τα οποία παράγουν χωρικά δεδομένα και/ ή στιγμιαίες πληροφορίες σχετικά με τον άνεμο. Αυτά είναι τα εξής : (1) random walk analogy, (2) Markov chain technique και (3) numerically solved meteorological models. Μία λίστα από κατάλληλα μοντέλα προσομοίωσης πετρελαιοκηλίδων, τα οποία υιοθετούν μία από τις παραπάνω τεχνικές, δίδεται στον **Πίνακα 1.3**. Η τεχνική του random walk analogy, είναι η απλούστερη από τις τρεις. Η κεντρική ιδέα αυτής της τεχνικής, είναι ότι αλληλάλληλες ταχύτητες ή διευθύνσεις ανέμων είναι τυχαία κατανεμημένες, δηλαδή δεν σχετίζονται μεταξύ τους. Αντίθετα, οι Markov chain (ή autoregressive) techniques, δέχονται ότι η ταχύτητα ή η διεύθυνση του ανέμου σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή έχει σχέση με προηγούμενη/ες ταχύτητα/ες ή διεύθυνση/σεις του ανέμου. Και οι δύο προαναφερθείσες τεχνικές, έχουν χρησιμοποιηθεί σε στοχαστικά μοντέλα εκτίμησης συμπεριφοράς πετρελαιοκηλίδας. Η τεχνική των numerically solved meteorological models, περιγράφει τη δυναμική του ανέμου μέσα από πολύπλοκους μαθηματικούς τύπους, οι οποίοι μπορούν να επιλυθούν και να δώσουν λεπτομερή ντετερμινιστικά δεδομένα για τον άνεμο σε σχέση με το χώρο και το χρόνο.

Για να χρησιμοποιηθεί η τεχνική random walk analogy, ιστορικές καταγραφές (στοιχεία) ανέμου αναλύονται σε μία ντετερμινιστική και μία στοχαστική συνιστώσα, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\begin{aligned} W_s(t) &= A_1 + e_1(t) \\ W_d(t) &= A_2 + e_2(t) \end{aligned} \quad (1.3)$$

όπου: τα $W_s(t)$ & $W_d(t)$ παριστάνουν την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου αντίστοιχα σε χρόνο t , τα A_1 & A_2 παριστάνουν μέτρα και τα e_1 & e_2 τυχαίες συνιστώσες.

| Μοντέλα προσομοίωσης πετρελαιοκηλίδων | Random walk | Markov chain | Meteor models |
|---|-------------|--------------|---------------|
| BOSTM (Ahlstrom,1975) | X | | |
| Canadian AES (Venkatesh, <i>et al.</i> ,1979) | X | | |
| SPILSIM (Boyd, 1979) | X | | |
| OSSM (Galt and Torgrimson, 1980) | X | | |
| USGS (Smith, <i>et al.</i> ,1980) | | X | |
| SEADOCK (Williams, <i>et al.</i> ,1975) | | X | |
| UOD (Wang, <i>et al.</i> ,1976) | | X | |
| CEQ (Stewart, <i>et al.</i> ,1974) | | X | |
| SLIKFORCAST (Audunson, <i>et al.</i> ,1980) | | X | |
| Rand (Liu and Leendertse, 1981) | | X | |
| NWS/NOAA (Hess and Kerr, 1979) | | | X |
| Puget Sound (Karpen and Galt, 1979) | | | X |

Πίνακας 1.3 Τεχνικές μοντελοποίησης της περιοχής του ανέμου, που χρησιμοποιούνται από μοντέλα προσομοίωσης πετρελαιοκηλίδων.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται συνοπτικά, τα υπολογιστικά προγράμματα που εντοπίστηκαν και περιγράφουν τις διάφορες διεργασίες της γήρανσης μιας πετρελαιοκηλίδας.

| Μοντέλα Προσωμοίωσης | Συγγραφείς |
|--|---|
| Rand | Liu & Leendertse, 1981 |
| MOST | Paily, 1981; Paily & Rao, 1978 |
| OSSM of PMEL/NOAA | Torgrimson, 1981; Galt & Torgrimson, 1980 |
| ADL | Aravamudan, Raj & Marsh, 1981 |
| UOT | Mackay, Peterson, Trudel, 1980 |
| SLIKFORCAST | Audunson, T. , <i>et al.</i> ,1980 |
| DRIFT | Hunter, J. , 1980 |
| USGS | Smith, R. , <i>et al.</i> , 1980 |
| EDIS/NOAA | Bishop, J. , 1980 |
| SPILSIM | Pickett, R. , 1980; Boyd, J. ,1979 |
| USCG (Long Island Sound) | Kollmeyer, R. , 1980 |
| Cook Inlet Trajectory | Dames & Moore, Inc. , 1979 |
| NWS/NOAA | Hess & Kerr, 1979 |
| RIVERSPILL | Tsahalis, D. , 1979 |
| Canadian AES | Venkatesh, Sahota, Rizkalla, 1979 |
| SEADOCK | Garver & Williams, 1978; Williams, <i>et al.</i> , 1975 |
| URI (Georges Bank) | Cornillon & Spaulding, 1978 |
| WPMB, Environment Canada | Sydor, M. , 1978 |
| SLIKTRAK | Blaikley, P. , <i>et al.</i> , 1977 |
| USC | Kolpack, Plutchak, Stearns, 1977 |
| USCG (New York Harbor) | Kollmeyer & Thompson, 1977 |
| UOD | Wang, Cambell, Ditmars, 1976 |
| BOSTM | Ahlstrom, S. , 1975 |
| CANMAR Oil Spill Tracking ¹ | CANMAR/DOME, Canada, 1979 |
| MARTEC ¹ | Martec, Ltd. , Canada |
| OILSIM ¹ | Det Norske Veritas, <i>et al.</i> ,1977 |

¹ Δεν υπάρχουν λεπτομερείς πληροφορίες στη διεθνή βιβλιογραφία

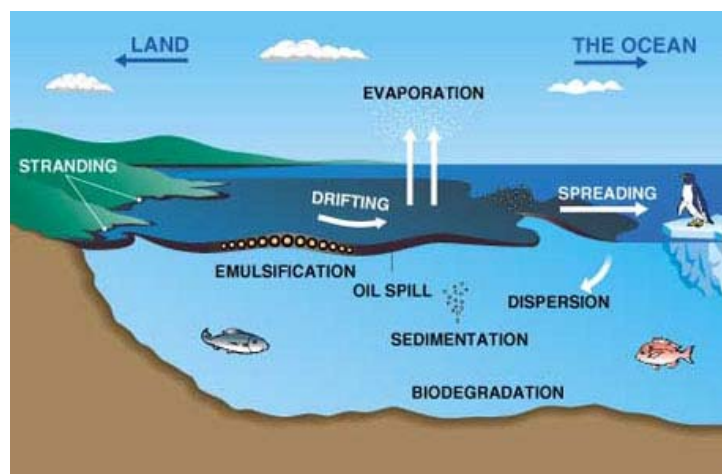
Πίνακας 1.4 Μοντέλα προσομοίωσης πετρελαιοκηλίδων

2

Μαθηματικά μοντέλα διεργασιών υλοποίησης

2.1 Εισαγωγή

Στο πρόγραμμα Spillsolver χρησιμοποιήθηκαν κυρίως εμπειρικά μοντέλα. Η επιλογή τους έγινε με βάση την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, της χρηστικότητά τους και της διάθεσης στοιχείων και συντελεστών. Μοντελοποιούνται 6 διεργασίες και 3 βασικά χαρακτηριστικά της πετρελαιοκηλίδας. Οι διεργασίες είναι : η εξάπλωση, η εξάτμιση, η γαλακτωματοποίηση, η διασπορά, η ιζηματοποίηση και η φωτοξείδωση.



Εικόνα 2.1 Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη γήρανση της πετρελαιοκηλίδας

Τα βασικά χαρακτηριστικά της πετρελαιοκηλίδας που μοντελοποιούνται είναι : η αύξηση της πυκνότητας ,η αύξηση του ιξώδους και το πάχος. Οι διεργασίες αυτές και τα χαρακτηριστικά αυτά που περιγράφονται παρακάτω και είναι αυτά που παίζουν σημαντικό ρόλο στην γήρανση της πετρελαιοκηλίδας.

2.2 Μοντέλο Εξάπλωσης

Για τη μοντελοποίηση του Spreading χρησιμοποιήθηκε η **εξίσωση (2.1)** ένα εμπειρικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Fay και είναι βασισμένο στο μοντέλο Fay's three- regime theory. Το πετρέλαιο εξαπλώνεται στιγμιαία εξαιτίας της δύναμης της βαρύτητας, στη συνέχεια η εξάπλωσή του οφείλεται στις αδρανειακές δυνάμεις και τέλος, επιδρούν οι συνεκτικές δυνάμεις. Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε τρεις φάσεις εξάπλωσης. Ο συνδυασμός βαρυτικών-αδρανειακών δυνάμεων, επιδρά κατά την πρώτη ώρα της εξάπλωσης, ενώ ο συνδυασμός βαρυτικών-συνεκτικών δυνάμεων, επιδρά από το τέλος της πρώτης ώρας της εξάπλωσης και μπορεί να διαρκέσει έως και μία εβδομάδα. Μετά το πέρας της μιας εβδομάδας, πρωτεύοντα ρόλο στο φαινόμενο της εξάπλωσης αναλαμβάνει ο συνδυασμός συνεκτικών δυνάμεων-επιφανειακών τάσεων. Όταν η κηλίδα γίνει αρκετά λεπτή (κατά την έννοια του πάχους), οι επιφανειακές τάσεις στις διεπιφάνειες πετρελαίου-αέρα και πετρελαίου-νερού, γίνονται οι κύριες δυνάμεις 'οδήγησης' της κηλίδας, οι οποίες υπερνικούν την τριβή (αντίσταση) των συνεκτικών δυνάμεων. Αυτό συμβαίνει μέχρι η εξάπλωση να σταματήσει. Εξαιτίας του ότι η θεωρία του Fay περιέχει αυτήν τη λεπτομερή περιγραφή των μηχανισμών εξάπλωσης, αποτελεί τη βάση από την οποία παράγονται πολλές αριθμητικές προσεγγίσεις/θεωρίες. Φυσικά, θα πρέπει να τονίσουμε ότι η συγκεκριμένη θεωρία είναι εφαρμόσιμη μόνο σε συνθήκες ήρεμου νερού και δεν λαμβάνει υπόψη την αλλαγή του ιξώδους και της επιφανειακής τάσης του πετρελαίου, κατά τη διάρκεια της χρονικής εξέλιξης των διεργασιών της γήρανσης. Επίσης, δεν λαμβάνει υπόψη την τυρβώδη διατμητική δύναμη, η οποία συμβάλει στο φαινόμενο της εξάπλωσης.

$$2270 \cdot \left(\frac{\Delta p}{p_0} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot V^{\frac{2}{3}} \cdot t^{0,5} + 40 \cdot \left(\frac{\Delta p}{p_0} \right) \cdot V^{\frac{1}{3}} \cdot W^{\frac{4}{3}} \cdot t \quad (2.1)$$

με

A: τελική επιφάνεια (m²)

W: ταχύτητα ανέμου (knots, 1 kn = 0,5144 m/s)

V: όγκος εξάπλωσης πετρελαίου (barrel, 1 barrel = 158,9873 L)

t: χρόνος (min)

p_0 : πυκνότητα πετρελαίου

p_w : πυκνότητα θαλασσινού νερού

$\Delta p = p_w - p_0$

2.3 Μοντέλο Εξάτμισης

Η διαδικασία της εξάτμισης ξεκινά λίγες ώρες μετά την εισροή του πετρελαίου στη θάλασσα και ο ρυθμός της εξαρτάται από την χημική σύσταση του πετρελαίου, την ταχύτητα του ανέμου και την επιφανειακή θερμοκρασία. Η ύπαρξη ισχυρών ανέμων αυξάνει τον ρυθμό εξάτμισης. Ο κυματισμός (διατάραξη της θάλασσας), ενισχύει την εξάτμιση καθώς διαχωρίζει σε σταγόνες το διαρρέον πετρέλαιο και το απομακρύνει από τον κύριο όγκο της κηλίδας. Γενικά τα πετρελαιοειδή με μεγαλύτερα ποσοστά ελαφριών και πτητικών ενώσεων, τείνουν να εξατμιστούν γρηγορότερα. Τέτοια είναι η βενζίνη, το καύσιμο diesel, η κηροζίνη και η γκαζολίνη, τα οποία αν οι συνθήκες το ευνοούν, εξατμίζονται μέσα σε λίγες ώρες παραμονής στη θάλασσα. Θεωρείται ότι τα συστατικά του πετρελαίου με σημείο βρασμού μικρότερο των 200°C, εξατμίζονται μέσα στις πρώτες 24 ώρες έναρξης της ρύπανσης. Τα περισσότερα είδη αργού πετρελαίου λοιπόν, μέσα σε 24 ώρες έχουν χάσει το 25-30% των ελαφρύτερων συστατικών τους. Η εξάπλωση της κηλίδας ενισχύει την διαδικασία της εξάτμισης, καθώς το πάχος αυτής μειώνεται ενώ αντίθετα η επιφάνειά της αυξάνεται. Η εξάτμιση, η οποία διαρκεί περίπου μία εβδομάδα, προκαλεί αύξηση της πυκνότητας και του ιξώδους της κηλίδας. Στη συνέχεια οδηγούμαστε στη διαδικασία της γαλακτωματοποίησης και της πήξης, που ελαττώνουν την επιφάνεια (εμβαδόν) της πετρελαιοκηλίδας, καθώς και το ρυθμό εξάτμισης αυτής.

Η εξίσωση η οποία χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση του Evaporation είναι η (2.2) ανήκει σε στον Merv F. Fingas . Είναι και αυτή εμπειρική και προέκυψε από πειραματικά δεδομένα. Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν έδειξαν ότι η εξάτμιση του πετρελαίου μπορεί να συσχετιστεί με τα δεδομένα από τις καμπύλες απόσταξης του και συγκεκριμένα με το κλάσμα του πετρελαίου σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Έτσι απλοποιείται η μοντελοποίηση που σε άλλες συνθήκες θα χρειαζόταν πολύπλοκα δεδομένα .Το κλάσμα του πετρελαίου που «ταιριάζει» καλύτερα στην εξίσωση είναι αυτό των 180 ° C .

$$\text{Percentage Evaporated}=[0.165(\%D)+0.045(T-15)] \ln(t) \quad (2.2)$$

με

%D : το κλάσμα του πετρελαίου στους 180 ° C

T: η θερμοκρασία της θάλασσας (° C)

t: χρόνος (min)

2.4 Μοντέλο Γαλακτωματοποίησης

Το πετρέλαιο που διαρρέει στη επιφάνεια της θάλασσας μπορεί υπό ορισμένες συνθήκες – έντονος κυματισμός, μεγάλη ταχύτητα ανέμου – να διασπαστεί σε σταγονίδια που παρασύρονται από τον άνεμο, χωρίς να προσβάλλεται η χημική τους σύσταση. Η διαδικασία είναι γνωστή στην βιβλιογραφία ως **γαλακτωματοποίηση του πετρελαίου στο νερό (oil in water emulsion)**. Στις περιπτώσεις της γαλακτωματοποίησης του πετρελαίου στο νερό, η πετρελαιοκηλίδα μπορεί να αναδομηθεί σε απόσταση από την πηγή της ρύπανσης, δεδομένου ότι τα σταγονίδια του πετρελαίου δεν χάνουν τους μοριακούς τους δεσμούς και εξακολουθούν να παραμένουν ενεργά στην επιφάνεια της θάλασσας. Τα γαλακτώματα πετρελαίου στο νερό, αποτελούνται από σωματίδια διαμέτρου από 5 μm έως μερικά χιλιοστά, τα οποία μεταφέρονται μέσω των κυμάτων, σε μεγάλες αποστάσεις στην επιφάνεια της θάλασσας και τελικά είτε διαλύονται στη νερό, είτε βιοδιασπώνται, είτε εναποτίθενται στα ιζήματα.

Η περισσότερη συνήθης περίπτωση γαλακτωματοποίησης είναι αυτή του **νερού στο πετρέλαιο (water in oil emulsion)**, στην οποία το γαλάκτωμα που διαμορφώνεται είναι πολύ πιο επίμονο από το αρχικό πετρέλαιο και έχει πολύ

μεγαλύτερο ιξώδες. Πολλοί τύποι αργού πετρελαίου έχουν την τάση να απορροφούν νερό σχηματίζοντας γαλακτώματα νερού πετρελαίου, με συνέπεια να έχουμε αύξηση του όγκου του ρυπαντή κατά 3 με 4 φορές. Το ποσοστό του νερού στο γαλάκτωμα, μπορεί να φτάσει το 75-80%. Καθώς το ποσοστό αυτό αυξάνεται, το χρώμα του γαλακτώματος μεταβάλλεται μεταξύμαύρου, πορτοκαλί και κόκκινου. Τα γαλακτώματα νερού στο πετρέλαιο, που είναι ιδιαίτερα σταθερά, έχουν σκούρο καφέ χρώμα και περιέχουν 80% νερό, αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία με τον όρο ‘chocolate mousse’.

Το παρών πρόγραμμα μοντελοποιεί τη γαλακτωματοποίηση του νερού στο πετρέλαιο (water in oil emulsion) και αυτό το κάνει με την εξίσωση (2.3) που είναι εμπειρική και ανήκει σε μελέτη του Rasmussen. Από την εξίσωση προκύπτει το κλάσμα του νερού στο πετρέλαιο το οποίο έπειτα μετασχηματίζεται κατάλληλα ώστε να προκύψει ο όγκος του γαλακτώματος.

$$Y_w = \frac{(1 - \exp(-k_A \cdot k_B \cdot (1 + V_w)^2 \cdot t))}{k_B} \quad (2.3)$$

με

Y_w : περιεκτικότητα κλάσματος σε νερό

$$K_A = 4,5 \cdot 10^{-6}$$

$$K_B = 1,25$$

V_w : ταχύτητα ανέμου (m/s)

2.5 Μοντέλο Διασποράς

Η διασπορά είναι ο σημαντικότερος μηχανισμός κατά τη διάρκεια της πρώτης εβδομάδας της γήρανσης.

