



Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

**ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ  
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΕΞΑΜΕΝΟΠΛΟΙΟ «ΑΓΙΑ ΖΩΝΗ ΙΙ» ΣΤΟ  
ΣΑΡΩΝΙΚΟ ΚΟΛΠΟ**



**Λυδία Τσιάτσιου**

**Επιβλέπων: Αναστάσιος Ι. Στάμου, Καθηγητής ΕΜΠ**

**Αθήνα, Νοέμβριος 2018**



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	ii
1. EXTENDED ABSTRACT	1
2. ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΑΣ	10
2.1 Αίτια δημιουργίας πετρελαιοκηλίδων	10
2.2 Τα μεγαλύτερα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδων στην Ελλάδα	11
2.3 Διεργασίες πετρελαιοκηλίδων	13
2.3.1 Εξάπλωση (Spreading)	14
2.3.2 Εξάτμιση (Evaporation)	15
2.3.3 Διασπορά (Dispersion)	16
2.3.4 Διάλυση (Dissolution)	16
2.3.5 Γαλακτωματοποίηση (Emulsification)	16
2.3.6 Φωτοχημική οξείδωση (Photo-oxidation)	17
2.3.7 Καθίζηση (Sedimentation)	17
2.3.8 Βιοαποικοδόμηση (Biodegradation)	18
2.4 Επιπτώσεις στο οικοσύστημα	19
2.5 Επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες	20
2.6 Μέθοδοι αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδων	21
2.6.1 Μηχανικός καθαρισμός	21
2.6.2 Χημικός καθαρισμός	23
2.6.3 Εναλλακτικές μέθοδοι	24
3. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΩΝ	25
3.1 Εισαγωγή	25
3.2 Τύποι Μοντέλων	25
3.2.1 Μοντέλα Oil Weathering	25
3.2.2 Ντετερμινιστικά ή Τροχιοδεικτικά μοντέλα	26
3.2.3 Στοχαστικά Μοντέλα	26
3.2.4 Μοντέλα Hind-Cast	27
3.2.5 Τριών διαστάσεων (3D)	27
3.3 Απαιτήσεις δεδομένων	28
3.3.1 Γενικά	28
3.3.2 Υδροδυναμικά δεδομένα	28
3.3.3 Ανεμολογικά δεδομένα	28
3.3.4 Τύπος πετρελαίου	29

3.4 Σχεδιασμός Έκτακτης Ανάγκης	29
3.5 Επιχειρησιακά μοντέλα	29
3.6 Προσομοίωση Στρατηγικών Αντιμετώπισης	30
3.7 Συμπεράσματα	30
4. Η ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΑ ΣΤΟ ΣΑΡΩΝΙΚΟ ΚΟΛΠΟ ΤΟ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2017	31
4.1 Αγία Ζώνη II	31
4.2 Περιγραφή περιστατικού	32
4.2.1 Σάββατο 9 Σεπτεμβρίου 2017	32
4.2.2 Κυριακή 10 Σεπτεμβρίου 2017	32
4.2.3 Δευτέρα 11 Σεπτεμβρίου 2017	33
4.2.4 Τρίτη 12 Σεπτεμβρίου 2017	35
4.2.5 Τετάρτη 13 Σεπτεμβρίου 2017	36
4.2.6 Πέμπτη 14 Σεπτεμβρίου 2017	39
4.2.7 Παρασκευή 15 Σεπτεμβρίου 2017	40
4.2.8 Σάββατο 16 Σεπτεμβρίου 2017	40
4.2.9 Κυριακή 17 Σεπτεμβρίου 2017	41
4.2.10 Τρίτη 19 Σεπτεμβρίου 2017	42
4.2.11 Πέμπτη 28 Σεπτεμβρίου 2017	43
4.2.12 Η ανέλκυση του δεξαμενόπλοιου «ΑΓΙΑ ΖΩΝΗ II»	48
4.3 Επιπτώσεις	49
5. ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GNOME	53
5.1 Εισαγωγή	53
5.2 Διεργασίες και εξισώσεις μαθηματικού μοντέλου	55
5.2.1 Μετακίνηση	55
5.2.2 Ρεύματα (Current Movers)	56
5.2.3 Άνεμος (Wind Movers)	57
5.2.4 Μετακίνηση στοιχείων λόγω ανέμου (Component Mover)	57
5.2.5 Επιρροή ταχύτητας και εμμονή ανέμου	57
5.2.6 Διάχυση (Diffusion)	58
5.2.7 Εξάτμιση (Evaporation)	60
5.2.8 Προσאיγιάλωση (Beaching)	61
5.2.9 Ανέλκυση- Επανατοποθέτηση (Refloating)	62
5.2.10 Αβεβαιότητα (Uncertainty)	62
5.3 Δεδομένα εισόδου μαθηματικού μοντέλου	63
5.3.1 Χαρακτηριστικά υπολογισμών	63

5.3.2 Χαρακτηριστικά πετρελαιοκηλίδας	63
5.3.3 Χάρτης περιοχής	66
5.3.4 Χαρακτηριστικά ανέμου και ρευμάτων	66
5.4 Αποτελέσματα μαθηματικού μοντέλου	67
6. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΑΣ ΤΟΥ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2017 ΣΤΟ ΣΑΡΩΝΙΚΟ ΚΟΛΠΟ	68
6.1 Σενάρια υπολογισμών	68
6.2 Χαρακτηριστικά υπολογισμών	71
6.3 Αποτελέσματα αρχικών υπολογισμών	72
6.4 Αποτελέσματα τελικών υπολογισμών	82
6.5 Ανάλυση ευαισθησίας	86
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	93



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία διεξάχθηκε στο Τμήμα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Αναστασίου Ι. Στάμου.

Θα ήθελα ιδιαίτερα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου Αναστάσιο Ι. Στάμου που μου έδωσε την ευκαιρία να εργαστώ με αυτό το ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα. Θα ήθελα επίσης να τον ευχαριστήσω τόσο για την βοήθεια, ενθάρρυνση, στήριξη και καθοδήγηση του, όσο και για τα πολύτιμα σχόλια και προτάσεις του που συνέβαλαν καθοριστικά στην επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Παναγιώτη Μακατούνη και την Γεωργία Παπαδονικολάκη για την πολύτιμη βοήθεια και τις χρήσιμες συμβουλές τους.

Επιπρόσθετα, θέλω να ευχαριστήσω τον Δρ. Λαγουβάρδο Κωνσταντίνο από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και την κυρία Κυριακή Κοντοχρήστου από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) για την χορήγηση δεδομένων που συνέβαλαν στη διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, θέλω να εκφράσω ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη και αγάπη στους γονείς μου και τον αδερφό μου για την κατανόηση και στήριξη στις προσπάθειες μου.





## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία τοποθετείται στη μαθηματική προσομοίωση της συμπεριφοράς της πετρελαιοκηλίδας που προκλήθηκε στις 10 Σεπτεμβρίου 2017, από τη βύθιση του δεξαμενόπλοιου «Αγία Ζώνη II» στο Σαρωνικό κόλπο.

Το κύριο μέρος της εργασίας αφορά την επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων και των ρευμάτων εκείνη την περίοδο στην συγκεκριμένη περιοχή από διάφορες πηγές, και την εισαγωγή αυτών. Γίνεται σύγκριση των δεδομένων και βαθμονόμηση αυτών με στόχο το βέλτιστο σενάριο για τους τελικούς υπολογισμούς της προσομοίωσης. Επιπλέον, διεξάγεται περαιτέρω μελέτη μέσω μίας ανάλυσης ευαισθησίας.

Για την προσομοίωση της πετρελαιοκηλίδας χρησιμοποιήθηκε το 2D μαθηματικό μοντέλο GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment).

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια εκτεταμένη περίληψη στην αγγλική γλώσσα.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μία εισαγωγή για τις πετρελαιοκηλίδες, πως μπορούν να προκληθούν, οι διεργασίες που ακολουθούν, τι επιπτώσεις επιφέρουν και πως μπορούν να αντιμετωπιστούν.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφονται τα είδη των μοντέλων που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση και την πρόγνωση τροχιάς των πετρελαιοκηλίδων.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά για το δεξαμενόπλοιο «Αγία Ζώνη II» και περιέχεται η περιγραφή του περιστατικού που προκλήθηκε, με βάση διάφορες πηγές και αναφορές εκείνης της περιόδου.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται το μαθηματικό μοντέλο GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment) σχετικά με χρήση του, με τα δεδομένα εισόδου και με το πως εξάγει τα αποτελέσματα μιας προσομοίωσης.

Στο κεφάλαιο 6 περιγράφονται τα σενάρια υπολογισμών, τα αποτελέσματα, ο τρόπος που έγινε η μαθηματική προσομοίωση με το μοντέλο GNOME και η ανάλυση ευαισθησίας.

Στο κεφάλαιο 7 αναφέρονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν και προτάσεις για περαιτέρω μελλοντική έρευνα και διερεύνηση.

Τέλος, περιλαμβάνεται ένα παράρτημα στο οποίο περιέχονται διαγράμματα των δεδομένων εισόδου και οι πορείες των υπολογισμών που διεξάχθηκε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.



## 1. EXTENDED ABSTRACT

### INTRODUCTION

The tanker Agia Zoni II wrecked from unknown circumstances on the dawn on September 10<sup>th</sup>, 2017 at 01:45 at a waterside point on the island of Salamina. The vessel carried 2362 metric tons Heavy Fuel Oil, 370 metric tons Marine Gas Oil (MGO), about 15 metric tons of bunkers (MGO), approximately 300 litres of lubricants and 200–300 litres of chemicals. In total it carried approximately 2732 metric tons of oil cargo, bunkers and chemicals. Shortly after the incident, approximately 600 metres of floating oil boom was deployed in a circle around the casualty, however, heavy fuel oil patches and slicks, debris and oil sheen were also seen over areas outside the oil boom. Approximately 9 kilometres in length booms and sorbents have been used to either protect uncontaminated areas or to control oil which had already stranded ashore. In total 400 people were hired to clean up contaminated areas. Despite the considerable resources and effort marshalled approximately 4 kilometres of the coastline of Salamina Island, and 20–25 kilometres of the heavily-populated coastline south of Piraeus port and Athens were contaminated, including the oiling of some 300 small pleasure craft berthed in various marinas along the respective coasts. According to the Ministry of Maritime and Island Policy the quantity that formed the oil spill is about 5% of the total amount. This study addresses to simulate the behavior of the oil spill in the Saronic Gulf, where shorelines and open water constitute highly productive regions both ecologically and economically. Because oil tends to persist in shorelines in comparison to open water, the impact on the economy and ecology of shoreline is significantly sizeable. The Health Ministry banned swimming on a 20-kilometer strip stretching from Piraeus to Glyfada on the southern coast of Athens. Also, a swimming ban was enforced on the nearby island of Salamina. The ban had been lifted once the area was cleaned up.



**Figure 1** Map of shorelines affected by the oil spill (IOPC FUNDS, 2017)

There are numerous of oil spill models such as oil weathering, deterministic, stochastic and hind cast models, which are used to simulate oil spill trajectories and the weathering processes of the oil. In this study the oil spill model that is used is the GNOME 1.3.10 (General NOAA Operational Modeling Environment) model. The goal is to simulate the trace of the oil spill and run several scenarios of trajectory, altering specific parameters carrying out a sensitivity analysis investigation. It is assumed that the only source of oil to the shoreline is the oil that reached the surface immediately after the tanker sunk. Furthermore, it is assumed that response effort (skimming, burning, and dispersant application) did not alter the spatial distribution of the oil reaching the shoreline but only reduced the amount of oil reaching the shorelines. This assumption is needed because GNOME has not the option to take treatment mechanisms into consideration.

## **BACKGROUND**

GNOME is written in C++ with careful attention to exploit the language's classes and objects. It is an Eulerian/Lagrangian model that is two-dimensional (2-D) in space and has three model modes: Standard mode, GIS Output mode and Diagnostic mode. In this study the Diagnostic mode is used in order to set the scenarios without GNOME's pre-developed data and have further capabilities. The movement of the oil spill on the water surface occurs by winds, waves, and sea currents. These components affect the oil spill by a combination of physical and chemical processes.

The processes of release, floating, beaching, evaporation and dispersion are simulated succinctly in the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME), with algorithms which describe these weathering processes and move Lagrangian elements (LE), labeled "spots" on the water surface. The movement is based on input data such as sea currents and wind data obtained from hydrodynamic models (structured or unstructured grids) and wind models. The model depicts the "Best Guess" and the "Minimum Regret" (Uncertainty) trajectory. Forecast of winds and currents are usually not accurate enough to generate trajectories within 1 mile of accuracy after 48 hours (Galt, 1998). For this reason, GNOME provides uncertainty parameters for the input data, that are specified from the user. For the latter, a "windage factor", which represents the surface water movement as a percentage of the wind speed is also required. The windage factor is typically around 3% of the wind speed and is usually less than 6% of the wind speed. The GNOME model also assigns a turbulent diffusion coefficient to represent turbulent mixing. The wind data were derived from the atmospheric model POSEIDON, from various weather forecasts, from the Hellenic National Meteorological Service and the National Observatory of Athens.

## METHOD OF APPROACH

The purpose of this study is to provide the simulation of the release of oil at the water surface and its subsequent transport and fate until it reached the shorelines and the islands causing an environmental pollution.

The overall oil spill assessment is modelled as follows: In the simulation, there are 1000 plots released at the water surface of the location, with Latitude: 37.93 and Longitude: 23.56, daily until the tanker was sealed. These plots represent the average amount of oil released to the water surface without depicting any oil volume. The plots represent 137 metric tonnes of Fuel Oil #6 as it was estimated from the Ministry of Maritime and Island Policy with 14.4 hours of refloat half life according to the “General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation” table. The model run period is concerned to be 216 hours of oil spill trajectory from September 10<sup>th</sup> until September 18<sup>th</sup> with computational time step 0.01 hour. Because of problems in reading the Network Common Data (NetCDF), we used wind data (m/s) analysed in EXCEL spreadsheet from the atmospheric model POSEIDON System for a big and a small grid of the region, from the Hellenic National Meteorological Service, from the National Observatory of Athens and from two weather forecasts <https://www.timeanddate.com/weather/greece/athens/historic?month=9&year=2017>, <https://www.wunderground.com/history/daily/gr/elefsis/LGEL/date/2017-9-10>). There are several different results from each source, so the final run is based on calibrated wind data. The current data were obtained from the atmospheric model POSEIDON system. Although several modifications, current data were not able to be used.

The diffusion coefficient selected to be  $50000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ , a value that is appropriate for this type of oil and the “windage factor” fluctuates from 1% to 6%. Oil is expected to be vanished from the surface because of these various physical and chemical mechanisms, such dispersion through entrainment into the water column as droplets because of waves, evaporation, photooxidation, dissolution, emulsion, and biodegradation. All these mechanisms contribute to the weathering of the oil. It is also considered the deposition option of oil preventing the land jumping and not the resuspension because the movement of floating materials is more likely to be beached and not resuspended. Hence this, more accuracy is provided. In addition, based on these assumptions and the final computations, a sensitivity analysis (SA) is carried out altering certain parameters and reaching to variant results and conclusions. Thus, there is also a compare between the final computations and the SA scenarios.

## RESULTS

The runs of the model have shown that every scenario’s computations depend on the quality of the wind data as each of the five sources exceeds different results. The results with the current data where not used as they didn’t gave satisfying computations and where by far not realistic although the modifications there were made. There was almost no movement of the oil spill.

Thus, there was a research of the calibration of the data in order to create a scenario with the final computations which represented better the real incident. The calibrated scenario was made in an EXCEL spreadsheet. The results are shown in Figure 2 and its wind velocity and direction are shown in Diagram 1 and Diagram 2.

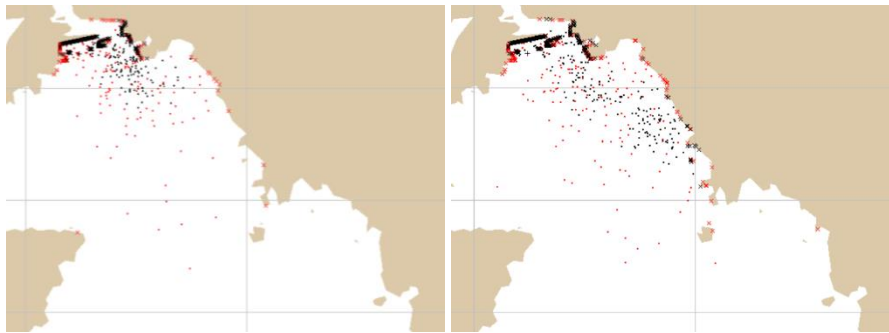
As it can be well seen all polluted areas and shorelines are affected by these final computations and the real incident is good approached.

Furthermore, the sensitivity analysis is constituted of 10 SA (Sensitivity Analysis) scenarios and every one of them resulted to different outcomes depending on the changing parameters. These parameters were: the refloat half time, the diffusion, the number of the splots depicting the oil spill and the amount of the oil in metric tones. The last 2 scenarios SA9 and SA10 which concern the quantity of the oil resulted in differences in the amount of the refloating, the beached, the evaporated and the dispersed oil in contrast with the final computations. The refloat half time varies in SA1 and SA2 based on the "General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation" table. The diffusivity fluctuates from  $5000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$  to  $100000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ . The selected type of oil is concerned to be heavy and it is meritorious to mention that in SA5 and SA6 with diffusion value  $80000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$  and  $100000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$  respectively, the rate is quite big. The SA3 and SA4 represent the computations with diffusion value  $5000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$  and  $10000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$  respectively. Last, SA7 and SA8 depict the oil spill movement with 500 and 10000 splots. The results of the SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, SA6, SA7 and SA8 scenarios are shown in Figure 3, Figure 4, Figure 5, Figure 6, Figure 7, Figure 8.