Τα κύματα και οι διάφοροι στροβιλισμοί στην επιφάνεια της θάλασσας, δημιουργούν σταγονίδια πετρελαίου διαφόρων μεγεθών. Οι μεγάλες σταγόνες επιστρέφουν στην επιφάνεια, όπου είτε συσσωματώνονται με άλλες και ξαναδημιουργούν κηλίδα πετρελαίου, είτε εξαπλώνονται δημιουργώντας λεπτό υμένιο (φιλμ). Αυτές οι σταγόνες κατά τη διασπορά τους σχημάτισαν ασταθή γαλακτώματα πετρελαίου νερού. Οι μικρές σταγόνες από την άλλη, αιωρούνται, αναμιγνύονται με το νερό και ξεκινά η βιοδιάσπαση και η καθίζηση. Ο ρυθμός της

φυσικής διασποράς και ο ρυθμός εξάτμισης καθορίζουν το χρόνο ζωής μιας πετρελαιοκηλίδας.

Η διάλυση του πετρελαίου στο νερό συμβαίνει σε μικρή κλίμακα και αφορά μόνο τα ελαφρά συστατικά. Τα βαριά συστατικά είναι πρακτικά αδιάλυτα, ενώ οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες (βενζόλιο, τολουόλιο) είναι ελάχιστα διαλυτοί. Όπως ακριβώς και με την εξάτμιση, η διάλυση των υδρογονανθράκων πετρελαίου εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων C. Στην περίπτωση μείγματος διαφόρων ενώσεων, το φαινόμενο της διάλυσης γίνεται πιο περίπλοκο.

Οι απώλειες σε όγκο του πετρελαίου λόγω της διάλυσης, είναι ελάχιστες καθώς οι περισσότεροι τύποι του παρουσιάζουν χαμηλή διαλυτότητα στο νερό. Εκείνα τα συστατικά του πετρελαίου που μπορούν να διαλυθούν στο νερό, απομακρύνονται μέσω της εξάτμισης, η οποία κατά κανόνα προηγείται της διάλυσης. Η παρουσία μεταλλικών αλάτων στο θαλασσινό νερό (περίπτωση της Μεσογείου) επιβραδύνει περαιτέρω την ήδη αργή διαδικασία της διάλυσης. Η σχέση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ρυθμού της κατακόρυφης διασποράς του πετρελαίου, που είναι και αυτή που μελετάται από το παρών πρόγραμμα είναι η (2.4)

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{dispersed} = N \cdot V \quad (2.4)$$

με

$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{dispersed}$: Ρυθμός διασποράς όγκου πετρελαίου ανά δευτερόλεπτο

N: συντελεστής διασποράς (sec^{-1}) = $2,0 \cdot 10^{-8} \cdot U^2$, με U: ταχύτητα ανέμου (m/sec)

V: ο όγκος πετρελαίου που χύνεται (m^3)

2.6 Μοντέλο Οξειδωσης

Η χημική αντίδραση του οξυγόνου με τους υδρογονάνθρακες πετρελαίου ονομάζεται **οξείδωση**. Αυτή συμβαίνει στην επιφάνεια της θάλασσας και επιταχύνεται μετά την εξάπλωση του πετρελαίου και την δημιουργία λεπτών στρωμάτων (films) κηλίδων.

Όταν έχουμε ταυτόχρονη παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας, τότε γίνεται λόγος για το φαινόμενο της φωτοχημικής οξείδωσης (φωτοοξείδωση) . Αυτή εξαρτάται από το

πάχος του υμενίου. Σε ιδανικές συνθήκες θάλασσας και υπό την επίδραση ισχυρού ηλιακού φωτός, θεωρείται ότι ο ρυθμός της διάσπασης των λεπτών φιλμ (φωτοοξειδωση) μπορεί να ανέλθει στο 0,1% ανά ημέρα. Η φωτοχημική οξείδωση παχέων στρωμάτων μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους με μεγάλους χρόνους ζωής. Έτσι σχηματίζονται κομμάτια πίσσας (tar bars), μαύρου χρώματος, που έχουν σκληρό εξωτερικό περίβλημα, εικόνα που είναι αρκετά συνήθης σε παραλίες και ακτές της χώρας μας.

Η φωτοχημική οξείδωση των υδρογονανθράκων πετρελαίου εξαρτάται από τη χημική τους σύσταση, τη θερμοκρασία και το ηλιακό φως. Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα όμως κατά τη φωτοοξειδωση, πρέπει να αναφέρουμε, ότι δεν έχουν μελετηθεί πλήρως και σε βάθος. Οι θειούχες ενώσεις εμποδίζουν την οξείδωση, ενώ μερικά μέταλλα δρουν ως καταλύτες. Τα προϊόντα της οξείδωσης είναι συχνά περισσότερο ευδιάλυτα στο νερό απ'ότι οι αρχικές ενώσεις και διασκορπίζονται στην υδάτινη φάση. τη μοντελοποίηση και ποσοτικοποίηση του φαινομένου χρησιμοποιήθηκε μία εξίσωση από μία μελέτη του Huang(et al 1982) η εξίσωση (2.5)

$$\frac{dP}{dt} = \left(\frac{B}{70} \right) \cdot (1 - C) \cdot Y \quad (2.5)$$

με

$\frac{dP}{dt}$: ρυθμός φωτοοξειδωσης

B: γωνία ηλιακής ακτινοβολίας

C: the fractional cloud cover

Y: συντελεστής ο οποίος ποικίλει ανάλογα με το πάχος της πετρελαιοκηλίδας.

2.7 Μοντέλο Ιζηματοποίησης

Οι διαδικασίες της γήρανσης που αυξάνουν την πυκνότητα του πετρελαίου μπορεί να οδηγήσουν ορισμένα βαριά κλάσματα σε βύθιση. Συχνά η αιτία της βύθισης είναι η προσκόλληση ιζημάτων και άλλων οργανικών ουσιών ή και άμμου σε ρηχές θάλασσες με αμμώδη βυθό. Αλλαγές της θερμοκρασίας μπορούν να προκαλέσουν παροδική βύθιση και στη συνέχεια ανάδυση του πετρελαίου.

Τα επιπλέοντα πισσώδη σφαιρίδια, πολλές φορές αποτελούν θρεπτικό υπόστρωμα για ορισμένους θαλάσσιους οργανισμούς, όπως για τα θυσανόποδα για παράδειγμα. Τα ασβεστούχα τμήματα των οργανισμών εκείνων, μπορούν να αυξήσουν το ειδικό βάρος αυτών των σφαιριδίων τόσο, με συνέπεια να γίνει μεγαλύτερο από το ειδικό βάρος του νερού και να έχουμε σαν αποτέλεσμα την καταβύθιση αυτών των σφαιριδίων και την εναπόθεσή τους στα ιζήματα.

Στις περιπτώσεις όπου έχουμε χρησιμοποίηση χημικών απορρυπαντικών μέσων για την καταπολέμηση μιας πετρελαιοκηλίδας, το πετρέλαιο διεισδύει κατά μεγάλο βαθμό ανάμεσα στους κόκκους των ιζημάτων. Εισχωρώντας βαθιά μέσα στο ίζημα, το πετρέλαιο παραμένει σταθερό, διότι δεν έρχεται σε επαφή με το επιφανειακό στρώμα που περιέχει οξυγόνο και αυτό αναφέρεται γιατί η βακτηριακή αποικοδόμηση (βιοδιάσπαση) σπάνια συμβαίνει υπό αναερόβιες συνθήκες. Έτσι έχουμε την παραμονή του εκεί, για εκατομμύρια χρόνια, με τη μορφή απολιθωμάτων.

Αξίζει τέλος να αναφερθεί, ότι ιζήματα ωκεανών εμπεριέχουν 1mg/kg ή 50mg/m² υδρογονάνθρακες πετρελαίου, ποσότητα η οποία είναι συγκρίσιμη με αυτές που υπάρχουν στην υδάτινη μάζα ή επιπλέον στην επιφάνεια σαν πισσώδη σφαιρίδια.

Ο ρυθμός της απώλειας πετρελαίου, διαμέσου της ιζηματοποίησης, υπολογίστηκε από τη σχέση (2.6).

$$\frac{d(A_d)}{dt} = 1,4 \cdot 10^{-12} \cdot S_L \cdot (1 - 0,023 \cdot S_a) \quad (2.6)$$

με

Ad: ο όγκος πετρελαίου που γίνεται ίζημα (m³)

t: ο χρόνος (sec)

S_L : is sediment load (gm/m³)

S_a : η αλατότητα (‰)

2.8 Άλλες Παράμετροι της πετρελαιοκηλίδας

2.8.1 Πυκνότητα

Εκφράζει το πηλίκο της μάζας συγκεντρωμένου όγκου πετρελαίου προς τον όγκο πετρελαίου. Έχει τιμή συνήθως μικρότερη της μονάδας, όμως μετά από εκτεταμένο πολυκαιρισμό, η τιμή της πυκνότητας αυξάνεται με αποτέλεσμα την καταβύθιση του πετρελαίου.

Μεγάλη περιεκτικότητα σε ελαφρούς υδρογονάνθρακες ή κορεσμένους παραφινικούς υδρογονάνθρακες, σημαίνει πετρέλαιο χαμηλής πυκνότητας. Αντίθετα, μεγάλη περιεκτικότητα σε βαρείς υδρογονάνθρακες, ναφθενικούς ή αρωματικούς, σημαίνει πετρέλαιο υψηλής πυκνότητας.

Η πυκνότητα του πετρελαίου, όταν αυτό βρεθεί στο θαλάσσιο χώρο, θα αυξηθεί, εξαιτίας της εξάτμισης (οι ελαφριοί υδρογονάνθρακες χάνονται) και της γαλακτωματοποίησης (το θαλασσινό νερό έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το πετρέλαιο).

Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε από το πρόγραμμα για τον υπολογισμό της αύξησης της πυκνότητας είναι η (4.7).

$$p_e = Y \cdot p_w + (1 - Y) \cdot (p_c - C_3 \cdot F_e) \quad (4.7)$$

με

p_e : πυκνότητα γαλακτώματος (kg/m^3)

p_w : πυκνότητα θαλασσινού νερού (kg/m^3)

p_c : πυκνότητα πετρελαίου (kg/m^3)

C_3 : σταθερά από καμπύλη διύλισης

Y : περιεκτικότητα σε νερό

2.8.2 Ιξώδες

Το ιξώδες ενός ρευστού, αποτελεί ένα μέτρο της εσωτερικής αντίστασής του στη ροή. Δηλαδή όσο μικρότερο είναι το ιξώδες, τόσο ευκολότερα εκείνο ρέει. Μέσα

από το ιξώδες του πετρελαίου, μπορεί να εκφραστεί διαισθητικά ο ρυθμός εξάπλωσης της πετρελαιοκηλίδας, η δυνατότητα προσκόλλησης και διείσδυσης του πετρελαίου στο έδαφος και τα παράκτια υποστρώματα, καθώς και η δυνατότητα άντλησης του πετρελαίου, σε περίπτωση καθαρισμού. Το ιξώδες αναφέρεται είτε σαν κινηματικό ιξώδες, είτε σαν δυναμικό ιξώδες.

Το ιξώδες του πετρελαίου θα αυξηθεί κατά τη διάρκεια της γήρανσης, εξαιτίας κυρίως της εξάτμισης και της γαλακτωματοποίησης. Επιπροσθέτως, το ιξώδες εξαρτάται σημαντικά από τη θερμοκρασία της κηλίδας.

Η σχέση η οποία χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστεί η αύξηση του ιξώδους είναι η (2.8) .

$$\frac{\mu}{\mu_o} = \exp\left(\frac{2,5 \cdot F_w}{(1 - 0,654 \cdot F_w)}\right) \quad (2.8)$$

με

μ : ιξώδες γαλακτώματος

μ_o : ιξώδες της κηλίδας

F_w : το κλάσμα νερού (κατ'όγκον) στο πετρέλαιο

2.8.3 Πάχος πετρελαιοκηλίδας

Το πάχος της κηλίδας υπολογίζεται από τη διαίρεση του όγκου πετρελαίου που έχει χυθεί προς την επιφάνεια εξάπλωσης και είναι μία παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη τα τελευταία χρόνια στα μοντέλα προσομοίωσης. Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα είναι η (2.9).

$$h = \frac{V}{A} \quad (2.9)$$

με

V: όγκος πετρελαίου

A: επιφάνεια εξάπλωσης της κηλίδας

3

Εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος SpillSolver

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία περιγραφή του προγράμματος και των βημάτων που πρέπει να ακολουθήσει κάποιος, ώστε να χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα SpillSolver. Το SpillSolver αποτελεί ένα υπολογιστικό πρόγραμμα γραμμένο σε MATLAB, το οποίο δέχεται σαν είσοδο διάφορες φυσικοχημικές και μετεωρολογικές παραμέτρους και εξάγει αποτελέσματα και γραφήματα για τις διάφορες διεργασίες της γήρανσης πετρελαιοκηλίδας. Έγινε αρκετή προσπάθεια έτσι ώστε το συγκεκριμένο μοντέλο προσομοίωσης, να είναι όσο το δυνατόν πιο πλήρες αλλά ταυτόχρονα και χρηστικό.

Το πρόγραμμα SpillSolver περιλαμβάνει τις ακόλουθες διεργασίες της γήρανσης:

1. εξάπλωση (spreading)
2. εξάτμιση (evaporation)
3. διασπορά (dispersion)
4. γαλακτωματοποίηση (emulsification)
5. φωτοοξείδωση (photooxidation)
6. ίζηματοποίηση (sedimentation)

Επίσης το πρόγραμμα υπολογίζει την αύξηση της πυκνότητας και του ιξώδους της κηλίδας.

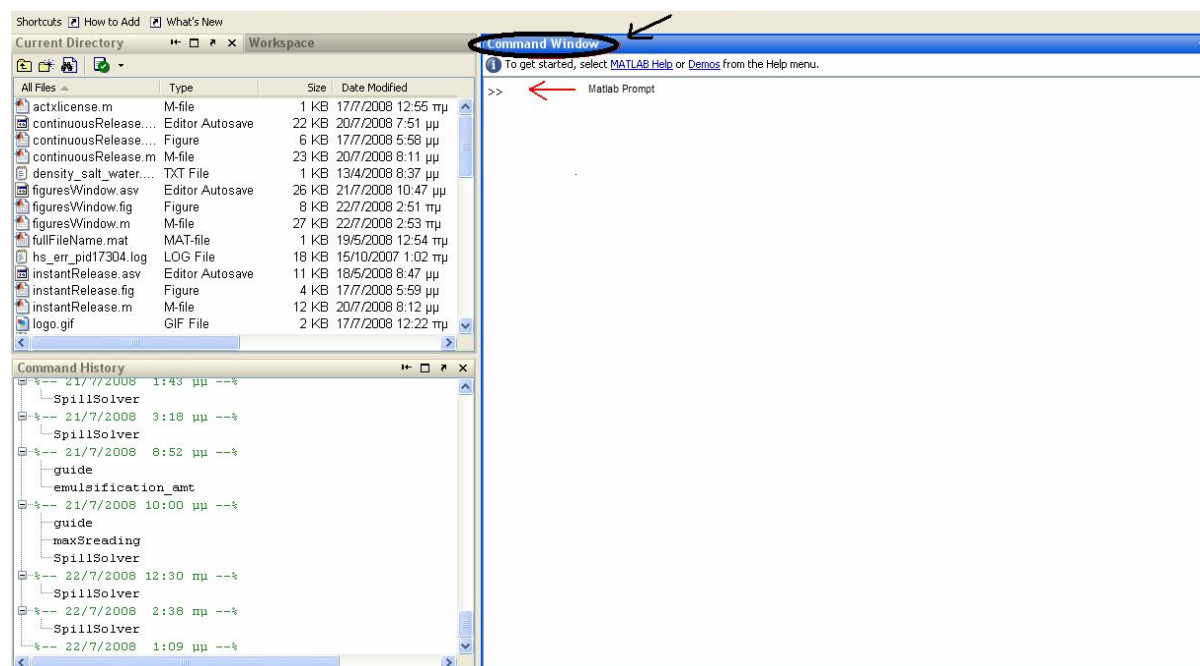
3.2 Το πρόγραμμα MATLAB

Το πρόγραμμα MATLAB ουσιαστικά αποτελεί ένα πακέτο λογισμικού για πολύ μεγάλης ακρίβειας μαθηματικούς υπολογισμούς και υψηλής ποιότητας οπτικοποίηση. Περιλαμβάνει ένα περιβάλλον με εκατοντάδες έτοιμες συναρτήσεις για τεχνικούς υπολογισμούς και γραφικά. Το μεγάλο του πλεονέκτημα όμως, είναι ότι διαθέτει μεγάλη επεκτασιμότητα, κάνοντας χρήση της δικιάς του υψηλής ποιότητας γλώσσας προγραμματισμού. Το MATLAB πήρε το όνομά του από το MATrix LABoratory.

Οι έτοιμες συναρτήσεις του MATLAB διαθέτουν εξαιρετικά εργαλεία για υπολογισμούς γραμμικής άλγεβρας, ανάλυσης δεδομένων, σημάτων, βελτιστοποίησης, συνήθων διαφορικών εξισώσεων και για πολλούς ακόμα τύπους επιστημονικών υπολογισμών. Οι περισσότερες από αυτές τις συναρτήσεις χρησιμοποιούν τους ιδανικότερους αλγόριθμους. Υπάρχουν επίσης συναρτήσεις για τη δημιουργία διδιάστατων και τριδιάστατων γραφικών. Επίσης, για εκείνους που δεν μπορούν να ‘κάνουν’ χωρίς τις γλώσσες προγραμματισμού Fortran και C, το MATLAB προσφέρει τη δυνατότητα να τρέξουν κώδικες αυτών των γλωσσών μέσα από το δικό του περιβάλλον. Ο χρήστης ωστόσο, δεν περιορίζεται στις έτοιμες συναρτήσεις που περιέχονται στο πρόγραμμα, καθώς του δίνεται η δυνατότητα να γράψει τις δικές του συναρτήσεις στη γλώσσα του MATLAB. Αυτές οι συναρτήσεις με το που γραφτούν μία φορά, προσφέρονται στον χρήστη σαν έτοιμες συναρτήσεις. Η γλώσσα του MATLAB είναι πολύ εύκολη ως προς την εκμάθηση και τη χρησιμοποίησή της.