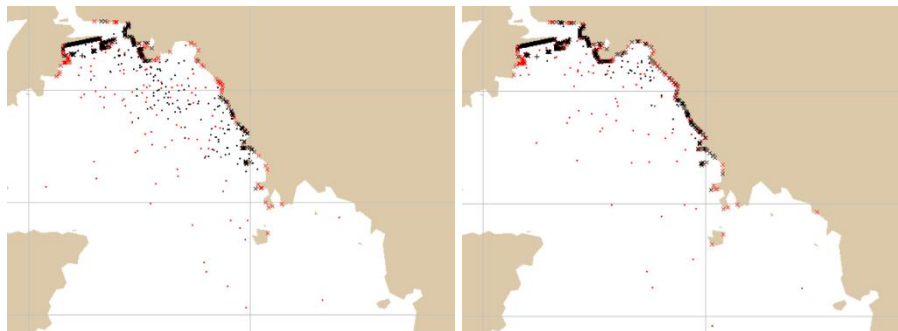
10/09/2017 10:30

12/09/2017 17:00



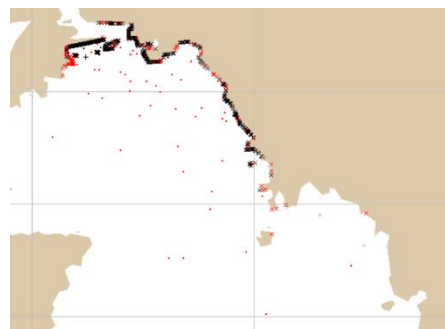
13/09/2017 19:30

15/09/2017 20:00



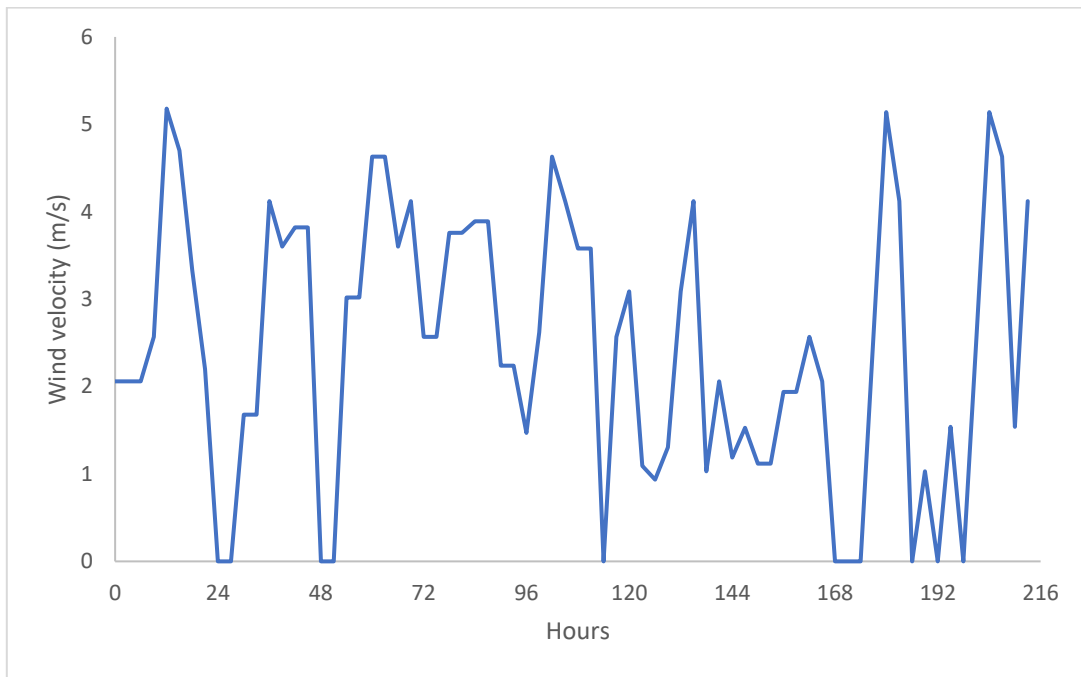
16/09/2017 20:00

17/09/2017 20:00

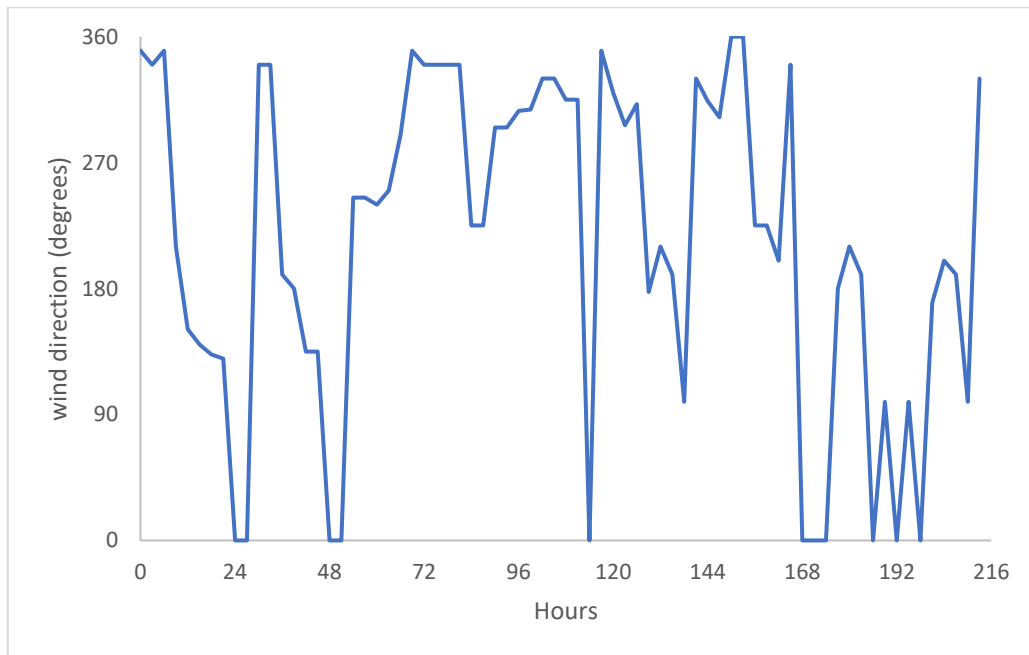


18/09/2017 20:00

**Figure 2** Results of final computations

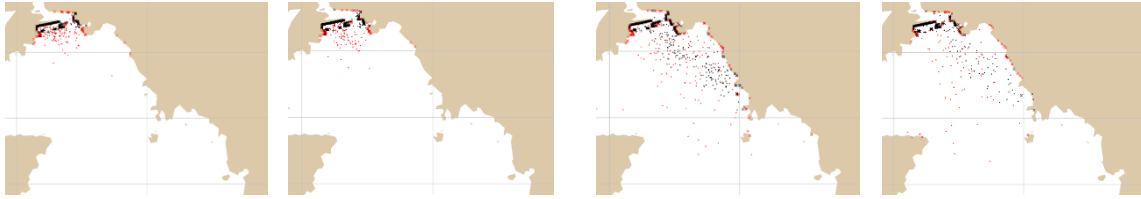


**Diagram 1** Velocity of calibrated wind data



**Diagram 2** Wind direction of calibrated wind data

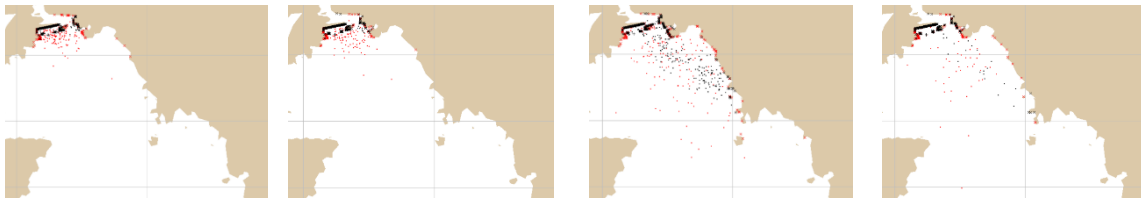




12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

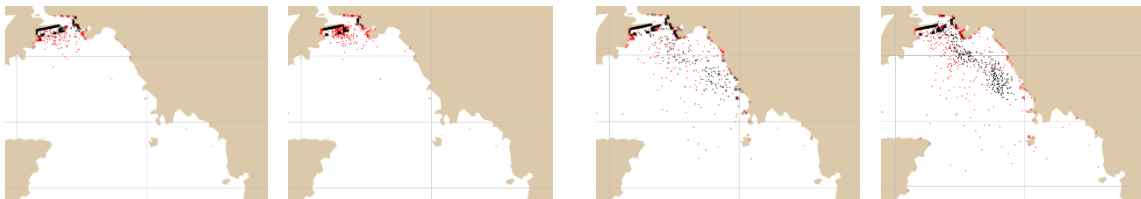
**Figure 3** Computations of SA1 (left pictures show the final computations and right pictures show the SA1 computations in order to compare)



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

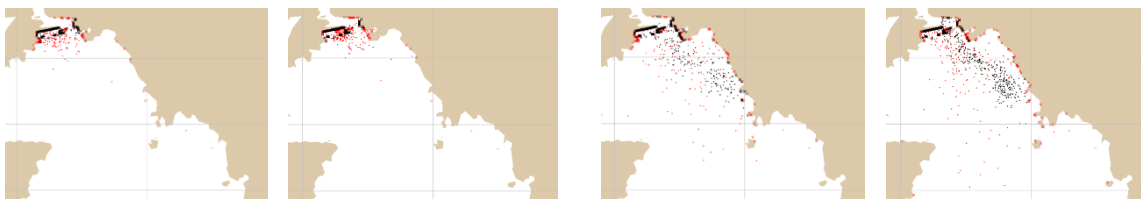
**Figure 4** Computations of SA2 (left pictures show the final computations and right pictures show the SA2 computations in order to compare)



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

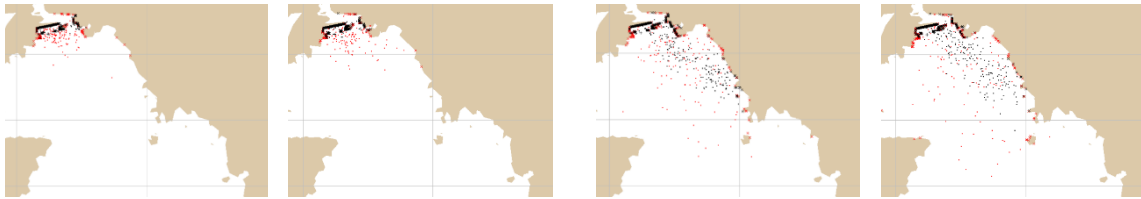
**Figure 5** Computations of SA3 (left pictures show the final computations and right pictures show the SA3 computations in order to compare)



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

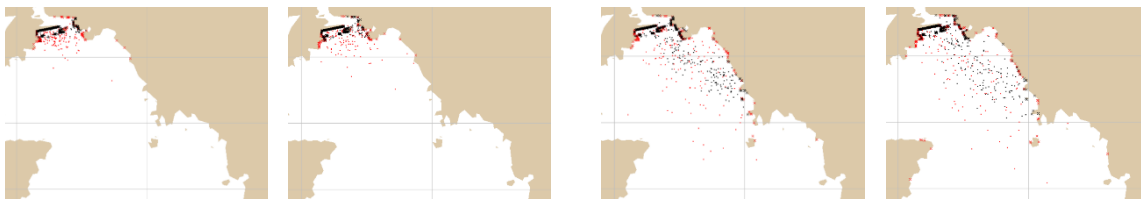
**Figure 6** Computations of SA4 (left pictures show the final computations and right pictures show the SA4 computations in order to compare)



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

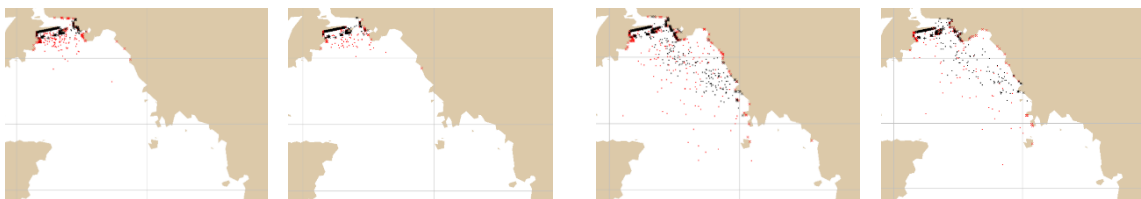
**Figure 7** Computations of SA5 (left pictures show the final computations and right pictures show the SA5 computations in order to compare)



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

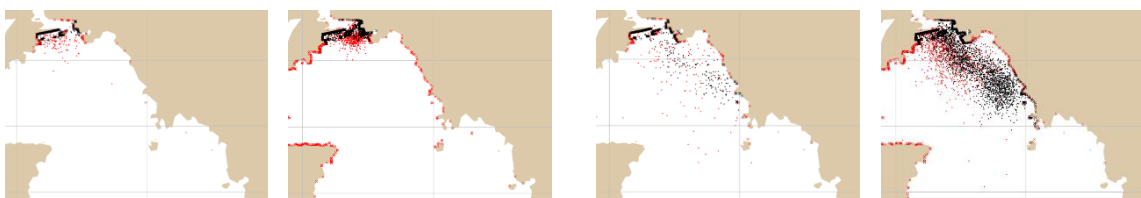
**Figure 8** Computations of SA6 (left pictures show the final computations and right pictures show the SA6 computations in order to compare)



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

**Figure 9** Computations of SA7 (left pictures show the final computations and right pictures show the SA7 computations in order to compare)



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

**Figure 10** Computations of SA8 (left pictures show the final computations and right pictures show the SA8 computations in order to compare)

## CONCLUSION

In this study we used a simplified 2D mathematical model of oil behaviour simulation (GNOME). Several calculations were performed with wind and current data from different sources (see Chapter 6). Also, different amount of oil leakage was used according to the literature data. Based on all the results of the scenarios we ended up in a calibrated scenario representing the real incident at a high level (see module 6.4).

In addition, we performed a sensitivity analysis changing 4 parameters (refloat half life, diffusion, amount of splots, amount of oil leakage). This sensitivity analysis showed that oil simulation models are significantly affected by changes in some parameters and their results are also differentiated.

In the present study, as mentioned above, we used a simplified model, data from different sources, general oil characteristics and unconfirmed input data of the leakage. Therefore, it is difficult to achieve the ultimate approach of the incident as (a) a more specialized model is required, (b) greater analytical data (winds and currents) are in need, and (c) the existence of precision data (such as the amount of the leakage, the exact type of oil, the antipollution methods, etc.) are essential. Maybe due to these missing data we owe the delay of the contamination to the shorelines.

Finally, due to the complexity of the phenomenon, it is very difficult to have clear evidence on the quantities of oil that either arrived at the coast, either evaporated or remained refloated on the surface.

## 2. ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΑΣ

### 2.1 Αίτια δημιουργίας πετρελαιοκηλίδων

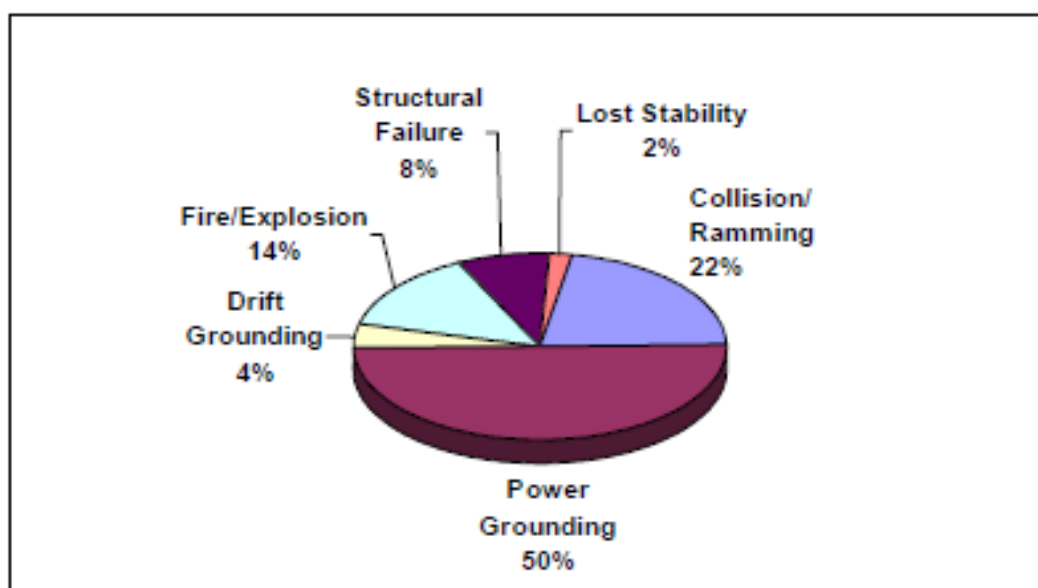
Πετρελαιοκηλίδες μπορούν να προκληθούν από ατυχήματα σε πετρελαιοφόρα δεξαμενόπλοια (βύθιση, δυναμική προσάραξη, σύγκρουση ή επαφή, έκρηξη ή πυρκαγιά), από τον παράνομο καθαρισμό των δεξαμενών καυσίμου των πλοίων στην ανοιχτή θάλασσα και την απόρριψη χρησιμοποιημένων λιπαντικών και υπολειμμάτων καύσης, από ατυχήματα σε εξέδρες υποθαλάσσιων γεωτρήσεων πετρελαίου ή λοιπές εξέδρες αποθήκευσης ή επεξεργασίας πετρελαίου και τέλος από διάφορους ρυπαντικούς παράγοντες λειτουργικής ρύπανσης και ατυχηματικής ρύπανσης. Υπολογίζεται ότι 3.320.000 τόνοι πετρελαίου απορρίπτονται ετήσια στη θάλασσα (Τριανταφύλλου και Βεργέτης, 2004).

Οι περιπτώσεις απωλειών πλοίων ή/και φορτίων που συνήθως οδηγούν σε ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος μπορούν να συνοψιστούν στις εξής:

- Βύθιση πλοίου (Foundering or Sinking) κυρίως στην ανοιχτή θάλασσα λόγω δυσμενών κλιματολογικών συνθηκών ή μετατόπισης φορτίου.
- Δυναμική προσάραξη πλοίου (Power Grounding, ή όταν το πλοίο εξοκείλει (Drift Grounding), συνήθως σε παράκτιες περιοχές με πυκνή κυκλοφορία εξαιτίας μηχανικής βλάβης, κακοκαιρίας, λανθασμένης πλοήγησης. Τα μεγάλα πλοία συχνά πέφτουν θύματα προσάραξης όταν βρίσκονται κοντά σε διεθνή στενά, κανάλια, κ.λ.π, επειδή υπάρχει ελάχιστος χώρος για ελιγμούς.
- Σύγκρουση ή επαφή του πλοίου (Collision/Ramming). Στην πρώτη περίπτωση με άλλο ή με αλλά πλοία κυρίως στις θαλάσσιες περιοχές με συχνή κυκλοφορία (εσωτερικά ύδατα, αιγιαλίτιδες ζώνες, διεθνή στενά). Οι συγκρούσεις τις περισσότερες φορές είναι αποτέλεσμα ανθρώπινου λάθους. Στη δεύτερη περίπτωση με μια μόνιμη εγκατάσταση π.χ. προβλήτες λιμένων, πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου.
- Πυρκαγιά ή έκρηξη (Fire or Explosion) στις περιπτώσεις εκείνες που μεταφέρονται επικίνδυνα φορτία και το πλοίο δεν έχει άμεση βοήθεια από την πλησιέστερη ακτή.
- Απώλειες λόγω πολεμικών εχθροπραξιών (War Loss) ιδιαίτερα όταν τα εμπορικά πλοία έχουν επιταχθεί από την κυβέρνηση ενός κράτους για πολεμικούς σκοπούς και εμπλέκονται σε τέτοιου είδους γεγονότα.
- Ζημιές στη δομή του πλοίου (Structural Failure) ιδιαίτερα στο εξωτερικό περίβλημα ή στα τοιχώματα των δεξαμενών λόγω κλιματολογικών συνθηκών, μετατόπισης φορτίου, κακής συντήρησης με προφανή συνέπεια τη μη αντοχή των υλικών.
- Διάφορα ατυχήματα (Miscellaneous) τα οποία περιλαμβάνουν: i) μικτές μορφές των παραπάνω, π.χ. πυρκαγιά και βύθιση, πρόσκρουση και βύθιση ii) εσκεμμένη βύθιση πλοίου με τη μέθοδο του ανοίγματος οπών στα ύφαλα του πλοίου πιθανότατα για να μην περιέλθει το πλοίο στον έλεγχο του εχθρού η την εξοικονομήσει χρημάτων, π.χ. από την ασφάλεια του iii) εξαφάνιση του πλοίου χωρίς αιτιολόγηση και iv) εγκατάλειψη του πλοίου.

Δεν είναι μόνο τα ατυχήματα δεξαμενόπλοιων που προκαλούν θαλάσσια ρύπανση. Πολλά αλλά είδη πλοίων όπως containers, bulk carriers είναι πιθανό να μεταφέρουν μεγαλύτερες ποσότητες πετρελαίου στις αποθήκες καυσίμου σε σχέση με μικρά tanker

που το μεταφέρουν ως φορτίο. Παρόλο που ατυχήματα και εκλύσεις πετρελαίου (bunker spills) από τέτοιου είδους πλοία είναι σχετικά μικρότερου μεγέθους, τελικά προκαλούν μεγαλύτερα προβλήματα, (συμπεριλαμβανομένου τις μεγαλύτερες διεκδικήσεις αποζημιώσεων) σε σχέση με ανάλογου μεγέθους πετρελαιοκηλίδων από tankers. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με στατιστικές, το 28% των πετρελαιοκηλίδων τα τελευταία 15 χρόνια οφείλονται σε bunker spills από τα προαναφερθέντα πλοία και όχι από tankers, ενώ τα τελευταία 2 χρόνια το ποσοστό αυτό έφτασε το 50% (Τριανταφύλλου και Βεργέτης, 2004).



**Εικόνα 2.1** Κυριότερες αιτίες ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας (Τριανταφύλλου και Βεργέτης, 2004)

## 2.2 Τα μεγαλύτερα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδων στην Ελλάδα

Λόγω της γεωγραφικής της θέσης σε σχέση με τους δρόμους διακίνησης πετρελαίου, στην Ελλάδα έχουν συμβεί πολλά ατυχήματα διαρροής πετρελαίου κυρίως προερχόμενα από ατυχήματα με φορτηγά πλοία τύπου τάνκερ. Στη χώρα μας διακινούνται με πλοία περισσότεροι από 100.000.000 τόνοι πετρελαίου ετησίως τη στιγμή που δεν υπάρχει κανένα μέτρο πρόληψης ενός ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας. Η διακίνησή τους γίνεται κυρίως σε κλειστούς κόλπους με ιδιαίτερη ναυτιλιακή κίνηση, ενώ η ανάπτυξη και η τοποθέτηση των βιομηχανικών περιοχών κατά μήκος του άξονα Θεσσαλονίκης, Βόλου, Αθήνας, Πάτρας δημιουργεί πολλαπλούς κινδύνους ρύπανσης στις γειτονικές θαλάσσιες περιοχές. Εξάλλου, με την αποθήκευση των πετρελαιοειδών, τόσο στα διυλιστήρια, όσο και στα πρατήρια καυσίμων, διαβρώνονται οι εγκαταστάσεις, οπότε το πετρέλαιο και τα προϊόντα του ρυπαίνουν τα υπόγεια νερά και τους υδροφορείς τους. Η Ελλάδα είναι μια χώρα με πλούσιο οικοσύστημα, κλειστές θάλασσες και «κατσαρές» ακτογραμμές γεγονός που συνυπολογιζόμενο με τις στατιστικές που αναφέρουν πως κάθε χρόνο υπολογίζεται ότι 1/1.000 του μεταφερομένου πετρελαίου διεθνώς τελικά διαρρέει στις θάλασσες (κάπου 2 εκατ. τόνοι τον χρόνο), καθιστά το Αιγαίο Πέλαγος (που κυρίως πλήττεται) μια ωρολογιακή βόμβα. Τη Μεσόγειο διαπλέουν κάθε χρόνο περισσότερα από 220.000 πλοία (το 30% του συνολικού όγκου των εμπορικών θαλάσσιων μεταφορών και το 20% της μεταφοράς

πετρελαίου διά πλοίων γίνονται μέσα στη Μεσόγειο) και σε αυτήν καταλήγουν 650.000 τόνοι πετρελαιοειδών κάθε χρόνο. Στην Ελλάδα, εκτός των άλλων, δεν υπάρχουν αρκετές εγκαταστάσεις υποδοχής των πετρελαϊκών αποβλήτων των πλοίων, με αποτέλεσμα, σε συνδυασμό με τον πληθμελή έλεγχο από τις αρμόδιες αρχές, να δίνεται το «πράσινο φως» σε πλοιοκτήτες και καπετάνιους που κερδίζουν χρόνο και χρήμα να αδειάζουν και να καθαρίζουν τις δεξαμενές των καραβιών εν πλω.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα σημαντικότερα ατυχήματα διαρροής πετρελαίου που έχουν συμβεί στην Ελλάδα:

1. 23/2/80, Ατύχημα στο πετρελαιοφόρο "Irenes Serenade" με αποτέλεσμα 40.000 τόνοι πετρελαίου να καταλήξουν στη θάλασσα κοντά στις ακτές της Πύλου.
2. 9/10/93, 800 τόνοι πετρελαίου διαρρέουν στην ευρύτερη περιοχή της Πύλου από το πετρελαιοφόρο "Iliad". Τα ρεύματα παραέσυραν το πετρέλαιο έξω από τον προστατευμένο όρμο και το οδήγησαν στην παραλία της Βοϊδοκοιλιάς. Πετρέλαιο εντοπίστηκε και σε άλλες ακτές. Στην προσπάθεια των δυτών να δουν τις επιπτώσεις από το πετρέλαιο που διέρρευσε από το "Iliad" ανακαλύφθηκαν ορατά ακόμα τα σημάδια από το ατύχημα (μετά από 14 χρόνια). Το πετρέλαιο του "Irenes Serenade" βρέθηκε να καλύπτει σημεία του πυθμένα.
3. 1/10/94, ατύχημα στο πετρελαιοφόρο "La Guardia", κατά τη φορτοεκφόρτωση, στις εγκαταστάσεις του Ασπρόπυργου, με αποτέλεσμα 400-800 τόνοι πετρελαίου να καταλήξουν στον Κόλπο της Ελευσίνας.
4. 8/8/1996, ατύχημα στο πετρελαιοφόρο "Kriti Sea" στα διυλιστήρια της Motor Oil εντός του Σαρωνικού κόλπου στους Άγιους Θεόδωρους κατά τη φορτοεκφόρτωση. Διαρροή 300-500 τόνων στη θάλασσα. Έγινε σημαντική κινητοποίηση για την αντιμετώπιση της πετρελαιοκηλίδας που εκτός από τους Άγιους Θεόδωρους, έφτασε στις ακτές της Αίγινας και του Αγκιστριού. (Ποτουρίδης, 2013).