Το MATLAB διαθέτει ποικιλία από βιβλιοθήκες (toolboxes), οι οποίες αποτελούν συλλογή συναρτήσεων γραμμένων για ειδικές απαιτήσεις, όπως είναι η επεξεργασία εικόνας και η στατιστικές αναλύσεις. Η λίστα των βιβλιοθηκών αυξάνεται διαρκώς. Σήμερα υπάρχουν περισσότερες από πενήντα τέτοιες βιβλιοθήκες.

Τα κύρια μέρη ενός παραθύρου του MATLAB (Εικόνα 3.1) είναι το Command Window στο οποίο γράφονται και εκτελούνται οι εντολές και τυπώνονται τα αποτελέσματα, το Command History όπου υπάρχουν οι εντολές που έχουν χρησιμοποιηθεί χωρισμένες ανά κατηγορία



Εικόνα 3.1 Το προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB

3.3 Το εγχειρίδιο χρήσης του Spillsolver

3.3.1 Το εισαγωγικό παράθυρο

Αρχικά ο χρήστης ανοίγει το πρόγραμμα MATLAB και στο Command Window δίπλα στο Command Prompt, εισάγει το όνομα **Spillsolver** και πατάει **Enter** (Εικόνα 3.1).

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να ανοίξει το εισαγωγικό παράθυρο (Εικόνα 3.2) , στο οποίο αναγράφονται το όνομα του προγράμματος, καθώς επίσης και τα ονόματα των δημιουργών του.

Πατώντας το κουμπί **OK** , ο χρήστης ανοίγει το πρόγραμμα Spillsolver και του εμφανίζεται το κεντρικό παράθυρο της εφαρμογής.

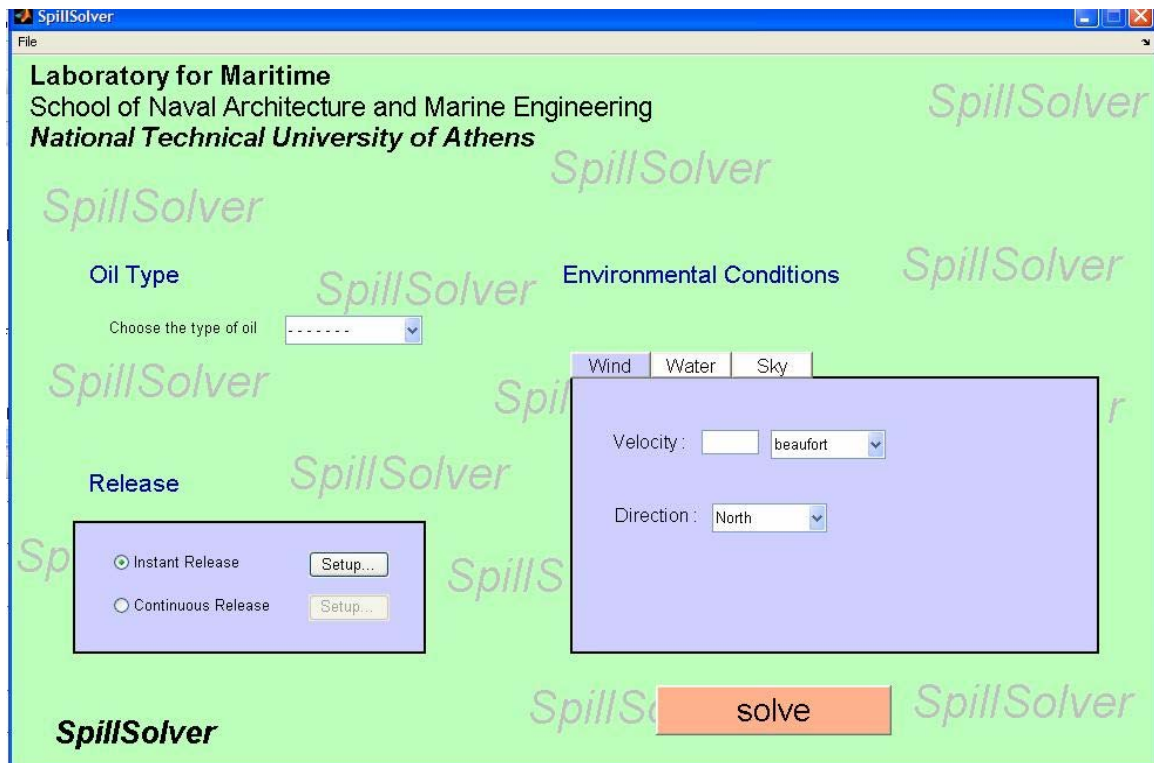


Εικόνα 3.2 Εισαγωγικό παράθυρο Spillsolver

3.3.2 Το Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων της εφαρμογής

Στο κεντρικό παράθυρο της εφαρμογής (**Εικόνα 3.3**) γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια πατώντας το κουμπί **Solve** δημιουργεί τις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις. Το περιβάλλον εργασίας επιτρέπει στο χρήστη να πραγματοποιεί όλες τις λειτουργίες με το mouse.

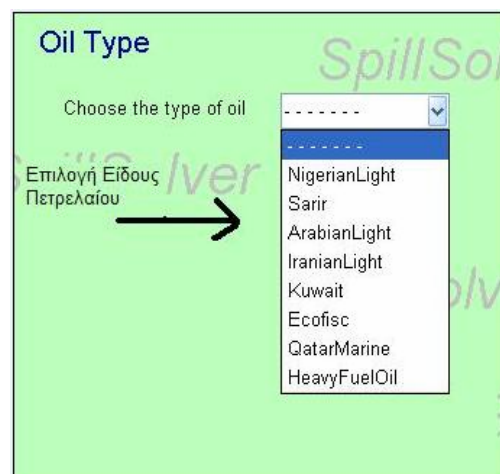
Οι ζητούμενες παράμετροι που απαιτούνται από το χρήστη είναι : ο τύπος του πετρελαίου (oil type), ο όγκος του πετρελαίου που χύθηκε στη θάλασσα και κάποιες περιβαλλοντικές παράμετροι σημαντικές για την γήρανση της πετρελαιοκηλίδας.



Εικόνα 3.3 Το κεντρικό παράθυρο εφαρμογής

3.3.2.1 Oil Type

Η πρώτη παράμετρος που εισάγει ο χρήστης είναι ο τύπος του πετρελαίου που χύνεται στην θάλασσα. Για να το κάνει αυτό διαλέγει από το DROP DOWN MENU το οποίο βρίσκεται κάτω από το Oil type και δίπλα από τη φράση Choose the type of oil, μία από τις τιμές που υπάρχουν στη βάση δεδομένων του SpillSolver. Οι επιλογές που μπορεί να κάνει είναι μεταξύ 8 διαφορετικών τύπων πετρελαίων τα οποία φαίνονται στο διπλανό σχήμα και είναι τα εξής : Nigerian Light, Sarir, Arabian Light, Iranian Light, Kuwait , Ecofisc, QatarMarine και ένα τοπικό Heavy Fuel Oil. Η βάση δεδομένων του προγράμματος βρίσκεται στο αρχείο Oillib.dat και ο κάθε χρήστης μπορεί να την ενημερώσει



οποιαδήποτε στιγμή με κάποιο πετρέλαιο που τον ενδιαφέρει και που θέλει να μελετήσει τη συμπεριφορά της γήρανσης της πετρελαιοκηλίδας του, απλώς προσθέτοντας το όνομα και τις ιδιότητες του.

3.3.2.2 Release

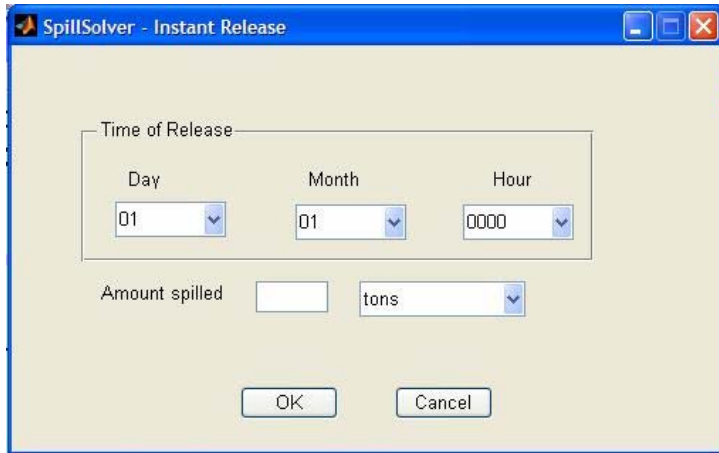
Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή του τρόπου με τον οποίο το πετρέλαιο χύνεται στη θάλασσα, από το MENU Release όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Εδώ ο χρήστης έχει δύο επιλογές, την επιλογή Instant Release ή την επιλογή Continuous Release.



Η επιλογή του Instant Release γίνεται όταν όλος ο όγκος του πετρελαίου έχει χυθεί μονομιάς στη θάλασσα, ενώ η επιλογή του Continuous Release γίνεται όταν το πετρέλαιο χύνεται στη θάλασσα σταδιακά. Ο ρυθμός με τον οποίο χύνεται το πετρέλαιο στη θάλασσα, μπορεί να είναι σταθερός ή μεταβλητός.

Αφού ο χρήστης έχει επιλέξει ένα από τα Instant Release ή Continuous Release, το επόμενο που πρέπει να κάνει είναι να ορίσει τις παραμέτρους τους. Αυτό γίνεται πατώντας το κουμπί **Setup...** το οποίο βρίσκεται δίπλα από την κάθε επιλογή.

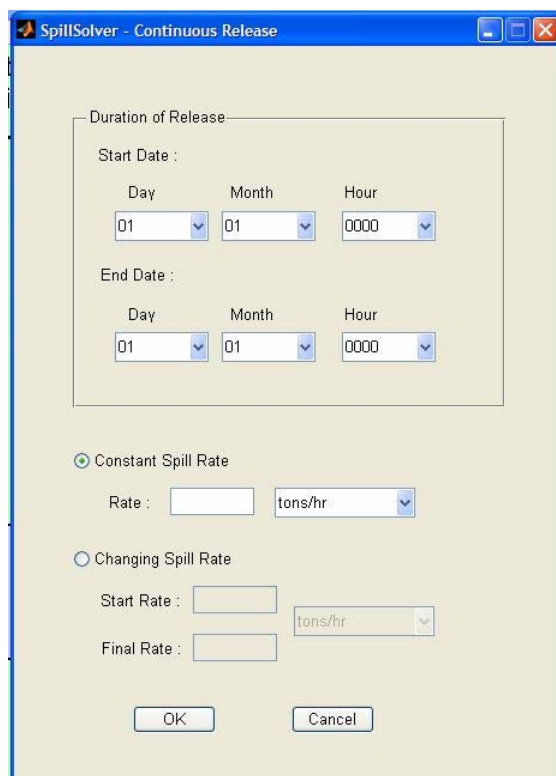
Για το Instant Release θα εμφανιστεί στο χρήστη το διπλανό παράθυρο στο οποίο θα πρέπει να εισάγει την ημερομηνία και τη ποσότητα του πετρελαίου που χύθηκε. Για



την ημερομηνία θα πρέπει να διαλέξει από τα DROP DOWN MENUS που βρίσκονται κάτω από Day, Month, και Hour μέσα στο Panel, Time of Release τα αντίστοιχα δεδομένα ,ενώ για την ποσότητα του πετρελαίου θα πρέπει να

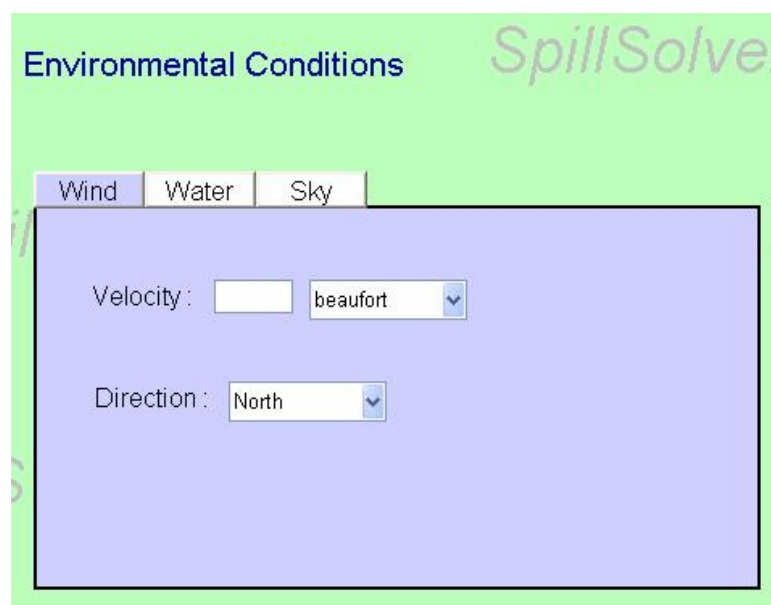
διαλέξει την μονάδα μέτρησης από το DROP DOWN MENU που βρίσκεται δίπλα από το Amount Spilled και να εισάγει στο TEXT BOX δίπλα της την ποσότητα. Το πρόγραμμα SpillSolver έχει ως By Default μονάδες μέτρησης του στην εισαγωγή δεδομένων για τη ποσότητα τους μετρικούς τόνους ,αλλά ο χρήστης μπορεί να εισάγει τη ποσότητα σε barrels και κυβικά μέτρα. Αφού ο χρήστης βάλει όλες τις απαραίτητες τιμές πατάει το κουμπί **OK** και το παράθυρο κλείνει. Σε περίπτωση που θέλει να κλείσει το παράθυρο χωρίς να εισάγει τιμές ή οι τιμές που εισήγαγε δεν θέλει να κρατηθούν και να χρησιμοποιηθούν από το πρόγραμμα πατάει το κουμπί **Cancel** .

Για το Continuous Release θα εμφανιστεί στο χρήστη το διπλανό παράθυρο, το οποίο μοιάζει με αυτό του Instant Release αλλά συμπληρώνεται με διαφορετικά δεδομένα. Στο Panel, Duration of Release, κάτω από το Start Date και End Date αντίστοιχα ο χρήστης συμπληρώνει την ημερομηνία που ξεκίνησε η διαρροή πετρελαίου και την ημερομηνία που αυτή σταμάτησε, αντίστοιχα. Η εισαγωγή του Day, Month και Hour γίνεται με τον ίδιο τρόπο που γίνεται και στο Instant Release. Αν η



διαρροή διήρκησε μόνο κάποιες ώρες τότε ο χρήστης συμπληρώνει μόνο το πεδίο Hour στο End Date. Το επόμενο που πρέπει να συμπληρωθεί είναι ο ρυθμός με τον οποίο γίνεται η διαρροή. Εδώ ο χρήστης έχει δύο επιλογές. Είτε να επιλέξει σταθερό ρυθμό, είτε να επιλέξει μεταβλητό ρυθμό. Στον σταθερό ρυθμό (επιλογή Constant Spill Rate) ο χρήστης εισάγει απλώς τον ρυθμό διαρροής, ενώ στο μεταβλητό ρυθμό(επιλογή Changing Spill Rate) εισάγεται από το χρήστη ο αρχικός και ο τελικός ρυθμός διαρροής. Οι ρυθμοί διαρροής είναι By Default σε μετρικούς τόνους ανά ώρα αλλά ο χρήστης έχει τη δυνατότητα της επιπλέον επιλογής, μεταξύ barrels ανά ώρα και κυβικά μέτρα ανά ώρα. Αφού ο χρήστης βάλει όλες τις απαραίτητες τιμές πατάει το κουμπί **OK** και το παράθυρο κλείνει. Σε περίπτωση που θέλει να κλείσει το παράθυρο χωρίς να εισάγει τιμές ή οι τιμές που εισήγαγε δεν θέλει να κρατηθούν και να χρησιμοποιηθούν από το πρόγραμμα πατάει το κουμπί Cancel όπως και στο Instant Release.

3.3.2.3 Environmental Conditions



Τα επόμενα δεδομένα που θα χρειαστεί να εισάγει ο χρήστης αφορούν τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια της διαρροής του πετρελαίου. Ο χρήστης χρειάζεται να εισάγει πληροφορίες για

τους ανέμους, το νερό και την ηλιοφάνεια.

Η επιλογή άνεμος (Wind) είναι προεπιλεγμένη. Σε αυτήν ο χρήστης εισάγει την ταχύτητα του ανέμου στο «κουτάκι» που βρίσκεται δίπλα από το Velocity και διαλέγει τη μονάδα μέτρησης από το διπλανό DROP DOWN MENU. Η ταχύτητα

του ανέμου είναι στην είσοδο By Default σε Beaufort αλλά ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μεταξύ των knots, χιλιομέτρων την ώρα και μέτρων την ώρα. Στη συνέχεια μπορεί να διαλέξει τη κατεύθυνση του ανέμου μεταξύ των 8 βασικών διευθύνσεων αλλά και με την επιλογή other να βάλει σε μοίρες την κατεύθυνση που επιθυμεί και δε βρίσκεται στις επιλογές. Οι 0° αντιστοιχούν στο Βορρά και αυξάνονται ωρολογιακά.

Στη συνέχεια ο χρήστης επιλέγει με το ποντίκι το TAB, Water. Σε αυτό αρκεί να επιλεγεί η θερμοκρασία του νερού και από τη βάση δεδομένων

Water

Temperature : -- Celcius

Density : kg/m³

Salinity : 3.5%

Sediment Load : 5 mg/l

συμπληρώνεται η τιμή

Density στο αντίστοιχο πεδίο. Η τιμή της αλατότητας του νερού είναι By Default 3,5% και το Sediment Load 5 mg/l και αντιστοιχεί σε ωκεανό. Υπάρχουν όμως οι επιλογές other οι οποίες εμφανίζουν πεδία στα οποία ο χρήστης μπορεί να εισάγει διαφορετικές τιμές στις μονάδες που αναγράφονται δίπλα. Για το Sediment Load υπάρχει επιπλέον και η τιμή 50 mg/l που αντιστοιχεί σε εκβολές ποταμών.