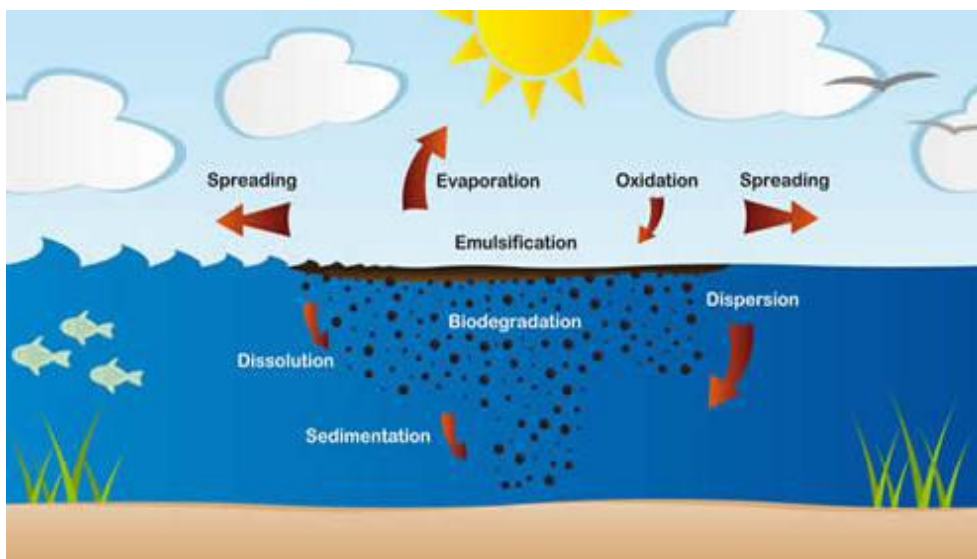
Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται συνοπτικά τα στοιχεία των 10 σημαντικότερων ατυχημάτων που έχουν συμβεί στον Ελλαδικό χώρο (Greenpeace, 2007).

**Πίνακας 2.2** Τα 10 σημαντικότερα ατυχήματα που έχουν συμβεί στον Ελλαδικό χώρο (Greenpeace, 2007)

	<b>Χρονολογία</b>	<b>Πλοίο</b>	<b>Τοποθεσία</b>	<b>Ποσότητα (Τόνοι)</b>
1.	1972	"Trader"	Βόρειο Αιγαίο	36.500
2.	1979	"Μεσσηνιακή Φροντίς"	Καλοί Λιμένες Κρήτης	12.000
3.	1980	"Irenes Serenade"	Πύλος	40.000
4.	1987	"Rabigh Bay III"	Ασπρόπυργος	750
5.	1988	"Jupiter" & "Adige"	Πειραιάς	750
6.	1992	"Geori Chernomorya"	Κεντρικό Αιγαίο	1.700
7.	1993	"Iliad"	Πύλος	800
8.	1994	"La Guardia"	Ασπρόπυργος	600
9.	1996	"Kriti Sea"	Άγιοι Θεόδωροι	400
10.	2000	"Eurobulker X"	Νότιος Ευβοϊκός	300
			Σύνολο:	93.800

### 2.3 Διεργασίες πετρελαιοκηλίδων

Οι δύο κύριοι μηχανισμοί που δρουν σε μια πετρελαιοκηλίδα που διέπει τη μοίρα της είναι η (οριζόντια) μεταφορά και η «γήρανση» του πετρελαίου. Η προσαγωγή του κύριου σώματος της πετρελαιοκηλίδας, μεταφέρεται από τον άνεμο και τη ροή πεδίου. Ορισμένες διαδικασίες συμβάλλουν στην εξαφάνιση του πετρελαίου, ενώ άλλες προκαλούν την αύξηση της μάζας του, επηρεάζοντας ταυτόχρονα την πυκνότητα και τον όγκο του. Οι σημαντικότερες διαδικασίες «γήρανσης» όπου παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.2, είναι η εξάπλωση, η εξάτμιση, η διασπορά, η γαλακτωματοποίηση, η διάλυση, η καθίζηση, η φωτοξείδωση και βιοαποικοδόμηση.

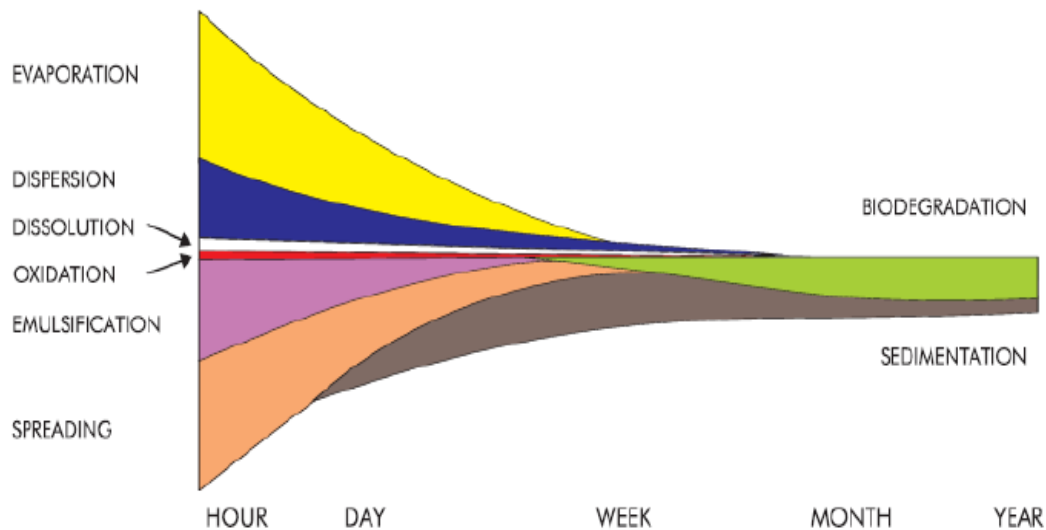


**Εικόνα 2.2** Κύριες διαδικασίες «γήρανσης» πετρελαιοκηλίδας  
(<http://www.itopf.com/marine-spills/fate/weathering-process/>)

Με το που διαρρεύσει μια ποσότητα πετρελαίου στη θάλασσα, το μεγαλύτερο μέρος του πετρελαίου παραμένει στην επιφάνεια της θάλασσας σαν ένα λεπτό φιλμ το οποίο κινείται οριζόντια και οδηγείται κυρίως από τους ανέμους και τα ρεύματα της επιφάνειας. Το δίκτυο μεταφοράς και η κατεύθυνση της διαρροής καθορίζεται από την συμπεριφορά και την αλληλεπίδραση των ανέμων, των κύματων, των επιφανειακών ρευμάτων και από την ορμητική τυρβώδη διάχυση. Η λεπτή μεμβράνη μιας πετρελαιοκηλίδας κινείται κυρίως οριζόντια εξαναγκασμένη από τα ρεύματα που προκαλούνται από τον άνεμο και τη θαλάσσια επιφάνεια, με το μεγαλύτερο μέρος του πετρελαίου να παραμένει κυρίως στην επιφάνεια της θάλασσας. Παρόλα αυτό, ο μηχανισμός διασποράς συμβάλλει στο διαχωρισμό της κατακόρυφης κίνησης του πετρελαίου στη θάλασσα σε μορφή σταγονιδίων διαφόρων μεγεθών. Η βιοαποικοδόμηση, η καθίζηση και η διάλυση συμβάλλουν επίσης στην κατακόρυφη κίνηση των σωματιδίων πετρελαίου, αλλά η επίδρασή τους είναι αμελητέα σε σχέση με τον μηχανισμό της τυρβώδους διάχυσης και της διασποράς.

Δεδομένου ότι το πετρέλαιο είναι ένα μίγμα διαφορετικών οργανικών ενώσεων και όχι μια καθαρή χημική ουσία, οι ιδιότητές του αλλάζουν κατά τη διάρκεια της ζωής της κηλίδας. Οι καθοριστικοί παράγοντες για την εξέλιξη των ιδιοτήτων του πετρελαίου, και συνεπώς η «γήρανση» ή αλλιώς «αποχρωματισμός» είναι περιβαλλοντικοί. Το πιο

καθοριστικό για την τύχη της διαρροής πετρελαίου είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ταχύτητα του ανέμου και οι συνθήκες κύματος. Επίσης, σημαντικοί περιβαλλοντικοί παράγοντες, ανάλογα με την περίπτωση της διαρροής, είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η πυκνότητα του νερού, η αλατότητα, η κάλυψη πάγου και το φορτίο ιζήματος στο νερό (Lehr,2001). Επιπλέον, η συμβολή κάθε διαδικασίας στον «αποχρωματισμό» ποικίλει με το χρόνο και το μέγεθος της διαρροής. Αν και κάθε διεργασία συμβαίνει ταυτόχρονα με τις υπόλοιπες, η σημασία της κάθε μιας στη διάρκεια ζωής της κηλίδας διαφέρει. Οι διεργασίες αυτές απεικονίζονται στην Εικόνα2.3.



**Εικόνα 2.3** Οι διεργασίες αποχρωματισμού στο χρόνο (ITOPF, 2010)

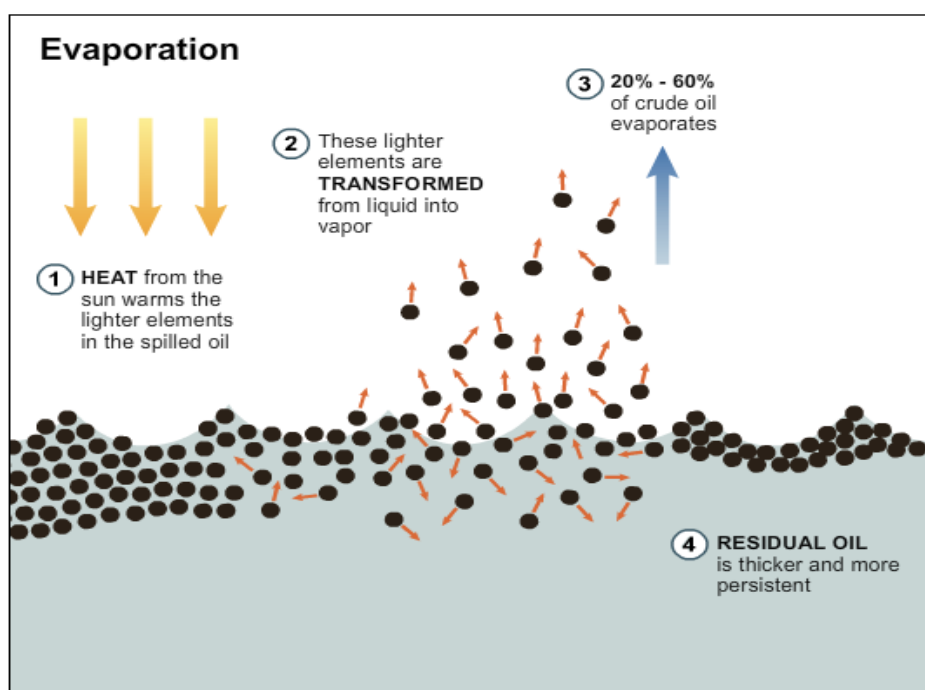
### 2.3.1 Εξάπλωση (*Spreading*)

Η εξάπλωση είναι η οριζόντια επέκταση μιας πετρελαιοκηλίδας πάνω στην επιφάνεια της θάλασσας λόγω των δυνάμεων βαρύτητας, αδράνειας, ιξώδους, διεπιφανειακής τάσης και τυρβώδους διάχυσης. Όταν το πετρέλαιο διαρρεύσει, αρχικά σχηματίζει μια ενιαία κηλίδα με ταχύτητα που εξαρτάται από το ιξώδες του πετρελαίου. Η εξάπλωση συνήθως δεν είναι ομοιόμορφη, ενώ μετά από λίγες ώρες η κηλίδα αρχίζει να διασπάται λόγω της δράσης των ανέμων, των κυμάτων και, γενικά, των αναταράξεων. Σχηματίζει στενές λουρίδες ή παράλληλες «ρυτίδες» προς την κατεύθυνση του ανέμου. Ο ρυθμός με τον οποίο εξαπλώνεται το πετρέλαιο καθορίζεται επίσης από τις επικρατούσες συνθήκες όπως η θερμοκρασία, τα ρεύματα νερού, τα παλιρροιακά ρεύματα και οι ταχύτητες ανέμου. Όσο πιο έντονες είναι οι συνθήκες, τόσο ταχύτερη είναι η εξάπλωση και η διάσπαση του πετρελαίου (<http://www.itopf.com/marine-spills/fate/weathering-process/>). Η μετάβαση από τη μια φάση εξάπλωσης στην άλλη γίνεται πιο αργά για μεγάλο όγκο πετρελαίου. Έχει παρατηρηθεί ότι περίπου 12 ώρες μετά τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδας, το πετρέλαιο μπορεί να διασκορπιστεί σε έκταση μεγαλύτερη των 5 τετραγωνικών χιλιομέτρων (Greenpeace, 2006).



### 2.3.2 Εξάτμιση (Evaporation)

Δεδομένου ότι το πετρέλαιο δεν είναι καθαρό χημικό, η διαδικασία της εξάτμισης του πετρελαίου δεν έχει γίνει σαφώς κατανοητή. Ωστόσο, επιβεβαιώνεται γενικά ότι είναι ο κύριος μηχανισμός της απομάκρυνσης πετρελαίου, ο οποίος μπορεί να οδηγήσει σε 20-40% απώλεια πετρελαίου στις πρώτες ώρες (Gundlach και Boehm, 1981). Αλλάζει επίσης το χημικό μίγμα της κηλίδας καθώς τα ελαφρύτερα συστατικά εξατμίζονται πιο γρήγορα από τους βαρύτερους υδρογονάνθρακες. Έτσι προκαλείται αύξηση του ιξώδους και της πυκνότητας του υπολείμματος πετρελαίου. Μια διαρροή πετρελαίου με μεγάλο ποσοστό φωτός και πτητικές ενώσεις θα εξατμιστεί περισσότερο από ένα μια άλλη με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε βαρύτερες ενώσεις. Για παράδειγμα, τα πετρέλαια βενζίνης, κηροζίνης και ντίζελ, όλα ελαφρά προϊόντα, τείνουν να εξατμίζονται σχεδόν εντελώς μέσα σε μερικές ημέρες, ενώ στην περίπτωση ενός βαρύ μαζούτ θα υπάρξει μικρή εξάτμιση. Γενικά, σε εύκρατες συνθήκες, τα συστατικά του πετρελαίου με σημείο βρασμού κάτω από 200°C τείνουν να εξατμιστούν εντός των πρώτων 24 ωρών. Η εξάτμιση μπορεί να αυξηθεί καθώς το πετρέλαιο εξαπλώνεται και η επιφάνεια της κηλίδας επεκτείνεται. Σε διατεταγμένη θάλασσα και υψηλό άνεμο, οι ταχύτητες και οι υψηλές θερμοκρασίες τείνουν επίσης να αυξάνουν την ταχύτητα της διαδικασίας εξάτμισης (<http://www.itopf.com/marine-spills/fate/weathering-process/>). Γενικά, η εξάτμιση επηρεάζεται από την επιφάνεια, το πάχος της διαρροής, την πίεση ατμών του πετρελαίου, την ηλιακή ακτινοβολία, την ταχύτητα του ανέμου, τη θερμοκρασία, τις συνθήκες στη θάλασσα, την πτητικότητα και τη διάχυση (MacKay και Matsugu, 1973).



Εικόνα 2.4 Εξάτμιση της πετρελαιοκηλίδας

(<http://www.fastcompany.com/1659822/infographic-day-physics-oil-spills>)

### 2.3.3 Διασπορά (Dispersion)

Η πετρελαιοκηλίδα διασπάται σε «τεμάχια» και σταγονίδια διαφόρων μεγεθών λόγω της αναταραχής που προκαλείται από την ενέργεια του ανέμου και των κυμάτων. Τα σταγονίδια αναμιγνύονται με νερό. Τα μικρότερα τείνουν να αναμιγνύονται με θαλασσινό νερό, ενώ τα μεγαλύτερα τείνουν να επιστρέφουν στην επιφάνεια της θάλασσας και πιθανώς να ενωθούν με άλλα σταγονίδια για να ανασχηματίσουν μια κηλίδα. Τα σταγονίδια που παραμένουν εκτεθημένα στο το θαλάσσιο υδατικό σώμα υποβάλλονται ευκολότερα σε άλλες διαδικασίες όπως η διάλυση, βιοαποικοδόμηση και καθίζηση. Αυτός είναι ένας φυσικός μηχανισμός που συμβάλλει στην εξαφάνιση της κηλίδας πετρελαίου, ενώ η προσθήκη χημικών διασκορπιστικών μπορεί να επιταχύνει αυτή τη διαδικασία. Εκτός από τις αντίξοες συνθήκες ανέμου και των κύματων, το χαμηλό ιξώδες πετρελαίου επιταχύνει επίσης τη διασπορά (<http://www.itopf.com/marine-spills/fate/weathering-process/>).

### 2.3.4 Διάλυση (Dissolution)

Η διάλυση συμβάλλει στην εξαφάνιση της πετρελαιοκηλίδας αλλά προκαλεί πολύ λιγότερη απώλεια πετρελαίου σε σχέση με την εξάτμιση και είναι δύο ή περισσότερες τάξεις μεγέθους μικρότερη (Harrison et al., 1975), παρόλο που οι ακριβείς μετρήσεις είναι δύσκολο να επιτευχθούν ακόμη και στο εργαστήριο. Η διεργασία αυτή είναι ενεργή κυρίως μετά τη διαρροή και επηρεάζει μερικά από τα κλάσματα υδρογονάνθρακα όπως η εξάτμιση. Η σύνθεση του πετρελαίου και η περιοχή διεπιφάνειας επηρεάζουν σημαντικά τη διαδικασία διάλυσης. Η συρρίκνωση των σταγονιδίων του πετρελαίου ενισχύει επίσης τη διάλυση αυξάνοντας την διεπιφάνεια μεταξύ του νερού και των σταγονιδίων του πετρελαίου. Σύμφωνα με τον Novelli (2011), είναι μια διαδικασία σχετικά ασήμαντη στον προσδιορισμό της ισορροπίας της μάζας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μόνο λίγα συστατικά του αργού πετρελαίου είναι διαλυτά στο νερό σε έναν αξιόλογο βαθμό. Γενικά, η διάλυση του πετρελαίου στο νερό είναι μικρή και αφορά μόνο τα ελαφρά συστατικά. Τα βαριά συστατικά είναι πρακτικά αδιάλυτα, ενώ οι αρωματικού υδρογονάνθρακες (βενζόλιο, τολουόλιο) είναι ελάχιστα διαλυτοί. Ωστόσο, η διάλυση είναι πολύ σημαντική από την άποψη του δυνητικού βιολογικού παράγοντα δεδομένου ότι τα αραιωμένα συστατικά μπορούν να έχουν τοξικές επιπτώσεις στους θαλάσσιους οργανισμούς.

### 2.3.5 Γαλακτωματοποίηση (Emulsification)

Η γαλακτωματοποίηση είναι η διαδικασία ανάμιξης σταγονιδίων νερού σε πετρέλαιο, σχηματίζοντας ένα γαλάκτωμα. Το πετρέλαιο μπορεί να πάρει μέχρι και το 80% του νερού, αλλάζοντας δραστικά την πυκνότητα του και να αυξήσει τον όγκο του έως και πέντε φορές συγκριτικά με τον αρχικό όγκο. Επίσης αυξάνεται δραστικά το ιξώδες (Jokuty et al., 2000, Xie et al., 2007). Το σχηματισμένο γαλάκτωμα είναι συνήθως πολύ παχύρρευστο και πιο ανθεκτικό από το αρχικό πετρέλαιο. Αυτό επιβραδύνει και καθυστερεί τις άλλες διαδικασίες που επιτρέπουν το διασκορπισμό του πετρελαίου.