Sky

| | Cloudy | Mostly Cloudy | Partly Cloudy | Mostly Clear | Clear |
|---|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1st day : | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> 2nd day : | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="checkbox"/> 3rd day : | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="checkbox"/> 4th day : | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="checkbox"/> 5th day : | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Το τελευταίο TAB που πρέπει να συμπληρωθεί, αφορά τις συνθήκες ηλιοφάνειας που επικρατούν κατά τη διάρκεια της μελέτης του φαινομένου της

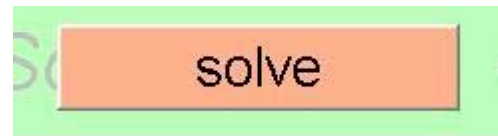
γήρανσης. Ο χρήστης, αν έχει πληροφορίες για κάποια από τις 5 μέρες, διαλέγει την

επιλογή και μπορεί να διαλέξει μεταξύ 5 διαφορετικών επιλογών : Cloudy, Mostly Cloudy, Partly Cloudy, Mostly Clear και Clear ανάλογα με τη ποσόστωση συννεφιάς. Οι τιμές είναι σε φθίνουσα διάταξη, από το πλήρως συννεφιασμένο ουρανό έως τον απόλυτα καθαρό ουρανό.

Ο χρήστης μπορεί να διαλέξει τις μέρες για τις οποίες έχει πληροφορίες, χωρίς αυτές να είναι κατ' ανάγκη με τη σειρά. Απλώς οι ενδιάμεσες κενές μέρες λαμβάνουν τη τιμή της προηγούμενης μέρας. Αν καμία από τις επιλογές δεν επιλεγεί τότε λαμβάνεται η τιμή της πρώτης μέρας για όλες τις μέρες.

3.3.2.4 Το κουμπί Solve

Το τελευταίο βήμα που πρέπει να κάνει ο χρήστης αφού συμπληρώσει όλα τα δεδομένα εισόδου είναι να πατήσει το κουμπί

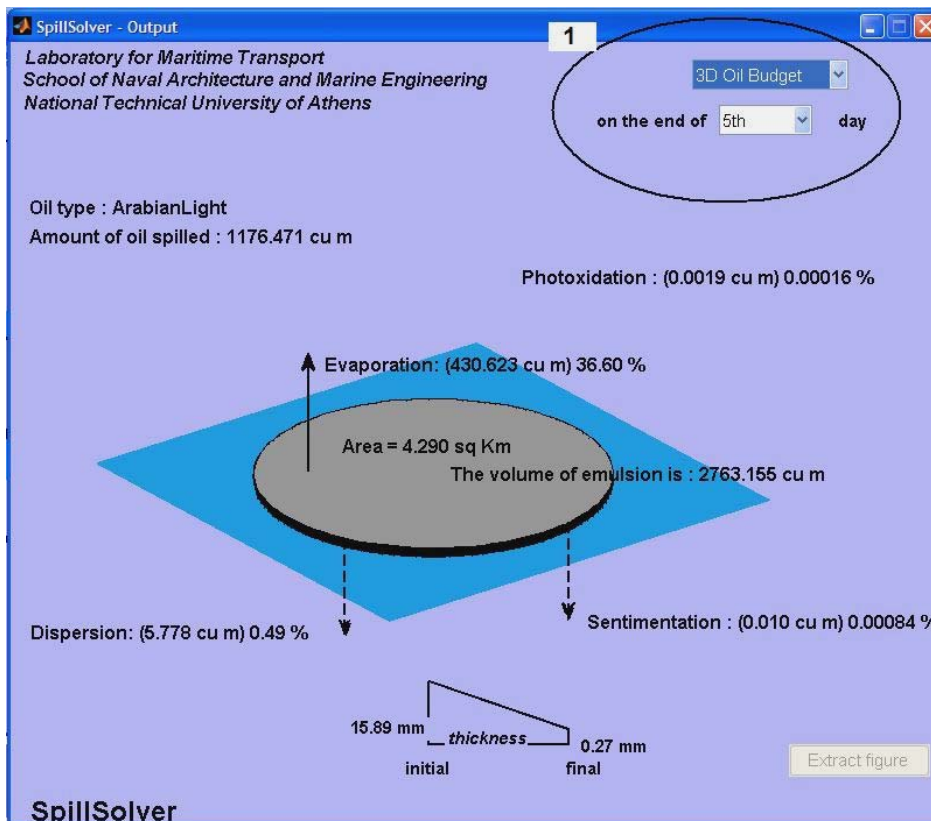


Solve. Με το πάτημα του κουμπιού θα ανοίξει το παράθυρο των αποτελεσμάτων με τις γραφικές παραστάσεις.

3.4 Το παράθυρο των αποτελεσμάτων

Όταν ο χρήστης πατήσει το κουμπί Solve θα του εμφανιστεί στην οθόνη το παράθυρο των αποτελεσμάτων της (Εικόνας 3.4). By Default το πρώτο πράγμα που εμφανίζεται στην οθόνη είναι το 3D Oil Budget. Σε αυτό εμφανίζεται πάνω αριστερά (όπως φαίνεται στη διπλανή εικόνα) το είδος και η ποσότητα του πετρελαίου που χύθηκε στο συγκεκριμένο σενάριο ενώ στο κέντρο υπάρχει ένα τρισδιάστατο σχήμα με τα χαρακτηριστικά της πετρελαιοκηλίδας που σχηματίστηκε, για το οποίο θα μιλήσουμε αναλυτικά αργότερα.

Oil type : ArabianLight
Amount of oil spilled : 1176.471 cu m

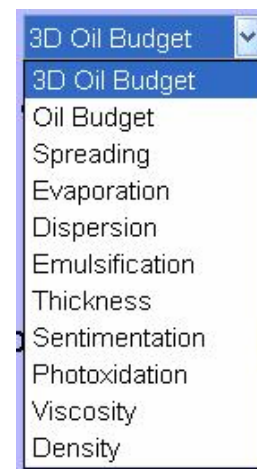


Εικόνα 3.4 Το παράθυρο αποτελεσμάτων της εφαρμογής

Το βασικό χαρακτηριστικό του παραθύρου των αποτελεσμάτων είναι όπως φαίνεται στην πάνω δεξιά γωνία μέσα στο κύκλο στην (Εικόνα 3.4) τα DROP DOWN MENU

με τα οποία ο χρήστης μπορεί να εμφανίσει οποιαδήποτε από τις διεργασίες θέλει να μελετήσει αναλυτικά .

Επιλέγοντας το πρώτο DROP DOWN MENU ο χρήστης θα αντικρίσει την εικόνα που φαίνεται. Διαλέγοντας με το ποντίκι του οποιαδήποτε από τις διεργασίες αυτή θα εμφανιστεί στο παράθυρο των αποτελεσμάτων.

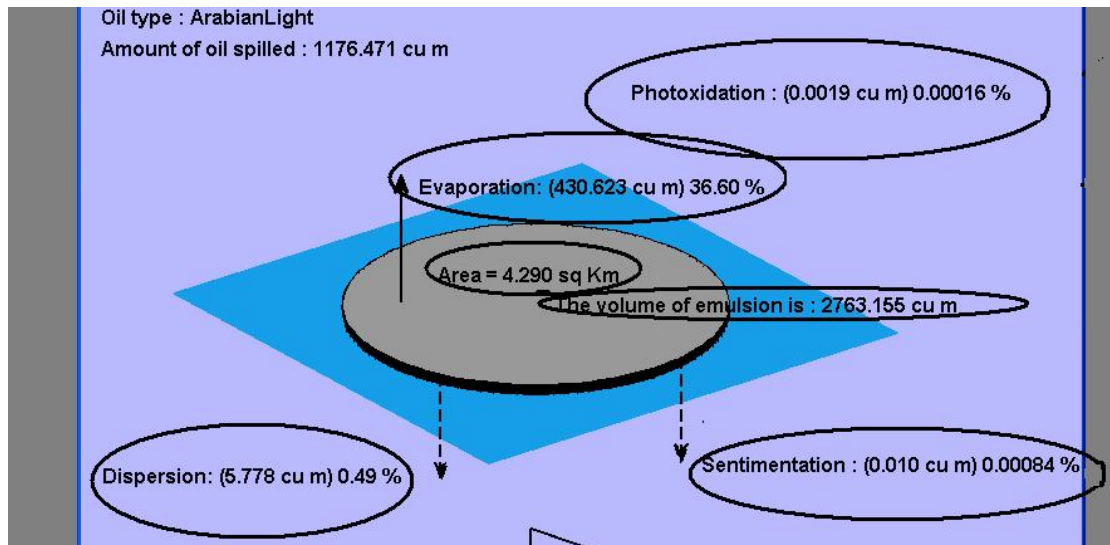


Το δεύτερο DROP DOWN MENU

δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να διαλέξει για το τέλος ποιας μέρας από τις

5 για τις οποίες γίνεται η ανάλυση θέλει να δει τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που φαίνονται στο τρισδιάστατο σχήμα,

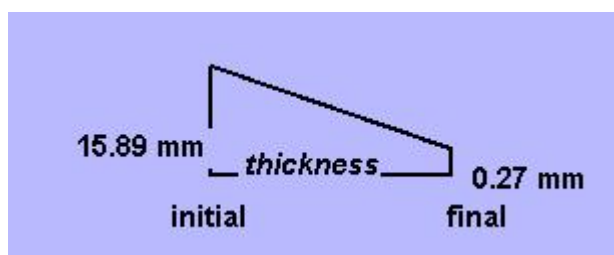
Στο τρισδιάστατο σχήμα που βρίσκεται στο κέντρο του παραθύρου εμφανίζονται με συνοπτικό τρόπο όλες οι διεργασίες που έχουν μοντελοποιηθεί στο παρών πρόγραμμα όπως φαίνεται στο (Εικόνα 3.5). Οι διεργασίες αυτές φαίνονται και ως ποσότητες αλλά και ως ποσοστά επί του συνολικού όγκου που έχει χυθεί.



Εικόνα 3.5 Το τρισδιάστατο σχήμα της εφαρμογής

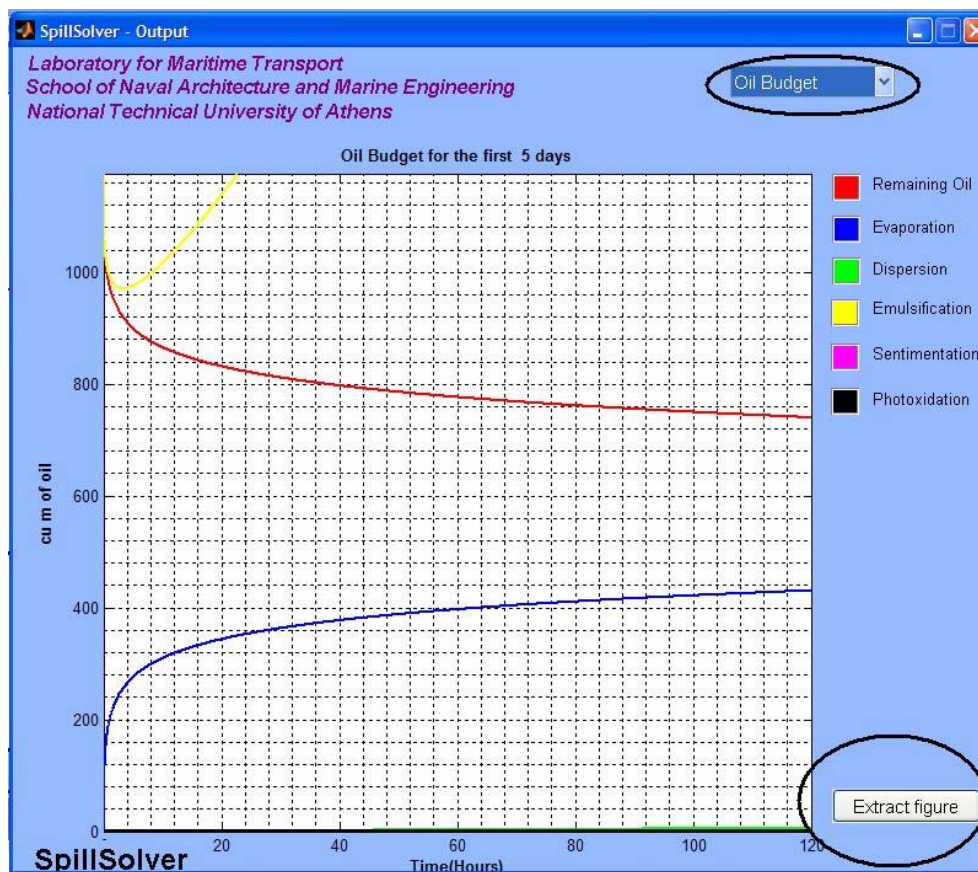
Επίσης ο χρήστης μπορεί να δει επιπλέον το μέγεθος της πετρελαιοκηλίδας και τον όγκο του γαλακτώματος που είναι πολύ σημαντικό μέγεθος γιατί είναι ουσιαστικά ο όγκος του πετρελαίου που θα πρέπει να μαζευτεί από τα μέσα αντιμετώπισης.

Τέλος στο τρισδιάστατο σχήμα ο χρήστης μπορεί να δει και τη μεταβολή του πάχους τις κηλίδας στο τέλος κάθε μέρας και να τη συγκρίνει με το αρχικό πάχος.



Η κύρια γραφική παράσταση του παραθύρου των αποτελεσμάτων είναι το Oil Budget το οποίο φαίνεται στην εικόνα . Σε αυτό φαίνεται ένα συγκεντρωτικό

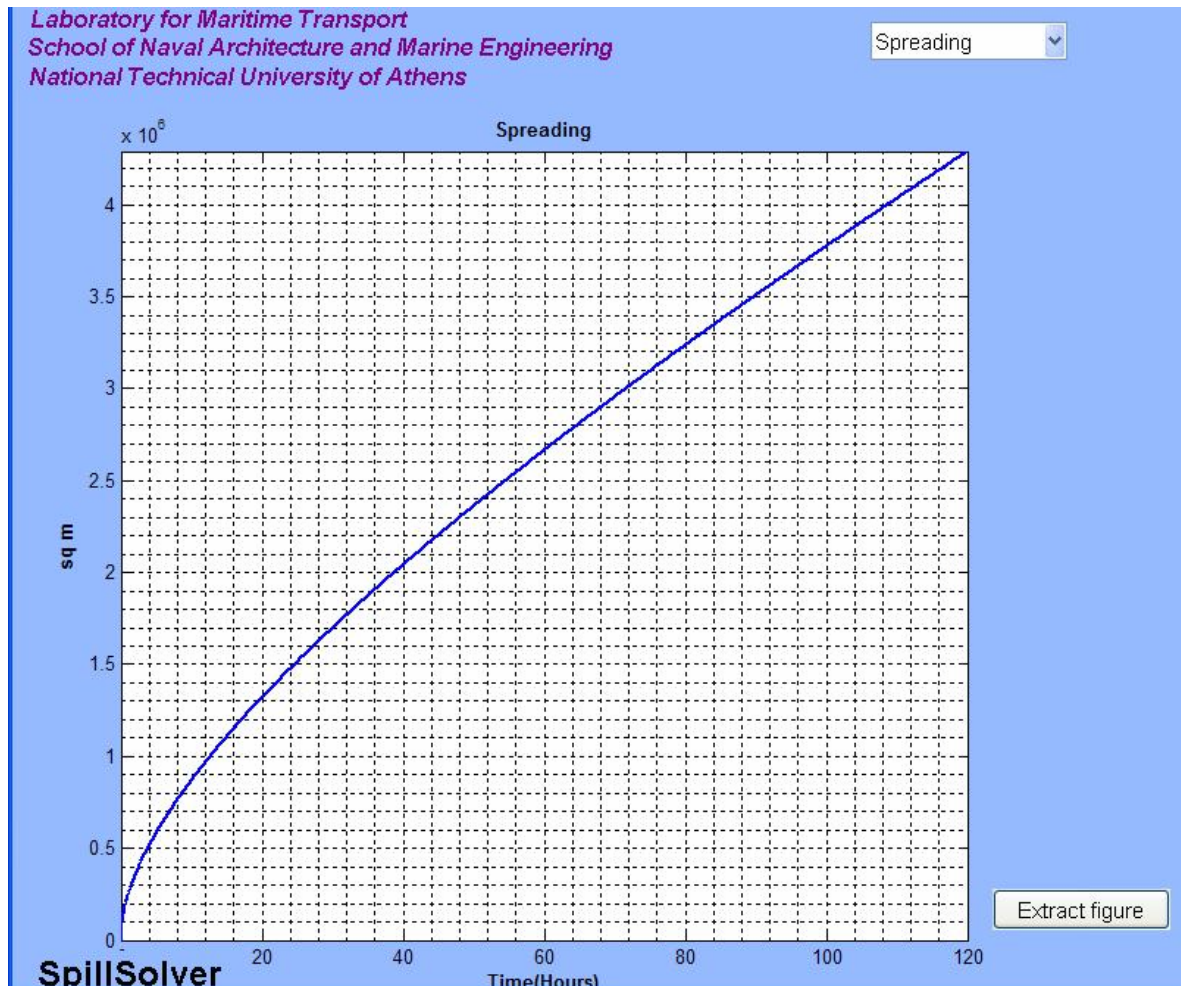
γράφημα όλων των διεργασιών ανά ώρα για τις 5 πρώτες ημέρες της ζωής της πετρελαιοκηλίδας , έτσι ώστε να υπάρχει μία γενική επισκόπηση .Οι όγκοι των διεργασιών εμφανίζονται σε κυβικά μέτρα ανεξάρτητα με το τη μονάδα μέτρησης του παραθύρου εισαγωγής .



Εικόνα 3.6 Oil Budget

Μία πολύ σημαντική δυνατότητα η οποία δίνεται στο χρήστη είναι το ότι με το πάτημα του κουμπιού Extract figure το οποίο βρίσκεται στην κάτω δεξιά γωνία του Oil Budget ,όπως φαίνεται στην (Εικόνα 3.6) μπορεί να ανοίξει έναν καμβά MATLAB που να περιέχει τη γραφική παράσταση και να χρησιμοποιήσει όλες τις δυνατότητες που του δίνονται για την επεξεργασία του.

Η επόμενη γραφική παράσταση που περιέχεται στο παράθυρο των αποτελεσμάτων είναι της εξάπλωσης (Spreading) συναρτήσει του χρόνου.



Εικόνα 3.7 Spreading

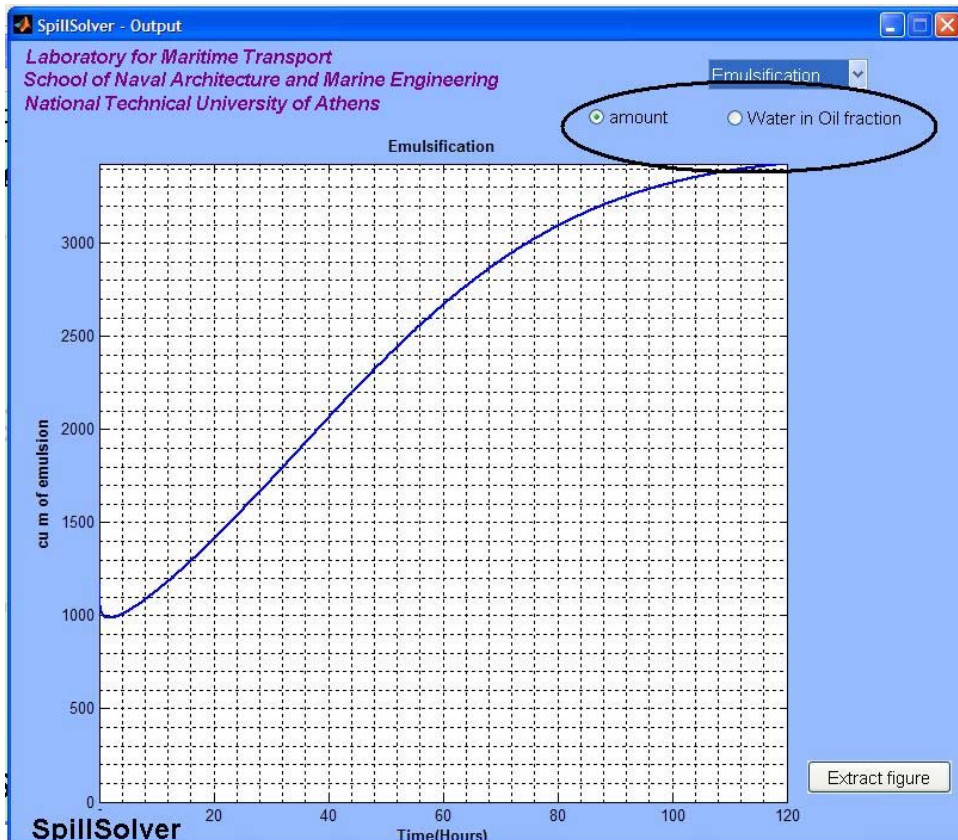
Η τρίτη κατά σειρά γραφική παράσταση είναι αυτή της εξάτμισης (evaporation). Όπως φαίνεται και στο (Εικόνα 3.7) σε αυτήν υπάρχουν δύο επιλογές. Η πρώτη επιλογή (By Default) εμφανίζει την γραφική παράσταση του όγκου εξάτμισης σε κυβικά μέτρα συναρτήσει του χρόνου, ενώ η δεύτερη το ποσοστό εξάτμισης συναρτήσει του χρόνου.



Εικόνα 3.8 Evaporation

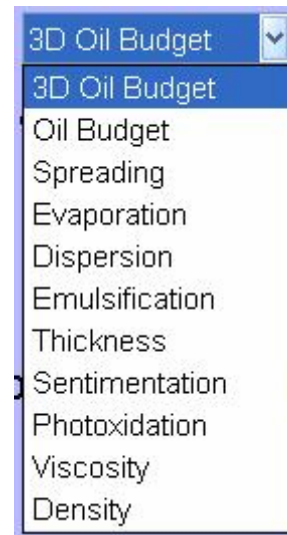
Έπειτα ακολουθεί η γραφική παράσταση της διασποράς, όπου ο χρήστης μπορεί επιλέξει πάλι μεταξύ δύο γραφικών παραστάσεων. Του όγκου του πετρελαίου που διασπάστηκε σε κυβικά μέτρα συναρτήσει του χρόνου και του ρυθμού της διάσπασης σε κυβικά μέτρα ανά λεπτό συναρτήσει του χρόνου.

Ένα από τα σημαντικότερα διαγράμματα είναι αυτό που ακολουθεί (Εικόνα 3.9). Το διάγραμμα της γαλακτωματοποίησης. Σε αυτό ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μεταξύ δύο γραφικών παραστάσεων. Της γραφικής παράστασης του κλάσματος του νερού στο πετρέλαιο συναρτήσει του χρόνου και του όγκου γαλακτώματος σε κυβικά μέτρα συναρτήσει του χρόνου



Εικόνα 3.10 Emulsification

Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να διαλέξει με τον ίδιο τρόπο από το DROP DOWN MENU τις γραφικές παραστάσεις για το πάχος της πετρελαιοκηλίδας, την ιζηματοποίηση, την φωτοξείδωση και την αύξηση του ιξώδους και της πυκνότητας, όλα συναρτήσει του χρόνου. Επιπλέον υπάρχει διάγραμμα που δείχνει την μεταβολή του ρυθμού της φωτοξείδωσης συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας για δεδομένες συνθήκες ηλιοφάνειας.



3.5 Μηνύματα σφάλματος

Τα μηνύματα σφάλματος του προγράμματος SpillSolver είναι τα εξής :

| | | |
|----|---|--|
| 1 | Water Temperature : No value is selected! | Δεν έχει επιλεγεί τιμή για την θερμοκρασία νερού |
| 2 | Oil Type : No value is selected! | Δεν έχει επιλεγεί τιμή για τον τύπο του πετρελαίου |
| 3 | Release : No release information | Δεν υπάρχουν καθόλου στοιχεία για τη διαρροή |
| 4 | Instant Release : No release information! | Είναι επιλεγμένο το CHECK BOX του Instant Release αλλά δεν υπάρχουν δεδομένα |
| 5 | Continuous Release : No release information! | Είναι επιλεγμένο το CHECK BOX του Continuous Release αλλά δεν υπάρχουν δεδομένα |
| 6 | salinity value : Salinity must be a positive number! | Δεν δόθηκε σωστή τιμή για την αλατότητα του νερού |
| 7 | sentiment load value : Sentiment load must be a positive number! | Δεν δόθηκε σωστή τιμή για το sentiment load του νερού |
| 8 | Sky Condition : no value selected! | Δεν έχει επιλεγεί κατάσταση ηλιοφάνειας |
| 9 | Wind Velocity : Wind velocity is required! | Δεν έχει δοθεί τιμή ταχύτητας αέρα |
| 10 | Wind Velocity : Wind velocity must be a positive number | Η ταχύτητα του ανέμου έχει αρνητική η μηδενική τιμή |
| 11 | Wind Velocity : Wind velocity must be an integer no greater than 12 when the scale is beaufort! | Όταν έχει επιλεγεί η κλίμακα beaufort η τιμή της ταχύτητας του ανέμου πρέπει να είναι ακέραιος αριθμός μεταξύ του 1 και του 12 |

4

Έλεγχος Αποτελεσμάτων SpillSolver

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται 3 σενάρια διαρροής πετρελαίου στη θάλασσα και η εξαγωγή αποτελεσμάτων για τις διεργασίες της γήρανσης. Ακολουθεί σύγκριση των αποτελεσμάτων, για την εξαγωγή συμπερασμάτων της αξιοπιστίας του προγράμματος.

4.2 Περιγραφή Μεθοδολογίας ελέγχου

Η δοκιμή του προγράμματος έγινε με την εισαγωγή τριών σεναρίων διαρροής πετρελαίου στο SpillSolver.

Το πρώτο σενάριο περιλαμβάνει:

Τύπος πετρελαίου: STATFJORD
Ποσότητα πετρελαίου: 100 tn (instant release)
Ταχύτητα ανέμου: 5 m/s
Θερμοκρασία νερού: 15 °C
Αλατότητα νερού: 3,5 %
Sediment load: 5 mg/l (ωκεανός)

Το δεύτερο σενάριο περιλαμβάνει:

Τύπος πετρελαίου: Arabian Light
Ποσότητα πετρελαίου: 100 tn/h για 15 ώρες (continuous release)
Ταχύτητα ανέμου: 9 m/s
Θερμοκρασία νερού: 13 °C
Αλατότητα νερού: 3,5 %
Sediment load: 50 mg/l (εκβολές ποταμού)

Τα παραπάνω σενάρια προσομοιώθηκαν στο πρόγραμμα ADIOS και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα του SpillSolver. Οι διεργασίες οι οποίες ελέγχθηκαν ήταν οι εξής:

- Εξάτμιση
- Διασπορά
- Αύξηση ιξώδους
- Αύξηση πυκνότητας

Το πρόγραμμα SpillSolver εξάγει αποτελέσματα για περισσότερες διεργασίες από το ADIOS. Αυτές οι παραπάνω διεργασίες είναι η εξάπλωση, η γαλακτωματοποίηση, η φωτοοξειδωση και η ιζηματοποίηση. Έτσι λοιπόν για όσες διεργασίες των τριών σεναρίων δεν ήταν δυνατόν να συγκριθούν με αποτελέσματα από το ADIOS, (εφόσον αυτό δεν τις υπολογίζει) έγινε προσπάθεια ταυτοποίησης της ορθότητας των αποτελεσμάτων με βάσει τις γνώσεις από τη θεωρία. Ειδικά το πρώτο σενάριο, χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ορθότητας των αποτελεσμάτων μοντέλων προσομοίωσης.

Το σενάριο αυτό περιλαμβάνει μία πειραματική μελέτη πετρελαιοκηλίδας, η οποία έγινε αρχικά για τη δημιουργία ενός μαθηματικού μοντέλου με σκοπό τη μελέτη της γήρανσης του πετρελαίου STATFJORD. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο Haltenbanken της Νορβηγίας από τους Buchanan & Hurford. Έκτοτε τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος, χρησιμοποιούνται για να διαπιστωθεί η αξιοπιστία άλλων μοντέλων.

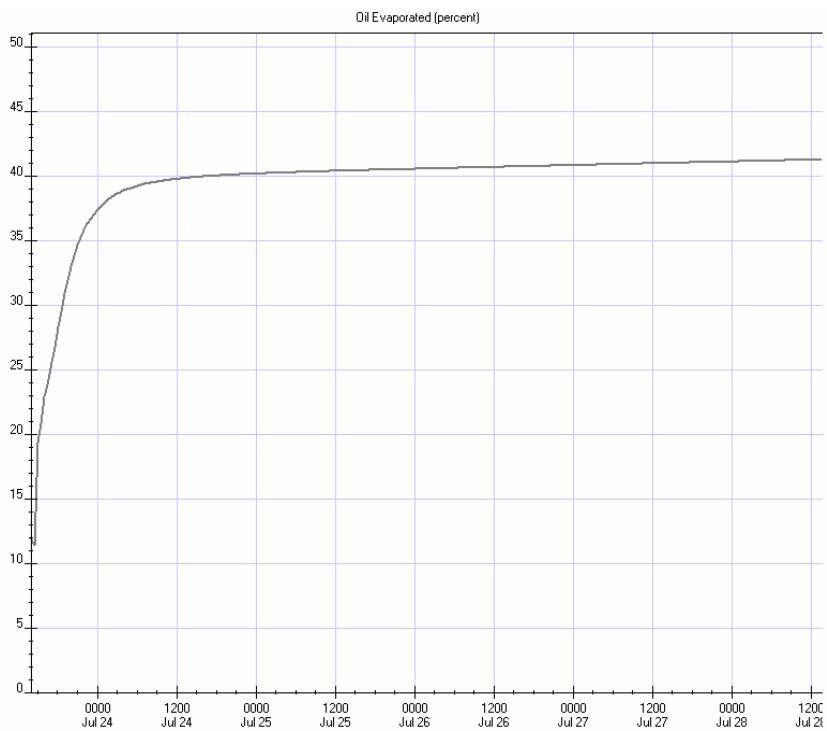
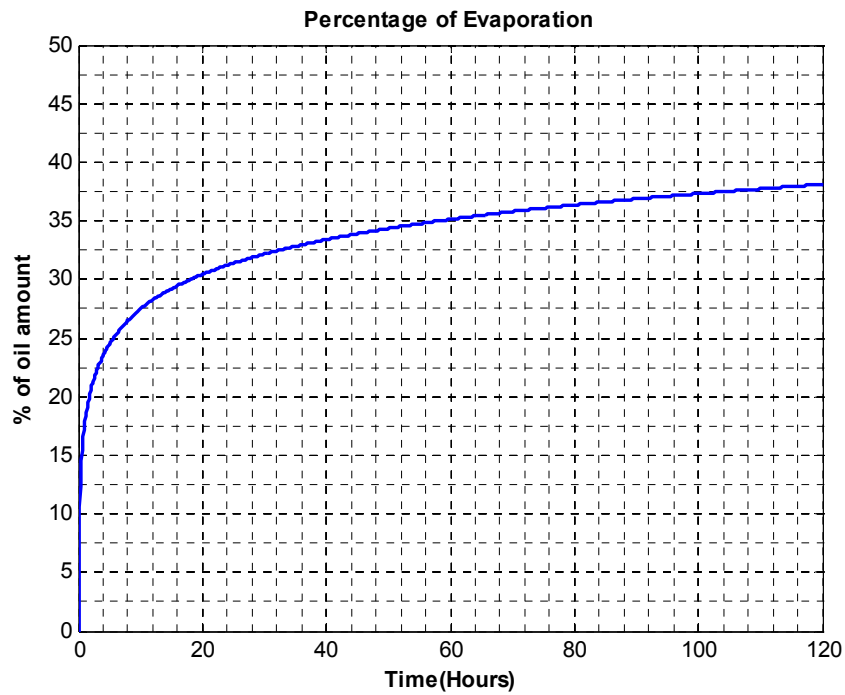
4.3 Αναλυτική παρουσίαση αποτελεσμάτων

4.3.1 Σενάριο 1

Το πρώτο από τα δύο σενάρια περιλαμβάνει τη διαρροή πετρελαίου STATFJORD , ποσότητας 100 tn σε νερό θερμοκρασίας 15 °C και με ταχύτητα αέρα 5m/s. Η αλατότητα του νερού λαμβάνεται 3,5% και το Sediment load 5 mg/l . Ακολουθεί παράθεση των αποτελεσμάτων για τη κάθε διεργασία .

4.3.1.1 Εξάτμιση

Για το ποσοστό εξάτμισης του πετρελαίου τα μοντέλα SpillSolver και ADIOS, έδωσαν τα παρακάτω γραφήματα.



Η χρονική διάρκεια για την οποία γίνεται η γραφική παράσταση του ποσοστού εξάτμισης είναι η ίδια και στα δύο διαγράμματα και είναι 120 ώρες.

Παρατηρούμε, ότι το ποσοστό εξάτμισης και στο SpillSolver και στο ADIOS έχει την ίδια μορφή. Οι τιμές των δύο προγραμμάτων έχουν πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ τους. Το μέγιστο ποσοστό εξάτμισης για τις 120 ώρες είναι για το ADIOS 41% , ενώ για το SpillSolver είναι 38,1%. Ενδεικτικές τιμές του ποσοστού εξάτμισης για το τέλος της κάθε μέρας φαίνονται στο παρακάτω πίνακα :

| ΜΕΡΕΣ | % ΕΞΑΤΜΙΣΗ SPILLSOLVER | % ΕΞΑΤΜΙΣΗ ADIOS |
|-------|---------------------------|---------------------|
| 1 | 32,20 | 40 |
| 2 | 34,17 | 40 |
| 3 | 35,91 | 40 |
| 4 | 37,15 | 41 |
| 5 | 38,10 | 41 |

Πίνακας 4.1 Εξάτμιση

Η απόκλιση είναι μικρή και με τη πάροδο των ωρών γίνεται όλο και μικρότερη και οι τιμές συγκλίνουν μεταξύ τους. Το σφάλμα που υπάρχει μεταξύ των δύο τιμών επειδή είναι μικρής κλίμακας μπορεί να οφείλεται σε σφάλματα αποκοπής και στρογγυλοποιήσεων, γιατί το ADIOS στρογγυλοποιεί τα ποσοστά σε ακέραιους αριθμούς .

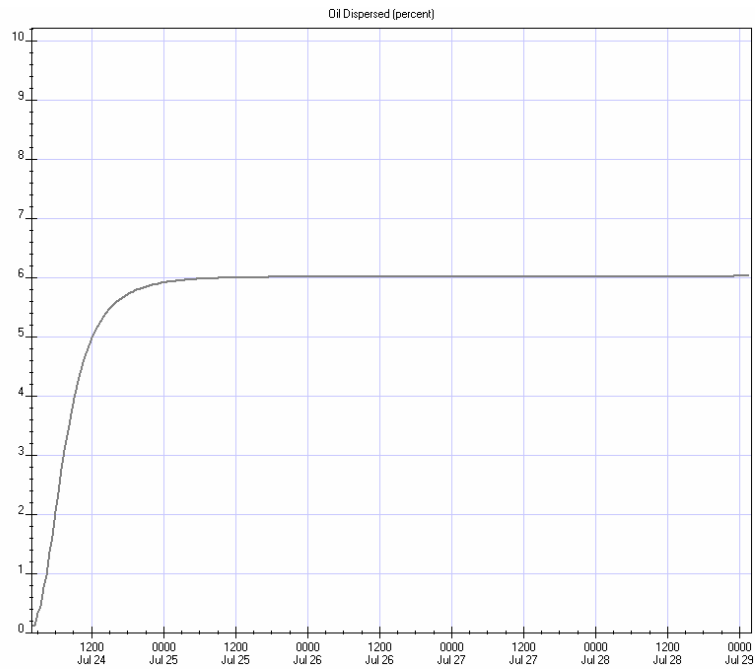
4.3.1.2 Διασπορά

Στο SpillSolver το ποσοστό της διασποράς εμφανίζεται στο 3D Oil Budget. Στα γραφήματα του SpillSolver για τη διασπορά, εμφανίζονται ο όγκος διασποράς πετρελαίου, καθώς επίσης και ο ρυθμός της διασποράς. Το ADIOS από την άλλη, δεν εξάγει καθόλου γραφήματα για τη διασπορά.