Το νερό μετατρέπεται σε ένα παχύ κολλώδες μίγμα, σχηματίζοντας ένα μους αυξημένου ιξώδους και όγκου, το οποίο είναι συχνά που αναφέρεται ως "chocolate mousse" λόγω

της εμφάνισής του. Η γαλακτωματοποίηση επηρεάζεται από το συνθήκες ανέμου και των κυμάτων, καθώς και από χαρακτηριστικά της θερμοκρασίας και της διαρροής (τοπικό πάχος, βαθμός αντοχής κ.λπ.). Οι τύποι των πετρελαίων με περιεκτικότητα σε ασφαλτένιο μεγαλύτερο από 0,5% τείνουν να σχηματίζουν σταθερά γαλακτώματα που μπορεί να παραμείνουν για πολλούς μήνες μετά την αρχική διαρροή. Ενώ οι τύποι πετρελαίου που περιέχουν χαμηλότερο ποσοστό ασφαλτενίων είναι λιγότερο πιθανό να σχηματίσουν γαλακτώματα και είναι περισσότερο πιθανό να διασκορπιστούν. Τα γαλακτώματα μπορούν να διαχωριστούν σε πετρέλαιο και νερό και πάλι εάν θερμανθούν από το ηλιακό φως σε ήρεμες συνθήκες ή όταν θραυτούν στις ακτές (<http://www.itopf.com/marine-spills/fate/weathering-process/>).

### **2.3.6 Φωτοχημική οξείδωση (Photo-oxidation)**

Το οξυγόνο και η ηλιακή ακτινοβολία μπορούν να επιδράσουν σημαντικά στην πετρελαιοκηλίδα. Αυτό εξαρτάται κυρίως από το πάχος του «φιλμ» που έχει δημιουργηθεί κατά τη διαρροή. Υπό την επίδραση έντονου ηλιακού φωτός, λεπτά «φιλμ» διασπώνται με ταχύτητες 0,1% την ημέρα. Η φωτοχημική οξείδωση παχέων στρωμάτων μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους (π.χ. κομμάτια πίσσας) με μεγάλους χρόνους ζωής (Greenpeace Greece, Αύγουστος 2006). Σε ορισμένους τύπους πετρελαίου, σε συνθήκες με μεγάλη ακτινοβολία ηλίου μπορεί να προκαληθούν σημαντικές αλλαγές στη χημική σύνθεση και να επηρεάσουν οι ιδιότητες από τη διεργασία της γαλακτωματοποίησης. Η φωτοχημική οξείδωση δεν είναι σημαντική κατά τις πρώτες ημέρες της διαρροής, αλλά μπορεί να γίνει αισθητή αργότερα (μετά από μια εβδομάδα ή περισσότερο). Επίσης, η διαδικασία αυτή δεν επηρεάζει την ισορροπία της μάζας. Ωστόσο, τα προϊόντα της μπορεί να είναι πιο τοξικά από αυτά του μητρικού υλικού (Lacaze και Villedon de Naide, 1976).

Η φωτοχημική οξείδωση παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην απομάκρυνση των υδρογονανθράκων του διαλυμένου πετρελαίου. Τα αλειφατικά και αρωματικά κλάσματα πετρελαίου οξειδώνονται φωτοχημικά από το φως του ήλιου κυρίως σε πολικές κετόνες, αλδεΐδες, καρβοξυλικά οξέα και εστέρες. Τα προϊόντα αυτά είναι πιο διαλυτά στο θαλασσινό νερό και η φωτοχημική οξείδωση ενισχύει τη συνολική διαλυτοποίηση του άθικτου πετρελαίου. Αυτά τα διαλυμένα προϊόντα μπορούν να υποστούν περαιτέρω οξειδωτικές διεργασίες μέσω άμεσης ή έμμεσης φωτόλυσης. Καθώς η διαδικασία του αποχρωματισμού εξελίσσεται, τα συστατικά στο μίγμα των υδρογονανθράκων του πετρελαίου αποδυναμώνονται από τη διεργασία της φωτοχημικής οξείδωσης. Δημιουργούνται διαφορετικά προϊόντα και αλλάζει το φασματικό περιβάλλον.

### **2.3.7 Καθίζηση (Sedimentation)**

Η καθίζηση είναι η πρόσφυση του πετρελαίου σε στερεά σωματίδια τα οποία αιωρούνται στη στήλη νερού ή καθιζάνουν στον πυθμένα. Συνήθως συμβαίνει με τα βαρέα συστατικά του λαδιού τα οποία δεν διαλύονται στο νερό. Γενικά, το πετρέλαιο προσκολλάται στα αποτριπτικά σωματίδια (σωματίδια που είναι μίγματα οργανικής ύλης, βακτήρια και μικρά σωματίδια αργίλου). Η καθίζηση επίσης συμβαίνει όταν οι θαλάσσιοι οργανισμοί απορροφούν φυσικά διασκορπισμένα σταγονίδια πετρελαίου

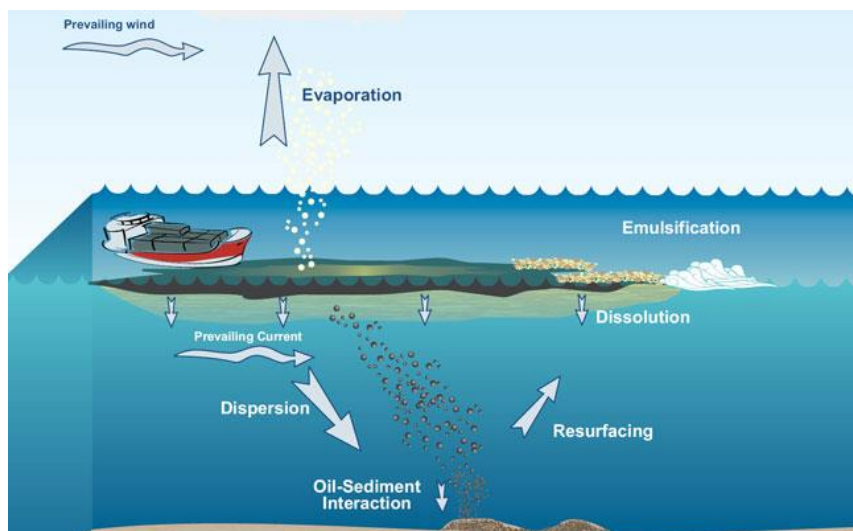
στην υδάτινη στήλη. Προκαλείται επίσης με προσκόλληση σωματιδίων άμμου στο πετρέλαιο και αλλαγές της θερμοκρασίας μπορούν να προκαλέσουν παροδική βύθιση (και στη συνέχεια ανάδυση) του.

Οι σταγόνες πετρελαίου, μπορούν να περάσουν μέσα σε έναν οργανισμό και να εξαλειφθούν ως τμήμα του περιττωματικού υλικού. Καθίζηση μπορεί επίσης να προκληθεί όταν το πετρέλαιο έχει φτάσει στην ακτή και στη συνέχεια ενσωματώνεται με ιζήματα και μεταφέρεται σε χαμηλότερα στρώματα. Το πολύ βαρύ πετρέλαιο μπορεί να βυθιστεί απευθείας στον πυθμένα χωρίς καν την προσρόφηση στα ιζήματα. Αυτή η διαδικασία ενισχύεται καθώς η πυκνότητα του νερού μειώνεται από την εισροή γλυκού νερού (ITOPF, 1987, Neff, 1990).

Αντίθετα, το ελαφρύ πετρέλαιο μπορεί να προσροφήσει αρκετά ιζήματα, είτε μετά από την προσαιγίαλωση στην ξηρά είτε με ανάμιξη με ιζήματα τα οποία έχουν ανασταλεί από τη δράση κύματος. Έτσι, δημιουργείται ένα μίγμα πετρελαίου-ιζημάτων που είναι πυκνότερο από το θαλασσινό νερό. Εάν το ίζημα διαχωρίζεται από τη μάζα του πετρελαίου, το ήδη υπάρχον πετρέλαιο μπορεί να επιπλέψει ξανά στην επιφάνεια.

### 2.3.8 Βιοαποικοδόμηση (Biodegradation)

Η βιοαποικοδόμηση είναι η διαδικασία όπου τα μικρόβια (βακτήρια και μύκητες) μπορούν να χρησιμοποιήσουν το πετρέλαιο σαν πηγή άνθρακα και ενέργειας. Αυτή η διαδικασία εμφανίζεται στην επιφάνεια του νερού, στη στήλη νερού, στα ιζήματα και στην ακτή (Atlas, 1981). Τα μικρόβια που μπορούν να χρησιμοποιήσουν υδρογονάνθρακες βρίσκονται φυσικά στα θαλάσσια ενδιαιτήματα. Ωστόσο, αυξάνονται και πολλαπλασιάζονται μετά από το ατύχημα μίας πετρελαιοκηλίδας αφού πρόσθετες πηγές τροφίμων (άνθρακας) καθίστανται διαθέσιμες. Η βιοαποικοδόμηση μπορεί να συνεχιστεί για χρόνια μετά τη διαρροή και επηρεάζεται από μια ποικιλία οργανισμών. Αυτοί οι μικροοργανισμοί υπάρχουν σε χαμηλές συγκεντρώσεις και βιοαποικοδομούν το πετρέλαιο στη θάλασσα που εμφανίζεται όταν η θάλασσα χλωρίδα και πανίδα πεθαίνουν και αποσυντίθενται (Παπαδοδικολάκη, 2013).



Εικόνα 2.5 Ρύπανση λόγω ναυτικού ατυχήματος

(<http://www.tetrattech.com/en/projects/spillcalc-oil-and-contaminant-spill-model>)

## 2.4 Επιπτώσεις στο οικοσύστημα

Το πετρέλαιο αποτελεί ένα μίγμα από οργανικές ενώσεις, πολλές από τις οποίες είναι τοξικές για τους θαλάσσιους οργανισμούς. Γενικά διακρίνονται τρεις κατηγορίες:

1. Ενώσεις μικρού μοριακού βάρους οι οποίες είναι πτητικές (εξατμίζονται γρήγορα) και για αυτό το λόγο έχουν σχετικά μικρές επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον.
2. Μεσαίου μοριακού βάρους που παραμένουν για μεγαλύτερο διάστημα στο θαλάσσιο περιβάλλον και είναι οι κυρίως υπεύθυνες για την τοξικότητα του πετρελαίου.
3. Μεγάλου μοριακού βάρους (πίσσες), που είναι αδρανείς από χημική άποψη αλλά προκαλούν μηχανικής φύσης παρενέργειες στο οικοσύστημα.

Η τοξικότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη διαλυτότητα στο νερό. Πολλές φορές αυξάνει αντιστρόφως ανάλογα προς το χρόνο έκθεσης στο φως, λόγω του σχηματισμού οξέων.

Η είσοδος των υδρογονανθράκων πετρελαίου στη θαλάσσια τροφική αλυσίδα έχει μελετηθεί σε βάθος και κύριοι τρόποι εισόδου είναι, αρχικά με την κατάποση σωματιδίων στα οποία είναι προσροφημένοι οι υδρογονάνθρακες, με απευθείας πρόσληψη από τα βράγχια, διαλυμένου ή σε διασπορά πετρελαίου, και με κατάποση ρυπασμένου νερού, οπότε και καταλήγουν στα εντόσθια των ψαριών και τέλος μέσω βακτηριδίων όπου συσσωρεύονται και τα οποία αποτελούν τροφή για ορισμένους οργανισμούς. Οι υδρογονάνθρακες πετρελαίου συσσωρεύονται στους λιπαρούς ιστούς πολλών θαλάσσιων οργανισμών. Η μέγιστη συγκέντρωση πρόσληψης που επιτυγχάνεται, εξαρτάται από το περιεχόμενο των οργανισμών σε λιπίδια καθώς και από τη συγκέντρωση των υδρογονανθράκων. Τα σωματίδια του πετρελαίου εκκρίνονται αμετάβλητα από μερικούς οργανισμούς. Τα περιττώματα αυτών των οργανισμών με πυκνότητα μεγαλύτερη του νερού καταβυθίζονται, με αποτέλεσμα να καταλήγουν στα ιζήματα όπου επηρεάζουν τους βενθικούς οργανισμούς (Κοτρίκλα, 2015).

Μερικά από τα μη άμεσα θανατηφόρα αποτελέσματα που μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στην πληθυσμιακή κατανομή των διαφόρων οργανισμών, είναι οι αλλαγές στην αναπαραγωγή, τον μεταβολισμό, τη συμπεριφορά, την ανάπτυξη και την ιστολογία. Τα αποτελέσματα της επίδρασης του πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον, εξαρτώνται από την ευαισθησία του οργανισμού στο πιο ευάλωτο στάδιο της ανάπτυξής του, συνήθως στην ηλικία του νεογνού ή τη νεανική. Παράλληλα με την άμεση βιολογική τοξικότητά του, το πετρέλαιο προκαλεί ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων που απαιτούνται για τις χημικές και βιολογικές αντιδράσεις οξειδωσης. Οι υδρογονάνθρακες πετρελαίου έχουν σημαντική επίδραση στα θαλάσσια φυτά. Οι επιπτώσεις από χρόνια ή οξεία έκθεση εξαρτώνται από το είδος των φυτών, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και το είδος του πετρελαίου. Τα ασπόνδυλα είναι γενικά πιο ευαίσθητα στους υδρογονάνθρακες πετρελαίου απ' ότι τα φύκη. Όσον αφορά στα ψάρια, έχει αποδειχθεί πως οι υδρογονάνθρακες πετρελαίου επηρεάζουν τη δράση διαφόρων ενζυμικών συστημάτων, τη δομή των ιστών, και ελαττώνουν τη γονιμότητά τους. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις προκαλούν αναισθησία και νάρκωση, ενώ σε μεγαλύτερες, βλάβες και νεκρώσεις στα κύτταρά τους. Η μεγάλη τοξικότητα του πετρελαίου για τους θαλάσσιους οργανισμούς, είναι αποτέλεσμα της άμεσης επίδρασης



των υδρογονανθράκων σε βασικές κυτταρικές διεργασίες και ειδικότερα σε διεργασίες μεμβράνης.

Οι επιπτώσεις από την έκχυση πετρελαίου στη θάλασσα διακρίνονται σε μακροπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες. Αποτέλεσμα είναι η μείωση της διαπερατότητας του φωτός που μπορεί να φτάσει μέχρι το 90% σε βάθος 2 μέτρων κάτω από τη στοιβάδα πετρελαίου, σε σύγκριση με μη ρυπασμένες, από πετρέλαιο περιοχές. Έτσι αναστέλλεται η φωτοσύνθεση των θαλασσίων φυτών, όταν η στοιβάδα του πετρελαίου παραμείνει για μεγάλο χρονικό διάστημα (Σαρηγιάννης, 2008).

Επίσης μειώνεται σημαντικά η δυνατότητα διάλυσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου στο νερό, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ασφυκτικών καταστάσεων για τη βιοκοινωνία. Μια άλλη συνέπεια της παρουσίας του πετρελαίου στη θάλασσα είναι η ανάληψη υπάρχουσων λιποδιαλυτικών ενώσεων, όπως χλωριωμένα παρασιτοκτόνα κ.α. που μεταφέρονται σε πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στις ακτές.

Το πετρέλαιο επιδρά στην αναπαραγωγή, την ανάπτυξη, και τη συμπεριφορά των οργανισμών. Σε γενικές γραμμές, στην ανοιχτή θάλασσα και τις παράκτιες περιοχές, τα ενήλικα ψάρια με εμπορική σημασία για τον άνθρωπο έχουν την ικανότητα να αποφεύγουν περιοχές στις οποίες επιπλέει πετρέλαιο και σπάνια πεθαίνουν (Κοτρίκλα, 2015). Τα αυγά των ψαριών και οι προνύμφες τους όμως είναι ευάλωτα στη ρύπανση από πετρέλαιο και έχει παρατηρηθεί θάνατος των προνυμφών και μείωση του ποσοστού εκκολαπτόμενων αυγών σε συγκεντρώσεις πετρελαίου 10-25 ng/L. Υπάρχουν αναφορές για ανάπτυξη όγκων σε ψάρια και δίθυρα που διαβιούν σε περιοχές με χρόνια ρύπανση από υδρογονάνθρακες πετρελαίου. Επίσης το πετρέλαιο αυξάνει την ευαισθησία των ψαριών στις ασθένειες (Clark, 2003).

Τέλος στον παράκτιο χώρο, οι βραχώδεις ακτές λόγω της υψηλής ενέργειας (κυματισμός, παλίρροιες κλπ.) το πετρέλαιο ξεπλένεται γρήγορα. Παρόλα αυτά υπάρχουν φαινόμενα άμεσης τοξικότητας στα χλωροφύκη και στα ροδοφύκη, καθώς και σημαντικές, άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στους πληθυσμούς των φυτοφάγων οργανισμών. Οι επιπτώσεις στις αμμόδεις και ιλυώδεις ακτές είναι σημαντικότερες επειδή το πετρέλαιο ενσωματώνεται στο επιφανειακό ίζημα με αποτέλεσμα τη δημιουργία ανοξικών συνθηκών. Η πανίδα που ζει στην επιφάνεια της άμμου υφίσταται τόσο την άμεση τοξική δράση του πετρελαίου, όσο και τις έμμεσες συνέπειες που έχει αυτό στην τροφή της, δηλαδή την ενδοπανίδα. Επιπλέον η χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου έχει ως αποτέλεσμα τη βραδύτερη αποικοδόμηση του πετρελαίου και επομένως την περαιτέρω εμμονή της τοξικής του δράσης (WWF Ελλάς, 2017).

## **2.5 Επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες**

Οι κύριες ανθρωπογενείς δραστηριότητες που επηρεάζουν το παράκτιο θαλάσσιο οικοσύστημα του Σαρωνικού μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής: αστικοποίηση, βιομηχανία (δυλιστήρια, χαλυβουργία, βυρσοδεψία), αλιεία, υδατοκαλλιέργειες, τουρισμός, ναυτιλία. Συγκεκριμένα, οι διεθνείς και εθνικές ναυτιλιακές δραστηριότητες που διεξάγονται στην ευρύτερη περιοχή του Πειραιά, ένα από τα μεγαλύτερα λιμάνια

της Ευρώπης και του κόσμου, δημιουργούν εστίες ρύπανσης μέσω ναυαγίων όπως το εν λόγω, παρατημένα πλοία και εκροές από μηχανοστάσια.

Η αισθητική ρύπανση και υποβάθμιση των παράκτιων περιοχών που αποτελούν χώρους αναψυχής και η ελάττωση της ελκυστικότητας των παραλιών εξαιτίας της προσβολής τους από μία πετρελαιοκηλίδα, μπορούν να έχουν σοβαρότατο αντίκτυπο στην τουριστική βιομηχανία και γενικότερα στην οικονομία μίας περιοχής. Εκτός όμως από τις επιπτώσεις στον τουρισμό, δεν μπορεί να παραβλεφθεί και η ακύρωση οποιασδήποτε ανθρώπινης ψυχαγωγικής δραστηριότητας σε μία ρυπασμένη περιοχή. Η ρύπανση, μπορεί να προκαλέσει σειρά επιπτώσεων που συνδέονται με την περιβαλλοντική ευαισθησία των κατοίκων της πληγείσας περιοχής και τη σοβαρότητα με την οποία αντιμετωπίζουν τη μη χρηστική διάσταση του περιβάλλοντος.

Η αλιευτική βιομηχανία είναι ένα ακόμη θύμα της πετρελαϊκής ρύπανσης. Είτε μέσω της καταστροφής ή της υποβάθμισης των αλιευτικών εργαλείων των αλιέων από το πετρέλαιο, είτε μέσω της υποβάθμισης αλιευτικών πεδίων και τη μείωση πληθυσμών ψαριών, η επαγγελματική αλιεία επηρεάζεται σημαντικά. Η συμπεριφορά των καταναλωτών επηρεάζεται άμεσα από τέτοια είδους περιστατικά.

Στην περιοχή του Σαρωνικού είναι νηολογημένα 1034 επαγγελματικά αλιευτικά σκάφη μέσης και παράκτιας αλιείας (897 στην ευρύτερη περιοχή που επηρεάστηκε από την πετρελαιοκηλίδα) αν και δεν είναι απαραίτητο ότι αυτά τα σκάφη ψάρευαν εντός του Σαρωνικού κόλπου. Γενικώς όσον αφορά στην ποσότητα αλιευμάτων κατά περιοχή αλιείας, ο Σαρωνικός μαζί με τον Αργολικό κόλπο (όπως δηλαδή εμφανίζονται τα στοιχεία από την ΕΛ.ΣΤΑΤ) είναι η 4η περιοχή αλιείας στην Ελλάδα σε σύνολο 16 (ΕΛ.ΣΤΑΤ, 2017). Επιπλέον στη Σαλαμίνα υπάρχουν μονάδες υδατοκαλλιέργειας και γενικά η Αττική έχει το 8% των μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας της Ελλάδας ( WWF Ελλάς, 2017).