Οι τιμές για το τέλος της κάθε μέρας, φαίνονται στο πίνακα 4.2 και όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, ενώ για την 5^η μέρα η απόκλιση είναι πολύ μικρή, στις υπόλοιπες μέρες υπάρχει σημαντική διαφορά.

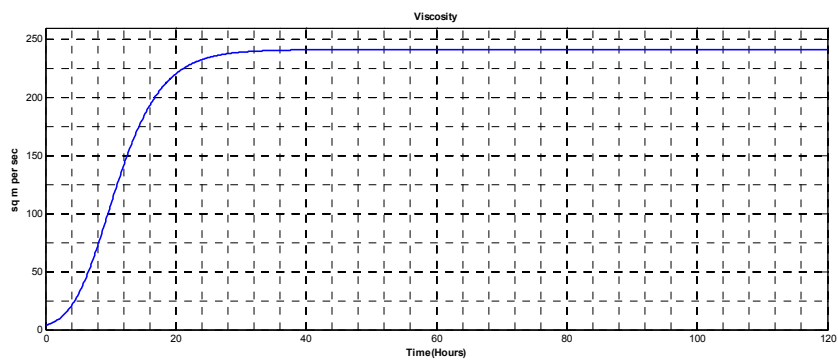
| ΜΕΡΕΣ | % ΔΙΑΣΠΟΡΑ SPILLSOLVER | % ΔΙΑΣΠΟΡΑ ADIOS |
|-------|---------------------------|---------------------|
| 1 | 1,05 | 6 |
| 2 | 2,90 | 6 |
| 3 | 3,14 | 6 |
| 4 | 4,19 | 6 |
| 5 | 5,24 | 6 |

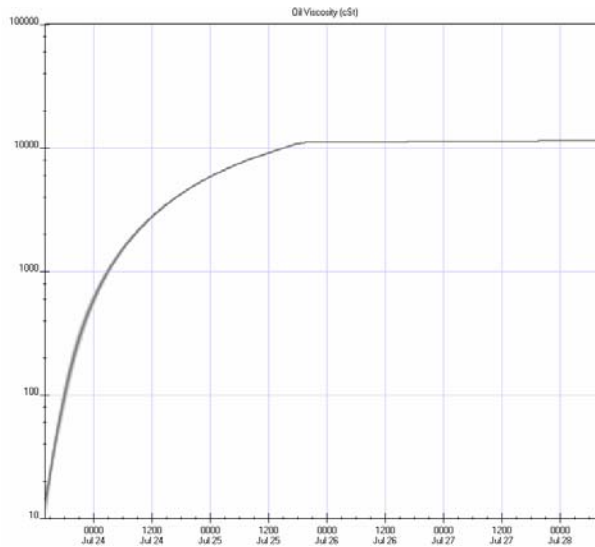
Πίνακας 4.2 ποσοστό διασποράς στο τέλος κάθε μέρας



4.3.1.3 Αύξηση ιξώδους

Οι γραφικές παραστάσεις για την αύξηση του ιξώδους του πετρελαίου παρουσιάζονται παρακάτω :

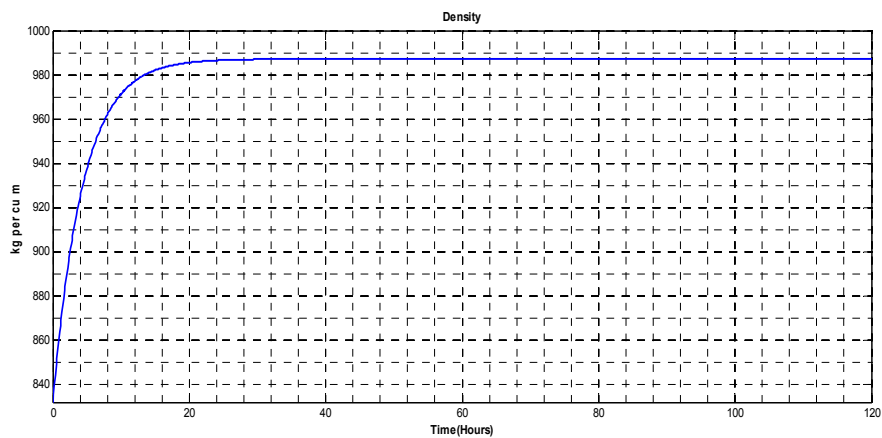


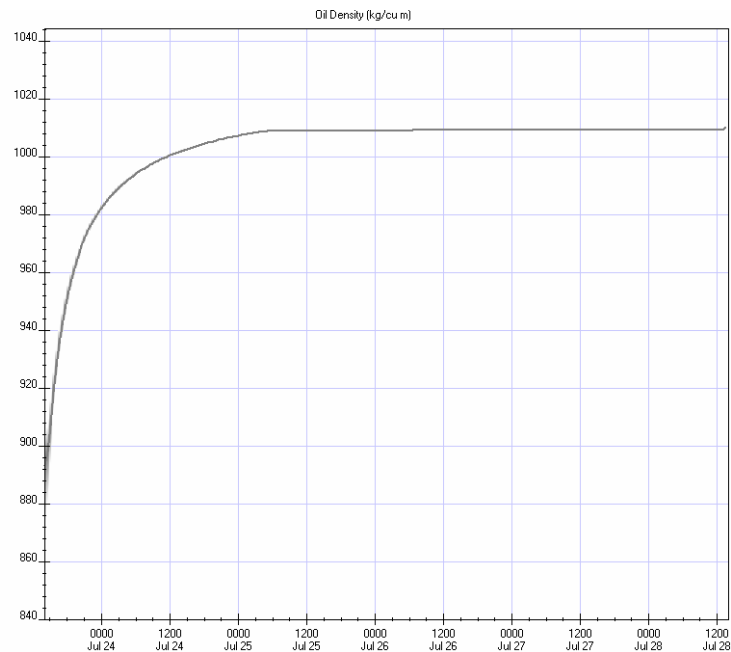


Παρατηρούμε ότι υπάρχει απόκλιση μεταξύ τις τιμές που βγάζει το ADIOS και της τιμής που υπολογίζει το SpillSolver . Το ADIOS υπολογίζει τη τιμή του ιξώδους στα 10000 cSt ενώ το SpillSolver στα 290 cSt. Βέβαια και στα δύο διαγράμματα η τιμή του ιξώδους σταθεροποιείται για τον ίδιο αριθμό ωρών.

4.3.1.4 Αύξηση πυκνότητας

Οι γραφικές παραστάσεις για την αύξηση της πυκνότητας του πετρελαίου παρουσιάζονται παρακάτω :

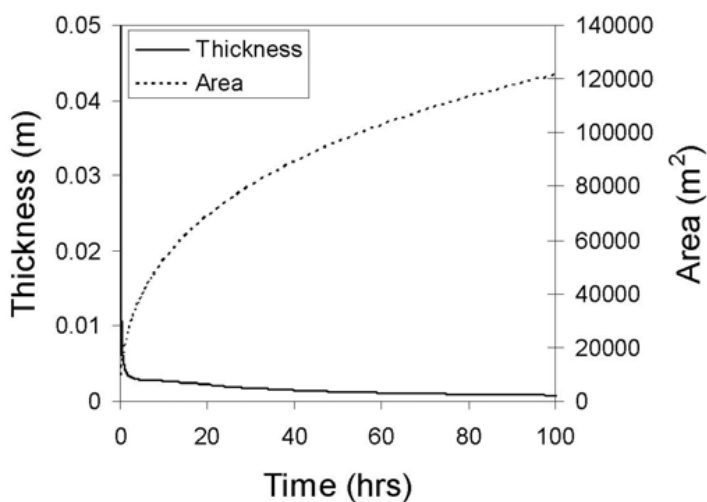
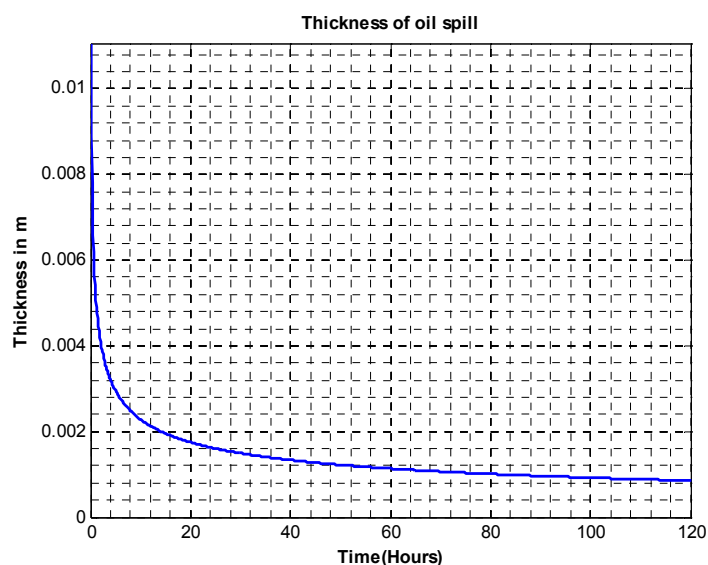
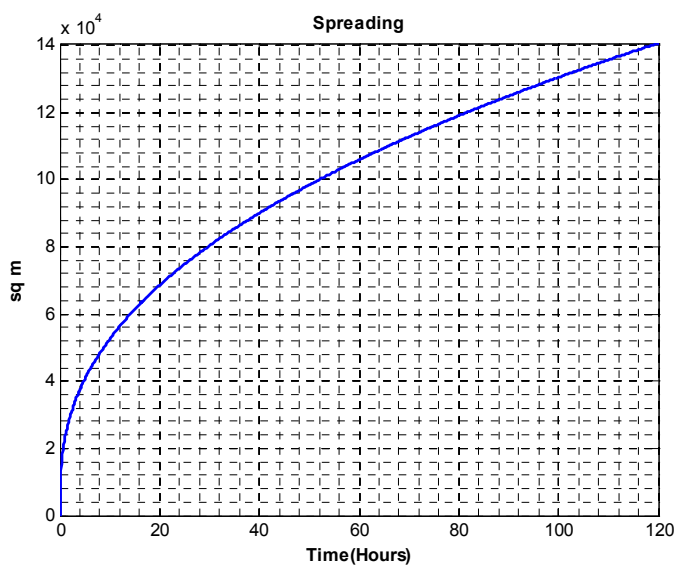




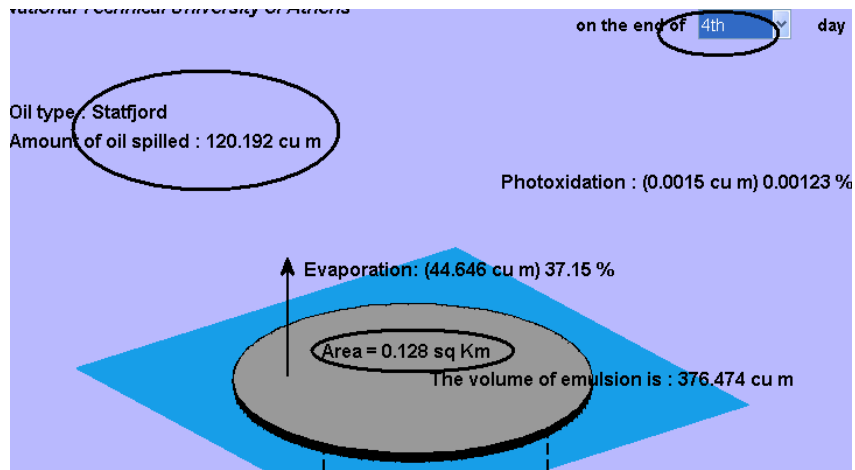
Και στα δύο διαγράμματα η πυκνότητα αυξάνεται με τον ίδιο περίπου ρυθμό και ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά. Το μέγιστο και στις δύο γραφικές παραστάσεις παρατηρείται στις 23,7 ώρες και έχει τιμή 987.16 kg/m^3 για το SpillSolver και περίπου 1030.16 kg/m^3 για το ADIOS. Οι τιμές είναι πολύ κοντά και μπορεί να θεωρηθεί ότι το μοντέλο προσομοίωσης του SpillSolver είναι αξιόπιστο.

4.3.1.5 Εξάπλωση – Πάχος Κηλίδας

Επειδή το ADIOS δεν μας δίνει πληροφορίες για την εξάπλωση και το πάχος της πετρελαιοκηλίδας, τα αποτελέσματα του SpillSolver τα συγκρίναμε με δεδομένα που είχαμε από μελέτες με πειραματικά δεδομένα. Διαπιστώθηκε ότι και η μορφή αλλά και οι τιμές τόσο του διαγράμματος της εξάπλωσης αλλά και του πάχους της πετρελαιοκηλίδας είναι αρκετά κοντά.



. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι στο τέλος της τέταρτης μέρας η επιφάνεια της κηλίδας που προσδιορίστηκε πειραματικά υπολογίστηκε στα 0.12 km^2 , ενώ στο SpillSolver 0.128 km^2 (Εικόνα 4.1)



Εικόνα 4.1 Επιφάνεια της πετρελαιοκηλίδας για πετρέλαιο Statfjord μετά από 4 ημέρες

4.3.1.6 Ιζηματοποίηση – Φωτοξείδωση

Για τις διεργασίες της ιζηματοποίησης και της φωτοξείδωσης δεν υπήρχαν καθόλου πειραματικά δεδομένα, γιατί ακόμη οι διεργασίες αυτές βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο μελέτης. Όμως από τις μέχρι στιγμής θεωρητικές προσεγγίσεις, τα αποτελέσματα που εξάγει το SpillSolver δείχνουν ικανοποιητικά όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.

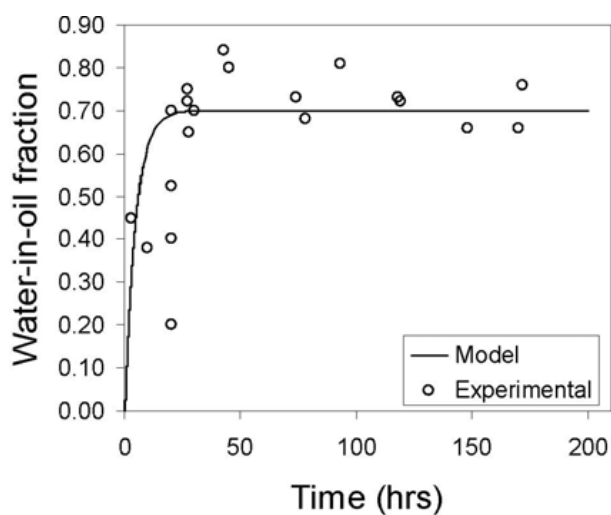
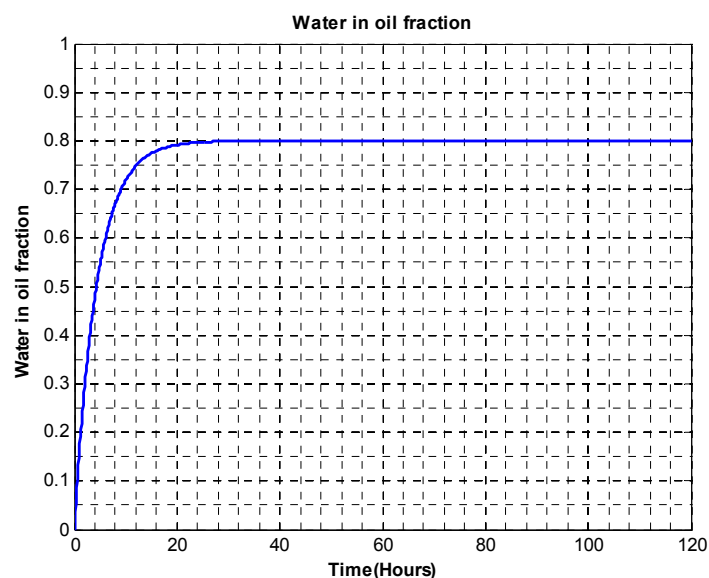
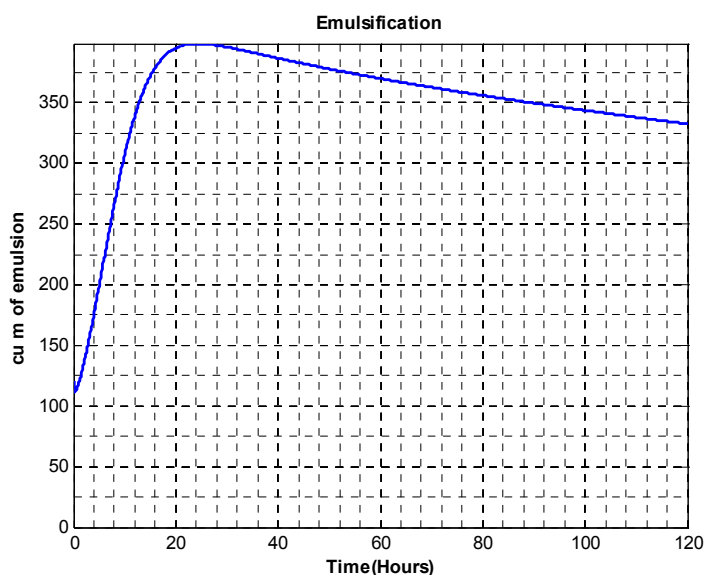
Sentimentation : (0.010 cu m) 0.00818 %

Photoxidation : (0.0019 cu m) 0.00154 %

Εικόνα 4.2 Αποτελέσματα για την ιζηματοποίηση και την φωτοξείδωση

4.3.1.7 Γαλακτωματοποίηση

Για τη γαλακτωματοποίηση τα μόνα συγκριτικά δεδομένα που είχαμε ήταν για το διάγραμμα του Water-in-oil fraction.



Διαπιστώθηκε, ότι τα πειραματικά δεδομένα της μελέτης ταιριάζουν σε μεγάλο βαθμό με τα αποτελέσματα του SpillSolver, όπως φαίνεται από τα παραπάνω γραφήματα. Η μορφή είναι η ίδια και οι μέγιστες τιμές του Water-in-oil fraction κυμαίνονται μεταξύ 70 και 80 %.

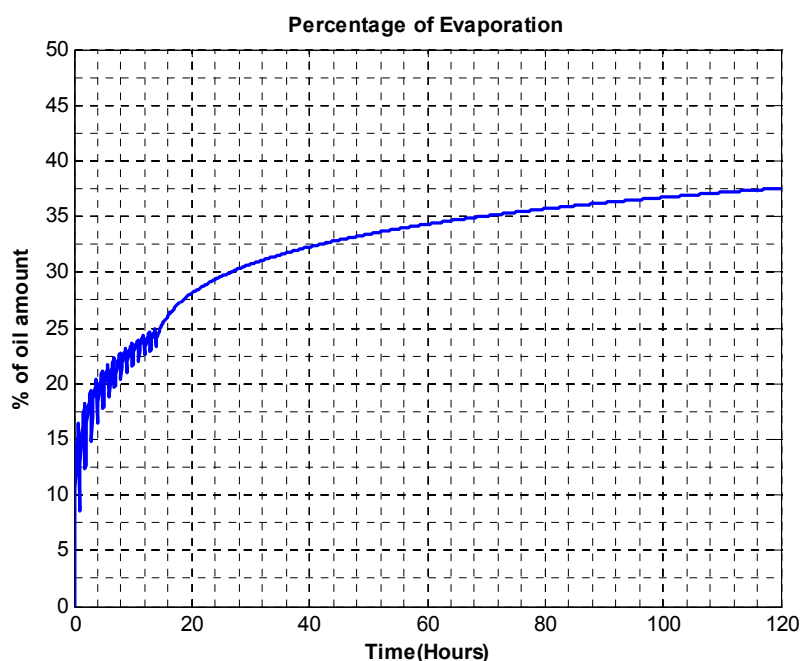
Για τον όγκο του γαλακτώματος έχουμε αύξηση σε σχέση με τον αρχικό όγκο του πετρελαίου κατά 4 με 5 φορές κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο και επιβεβαιώνεται από τη θεωρία. Επίσης η μείωση του όγκου του γαλακτώματος μετά την πρώτη μέρα είναι φυσιολογική, εξαιτίας τις επίδρασης της διεργασίας της εξάτμισης και της διασποράς .

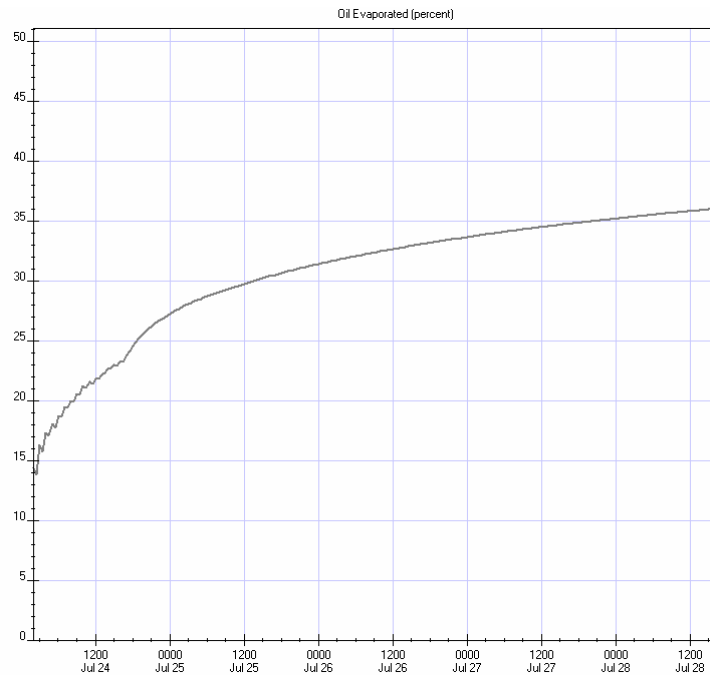
4.3.2 Σενάριο 2

Το δεύτερο από τα δύο σενάρια περιλαμβάνει τη διαρροή πετρελαίου Arabian Light , με ρυθμό 100 tn/h για 15 ώρες σε νερό θερμοκρασίας 13 °C και με ταχύτητα αέρα 9 m/s .Η αλατότητα του νερού λαμβάνεται 3,5% και το Sediment load 50 mg/l . Ακολουθεί παράθεση των αποτελεσμάτων για τη κάθε διεργασία . Για το σενάριο αυτό λόγω έλλειψης στοιχείων σύγκρισης, έγινε σύγκριση μόνο για τις διεργασίες της εξάτμισης , της διασποράς , της αύξησης του ιξώδους και της αύξησης πυκνότητας.

4.3.2.1 Εξάτμιση

Για το ποσοστό εξάτμισης του πετρελαίου τα μοντέλα SpillSolver και ADIOS,έδωσαν τα παρακάτω γραφήματα.





Η χρονική διάρκεια για την οποία γίνεται η γραφική παράσταση του ποσοστού εξάτμισης είναι η ίδια και στα δύο διαγράμματα και είναι 120 ώρες.

Η περιοχή των 15 πρώτων ωρών λόγω της συνεχούς διαρροής πετρελαίου στη θάλασσα παρουσιάζει και στα δύο διαγράμματα αυξομειώσεις . Οι τιμές των δύο προγραμμάτων έχουν πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ τους. Το μέγιστο ποσοστό εξάτμισης για τις 120 ώρες είναι για το ADIOS 36% , ενώ για το SpillSolver είναι 37,34%. Ενδεικτικές τιμές του ποσοστού εξάτμισης για το τέλος της κάθε μέρας φαίνονται στο παρακάτω πίνακα :

| ΜΕΡΕΣ | % ΕΞΑΤΜΙΣΗ SPILLSOLVER | % ΕΞΑΤΜΙΣΗ ADIOS |
|-------|---------------------------|---------------------|
| 1 | 29,34 | 28 |
| 2 | 33,21 | 31 |
| 3 | 35,18 | 34 |
| 4 | 36,52 | 36 |
| 5 | 37,34 | 36 |

Πίνακας 4.3 Εξάτμιση

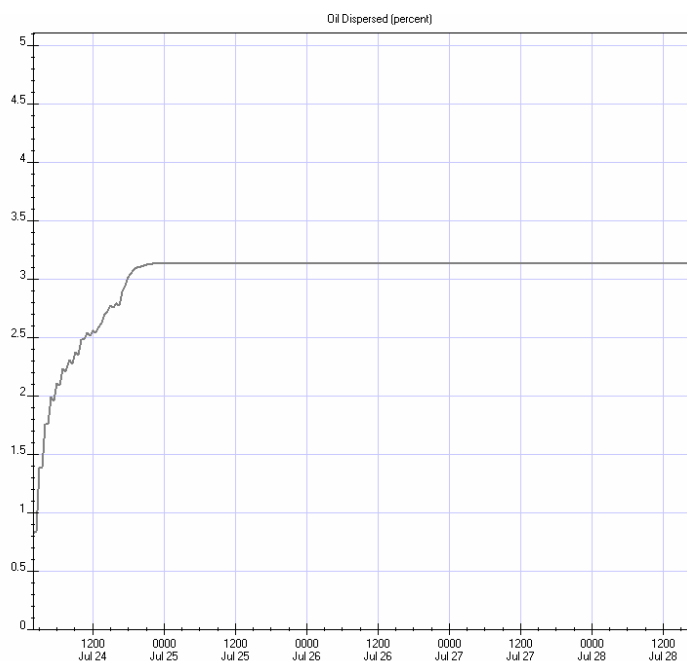
Όπως παρατηρούμε, υπάρχει ταύτιση στις τιμές. Η μεγαλύτερη διαφορά εμφανίζεται στις 48 ώρες και είναι της τάξης του 2%.

4.3.2.2 Διασπορά

Στο SpillSolver το ποσοστό της διασποράς εμφανίζεται στο 3D Oil Budget μόνο. Οι τιμές για το τέλος της κάθε μέρας φαίνονται στο πίνακα 4.4 Σε αντίθεση με το προηγούμενο σενάριο εδώ υπάρχει μεγαλύτερη ταύτιση στις τιμές και για τη 3^η και 4^η μέρας, ενώ την 5^η μέρα υπάρχει διαφορά της τάξης του 1,5%.

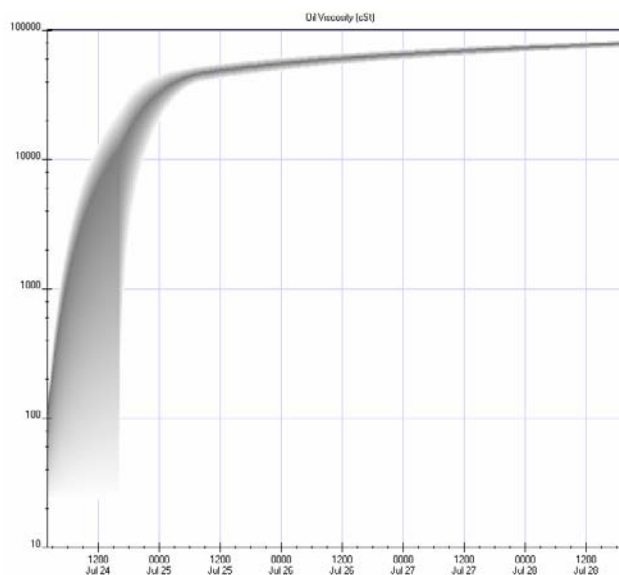
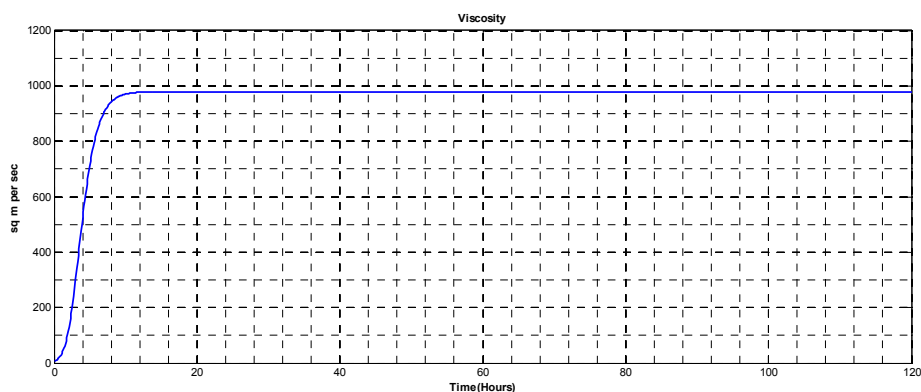
| ΗΜΕΡΕΣ | % ΔΙΑΣΠΟΡΑ SPILLSOLVER | % ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΑΔΙΟΣ |
|--------|---------------------------|---------------------|
| 1 | 0,95 | 3 |
| 2 | 1,91 | 3 |
| 3 | 2,86 | 3 |
| 4 | 3,81 | 3 |
| 5 | 4,77 | 3 |

Πίνακας 4.4 Αποτελέσματα σεναρίου για Διασπορά



4.3.2.3 Αύξηση ιξώδους

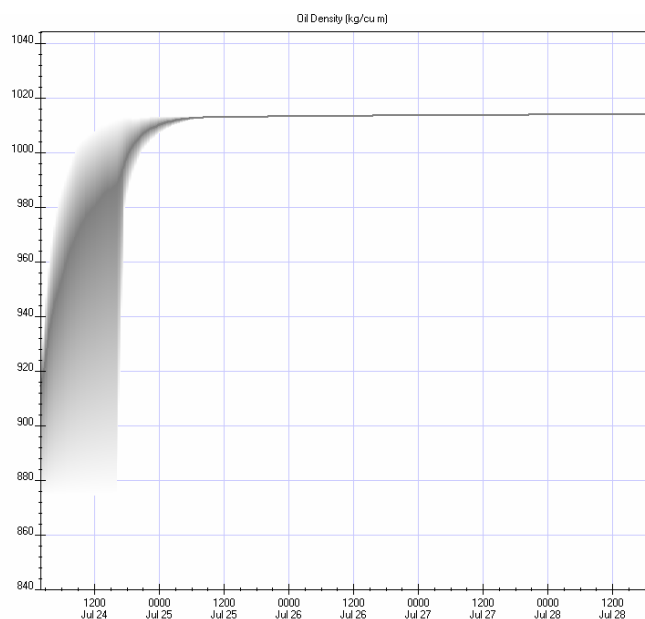
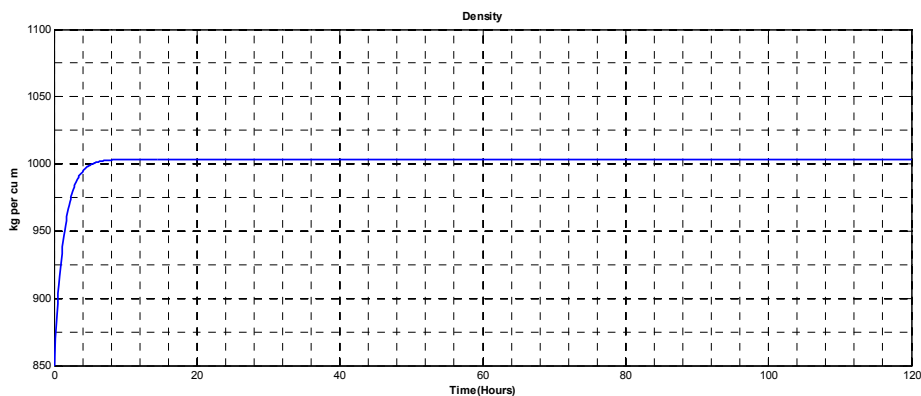
Οι γραφικές παραστάσεις για την αύξηση του ιξώδους του πετρελαίου παρουσιάζονται παρακάτω :



Παρατηρούμε ότι υπάρχει απόκλιση μεταξύ τις τιμές που βγάξει το ADIOS και της τιμής που υπολογίζει το SpillSolver . Το ADIOS υπολογίζει τη τιμή του ιξώδους στα 100000 cSt ενώ το SpillSolver στα 1000 cSt. Βέβαια και στα δύο διαγράμματα η τιμή του ιξώδους σταθεροποιείται για τον ίδιο αριθμό ωρών.

4.3.2.4 Αύξηση πυκνότητας

Οι γραφικές παραστάσεις για την αύξηση της πυκνότητας του πετρελαίου παρουσιάζονται παρακάτω :



Και στα δύο διαγράμματα η πυκνότητα αυξάνεται με τον ίδιο περίπου ρυθμό και ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά. Το μέγιστο και στις δύο γραφικές παραστάσεις παρατηρείται στις 13 ώρες αλλά έχει μια μικρή απόκλιση 1037.4 kg/m^3 για το SpillSolver και περίπου 1150.1 kg/m^3 για το ADIOS. Οι τιμές είναι πολύ κοντά και μπορεί να θεωρηθεί ότι το μοντέλο προσομοίωσης του SpillSolver είναι αξιόπιστο.

5

Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

5.1 Σύνοψη-Συμπεράσματα

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα SpillSolver στα δύο σενάρια που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για ένα αρκετά καλό εργαλείο εκτίμησης των διεργασιών γήρανσης μιας πετρελαιοκηλίδας. Αυτό, προκύπτει από το γεγονός ότι στα περισσότερα αποτελέσματα που προήλθαν από το SpillSolver, είχαμε πολύ μικρή απόκλιση σε σχέση με τα συγκριτικά αποτελέσματα του ADIOS για τις αντίστοιχες διεργασίες. Το σημαντικό είναι, ότι ειδικότερα για το πρώτο σενάριο, όπου έγινε ταυτοποίηση των αποτελεσμάτων με την πειραματική μελέτη των Buchanan & Hurford, η οποία αποτελεί κατά μία έννοια κριτήριο για την εγκυρότητα ενός προγράμματος προσομοίωσης πετρελαιοκηλίδων, ουσιαστικά δεν είχαμε σοβαρές αποκλίσεις. Το αντίθετο μάλιστα, οι τιμές του SpillSolver ήταν πολύ κοντά στις τιμές της πειραματικής μελέτης.

Το πρόγραμμα ADIOS περιγράφει τις διεργασίες της εξάτμισης, της διασποράς, καθώς επίσης την αύξηση του ιξώδους και της πυκνότητας γαλακτώματος. Επειδή το SpillSolver έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει επιπλέον την εξάπλωση, τη γαλακτωματοποίηση, την ιζηματοποίηση, τη φωτοοξειδωση και το πάχος της κηλίδας, τα αποτελέσματα για κάποιες από τις παραπάνω διεργασίες ελέγχθηκαν βάσει της πειραματικής μελέτης, ενώ για κάποιες άλλες όπου δεν βρέθηκαν συγκριτικά στοιχεία (ιζηματοποίηση, φωτοοξειδωση), τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά με βάση τις γνώσεις από τη θεωρία.

Η μοναδική διαδικασία, στην οποία το SpillSolver δεν ‘ανταποκρίθηκε’ καλά, εξάγοντας αποτελέσματα με αρκετή απόκλιση, σε σχέση με αυτά του ADIOS και της πειραματικής μελέτης, ήταν η αύξηση του ιξώδους γαλακτώματος πετρελαίου. Ενώ η μορφή της καμπύλης του ιξώδους ήταν όμοια με αυτή του ADIOS και το ιξώδες γινόταν σταθερό για τον ίδιο χρόνο που γινόταν σταθερό και στο ADIOS, προέκυπταν τιμές αυτού, με σημαντικές αποκλίσεις από εκείνες που εξήγαγε το ADIOS. Το πρόβλημα λοιπόν ήταν ποσοτικό και όχι ποιοτικό (όμοια μορφή καμπύλης). Αυτό είναι πολύ πιθανό να οφείλεται στην επιλογή μη ορθών συντελεστών (σταθερές) στη σχέση της αύξησης του ιξώδους.

Τέλος, οφείλουμε να τονίσουμε πως το μεγάλο πλεονέκτημα του SpillSolver σε σχέση με το ADIOS, είναι η περιγραφή των διεργασιών της εξάπλωσης, της γαλακτωματοποίησης, της ιζηματοποίησης και της φωτοοξειδωσης, οι οποίες δεν περιγράφονται από το δεύτερο. Να σημειώσουμε, ότι στη διεργασία της γαλακτωματοποίησης, το SpillSolver εκτός του υπολογισμού του water-in-oil fraction, εκτιμά επιπλέον την αύξηση του όγκου του πετρελαίου, πράγμα πολύ σημαντικό για την σωστή οργάνωση καταπολέμησης του ρύπου.