## **2.6 Μέθοδοι αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδων**

### **2.6.1 Μηχανικός καθαρισμός**

Στον μηχανικό καθαρισμό συνήθως χρησιμοποιούνται φράγματα που βοηθούν στον περιορισμό της έκτασης της ρύπανσης και στη συγκέντρωση του ρύπου για την περισυλλογή του με πετρελαιοσυλλέκτες, σκάφη απορρύπανσης, απορροφητικά υλικά και άλλα.

Τα φράγματα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους:

- Τύπου φράκτου
- Τύπου κουρτίνας

Ο τύπος του φράγματος που θα επιλεγεί και ο τρόπος που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, σημαντικότεροι από τους οποίους είναι οι :

- Η θέση και το μέγεθος της κηλίδας
- Η κίνησή της

- Μετεωρολογικές συνθήκες
- Υδρολογικές συνθήκες
- Μορφολογία ξηράς και σχήμα υδάτινης μάζας
- Προτεραιότητες όσον αφορά την προστασία

Οι λειτουργίες του φράγματος είναι:

- Εγκλωβισμός

Τα φράγματα αναπτύσσονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να εμποδίζεται η εξάπλωση του πετρελαίου στην επιφάνεια της θάλασσας. Η χρησιμοποίηση της μεθόδου εγκλωβισμού βοηθά στον περιορισμό του πετρελαίου που διέρρευσε κοντά στην πηγή διαρροής και στην παρεμπόδιση της εκ νέου ρύπανσης μιας ακτής από πετρέλαιο το οποίο έχει εγκλωβιστεί σε μικρούς κόλπους, εσοχές, παραλίες κ.λπ.

- Απόκλιση

Η λειτουργία της απόκλισης χρησιμεύει στην εκτροπή της εξάπλωσης του πετρελαίου από μια ευαίσθητη οικολογικά ή και οικονομικά περιοχή προς μία άλλη λιγότερη ευαίσθητη και πλέον κατάλληλη για την περισυλλογή του πετρελαίου.

- Προστασία

Όταν μια ιδιαίτερα ευαίσθητη περιοχή (περιβαλλοντικά, οικονομικά, τεχνολογικά) πρέπει να προστατευθεί από το πετρέλαιο τότε εφαρμόζεται προστατευτική περίφραξη, που συνδυάζεται στη συνέχεια με ανάκτηση του πετρελαίου.

- Περισυλλογή

Κατά την περισυλλογή γίνεται συγκέντρωση του ρύπου που επιπλέει στην επιφάνεια της θάλασσας, διευκόλυνση της απομάκρυνσής του και ελαχιστοποίηση της εξάπλωσης της κηλίδας. Τα φράγματα χρησιμοποιούνται με στατικό τρόπο (αγκυροβολημένα για εγκλωβισμό και εκτροπή και προστασία) ή με κινητικό τρόπο για περισυλλογή.

Η απόδοση των φραγμάτων και η ικανότητα εγκλωβισμού του πετρελαίου εξάρταται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν, δηλαδή από την ταχύτητα του ανέμου, την ταχύτητα του ρεύματος και το ύψος κύματος.

Οι πετρελαιοσυλλέκτες (Skimmers) είναι κάθε μηχανική συσκευή που έχει ειδικά κατασκευαστεί για να συλλέγει το πετρέλαιο (ή το μίγμα νερού/πετρελαίου) από την επιφάνεια της θάλασσας, χωρίς να αλλάξουν τα φυσικά ή και τα χημικά χαρακτηριστικά του.

- Μηχανικοί πετρελαιοσυλλέκτες

Οι συσκευές αυτού του τύπου βασίζονται στις ιδιότητες των πετρελαίων και των μιγμάτων πετρελαίου/νερού, καθώς και στη διαφορά πυκνότητας μεταξύ ρύπου και του νερού.



- Ελαιόφιλοι πετρελαιοσυλλέκτες

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στα χαρακτηριστικά ορισμένων υλικών που έχουν μεγαλύτερη συγγένεια στο πετρέλαιο παρά στο νερό. Τα υλικά είναι γνωστά ως ελαιόφιλα .

- Φράγματα περισυλλογής

Οι μονάδες αυτές είναι συνδυασμός φράγματος και πετρελαιοσυλλέκτη. Τα φράγματα περισυλλογής όπως αποκαλούνται οι μονάδες ανάκτησης αυτού του τύπου, αποτελούνται από ένα μέρος φράγματος με ενσωματωμένη συσκευή ανάκτησης πετρελαίου ή ξεχωριστό πετρελαιοσυλλέκτη , που συνδυάζεται με το φράγμα.

Τα σκάφη περισυλλογής (Skimmer Vessels) είναι σκάφη των οποίων ο κύριος τύπος που χρησιμοποιείται έχει ενσωματωμένη κάποια ειδική διάταξη, ανάλογη συσκευή, μηχανική ή ελαιόφιλη, για τη συλλογή του πετρελαίου. Άλλοι πάλι τύποι δέχονται διαφόρων ειδών συσκευές περισυλλογής. Οι μεγαλύτεροι τύποι σκαφών διαθέτουν και δεξαμενές απόθεσης του πετρελαίου ενώ είναι ικανά για μεγαλύτερους ρυθμούς ανάκτησης, καλύτερη απόδοση και μπορούν να λειτουργήσουν και σε διαταραγμένη θάλασσα. Τα βασικά χαρακτηριστικά των σκαφών αυτών είναι η χρήση τους στην ανοιχτή θάλασσα. Η απόδοσή τους είναι αρκετά καλύτερη από αυτή των συσκευών περισυλλογής και μπορούν να χαρακτηρισθούν ανάλογα με το σύστημα ανάκτησης του ρύπου που χρησιμοποιούν.

Τα απορροφητικά υλικά, είναι υλικά που χρησιμοποιούν απορροφητικές ή προσκολλητικές ιδιότητες προκειμένου να περισυλλέξουν ρευστά, πιο συγκεκριμένα το πετρέλαιο. Τα υλικά αυτά διακρίνονται ανάλογα με την πρώτη ύλη κατασκευής τους σε:

- Συνθετικά- Πολυμερή
- Κατεργασμένα ορυκτά
- Κατεργασμένα φυτικά

Η απόδοση και η ικανότητα ανάκτησής τους εξαρτάται από την απορροφητική ικανότητα, (ο λόγος της συνολικής ποσότητας πετρελαίου που ανακτάται προς το βάρος του απορροφητικού), την απορροφητικότητα (ο λόγος της ποσότητας ρύπου προς τη συνολική ποσότητα μίγματος νερού-πετρελαίου που ανακτάται και χαρακτηρίζει το κατά πόσο το υλικό είναι ελαιοφιλικό) και ο χρόνος κορεσμού (η ποσότητα που ανακτάται στη μονάδα του χρόνου).

### **2.6.2 Χημικός καθαρισμός**

Οι χημικές διασκορπιστικές ουσίες είναι μίγματα στα οποία περιλαμβάνονται επιφανειακά ενεργές ουσίες όπου μειώνουν την επιφανειακή τάση μεταξύ νερού και πετρελαίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διάσπαση μιας πετρελαιοκηλίδας σε πολύ μικρά σταγονίδια που διασκορπίζονται εν συνεχεία στην υδάτινη στήλη, λόγω της φυσικής κίνησης του νερού. Τα διασκορπιστικά αποτελούνται από δύο κύρια συστατικά. Ένα προσκολλητικό επιφανείας και κατάλληλο διαλύτη. Τα προσκολλητικά είναι μόρια τα οποία έλκονται από δύο διαφορετικά υγρά, τα οποία δεν αναμιγνύονται, και δρουν ως διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ τους. Ένα μέρος των ουσιών αυτών έχει ολεοφιλικές

ιδιότητες ενώ ταυτόχρονα έλκεται από το νερό. Ο διαλύτης συντελεί στην διάσπαση του πετρελαίου σε σταγονίδια.

Υπάρχουν και άλλα χημικά τα οποία χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους ή χρησιμοποιούνται προκειμένου να καταστήσουν δυνατή την ανάκτηση του πετρελαίου με μηχανικά μέσα. Μερικά κύρια από αυτά είναι: μέσα καταβύθισης, πτητικά μέσα/στερεοποιητές, απογαλακτοποιητές, βιολογικά μέσα, μεταβολείς επιφανειακής τάσης, μέσα ανάφλεξης και άλλα.

### **2.6.3 Εναλλακτικές μέθοδοι**

Υπάρχουν μέθοδοι υπό μελέτη οι οποίες λειτουργούν ως συμπληρωματικές ή εναλλακτικές ενέργειες στη διαδικασία απορρύπανσης. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι η βιοαποικοδόμηση (Bioremediation) και η μέθοδος της επί τόπου καύσης (In-Situ Burning).

Η βιοαποικοδόμηση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα σύνολο διαδικασιών (προσθήκη ουσιών), που χρησιμοποιούνται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να αυξήσουν τους ρυθμούς της φυσικής αποικοδόμησης του πετρελαίου. Μια από τις σημαντικότερες μακροχρόνιες φυσικές διαδικασίες για την αφαίρεση του πετρελαίου από το θαλάσσιο περιβάλλον, είναι η αποικοδόμησή του από φυσικούς μικροοργανισμούς.

Η επί τόπου καύση είναι μια μέθοδος η οποία έχει τη δυνατότητα να απομακρύνει μεγάλες ποσότητες πετρελαίου από την επιφάνεια της θάλασσας. Πρακτικά προβλήματα όμως περιορίζουν τις δυνατότητες της χρήσης της μεθόδου αυτής. Τέτοια προβλήματα είναι η ανάφλεξη, η διατήρηση της καύσης, οι μεγάλες ποσότητες καπνού στην ατμόσφαιρα, η δημιουργία και πιθανή βύθιση εξαιρετικά παχύρρευστων υπολειμμάτων και λόγοι ασφαλείας (Τριανταφύλλου και Βεργέτης, 2004).

### 3. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΩΝ

#### 3.1 Εισαγωγή

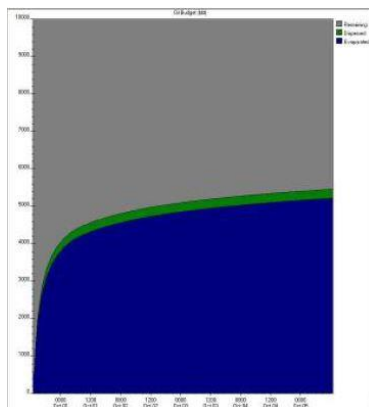
Τα μοντέλα πετρελαιοκηλίδων χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της πιθανής τύχης και της συμπεριφοράς πετρελαίου στο νερό. Συμβάλλουν στην ενίσχυση ετοιμότητας σε περίπτωση διαρροής πετρελαίου, στην προετοιμασία σχεδίου έκτακτης ανάγκης, καθώς και στην ανάπτυξη και στην προετοιμασία αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδων. Η μοντελοποίηση της πετρελαιοκηλίδας και της περαιτέρω κίνησης της καθιστάται εργαλείο ζωτικής σημασίας για την υποστήριξη των ενεργειών αντιμετώπισης σε πρώιμο στάδιο σε περιστατικά θαλάσσιας ρύπανσης και να αποτελέσει συμπληρωματικό εργαλείο στην παρακολούθηση της όταν η οπτική παρακολούθηση δεν είναι διαθέσιμη.

Η πορεία μιας πετρελαιοκηλίδας μπορεί να υπολογιστεί από τον συνδιασμό των δεδομένων των ρευμάτων και του ανέμου πάνω σε ένα σύστημα αναφοράς. Παλαιότερα η πληροφορία αυτή γινόταν χειρόγραφα σε ναυτικούς χάρτες, με αποτέλεσμα κάποιες πρόχειρες εκτιμήσεις. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας αναπτύχθηκε λογισμικό μοντελοποίησης με στόχο την πρόβλεψη της ρύπανσης της πετρελαιοκηλίδας και την εκτίμηση της τύχης και της συμπεριφοράς του πετρελαίου μέσω πολύπλοκων αλγορίθμων.

#### 3.2 Τύποι Μοντέλων

##### 3.2.1 Μοντέλα Oil Weathering

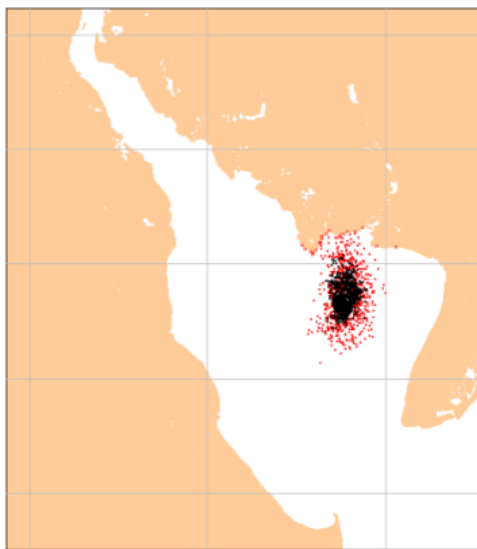
Μοντέλα που προβλέπουν τις μεταβολές των χαρακτηριστικών του πετρελαίου κατά τη διάρκεια του χρόνου όταν βρίσκεται υπό διάφορες περιβαλλοντικών συνθηκών. Μερικές περιβαλλοντικές παράμετροι είναι η θερμοκρασία του νερού, το ύψος κύματος, οι ταχύτητες των σωματιδίων, η αλατότητα και άλλα, οι οποίες εισάγονται από στο μοντέλο από τον χρήστη, όπως και ο τύπος του πετρελαίου από μία βάση δεδομένων. Το μοντέλο εκτιμά το ποσοστό των μεταβολών του πετρελαίου από τις διεργασίες εξάτμισης, γαλακτωματοποίησης και εξάπλωσης. Χαρακτηριστικά αυτών των μοντέλων είναι ευκολία στη χρήση και η γρήγορη λειτουργία.



Εικόνα 3.1 Μοντέλο ADIOS 2, NOAA (iTAC, 2008)

### 3.2.2 Ντετερμινιστικά ή Τροχιοδεικτικά μοντέλα

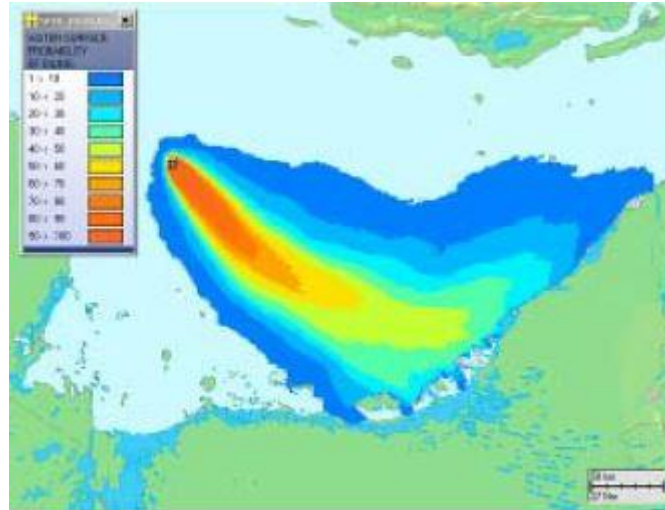
Μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της τροχιάς μιας πετρελαιοκηλίδας στην πάροδο του χρόνου και συνήθως εκτιμούν την αλλαγή των ιδιοτήτων του πετρελαίου κάτω από συγκεκριμένες υδροδυναμικές και μετεωρολογικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα των μοντέλων αυτών περιλαμβάνουν την κατάσταση της κηλίδας όσο αφορά τον όγκο, τη διασπορά, τη γαλακτωματοποίηση και την εξάτμιση της στην πάροδο του χρόνου. Εξάγονται αποτελέσματα για τις αλλαγές στις ιδιότητες του πετρελαίου κατά τη διάρκεια της ρύπανσης (π.χ. ιξώδες και σημείο ανάφλεξης), πιθανές τοποθεσίες προσαιγιάλωσης και εκτιμήσεις της συνολικής ποσότητας που προσαράσσεται στις ακτές.



Εικόνα 3.2 Μοντέλο GNOME (<https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/response-tools/gnome.html>)

### 3.2.3 Στοχαστικά Μοντέλα

Μοντέλα τα οποία είναι γνωστά και ως πιθανοτικά μοντέλα και προβλέπουν που υπάρχει πιθανότητα ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας σε καθορισμένες χρονικές περιόδους. Για τα μοντέλα αυτά απαιτούνται ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα που να περιέχουν τη συχνότητα της ταχύτητας και τη διεύθυνση του ανέμου και με συνδιασμό όλων των πιθανών σεναρίων απεικονίζεται σε ποια περιοχή υπάρχει πιθανότητα εξάπλωσης πετρελαίου. Τα αποτελέσματα του μοντέλου δείχνουν μόνο την πιθανότητα των περιοχών ενδέχεται να μολυνθούν από την πετρελαιοκηλίδα και όχι την ποσότητά της. Έτσι εκτιμάται ποιες ακτές είναι πιθανό να κινδυνεύσουν σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Επιπρόσθετα, μέσω των μοντέλων αυτών προκύπτουν διαγράμματα συναρτήσε του χρόνου, τα οποία απεικονίζουν τον χρόνο που χρειάζεται το πετρέλαιο για να διανύσει μια απόσταση ή να φτάσει σε μια ακτή.



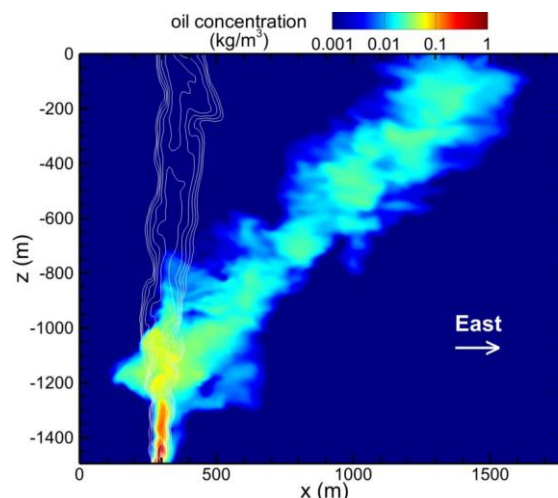
**Εικόνα 3.3** Μοντέλο OILMAP,ASA (iTAC,2008)

### 3.2.4 Μοντέλα Hind-Cast

Πρόκειται για μοντέλα που αντιστρέφουν τη διαδικασία των ντετερμινιστικών μοντέλων. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της προέλευσης μιας διαρροής όπου το σημείο πηγής είναι άγνωστο.

### 3.2.5 Τριών διαστάσεων (3D)

Αυτά τα μοντέλα κάνουν εκτιμήσεις σχετικά με το προφίλ του πετρελαίου στην πάροδο του χρόνου, προσομοίωση της εξάπλωσης μέσα στην υδάτινη στήλη νερού και εκτίμηση της συγκέντρωσης των συστατικών του, τα οποία και αντιδρούν διαφορετικά όταν βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του νερού. Στα μοντέλα αυτά τα σωματίδια κινούνται μέσα στο 3D πλέγμα και απεικονίζεται η τοποθεσία και η συγκέντρωσή τους. Επιπλέον, υπάρχουν τρισδιάστατα μοντέλα που ειδικευμένα στην προσομοίωση υποθαλάσσιων ρυπαντών.



**Εικόνα 3.4** Μοντέλο τριών διαστάσεων 3D (<http://gulfresearchinitiative.org/improving-oil-spill-models-predict-plume-dispersion-transport/>)

### **3.3 Απαιτήσεις δεδομένων**

#### **3.3.1 Γενικά**

Τα δεδομένα που απαιτούνται από τα περισσότερα μοντέλα σχετίζονται με υδροδυναμικά δεδομένα, τα οποία αποτελούνται από δεδομένα ανέμου, ρευμάτων και παλλίρωιας, ο τύπος πετρελαίου, ο όγκος του και η θερμοκρασία (ITAC, 2008). Η ποιότητα των χρησιμοποιούμενων δεδομένων έχει τεράστια επιρροή στην αποτελεσματικότητα των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Οι διάφορες υπηρεσίες πρόγνωσης καιρού παρέχουν γενικές πληροφορίες σχετικά με την διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου. Οι τύποι του πετρελαίου είναι διαθέσιμοι από τη βάση δεδομένων από τα συστήματα των μοντέλων. Αυτή η βάση δεδομένων των τύπων πετρελαίου περιέχει τις ιδιότητές του (J. Mazurek & L. Smolarek, 2013).

#### **3.3.2 Υδροδυναμικά δεδομένα**

Η πιο σημαντική παράμετρος είναι τα υδροδυναμικά δεδομένα. Ειδικότερα η συλλογή μιας βάσης δεδομένων ρευμάτων είναι δαπανηρή και χρονοβόρα, αλλά τα αυτά έχουν το μεγαλύτερο επιρροή στη εξάπλωση πετρελαίου. Κυρίως για τις παράκτιες περιοχές, οι οποίες χαρακτηρίζονται από πολυπλοκότητα, η ανεπάρκεια των στοιχείων μπορεί να έχει μεγάλο αντίκτυπο στα αποτελέσματα. Δεδομένα σχετικά με τα ρεύματα της περιοχής ενδιαφέροντος μπορούν να συλλεχθούν από παρακολουθούμενες σηματοδούρες, από έρευνες πλοίων και από τηλεανίχνευση. Η συλλογή αυτών των πρέπει να γίνει έγκαιρα πριν από τη διαρροή πετρελαίου, κυρίως για περιοχές που εκτίθενται σε σημαντικό κίνδυνο διαρροής πετρελαίου.

Ένας άλλος τρόπος συλλογής υδροδυναμικών δεδομένων είναι η παραγωγή τους από χωριστά, ειδικευμένα μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά δεν αντιπροσωπεύουν ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως καταιγίδες και συνθήκες μεγάλης απορροής, αλλά μέσες συνθήκες. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας αναμένεται βελτίωση της προσομοίωσης ρεαλιστικών υδροδυναμικών δεδομένων, παρόλα αυτά, όπως και οι παρατηρήσεις πεδίου έτσι και η ανάπτυξη μοντέλων για την ρεαλιστικότερη προσομοίωση των υδροδυναμικών δεδομένων είναι χρονοβόρα και δαπανηρή. Μερικά μοντέλα επιτρέπουν την πρόβλεψη των υφιστάμενων δεδομένων βάσει των στατιστικών και περασμένων παρατηρήσεων, μία ιδιότητα η οποία μπορεί να είναι εξαιρετικά χρήσιμη για καταστάσεις απόκρισης.

#### **3.3.3 Ανεμολογικά δεδομένα**

Τα ανεμολογικά δεδομένα είναι διαθέσιμα από τις μετεωρολογικές υπηρεσίες και το διαδίκτυο. Οι πηγές δεδομένων παρέχουν συχνά γενικές πληροφορίες σχετικά με την διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου κάτι που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την εκτίμηση της ακρίβειας των προβλέψεων των μοντέλων. Μια αξιόπιστη πηγή παροχής ιστορικών δεδομένων μπορούν να είναι οι παρακολουθούμενες σηματοδούρες και τα αεροδρόμια με επιφύλαξη στη σχέση μεταξύ της τοποθεσίας αυτών και της διαρροής.

### 3.3.4 Τύπος πετρελαίου

Τα περισσότερα μοντέλα περιλαμβάνουν μία λίστα από είδη πετρελαίου για χρήση στην προσομοίωση. Σε περίπτωση κάποιου ιδιαίτερου τύπου πετρελαίου ο οποίος δεν είναι διαθέσιμος τότε γίνεται επιλογή του πλησιέστερου τύπου. Εναλλακτικά, αναλύονται τα χαρακτηριστικά αυτού και γίνεται συμπερίληψή του στη βάση δεδομένων.

### 3.4 Σχεδιασμός Έκτακτης Ανάγκης

Η ανάπτυξη σχεδίων εκτάκτης ανάγκης είναι πλέον μια προτυπη βιομηχανική προσέγγιση και συχνά νομοθετική απαίτηση για κάθε δραστηριότητα σε περιοχή εκτιθεμένη σε κίνδυνο διαρροής πετρελαίου. Τα περισσότερα σχέδια εκτάκτης ανάγκης επικεντρώνονται στην αξιολόγηση κινδύνου, η οποία εντοπίζει το πιθανό σενάριο πετρελαιοκηλίδας, την πιθανότητα να συμβεί και τις ενδεχόμενες επιπτώσεις.

Συνήθως χρησιμοποιούνται στοχαστικά μοντέλα τα οποία προβλέπουν τις θέσεις που κινδυνεύουν σύμφωνα με μια σειρά από ανεμολογικές παρατηρήσεις. Οι προσομοιώσεις γίνονται με δεδομένα ανέμου σε μηνιαία, τριμηνιαία ή ετήσια βάση ανάλογα με τις διακυμάνσεις της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου. Τα αποτελέσματα των στοχαστικών μοντέλων μπορούν να εξάγουν τα δυσμενέστερα σενάρια και πάνω σε αυτά να γίνει παραπάνω ανάλυση και διερεύνηση για περαιτέρω πληροφορίες. Έτσι προκύπτουν στρατηγικές ανταπόκρισης για περιοχές εκτεθειμένες σε κίνδυνο και η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού αντιμετώπισης ενός ενδεχόμενου ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας.

### 3.5 Επιχειρησιακά μοντέλα

Κατά τη διάρκεια αντιμετώπισης μίας πετρελαιοκηλίδας τα μοντέλα εκτίμησης τροχιάς των πετρελαιοκηλίδων μπορεί να αποδειχθούν εξαιρετικά σημαντικά. Η πιο συχνή χρήση μοντέλων εκτίμησης τροχιάς πετρελαιοκηλίδας γίνεται σε πραγματικό χρόνο με μετεωρολογικά δεδομένα που παρέχονται από παρατηρητές. Η μετάδοση έγκυρων πληροφοριών είναι πολύ σημαντική, έτσι ώστε να μπορούν τα μοντέλα να λειτουργούν με τα καλύτερα διαθέσιμα στοιχεία. Τέτοιου είδους μοντέλα χρησιμοποιούνται συνήθως στα αρχικά στάδια ενός σχεδίου αντιμετώπισης ώστε να υποστηρίξουν τις επιχειρήσεις παρακολούθησης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν προσφέρουν πολύτιμη καθοδήγηση σχετικά με το περιστατικό, η οποία βοηθά στη λήψη αποφάσεων και στην επιλογή των δράσεων αντιμετώπισης για τον έλεγχο της ρύπανσης και του ενδεχομένου αντίκτυπου. Το πιο σημαντικό αποτέλεσμα είναι η προβλεπόμενη πορεία της πετρελαιοκηλίδας, η κατάσταση του πετρελαίου υπό τις επικρατούσες συνθήκες, το ενδεχόμενο να προσαιγιαλωθεί στις ακτές και η πρόβλεψη των επιπτώσεων.

Επιπρόσθετα πολλά μοντέλα καθιστούν δυνατή την αποτύπωση της έκτασης της πετρελαιοκηλίδας σε GIS με στόχο τη γεωαναφορά στις πληροφορίες επιτήρησης και πρατήρησής της. Η αποτύπωση της κηλίδας σε τέτοια συστήματα ανανεώνεται και διαχειρίζεται καλύτερα. Οι παρατηρήσεις αυτές εισάγονται στο μοντέλο με απόρροια πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.



Επιπλέον πληροφορίες που παρέχουν τα μοντέλα αυτά είναι ο υπολογισμός των φυσικών διεργασιών του πετρελαίου όπως η εξάτμιση, η διάχυση και η γαλακτωματοποίηση και άλλα, η ένδειξη τοποθεσίας εμμονής της ρύπανσης η οποία δυσχεραίνει την αντιμετώπισή της, ο εντοπισμός της πηγής διαρροής όταν είναι άγνωστη με τη χρήση hind cast μοντέλων και υποστήριξη για στοχαστικά μοντέλα.

### 3.6 Προσομοίωση Στρατηγικών Αντιμετώπισης

Μερικά μοντέλα πετρελαιοκηλίδων επιτρέπουν την προσομοίωση των ενεργειών αντιμετώπισης όπως την τοποθέτηση φραγμάτων, το μηχανικό καθαρισμό και τη χρήση χημικών. Η τοποθεσία και ο χρόνος μαζί με άλλες λειτουργικές παραμέτρους (π.χ.. τρέχουσα ταχύτητα και ύψος κύματος) εισάγονται από το χρήστη στο μοντέλο και χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της αντιμετώπισης. Γενικά, τα μοντέλα είναι «αισιόδοξα» στις εκτιμήσεις τους, και τα πραγματικά προβλήματα που προκύπτουν δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν με ακρίβεια. Το πόρισμα που απορρέει είναι αν ο υπάρχον εξοπλισμός έχει την ικανότητα να ανταποκριθεί κάτω από αυτές τις ευνοϊκές συνθήκες.

### 3.7 Συμπεράσματα

- Υπάρχουν διάφορα δωρεάν και εμπορικά προγράμματα μοντελοποίησης πετρελαιοκηλίδας.
- Η μοντελοποίηση των πετρελαιοκηλίδων είναι χρήσιμη για τα σχέδια εκτάκτης ανάγκης μιας διαρροής αλλά και για την αντιμετώπισή της ρύπανσης κατά τη διάρκεια ενός ατυχήματος.
- Τα αποτελέσματα των μοντέλων μπορούν να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες για την πιθανή κίνηση και τη συμπεριφορά της πετρελαιοκηλίδας.
- Όλα τα μοντέλα απαιτούν μια σειρά από δεδομένα και τα αποτελέσματα εξαρτώνται από την ποιότητα τους.
- Είναι σημαντικό τα δεδομένα εισόδου να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβή και οι λήψεις αποφάσεων για τις ενέργειες αντιμετώπισης να γίνονται μετά από την ενσωμάτωση των διαθέσιμων στοιχείων.

**Πίνακας 3.1** Κατηγορίες μοντέλων πετρελαιοκηλίδων (iTac, 2008)

Κατηγορία Μοντέλου	Παράδειγμα
Oil Weathering	ADIOS, NOAA
Stochastic	OSIS, BMT Cordah
Deterministic	OILMAP, ASA
Hind Cast	WFS, OCG
3D	JAG 3D, NOAA



## 4. Η ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΑ ΣΤΟ ΣΑΡΩΝΙΚΟ ΚΟΛΠΟ ΤΟ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2017

### 4.1 Αγία Ζώνη II

Στην περίπτωση του ατυχήματος του Σαρωνικού, το πλοίο Αγία Ζώνη II πρόκειται για ένα φορτηγό πλοίο, το οποίο μετέφερε υγρά καύσιμα (χημικό φορτίο). Θεωρείται δηλαδή ένα Chemical Tanker. Χαρακτηριστικό του σχεδιασμού ενός πλοίου Tanker είναι ο διαχωρισμός του φορτίου που έχει αντικατασταθεί από δεξαμενές. Ο μηχανικός εξοπλισμός αποτελείται από δύο ή τέσσερις μηχανές ανάλογα με το μέγεθος και το σχεδιασμό του σκάφους. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το HFO (βαρύ μαζούτ) χρησιμοποιείται ως καύσιμο για πρόωση, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις (όπως στα LNG (Liquefied natural gas)) χρησιμοποιείται φυσικό αέριο αντί για HFO. Η ταχύτητα σχεδιασμού των σκαφών είναι συνήθως μεταξύ 10 και 18 κόμβους. Για την φόρτωση και εκφόρτωση των πλοίων τα δεξαμενόπλοια είναι εφοδιασμένα με σύστημα αντλίας το οποίο παρακολουθείται στενά λόγω κινδύνου πυρκαγιάς (<http://www.shippedia.com/ships/ship-types/tanker/>).

IMO: 7126152

ΟΝΟΜΑ: ΑΓΙΑ ΖΩΝΗ II

Call Sign: SVAD4

ΤΥΠΟΣ ΠΛΟΙΟΥ: OIL/CHEMICALTANKER

GROSSTONNAGE: 1521

ΕΑΡΙΝΟΔWT: 3205t

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ: 1972

ΣΗΜΑΙΑ: ΕΛΛΗΝΙΚΗ (GR)

Length Overall x Breadth Extreme: 91.32m x 13.7m

Lat/Long: 37.9317°/ 23.56707°

Εταιρίες στον προορισμό:

- Hilios Ltd. (Ship Repairs)
- ATLAS SHIPYARDS SA (Ship Repairs)
- Marine Propulsion Systems and Services (Ship Repairs)
- Fintanis Group (Cleaning Services) ([www.marinetraffic.gr](http://www.marinetraffic.gr))



Εικόνα 4.1 Δεξαμενόπλοιο Αγία Ζώνη II

## 4.2 Περιγραφή περιστατικού

### 4.2.1 Σάββατο 9 Σεπτεμβρίου 2017

**10:00:** Το πλοίο «Αγία Ζώνη II» απέπλευσε από τα διωλιστήρια του Ασπροπύργου έμφορτο με 2362 μετρικούς τόνους πετρελαίου εξωτερικής καύσης (Fuel Oil) και 370 μετρικούς τόνους πετρελαίου ναυτιλίας εσωτερικής καύσης (Marine Gas Oil). Το πλοίο μετέφερε επίσης περίπου 15 μετρικούς τόνους επιπλέον κάρβουνο πετρελαίου ναυτιλικής χρήσης και περίπου 300 λίτρα λιπαντικών και 200-300 λίτρα χημικών ουσιών. Σύμφωνα με το Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας (ΥΕΝ) η διαρροή αφορά στο 5% (δηλαδή 137 τόνοι) του φορτίου (IOPC FUNDS,2017).

### 4.2.2 Κυριακή 10 Σεπτεμβρίου 2017

**01:45:** Πρόκληση διαρροής από το δεξαμενόπλοιο «Αγία Ζώνη II» που βυθίστηκε νοτιοδυτικά της νησίδας Αταλάντη, ανοιχτά της Σαλαμίνας. Από τις πρώτες ώρες παρατηρήθηκε διαρροή πετρελαιοειδών στη θάλασσα. Αποτέλεσμα της διαρροής ήταν σε πρώτη φάση η εκτεταμένη ρύπανση του θαλάσσιου και παράκτιου χώρου της Σαλαμίνας. Τις αμέσως επόμενες ημέρες, η ρύπανση από πετρέλαιο απλώθηκε και σε άλλες περιοχές του Σαρωνικού και το νότιο παραλιακό μέτωπο της Αττικής.

**02:45-02:50:** Σύμφωνα με τον Γιάννη Φατσέα, τον επικεφαλή της επιχείρησης ασφάλισης ναυαγίου ομίλου Σπανόπουλου, έφτασαν τα ρυμουλκά στο σημείο του περιστατικού. Ο καπετάνιος τον ενημέρωσε πως το πλοίο ήταν ήδη σχεδόν βυθισμένο (<http://www.skai.gr/player/tv/?mmid=296440>, ΣΚΑΪ, 31/10/2017, ΙΣΤΟΡΙΕΣ, Η αυτοψία στο ναυάγιο του Αγία Ζώνη II).

**03:00:** Έσπευσε στην περιοχή του ναυαγίου περιπολικό σκάφος και λάντζα για τη διάσωση και μεταφορά των δύο μελών του πληρώματος.

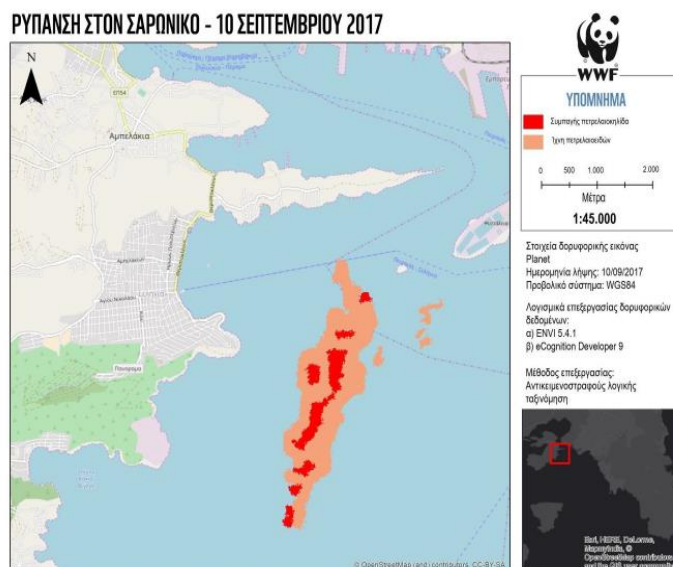
**05:30:** Κατέπλευσε στην περιοχή αντιρρυπαντικό σκάφος προς αντιμετώπιση της θαλάσσιας ρύπανσης.

**07:25:** Αεροσκάφος του λιμενικού σώματος διενέργησε περιπολία στην περιοχή του συμβάντος, όπου και εντοπίζεται διάσπαρτη ρύπανση από το σημείο της βύθισης προς τα βόρεια μέχρι το νοτιοανατολικό άκρο της νήσου Ψυττάλειας (Ανακοίνωση Λιμενικού Σώματος, 10/09/2017, 13:40, <http://www.hcg.gr/node/15922>).

**09:30:** Σύμφωνα με τον υπουργό Ναυτιλίας είχαν μπει τα φράγματα (<https://www.protothema.gr/greece/article/716865/to-shedio-pou-xehasan-na-efarmosoun-sto-agia-zoni-ii-efarmostike-gia-ena-ammoliptiko/>). Τα πρώτα φράγματα είχαν μήκος περίπου 600 μέτρα (IOPC FUNDS, 2017).

**18:00:** Το αεροσκάφος του λιμενικού σώματος διενέργησε συμπληρωματική περιπολία στην περιοχή του συμβάντος. Παρατηρήθηκε ρύπανση από πετρελαιοειδή, σε διάφορα σημεία από το ακρωτήριο Κυνοσούρας μέχρι τον όρμο Σεληνίων. Από το δημοτικό Λιμενικό Ταμείο Σαλαμίνας τοποθετήθηκε πλωτό φράγμα στον λιμενίσκο Σεληνίων.

Στην Εικόνα 4.2 σύμφωνα με τη WWF Ελλάς συνοψίζεται η μορφή της πετρελαιοκηλίδας.



Εικόνα 4.2 Μορφή πετρελαιοκηλίδας 10/09/2017 (WWF Ελλάς, 2017)

#### 4.2.3 Δευτέρα 11 Σεπτεμβρίου 2017

Το αεροσκάφος του λιμενικού σώματος πραγματοποίησε περιπολία στην περιοχή του συμβάντος. Στο σημείο της βύθισης του πλοίου τοποθετούνται επάλληλες σειρές πλωτών φραγμάτων (Ανακοίνωση Λιμενικού Σώματος, 11/09/2017, 18:39, <http://www.hcg.gr/node/15937>).

Η ρύπανση από τα πετρελαιοειδή και την πίσσα επεκτάθηκε σε μήκος 1,5 χιλιομέτρου. Περιμετρικά από το σημείο όπου είχε βυθιστεί το δεξαμενόπλοιο είχαν τοποθετηθεί δύο σειρές πλωτά φράγματα, ενώ οι εργασίες στεγανοποίησης στο «ΑΓΙΑ ΖΩΝΗ II», εκτελέστηκαν από ιδιώτες δύτες και ιδιωτικό συνεργείο να προχωρήσει στην απάντληση καυσίμων (<https://www.protothema.gr/greece/article/712508/maurisan-paralies-tis-salaminas-meta-ti-vuthisi-tou-dexamenoploiou-sto-saroniko/>).



**Εικόνα 4.3** Ρύπανση στην Σαλαμίνα (<http://www.haniotika-nea.gr/mavres-aktes-vlepoun-apo-to-proi-i-katiki-tis-salaminas/>)



**Εικόνα 4.4** Εικόνα ρύπανσης (<http://www.iefimerida.gr/news/361959/stin-peiraiiki-eftase-i-petrelaiokilida-apo-ti-salamina-anisyhoyn-oi-arhes-eikonesvinteo>)

Η δήμαρχος της Σαλαμίνας Ισιδώρα Παπαθανασίου ανέφερε πως από το απόγευμα της Κυριακής ο καιρός και έφερε την πετρελαιοκηλίδα στο νησί. Καθώς, επισημαίνει πως όλες οι ακτές της ανατολικής πλευράς έχουν γεμίσει μαζούτ (<http://www.kathimerini.gr/926110/gallery/epikairothta/ellada/petrelaio-stis-aktes-ths-salaminas-apo-th-vy8ish-toy-de3amenoploioy-agia-zwnh>).

Σύμφωνα με τον πλοικτή Θεόδωρο Κουντούρη το απόγευμα της Δευτέρας βρέθηκαν πετρελαιοειδή στη Σαλαμίνα. (<http://www.skai.gr/player/tv/?mmid=296440>, ΣΚΑΪ, 31/10/2017, ΙΣΤΟΡΙΕΣ, Η αυτοψία στο ναυάγιο του Αγία Ζώνη II).



#### 4.2.4 Τρίτη 12 Σεπτεμβρίου 2017

**09:10:** Σύμφωνα με την εταιρία απορρύπανσης επιτεύχθηκε η στεγανοποίηση του πλοίου και ο ουσιαστικός περιορισμός της διαρροής πετρελαίου (<http://newpost.gr/ellada/629176/ploiokthths-oikologikhs-bombas-agia-zwnh-ii-olant-nomima-to-ploio-eixe-epithewrhthei-prin-apo-enamish-mhna>).

**15:00:** Ενημερώθηκε τυχαία, όπως αναφέρει, ο δήμαρχος του Πειραιά, Γιάννης Μώραλης για την ρύπανση στην περιοχή (<http://www.thetoc.gr/koinwnia/article/apisteuto-300-m-apo-tis-aktes-tis-boulas-i-petrelaiokilida>).

Το μεσημέρι της Τρίτης, 5 αντιρρυπαντικά σκάφη ιδιωτικής εταιρείας, έσπευσαν να αντιμετωπίσουν τα μεγάλα κομμάτια της πετρελαιοκηλίδας που παρέσυραν οι άνεμοι προς την πλευρά της Πειραιϊκής (<http://www.documentonews.gr/article/sthn-peiraikh-eftase-h-petrelaiokhlida-toy-agia-zwnh-2-yperanthrwpes-prospatheies-na-perioristei-h-rypansh-video>).

Το απόγευμα της 12<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου παρουσιάστηκαν κομμάτια πετρελαιοκηλίδας κοντά στις ακτές της Φρεαττύδας με έντονη δυσοσμία (<http://www.iefimerida.gr/news/361959/stin-peiraiki-eftase-i-petrelaiokilida-apo-ti-salamina-anisyhoyn-oi-arhes-eikonesvinteo>).