5.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Το πρόγραμμα SpillSolver διαθέτει ευρύτερα χαρακτηριστικά, είναι εφαρμόσιμο δηλαδή κυρίως σε περιπτώσεις διαρροών στην ανοικτή θάλασσα και αυτό γιατί δεν λαμβάνει υπόψη του τοπικές παραμέτρους, όπως για παράδειγμα τη γεωμετρία των ακτών, την ύπαρξη θαλασσιών ρευμάτων ή την ύπαρξη πάγου σε κάποια θαλάσσια περιοχή. Το παραπάνω θέμα αφήνει ένα μεγάλο παράθυρο ανοιχτό σε μελλοντικές επεκτάσεις του προγράμματος, έτσι ώστε το SpillSolver λαμβάνοντας υπόψη του ποικίλες τοπικές παραμέτρους, να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περισσότερο εξειδικευμένες περιπτώσεις πετρελαιοκηλίδων.

Επειδή οι συνθήκες του περιβάλλοντος, όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, η θερμοκρασία και το ύψος κύματος μεταβάλλονται διαρκώς και χωρίς συγκεκριμένο τρόπο, ακόμη και για μία συγκεκριμένη περιοχή είναι απαραίτητο το να προστεθεί ένα πιθανοθεωρητικό μοντέλο, το οποίο θα επιτρέπει μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς, αλλά και θα κάνει πιο ρεαλιστική τη προσομοίωση.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ahlstrom, S. W., 1975. *A Mathematical Model for Predicting the Transport of Oil Slicks in Maine Waters*. Battelle Pacific North-west Laboratories, Richland, Washington
- [2] Aravamudan, K. S. , P. K. Ray, and A. D. Little, 1982. Simplified models to predict the break-up of oil on rough seas. *Proceedings of the 1981 Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [3] Aravamudan, K., P. Ray, and G. Marsh, 1981. Simplified models to predict the break-up of oil on rough seas. *Proceedings of the 1981 Oil Spill Conference*, Publication No.4334, American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [4] Aravamudan, K., P. Ray, J. Ostlund, E. Newman, and W. Tucker, 1982. Break-up of Oil on Rough Seas-Simplified Models and Step-by-Step Calculations. Report No. CG-D-28-82, U.S. Coast Guard, NTIS NO. ADA118 372
- [5] Audunson, T., V. Dalen, J.Mathisen, J.Haldorsen, nd F. Krogh, 1980. SLIKFORCAST-A simulation program for oil spill emergency tracking and long term contingency planning. *Proceedings, Petromar '80*, Monaco
- Bird, R. B., W. E. Steward, and E. N. Lightfoot, 1960. *Transport Phenomena*. Wiley and Sons, New York
- [6] Bishop, J. , 1980. A Climatological Oil Spill Planning Guide, No.1, The New York Bight. National Oceanic and Atmospheric Administration
- [7] Blaikley, D. R. , G. F. L. Dietzel, A. W. Glass and P. J. vanKleef, 1977. SLIKTRAK-A computer simulation of offshore oil spills, cleanup effects and associated costs. *Proceedings of the 1977 Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [8] Blumberg, A. F. and G. L. Mellor, 1978. A coastal ocean numerical model. *in*, *Mathematical Modeling of Estuarine Physics*, Springer-Verlag
- [9] Boyd, J. D. , 1979. A Surface Spill Model for the Great Lakes. Contribution No. 183, Great Lakes Environmental Research Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration
- [10] Cochran, R. and P. Scott, 1971. The growth of oil slicks and their controls by surface chemical agents. *Journal of Petroleum Technology*, pp781-787
- [11] CONCAWE, 1983. Characteristics of Petroleum and It's Behavior at Sea. Report No. 8/83
- [12] Cormack, D. , 1983. Response to Oil and Chemical Marine Pollution. ASP
- [13] Cornillon, P. C. and M. L. Spaulding, 1978. An oil spill fate model. *in*, *Environmental Assessment of Treated versus Untreated Oil Spills*, Second Interim Progress Report, University of Rhode Island

- [14] Dames & Moore, 1979. Oil spill Trajectory Analysis-Lower Cook Inlet, Alaska. Report prepared for Outer Continental Shelf Environmental Assessment Program, National Oceanic and Atmospheric Administration
- [15] Det Norske Veritas, *et al.* , 1977. OILSIM-Oil SpillSimulation Model Phase I. Veritas Report No. 77-441, Det Norske Veritas, Research Division, Oslo, Norway
- [16] DiPietro, N. D. and R. G. Cox, 1979. The dynamics of spreading of oil on the surface of water. *in*, Workshop on the Physical Behaviour of Oili in the Marine Environment (held at Princeton University)
- [17] Duffie, J. A. and W. A. Beckman, 1974. Solar Energy Thermal Processes. Wiley Interscience, New York
- [18] Fannelop, T. K. and G. D. Waldman, 1971. The dynamics of Oil Slicks or Creeping Crude. Paper No.71-4, American Institute of Aeronautics and Astronautics, New York
- [19] Fay, J. A., 1969. The spread of oil slicks on a calm sea. *in*, Oil on the Sea, D. P. Hoult, ed., Plenum Press, pp53-63
 Fay, J. A., 1971. Physical processes in the spread of oil on a water surface. *Proceedings of the Joint Conference on the Prevention and Control of Oil Spills*, American Petroleum Institute, Washington, D.C., pp463-467
- [20] Foda, M. and R.G. Cox, 1980. The spreading of thin liquid films on a water-air interface. *Journal of Fluid Mechanics* (U.K.), v101, part I, pp33-51
- [21] Gault, J. A. and G. M. Torgrimson, 1979. On-scene trajectory modeling for the U.S. response to the Ixtoc-I blowout. *Proceedings of the Workshop on Government Oil Spill Modeling*, Princeton University and National Oceanic and Atmospheric Administration
- [22] Garver, D. R. and G. N. Williams, 1978. Advancements in oil spill trajectory modeling. *Proceedings of the OCEANS '78 Conference*, Marine Technology Society, Washington, D.C. and Institute of Electrical and Electronics Engineers
- [23] Gibbs, R., M. Mathews, and D. Link, 1971. The relationship between sphere size and settling velocity. *Journal of Sedimentary Petrology*, v40, n1, pp7-18
- [24] Harrison, W., M. A. Winnik, P. F. Y. Kwang, and D. Mackay, 1975. Disappearance of aromatic and aliphatic components from small sea-surface slicks. *Environmental Science and Technology*, v9, pp231-234
- [25] Hess, K. W. and C. L. Kerr, 1979. A model to forecast the motion of oil on the sea. *Proceedings of the 1979 Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Washington D.C.

- [26] Hossain, K. and D. Mackay, 1980. Demoussifier-a new chemical for oil spill countermeasures. *Spill Technology Newsletter*, v5, n6, pp154-156
- [27] Huang, J. C. and F. C. Monastero, 1982. Review of the State-of-the-Art of Oil Spill Simulation Models: Final Report, submitted to the American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [28] Huang, J. C. , 1984. A review of the state-of-the-art of oil spill fate/behaviour models. *Proceedings of the 1983 Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Washington, D.C. , pp313-337
- [29] Hunter, J. R. , 1980. An interactive computer model of oil slick motion. *Proceedings, Oceanology International '80* (U.K.), pp42-50
- [30] JAYCOR, 1980. Physical Oceanographic Model Evaluation for the South Atlantic OCS Region. Report to U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, Washington, D.C.
- [31] Johansen, O. , 1982. Dispersion of oil from drifting slicks. *Spill Technology Newsletter*, v8, n7, pp134-149
- [32] Karpen, J. and J. Gault, 1979. Modeling of oil migration in Puget Sound. *Proceedings of the Oceans '79 Conference*, Marine Technology Society, Washington, D.C. and Institute of Electrical and Electronics Engineers
- [33] Kerr, C. and K.Babu, 1979. The collapse of a column of fluid onto a horizontal surface. *in*, Workshop on the physical Behavior of Oil in the Marine Environment, Princeton University
- [34] Kollmeyer, R. C. and M. E. Thompson, 1977. New York harbor oil drift prediction model. *Proceedings of the 1977 Oil Spill Conference* , American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [35] Kolpack, R. L. , N. B. Plutchak, and R. W. Stearns, 1977. Fate of Oil in a Water Environment-Phase II, a Dynamic Model of the Mass Balance for Released Oil. Publication 4313, American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [36] Lange, P. and H. Hufnerfuss, 1978. Drift response of monomolecular slicks to wave and wind action. *Journal of Physical Oceanography*, n8
- [37] Leibovich, S., 1975. A natural limit to the containment and removal of oil spills at sea. *Ocean Engineering*, v3, pp29-36
- [38] Liu, S. K. and J. J. Leendertse, 1979. A Three-Dimensional Model for Estuaries and Coastal Seas: Volume VI, Bristol Bay Simulations. Report R-2405-NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration
- [39] Liu, S. K. and J. J. Leendertse, 1981. A 3-D oil spill model with and without ice cover. *Proceedings of a Workshop on La Mécanique des Nappes d'Hydrocarbures (Mechanics of Oil Slicks)*, Paris

- [40] McAuliffe, D. D., A. E. Smalley, and R. Grover, 1975. Chevron Main Pass block 41 oil spill: chemical and biological investigations. *Proceedings of a Conference on Prevention and Control of Oil Pollution*, American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [41] Mackay, D. and R. S. Matsugu, 1973. Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, v51, pp434-439
- [42] Mackay, D. and P. J. Leinonen, 1977. Mathematical Model of the Behavior of Oil Spills on Water With Natural and Chemical Dispersion. Report EPS-3-EC-77-19, Environmental Protection Service, Fisheries and Environment Canada
- [43] Mackay, D. , I. Bruis, R. Cascarenhus, and S. Peterson, 1980. Oil Spill Processes and Models. EPS, R&D Division, Canada
- [44] Mackay, D., S. Peterson, and K. Trudel, 1980. A Mathematical Model of Oil Spill Behavior. Environmental Protection Service, Fisheries and Environment Canada
- [45] Madsen, O. S. , 1977. A realistic model of the wind-induced Ekman boundary layer. *Journal of Physical Oceanography*, v7, n2, pp248-255
- [46] Mattson, J. and P. Grose, 1979. Modeling Algorithms for the Weathering of Oil in the Marine Environment, Final Report. Research Unit No. 499, Outer Continental Shelf Environmental Assessment Program, National Oceanic and Atmospheric Administration
- [47] Mooers, C. , 1978. Final Report-The Study of Atmospheric Forcing of Georges Bank. EG&G Environmental Consultants
- [48] Moore, S. , R. L. Dwyer, and A. M. Katz, 1973. A Preliminary Assessment of the Environment Vulnerability of Machias Bay, Maine, to Oil Supertankers. Report No. MITSG 73-6, NOAA
- [49] Murray, S. P. , 1972. Turbulent diffusion of oil in the ocean. *Limnology and Oceanography*, v17, n5
- [50] Paily, P. P. , 1981. MOST-The model for oil spill transport. *Proceedings of a Workshop on La Mécanique des Nappes d'Hydrocarbures (Mechanics of Oil Slicks)*, Paris
- [51] Payne, J. R. , 1981. A review of the formation and behavior of water-in-oil emulsions (mousse) from spilled petroleum and tar ball distributions, chemistries and fates in the world's oceans. *Workshop on Inputs, Fates and Effects of Petroleum in the Marine Environment*, Clearwater Beach, Florida
- [52] Perry, R. H. and C. H. Chilton, 1973. *Chemical Engineers Handbook*, 5th ed.

- [53] Pickett, R. L. , 1980. A surface oil spill model for the Great Lakes. *Proceedings of the Workshop on Government Oil Spill Modeling*
- [54] Premack, J. and G. Brown, 1973. Prediction of oil slick motions in Narragansett Bay. *Proceedings of the Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills*, American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [55] Reed, M. , M. L. Spaulding, and P. C. Cornillon, 1980. On Oil Spill-Fishery Interaction Model Development and Applications. U.S. Department of Energy
- [56] Rice, S. D. , 1976. Comparative toxicities of petroleum hydrocarbons in marine organisms. *Proceedings of the NOAA Conference on Fate and Effects of Petroleum Hydrocarbons in Marine Ecosystems and Organisms*, Seattle, Washington
- [57] Smith, R. A. , J. R. Slack, T. Wyant, and K. J. Lanfear, 1980. The Oil Spill Risk Analysis Model of the U.S. Geological Survey. Open-File Report 80-687, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia
- [58] Stewart, R. J. , J. W. Devanney, and W. Briggs, 1974. Oil Spill Trajectory Studies for Atlantic Coast and Gulf of Alaska. MIT Sea Grant Report No. 74-20, Council on Environmental Quality
- [59] Stolzenbach, K. D. , O. S. Madsen, E. E. Adams, A. M. Pollack and C. K. Cooper, 1977. A Review and Evaluation of Basic Techniques for Predicting the Behavior of Surface Oil Slicks. MIT Sea Grant Report No.77-8, NTIS No. PB-268220
- [60] Sydor, M. , 1978. Study of the two-dimensional model of the Saint Lawrence River. *Oil Spill Modeling-Proceedings of a Workshop*, Toronto, Ontario, Canada
- [61] Torgrimson, G. M. , 1981. A comprehensive model for oil spill simulation. *Proceedings of the 1981 Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [62] Tsahalis, D. T. , 1979. Contingency planning for oil spills: RIVERSPILL-a river simulation model. *Proceedings of the 1979 Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [63] Venkatesh, S. , H. S. Sahota, and A. S. Rizkalla, 1979. Prediction of the motion of oil spills in Canadian Arctic waters. *Proceedings of the 1979 Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [64] Ventikos, N. P. , 2006. Ship Source Oil Pollution: The Problem, the Synthesis and the Environment, National Technical University of Athens
- [65] Wang, H. , J. R. Campbell, and J. D. Dimars, 1976. Computer Modeling of Oil Drift and Spreading in Delaware Bay. Ocean Engineering Report No.5, Department of Civil Engineering, University of Delaware

- [66] Wang, H. , W. C. Yang, and C. P. Huang, 1976. Modeling of Oil Evaporation in Aqueous Environment. Ocean Engineering Report No.7, Department of Civil Engineering, University of Delaware
- [67] Wang, H. , and L. Hwang, 1974. A Numerical Model for Simulation of Oil Spreading and Transport and Its Application for Predicting Oil Spill Movement in Bays. NTIS Report No. AD-780-424
- [68] Warner , J. , J. Graham, and R. Dean, 1972. Prediction of the movement of an oil spill on the surface of the water. *Proceedings, Offshore Technology Conference*, Dallas, Texas
- [69] Webb, L. , R. Taranto, and E. Hashimoto, 1970. Operational oil spill drift forecasting. Paper presented at the 7th U.S. Navy Symposium of Military Oceanography, Annapolis, Maryland
- [70] Wheeler, R. B. , 1978. The Fate of Petroleum in the Marine Environment. Special Report. Exxon Production Research Company
Williams, G. N. , R. Hann, and W. P. James, 1975. Predicting the fate of oil in the marine environment. *Proceedings of the Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills*. American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [71] Yang, W. E. and H. Wang, 1977. Modeling of oil evaporation in aqueous environment. *Water Research*, v11, pp879-887
- [72] Fingas F. M., 2003. Modeling evaporation using models that are not boundary-layer regulated. Emergencies Science and Technology Division, Environment Canada, Ottawa, Ontario , Canada
- [73] Aveyard, R. , Binks, B. P. , Fletcher, P. D. I. , Ye , X. & Lu, J. R. (1991). The resolutions of emulsions, including crude oil emulsions in relation to HLB behavior. In *Emulsions-a Fundamental and Practical Approach* (Sjoblom, J., ed.), pp. 97-110. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands
- [74] Berridge, S. A. , Dean, R. A. , Fallows, R. G. & Fish, A. (1968). The properties of persistent oils at sea. *Journal of the Institute of Petroleum*, pp. 300-309
- [75] Bobra, M. A. (1990). A study of the formation of the water-in-oil emulsions. In *Proceedings of the Thirteenth Annual Arctic Marine Oilspill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, Ontario, pp. 87-117
- [76] Bobra, M. A. (1991). Water-in-oil emulsification: a physicochemical study. In *Proceedings of the International Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Washington, DC, pp. 483-488
- [77] Bobra, M. A. (1992). A study of water-in-oil emulsification, Environment Canada, Manuscript Report EE-32

- [78] Aamo, O.M., Reed, M., Downing, K., 1997. Oil spill contingency and response (OSCAR) model system: sensitivity studies. In: Proc. 1997 International Oil Spill Conference, Ft. Lauderdale, Fl., pp. 429–438
- [79] Kullenberg, G., 1982. Pollutant Transfer and Transport in the Sea. CRC Press
2vols
- [80] Lessard, R.R., DeMarco, G., 2000. The significance of oil spill dispersants. Spill Science & Technology Bulletin 6, 59–68
- [81] Schramm, L. L. (1992). Petroleum emulsions--basic principles. In *Emulsions: Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry* (Schramm, L. L., ed.), pp. 1-49. American Chemical Society, Washington, DC
- [82] Sjrblom, J., Urdahl, O., Borve, K. G. N., Mingyuan, L., Saeten, J.O., Christy, A. A. & Gu, T. (1990). Stabilization and destabilization of water-in-oil emulsions from the Norwegian continental shelf: correlation with model systems. *Advances in Colloids and Polymer Science* 82, 131-139
- [83] Sjrblom, J., Mingyuan, L., Christy, A. A. & Gu, T. (1992). Water-incrude- oil emulsions from the Norwegian continental shelf: 7, interfacial pressure and emulsion stability. *Colloids and Surface* 66, 55-62
- [84] EU-MOP. Elimination Units for Marine Oil Pollution-Effectiveness of EU-MOP Oil processing units (2007)

Ηλεκτρονικές Πηγές

- <http://www.sciencedirect.com/>
- <http://www.greenpeace.org>
- <http://www.geocities.com>
- <http://www.noaa.gov>
- <http://www.sintef.no>