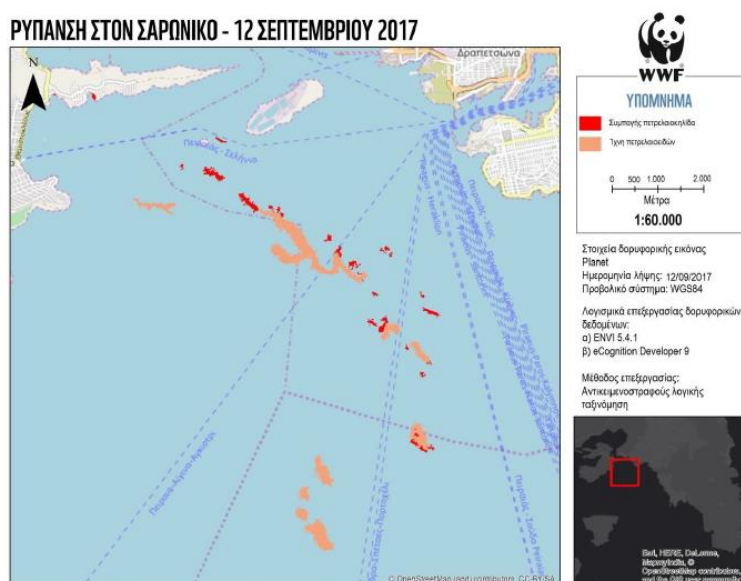
**Εικόνα 4.5** Εικόνα ρύπανσης (<http://www.iefimerida.gr/news/361959/stin-peiraiki-eftase-i-petrelaiokilida-apo-ti-salamina-anisyhoyn-oi-arhes-eikonesvinteo>)

Αναφορά από το Αρχηγείο Λιμενικού Σώματος ότι εντός της ζώνης του Οργανισμού Λιμένα Πειραιώς προκλήθηκε διαρροή πετρελαιοειδών από ρήγμα στο ρυμουλκούμενο επιβατηγό – οχηματαγωγό «Blue Star Patmos». Συγκεκριμένα, «αναφορικά με τον κατάπλου του Ε/Γ – Ο/Γ πλοίου «BLUE STAR PATMOS» Ν.Π. 12119 απογευματινές ώρες της 09-09-2017 στο Πέραμα, έγινε γνωστό ότι κατά τη διαδικασία ανέλκυσής του εντός της μεγάλης πλωτής δεξαμενής του Οργανισμού Λιμένα Πειραιώς πρωινές ώρες της προηγούμενης μέρας, υπήρξε διαρροή πετρελαιοειδών από τις δεξαμενές του πλοίου λόγω υφιστάμενου ρήγματος, με αποτέλεσμα την πρόκληση θαλάσσιας ρύπανσης

περίπου 350 τ.μ., η οποία εγκλωβήστηκε άμεσα σε πλωτό φράγματος πέριξ της δεξαμενής.

Παρατήρηση διάσπαρτων κηλίδων πετρελαιοειδών μικρής έκτασης περιμετρικά, παρακείμενα προσδεδεμένων, πλοίων, ενώ εργασίες απορρύπανσης είχαν αναληφθεί από εταιρεία και στην περιοχή υπήρχαν αντιρρυπαντικό σκάφος και βυτιοφόρο όπου περισύλλεξαν τα πετρελαιοειδή (Ανακοίνωση Λιμενικού Σώματος, 12/09/2017, 14:15, <http://www.hcg.gr/node/15943>).

Σύμφωνα με τη WWF Ελλάς η μορφή της πετρελαιοκηλίδας απεικονίζεται στην Εικόνα4.6.



Εικόνα 4.6 Μορφή πετρελαιοκηλίδας 12/09/2017 (WWF Ελλάς, 2017)

#### 4.2.5 Τετάρτη 13 Σεπτεμβρίου 2017

**16:00:** Ο δήμος Βάρης - Βούλας – Βουλιαγμένης έλαβε επείγον σήμα από το Λιμενικό. Η πετρελαιοκηλίδα απείχε μόλις 300-400 μέτρα από την Βούλα. Ο δήμος είχε ενεργοποιήσει το σχέδιο έκτακτης ανάγκης και έχει τοποθετήσει πλωτό φράγμα για να ανακόψει την δυτική φορά της πετρελαιοκηλίδας (<http://www.thetoc.gr/koinwnia/article/apisteuto-300-m-apo-tis-aktes-tis-boulas-i-petrelaiokilida>).



**Εικόνα 4.7** Ρύπανση στη Γλυφάδα (<http://www.mononews.gr/top-stories/news-politiki-sos-apo-ton-saroniko-petroleokilida-eftase-mechri-ti-glifada-39-photos-ke-5-video>)



**Εικόνα 4.8** Αντιμετώπιση πετρελαιοκηλίδας (<http://www.vradini.gr>)

Σε εξέλιξη βρισκόταν η διαδικασία άντλησης του φορτίου του πλοίου, εξειδικευμένα συνεργεία με βυτιοφόρα οχήματα επιχειρούσαν για τον καθαρισμό της ρύπανσης κατά μήκος του όρμου Κυνοσούρας, του κόλπου Σεληνίων, καθώς και σε σημεία της ακτογραμμής μεταξύ Σχολής Ναυτικών Δοκίμων έως τη μαρίνα Ζέας, παράλληλα με την τοποθέτηση πλωτών φραγμάτων. Οι μηχανισμοί αντιμετώπισης της θαλάσσιας ρύπανσης, ενισχύθηκαν από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για την Ασφάλεια στη Θάλασσα “EMSA” (European Maritime Safety Agency) με το αντιρρυπαντικό σκάφος ΑΚΤΑΙΑ OSRV (Ανακοίνωση Λιμενικού Σώματος, 13/09/2017, 20:03, <http://www.hcg.gr/node/15945>).

Σύμφωνα με το δήμαρχο του Παλαιού Φαλήρου, Διονύση Χατζηδάκη εκείνες τις μέρες ο άνεμος ήταν βορειοδυτικός (<https://www.cnn.gr/news/perivallon/story/110563/saronikos-kai-meta-tin-petrelaiokilida-ti>).





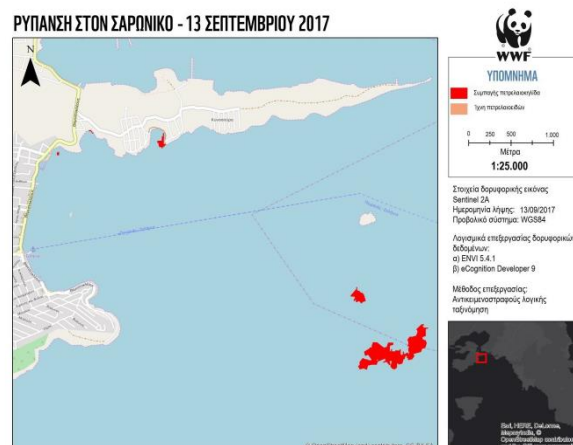
**Εικόνα 4.9** Η άντληση του πλοίου Αγία Ζώνη II

(<http://www.alfavita.gr/arhron/koinonia/neo-dexamenoploio-gia-tin-apantlisi-ton-kaysimon-apo-ag-zoni-ii>)

Ο δήμαρχος Γλυφάδας Γιώργος Παπανικολάου επισήμανε πως άρχισε η άντληση πετρελαίου από το νερό με πλωτά μέσα και το απόγευμα η άντληση στις ακτές. Χαρακτηριστικά ανέφερε πως μόνο από την παραλία του Ζέρβα αντλήθηκαν 28 τόνοι πετρέλαιο (<http://www.thetoc.gr/koinwnia/article/apisteuto-300-m-apo-tis-aktes-tis-boulas-i-petrelaiokilida>).

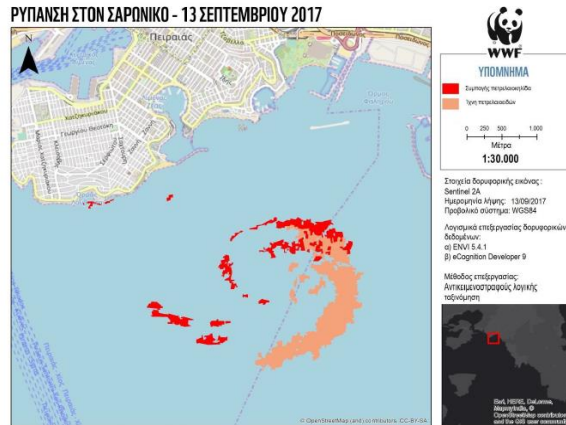
Σύμφωνα με το notiareport.gr το βράδυ της Τετάρτης εντοπίστηκε κηλίδα έκτασης περίπου 5 στρεμμάτων, 3,2 μίλια ανοιχτά της Χερσονήσου του ΠΙΚΠΑ στη Βούλα (<http://www.onalert.gr/stories/aperanto-mauro-h-paraliaki-ews-th-boula-kommatia-apo-thn-petraiochlida/59348>).

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζεται η ρύπανση σύμφωνα με τη WWF Ελλάς.

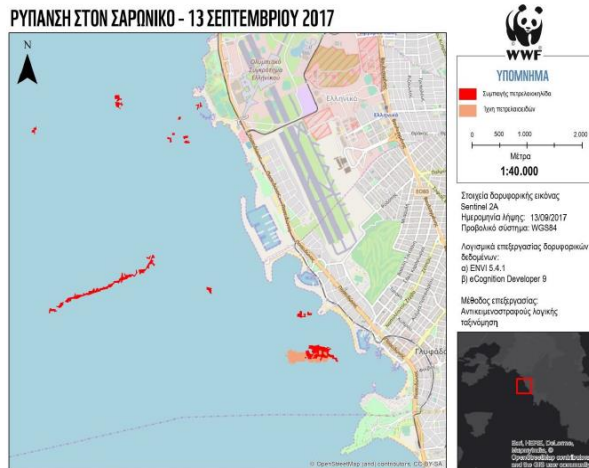


**Εικόνα 4.10** Μορφή πετρελαιοκηλίδας 13/09/2017 (WWF Ελλάς, 2017)





Εικόνα 4.11 Μορφή πετρελαιοκηλίδας 13/09/2017 (WWF Ελλάς, 2017)



Εικόνα 4.12 Μορφή πετρελαιοκηλίδας 13/09/2017 (WWF Ελλάς, 2017)

#### 4.2.6 Πέμπτη 14 Σεπτεμβρίου 2017

Ξεκίνησε από νωρίς η τοποθέτηση 3 χιλιομέτρων πλωτών αντιρρυπαντικών φραγμάτων, από την άκρη της χερσονήσου της Πούντας (Χερσόνησος ΠΙΚΠΑ) με κατεύθυνση νότια προς την Αίγινα. Το φράγμα είχε ύψος 70 cm πάνω από το νερό ώστε να αποτρέπει κάθε πιθανή προσέλαση της ρύπανσης προς τις ακτές (<http://www.documentonews.gr/article/petrelaiokhlida-oa-sygkrinoyn-deigma-kaysimwn-kai-toy-blue-star-synexizetai-h-aporrypansh>).

Επιχείρηση 13 ιδιωτικών, 4 σκαφών του λιμενικού σώματος, άλλα 3 τα οποία διέθεταν αντιρρυπαντικό εξοπλισμό, μαζί με το μεγάλο αντιρρυπαντικό σκάφος της EMSA, ΑΚΤΑΙΑ OSRV και 2 αεροσκάφη του Λιμενικού. Από στεριάς 8 με 10 συνεργεία συμμετείχαν στην επιχείρηση απορρύπανσης των ακτών (Ανακοίνωση Λιμενικού Σώματος, 14/09/2017, 18:07, <http://www.hcg.gr/node/15965>).

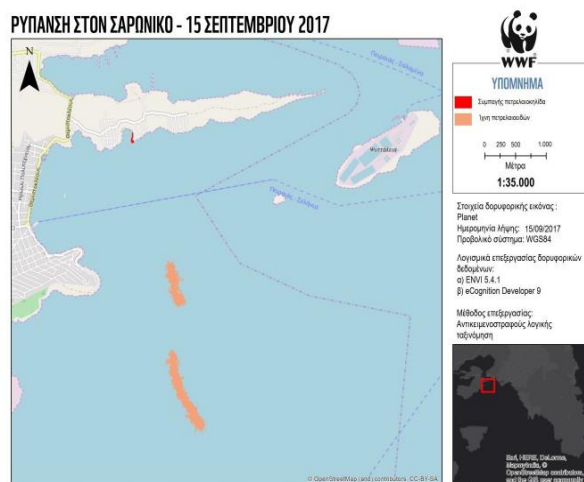
#### 4.2.7 Παρασκευή 15 Σεπτεμβρίου 2017

Εξειδικευμένο προσωπικό της απορρυπαντικής εταιρίας συνέχισε την επιχείρηση με πλωτά και χερσαία μέσα, τόσο στο σημείο βύθισης όσο και περιμετρικά του ναυαγίου (<http://newpost.gr/ellada/629176/ploiokthths-oikologikhs-bombas-agia-zwnh-ii-olantan-nomima-to-ploio-eixe-epithewrhthei-prin-apo-enamish-mhna>).

Η μορφή της ρύπανσης στις 15 Σεπτεμβρίου σύμφωνα με τη WWF Ελλάς.



Εικόνα 4.13 Μορφή πετρελαιοκηλίδας 15/09/2017(WWF Ελλάς, 2017)



Εικόνα 4.14 Μορφή πετρελαιοκηλίδας 15/09/2017 (WWF Ελλάς, 2017)

#### 4.2.8 Σάββατο 16 Σεπτεμβρίου 2017

**14:15:** Με εντολή του Αρχηγείου Λιμενικού Σώματος-Ελληνικής Ακτοφυλακής αεροσκάφος του Λ.Σ. απογειώθηκε για επιτήρηση της θαλάσσιας περιοχής Σαρωνικού μεταξύ Άκρας Σουνίου και Ελληνικού. Στη θαλάσσια περιοχή ανοιχτά της ακτογραμμής αυτής δεν παρατηρήθηκε κανενός είδους θαλάσσια ρύπανση (<https://www.news247.gr/koinonia/rypansi-ston-saroniko-apantlisi-800-tonon-mazoyt-apo-to-ag-zoni-ii.6518660.html>).

**18:25:** Αεροσκάφος απογειώθηκε για επιτήρηση θαλάσσιας περιοχής Σαρωνικού, μεταξύ όρμων Βουλιαγμένης και νήσου Σαλαμίνας. Στο παραλιακό μέτωπο από τη Γλυφάδα μέχρι τον επιβατηγό λιμένα Πειραιά παρατηρήθηκαν μεμονωμένες και μικρού μεγέθους ζώνες ιριδισμού, ενώ δεν εντοπίστηκαν βαρέα πετρελαιοειδή (<https://www.news247.gr/koinonia/rypansi-ston-saroniko-apantlisi-800-tonon-mazoyt-apo-to-ag-zoni-ii.6518660.html>).

Πετρελαιοειδή εντοπίστηκαν μπροστά από την παραλία «Φλώρας Σεληνίων» τα οποία εγκλωβίστηκαν με πλωτό φράγμα από προσωπικό ιδιωτικής εταιρείας και περισυνελέγησαν, ενώ μπροστά από την παραλία τοποθετήθηκε 225 μέτρα πλωτό φράγμα (<https://www.news247.gr/koinonia/rypansi-ston-saroniko-apantlisi-800-tonon-mazoyt-apo-to-ag-zoni-ii.6518660.html>).

Από το φορτίο του ναυαγισμένου «Αγία Ζώνη II» αντλήθηκαν 500 m<sup>3</sup> βαρέος πετρελαίου (Ανακοίνωση Λιμενικού Σώματος, 16/09/2017, 19:56, <http://www.hcg.gr/node/15978>).



**Εικόνα 4.15** Μορφή πετρελαιοκηλίδας 16/09/2017 (WWF Ελλάς, 2017)

#### 4.2.9 Κυριακή 17 Σεπτεμβρίου 2017

Τουλάχιστον 800 τόνοι μαζούτ έχουν απαντηθεί από το βυθισμένο δεξαμενόπλοιο «ΑΓΙΑ ΖΩΝΗ II» στον Σαρωνικό νότια της νήσου Αταλάντης (<https://www.news247.gr/koinonia/rypansi-ston-saroniko-apantlisi-800-tonon-mazoyt-apo-to-ag-zoni-ii.6518660.html>).

Στην περιοχή του Παλαιού Φαλήρου ποντίστηκε πλωτό φράγμα μήκους 200 μέτρων (<https://www.news247.gr/koinonia/saronikos-pano-apo-800-tonoi-mazoyt-echoyn-apantlithei-apo-to-ag-zoni-ii.6518660.html>).

Στη θαλάσσια περιοχή αρμοδιότητας Α' Λιμενικού Τμήματος (Τζελέπης), έγινε έλεγχος και δεν βρέθηκαν ίχνη ρύπανσης. Στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Ψυττάλειας και εισόδου Λιμένα Πειραιά εντοπίστηκαν, διάσπαρτες πετρελαιοκηλίδες, μικρού μεγέθους που

αντιμετωπίστηκαν (<https://www.news247.gr/koinonia/rypansi-ston-saroniko-apantlisi-800-tonon-mazoyt-apo-to-ag-zoni-ii.6518660.html>).

#### **4.2.10 Τρίτη 19 Σεπτεμβρίου 2017**

Στη Σαλαμίνα έγιναν εργασίες αντιρρύπανσης από προσωπικό ιδιωτικών εταιρειών και με τη συμμετοχή 30 στελεχών του Πολεμικού Ναυτικού. Παρατηρήθηκαν διάσπαρτες κηλίδες πετρελαιοειδών στον Όρμο Κακής Βίγλας και Γυάλας, οι οποίες αντιμετώπιστηκαν.

Στη θαλάσσια περιοχή Περάματος δεν βρέθηκαν ίχνη ρύπανσης.

Στη θαλάσσια περιοχή Ζέας δεν παρουσιάστηκε επιφανειακή ρύπανση. Συνεχίστηκαν με εντατικούς ρυθμούς οι εργασίες αντιρρύπανσης από συνεργείο της αναδόχου εταιρείας στον «Όρμο Αφροδίτης» όπου παρέμεινε απορροφητικό φράγμα και απορροφητικά υλικά. Μπροστά από την περιοχή της Σχολής Ναυτικών Δοκίμων πραγματοποιήθηκε εκτεταμένος καθαρισμός και συνεχίστηκαν οι εργασίες καθαρισμού με απορροφητικά υλικά. Στη θαλάσσια λουτρική εγκατάσταση «ΦΡΕΑΤΤΥΔΑ», πραγματοποιήθηκε καθαρισμός του αιγιαλού κατά μήκος της βραχώδους ακτογραμμής. Η γενική εικόνα της Πειραιϊκής κρίθηκε πολύ ικανοποιητική.

Στη θαλάσσια περιοχή Παλαιού Φαλήρου η κατάσταση παρουσιάστηκε βελτιωμένη. Παρέμειναν τα πλωτά φράγματα που είχαν τοποθετηθεί στην περιοχή, ενώ καθαρισμό επιχείρησε συνεργείο 4 ατόμων στη θέση Μπάτη Αλίμου.

Στη θαλάσσια περιοχή Ελληνικού η κατάσταση παρουσιάστηκε σταθερή και ικανοποιητική. Στην παραλία του Άγιου Κοσμά επιχείρησε ιδιωτικό συνεργείο 14 ατόμων. Μπροστά από το ΕΛΚΕΘΕ επιχείρησαν συνεργείο ιδιωτικής εταιρείας 6 ατόμων και 2 βυτιοφόρα οχήματα, ενώ στην περιοχή του Ναυτικού Ομίλου Αιγυπτιωτών (Ε.Ν.Ο.Α.) επιχείρησαν 2 βυτιοφόρα οχήματα αναδόχου εταιρείας, συνεργείο καθαρισμού από την ακτή 29 ατόμων και παραμονή τοποθετημένου πλωτού φράγματος.

Στην θαλάσσια περιοχή Γλυφάδας (2η-3η-4η μαρίνα) η κατάσταση παρουσιάστηκε βελτιωμένη. Επιχείρησαν συνεργείο συνολικά 43 ατόμων της αναδόχου εταιρείας, 10 άτομα του Δήμου Γλυφάδας, 12 εθελοντές και 40 Δόκιμοι Λιμενοφύλακες.

Στην εγκατάσταση «ARC-BALUX» η κατάσταση παρουσιάστηκε σταθερή. Επιχείρησαν 25 άτομα ιδιωτικής εταιρείας, 3 βυτία και 5 αντλίες. Στα ανοιχτά του «ARC-BALUX» επιχείρησαν 2 αντιρρυπαντικά σκάφη Λ.Σ. και 1 αντιρρυπαντικό της αναδόχου εταιρείας.

Στη θαλάσσια περιοχή Βάρης – Βούλας – Βουλιαγμένης η κατάσταση κρίθηκε σταθερή και ικανοποιητική. Στο Μεγάλο και Μικρό Καβούρι συνεχίστηκαν ανά τακτικά χρονικά διαστήματα οι εργασίες καθαρισμού των ακτών, από συνεργεία του Δήμου Βάρης – Βούλας - Βουλιαγμένης. Στην περιοχή της Βουλιαγμένης δεν παρατηρήθηκε ρύπανση, ωστόσο παρέμειναν προληπτικά τα πλωτά φράγματα κατά μήκος της ακτογραμμής της

λουτρικής εγκατάστασης «ASTIR BEACH» και εντός του ξενοδοχειακού συγκροτήματος «ΑΣΤΕΡΑΣ».

Στη θαλάσσια περιοχή Λαγονησίου δεν παρουσιάστηκε θαλάσσια ρύπανση, ενώ παρέμειναν τα πλωτά φράγματα στο ξενοδοχειακό συγκρότημα «GRAND RESORT».

Την προηγούμενη ημέρα αεροσκάφος του Λ.Σ., είχε απογειωθεί απογευματινές ώρες, προς επιτήρηση της θαλάσσιας περιοχής Σαρωνικού, μεταξύ Σαρωνίδας – Λαγονησίου – Βουλιαγμένης – Γλυφάδας – Ελληνικού – Πειραιά – ν. Σαλαμίνας και ν. Αίγινας. Στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή Σαρωνικού Κόλπου δεν παρατηρήθηκε κανενός είδους θαλάσσια ρύπανση. Στο παραλιακό μέτωπο, από Σαρωνίδα μέχρι τον επιβατηγό λιμένα Πειραιά, δεν παρατηρήθηκαν πετρελαιοειδή κατάλοιπα. Στην περιοχή μεταξύ ναυαγίου – φράγματος ναυαγίου – Κυνόσουρας – Όρμου Σεληνίων παρατηρήθηκαν ζώνες ελαφρού ιριδισμού. Όλα τα αντιρρυπαντικά και τα περιπολικά σκάφη του Λ.Σ.-ΕΛ.ΑΚΤ. εκτέλεσαν εργασίες αντιρρύπανσης.

Επιχείρησαν 4 αντιρρυπαντικά σκάφη του Λ.Σ, 1 ΠΛΣ, 7 ιδιωτικά αντιρρυπαντικά, συμπεριλαμβανομένου και του σκάφους «ΑΚΤΕΑ» της EMSA και λοιπά σκάφη της αναδόχου εταιρείας τα οποία εκτέλεσαν εργασίες ανάπτυξης, τοποθέτησης πλωτών φραγμάτων και περισυλλογής.

Σταμάτησε η απάντληση των καυσίμων από το βυθισμένο Δ/Ξ «ΑΓΙΑ ΖΩΝΗ II» από το πλοίο που την εκτελούσε. Πλην όμως, είναι σε πλήρη εξέλιξη όλες εκείνες οι ενέργειες που απαιτούνται, προκειμένου να συνεχιστεί η απάντληση των καυσίμων και σύμφωνα με την ανάδοχο εταιρεία, την Τετάρτη 20-09-2017, νέο πλοίο ήταν να συνεχίσει τις εργασίες απάντλησης.

Με βάση την ενημέρωση της εταιρίας που έχει αναλάβει την απάντληση του φορτίου από το Δ/Ξ «ΑΓΙΑ ΖΩΝΗ II», είχαν απαντηθεί περίπου μέχρι στιγμής, 1550m<sup>3</sup> φορτίου.

Στις εργασίες αντιρρύπανσης συνδράμει την ανάδοχο εταιρεία το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. και το Τμήμα Βιοχημικής του Πανεπιστημίου της Κρήτης. Επισημαίνεται πως δεν γίνεται η παραμικρή χρήση χημικών ουσιών παρά μόνο χρήση μηχανικών μέσων ([www.yen.gr](http://www.yen.gr)).

Από το μόλο Αγίου Νικολάου Σεληνίων μέχρι και την παραλία «ΦΛΩΡΑΣ ΣΕΛΗΝΙΩΝ» τοποθετήθηκε πλωτό φράγμα, 245 μέτρων και μπροστά από την παραλία του Ε.Ν.Ο.Α. και την παραλία ΕΛΚΕΘΕ ακόμη ένα φράγμα μήκους 500 μέτρων.

#### **4.2.11 Πέμπτη 28 Σεπτεμβρίου 2017**

Στη Σαλαμίνα δεν υπήρξε επιφανειακή ρύπανση και εκτελέστηκε καθαρισμός των ακτών στην ευρύτερη περιοχή του όρμου Σεληνίων – Λιμνιών – Κυνοσούρας, από προσωπικό 135 ατόμων ιδιωτικών εταιρειών, με 7 πλυστικά μηχανήματα. Επίσης, δύτες έλεγξαν τον βυθό και σκάφη του Λ.Σ – ΕΛ.ΑΚΤ. τις ανατολικές και νότιες ακτές της νήσου.

Στη θαλάσσια περιοχή Πειραιϊκής δεν παρουσιάστηκε θαλάσσια ρύπανση. Στο λιμανάκι της Αφροδίτης, εκτελέστηκαν εργασίες καθαρισμού με απορροφητικά υλικά, ενώ στη

θαλάσσια λουτρική εγκατάσταση «ΦΡΕΑΤΤΥΔΑ», πραγματοποιήθηκε καθαρισμός του αιγιαλού και της βραχώδους ακτογραμμής από συνεργείο ιδιωτικής εταιρείας.

Στη θαλάσσια περιοχή Παλαιού Φαλήρου η κατάσταση στις ακτές παρουσιάστηκε βελτιωμένη. Επιχείρησαν συνολικά 36 άτομα της αναδόχου εταιρείας, με πλυστικά και πιεστικά μηχανήματα.

Στη θαλάσσια περιοχή του Αλίμου, στο Α' και Β' Αλίπεδο Αλίμου επιχείρησαν 18 άτομα ιδιωτικής εταιρείας στον καθαρισμό των ακτών. Μπροστά από τις παραλίες των Δήμων Αλίμου και Ελληνικού (και ειδικότερα της Παλιάς Φαντασίας, του Ελληνικού Ναυτικού Ομίλου Αιγυπτιωτών, του ΕΛΚΕΘΕ, του Αγίου Κοσμά και του Αγίου Αλεξάνδρου), επιχείρησαν συνολικά 39 άτομα ιδιωτικού συνεργείου με πιεστικά μηχανήματα, αντλίες και μπετονιέρα επεξεργασίας άμμου με αποτέλεσμα την βελτιωμένη κατάσταση.

Στη θαλάσσια περιοχή Γλυφάδας (1η-2η-3η-4η μαρίνα) παρουσιάστηκε βελτιωμένη κατάσταση και επιχείρησε συνεργείο με 3 πλυστικά μηχανήματα, αποτελούμενο από 40 άτομα, μεταξύ των οποίων άτομα της αναδόχου εταιρείας και εθελοντές.

Στην εγκατάσταση «Αστέρας Γλυφάδας» η κατάσταση παρουσιάστηκε βελτιωμένη. Επιχείρησε συνεργείο 27 ατόμων της αναδόχου εταιρείας, πραγματοποιήθηκαν εργασίες από 6 πλυστικά μηχανήματα και εντός της ημέρας επιχείρησαν επιπλέον 3 βυτιοφόρα οχήματα, 2 αντλίες εκ των οποίων η μία ήταν του Πολεμικού Ναυτικού, τηλεκατευθυνόμενο φράγμα και συσκευή νέων τεχνολογιών. Παράλληλα σκάφη απορρύπανσης του Λιμενικού Σώματος – Ελληνικής Ακτοφυλακής και της αναδόχου εταιρείας έλεγξαν την περιοχή.

Στη θαλάσσια περιοχή Βάρης – Βούλας – Βουλιαγμένης και Λαγονησίου δεν παρατηρήθηκε θαλάσσια ρύπανση, ενώ στο ξενοδοχειακό συγκρότημα «ΑΣΤΕΡΑΣ» Βουλιαγμένης, εκτελέστηκαν εργασίες καθαρισμού των ακτών από συνεργείο ιδιωτικής εταιρείας.

Έγινε επιχείρηση από 4 σκάφη απορρύπανσης του Λιμενικού Σώματος – Ελληνικής Ακτοφυλακής, 2 περιπολικά σκάφη του Λιμενικού Σώματος – Ελληνικής Ακτοφυλακής, 7 ιδιωτικά σκάφη απορρύπανσης, συμπεριλαμβανομένου και του σκάφους «ΑΚΤΕΑ» της EMSA, καθώς και λοιπά σκάφη της αναδόχου εταιρείας.

Με βάση την ενημέρωση από την εταιρεία που είχε αναλάβει τις εργασίες απάντλησης του φορτίου από το βυθισμένο «ΑΓΙΑ ΖΩΝΗ II», είχαν αντληθεί συνολικά από το δεξαμενόπλοιο «ΣΥΡΟΣ» 984 m<sup>3</sup> φορτίου.

Ολοκληρώθηκαν οι εξειδικευμένες εργασίες προετοιμασίας για την άντληση του φορτίου από την τελευταία δεξαμενή πετρελαίου του «ΑΓΙΑ ΖΩΝΗ II» (<https://www.yen.gr>).



**ΣΕΛΗΝΙΑ 28/09/17**



**ΣΕΛΗΝΙΑ 27/09/17**



**Εικόνα 4.16** Επικρατούσα κατάσταση στα Σελήνια ([www.yen.gr](http://www.yen.gr))

**ΑΙΓΥΠΤΙΩΤΩΝ 28/09/17**



**ΑΙΓΥΠΤΙΩΤΩΝ 27/09/17**



**Εικόνα 4.17** Επικρατούσα κατάσταση στον Ε.Ν.Ο.Α ([www.yen.gr](http://www.yen.gr))

**ΓΛΥΦΑΔΑ ARK 28/09/17**

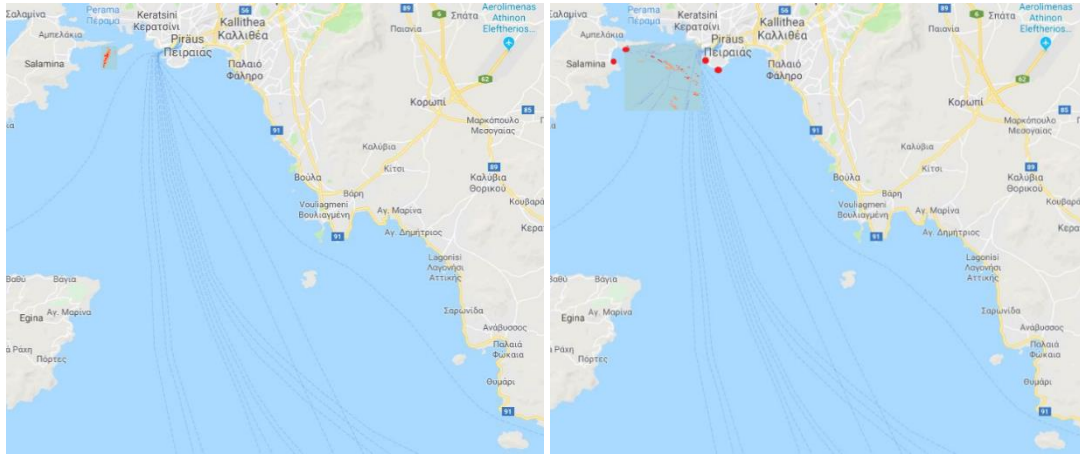


**ΓΛΥΦΑΔΑ ARK 27/09/17**



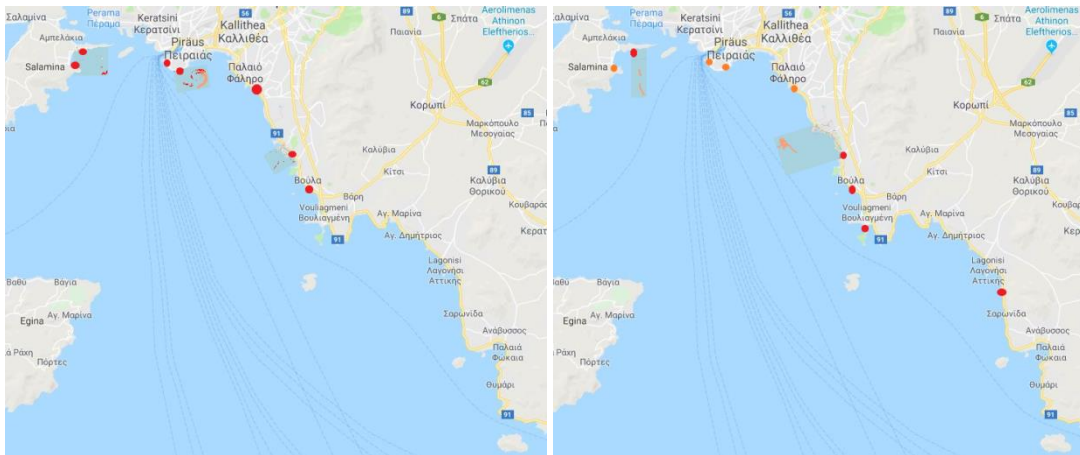
**Εικόνα 4.18** Επικρατούσα κατάσταση στην Γλυφάδα ARK ([www.yen.gr](http://www.yen.gr))





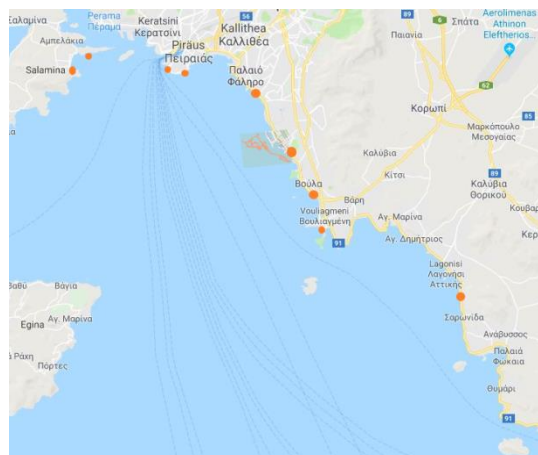
10/09/2017

12/09/2017



13/09/2017

15/09/2017



16/09/2017

**Εικόνα 4.19** Πορεία πετρελαιοκλιδίας

#### 4.2.12 Η ανέλκυση του δεξαμενόπλοιου «ΑΓΙΑ ΖΩΝΗ II»

Από τις 27 Οκτωβρίου 2017 ξεκίνησαν οι ενέργειες για την ανέλκυση του δεξαμενόπλοιου «Αγία Ζώνη II». Έως εκείνη τη χρονική στιγμή είχαν απαντηθεί από το βυθισμένο δεξαμενόπλοιο «ΑΓΙΑ ΖΩΝΗ II» 2.535 μίγματα πετρελαιοειδών ενώ στο σημείο του ναυαγίου είχε παραμείνει πλωτός γερανός. Επιπλέον, είχε γίνει επισήμανση πως θα υποβαλλόταν το συντομότερο, σχέδιο ανέλκυσης και πως καθ' όλη την διάρκεια της επιχείρησης θα γινόταν χρήση αντιρρυπαντικών μέσων και εξοπλισμού για την άμεση καταστολή πιθανής ρύπανσης στην περιοχή του ναυαγίου (<http://www.iefimerida.gr/news/372107/xekinoy-n-oi-energeies-gia-tin-anelkysi-toy-dexamenoploioy-agia-zoni-ii>).

Η ανέλκυση του βυθισμένου δεξαμενόπλοιου ολοκληρώθηκε στις 29 Νοεμβρίου 2017. Το πλοίο αρχικά παρέμεινε στην επιφάνεια και αργότερα μεταφέρθηκε ρυμουλκούμενο σε ναυπηγείο στα Αμπελάκια της Σαλαμίνας. Συνοδεύτηκε από απορρυπαντικά σκάφη, καθώς και πλωτά του Λιμενικού Σώματος και στο σημείο που μεταφέρθηκε τοποθετήθηκε πλωτό φράγμα για προληπτικούς λόγους. Σημειώθηκε ότι είναι το πρώτο ναυάγιο της χώρας που ανελκύθηκε 2,5 μήνες μετά τη βύθισή του ως περιβαλλοντικό απόβλητο (<http://www.efsyn.gr/arthro/oloklirothike-i-anelkysi-toy-agia-zoni-ii>).



**Εικόνα 4.20** Η ανέλκυση του Αγία Ζώνη II (<http://www.efsyn.gr/arthro/oloklirothike-i-anelkysi-toy-agia-zoni-ii>)

### 4.3 Επιπτώσεις

Λόγω της μόλυνσης από τα πετρελαιοειδή απαγορεύτηκε η κολύμβηση στα θαλάσσια ύδατα των περιοχών της Περιφέρειας Αττικής, τα οποία είχαν υποστεί φαινόμενα βραχυπρόθεσμης ρύπανσης. Η απογόρευση αφορούσε συγκεκριμένα:

- Την ακτή κολύμβησης πλησίον της σχολής Ναυτικών Δοκίμων (Ακτή Θεμιστοκλέους 334) μέχρι και την παραλία της Φρεαττύδας
- Τις ακτές κολύμβησης της περιοχής «Βοτσαλάκια»
- Όλες τις ακτές κολύμβησης του Δήμου Αλίμου
- Όλες τις ακτές κολύμβησης του Δήμου Παλαιού Φαλήρου
- Όλες τις ακτές κολύμβησης του Δήμου Ελληνικού Αργυρούπολης
- Όλες τις ακτές κολύμβησης του Δήμου Γλυφάδας
- Τον όρμο Λιμνιών, κατά μήκος της ακτής εκατέρωθεν του πέτρινου θεάτρου Σεληνίων, έμπροσθεν του ιστιοπλοϊκού ομίλου Σεληνίων και κατά μήκος της ακτογραμμής επί της οδού Ακτής Θεμιστοκλέους μέχρι την εκκλησία του Αγίου Νικολάου (<http://www.pontos-news.gr/article/169247/γπουργειο-γgeias-se-poiies-aktes-apagoreyetai-kolympi-logo-petrelaiokilidas>).



Εικόνα 4.21 Εικόνα ρύπανσης (<http://www.bankwars.gr>)



Εικόνα 4.22 Ρύπανση στη Γλυφάδα (<http://www.mononews.gr/top-stories/news-politiki-sos-apo-ton-saroniko-petrelaikilida-eftase-mechri-ti-glifada-39-photos-ke-5-video>)

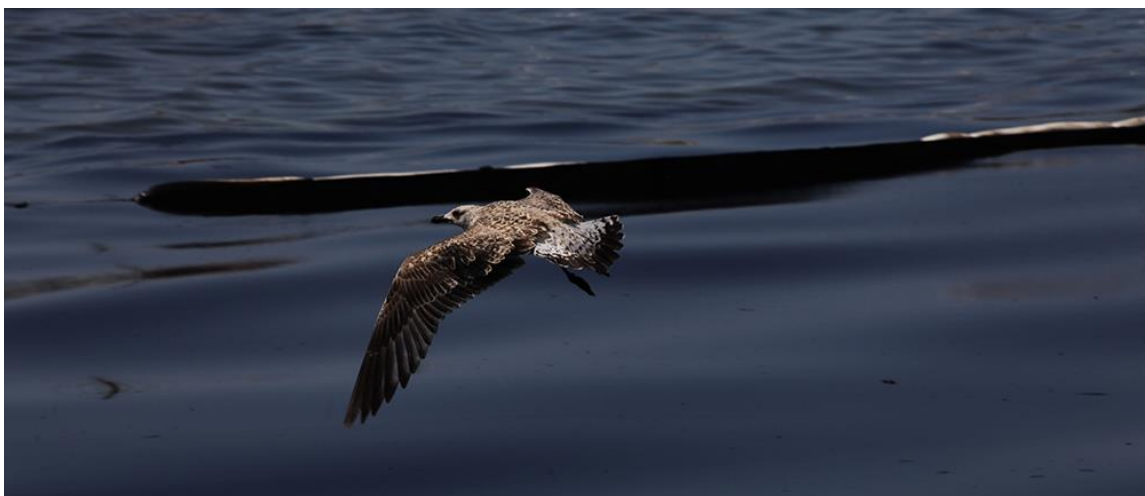




**Εικόνα 4.23** Εικόνα ρύπανσης (<https://www.iellada.gr/ellada/oi-protres-apozimioseis-gia-agia-zoni-ii>)

Στις 17 Οκτωβρίου 2017, πραγματοποιήθηκε στο Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας συνεδρίαση της γνωμοδοτικής Επιτροπής Αντιμετώπισης Περιβαλλοντικών Ζημιών (ΕΑΠΕΖ), με αντικείμενο την περιβαλλοντική ζημιά η οποία προκλήθηκε από το ναυάγιο του «Αγία Ζώνη II». Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν ως αποτελέσματα των μετρήσεων που είχαν καταγραφεί από το ΕΛΚΕΘΕ έδειχναν πως ακόμα ήταν δύσκολη η τεκμηρίωση της περιβαλλοντικής ζημιάς. Συγκεκριμένα, η κατάσταση της υδάτινης στήλης χαρακτηρίστηκε ως «μέτρια – καλή», ενώ δεν υπήρχε εικόνα από την κατάσταση στον βυθό και τις βενθικές κοινότητες. Υψηλές συγκεντρώσεις ολικών πετρελαϊκών υδρογονανθράκων καταγράφηκαν στις 3/10 στη θάλασσα του Αγίου Κοσμά, εγκαταστάσεις ΕΛΚΕΘΕ, παραλίες Γλυφάδας 4 και 5, Σελήνια και Κυνόσουρα Σαλαμίνας (WWF Ελλάς, 2017).

Οι τελευταίες δειγματοληψίες (με δείγμα νερού από τις παράκτιες ζώνες) που πραγματοποιήθηκαν από το ΕΛΚΕΘΕ και στις 10 και 23 Οκτωβρίου έδειξαν υψηλές τιμές πετρελαϊκών υδρογονανθράκων.



**Εικόνα 4.24** Εικόνα ρύπανσης (<http://www.ant1news.gr/news/life/article/483797/sos-gia-to-bary-pligma-se-zoa-kai-periballon-apo-tin-oikologiki-katastrofi-ston-saroniko-binteo->)



**Εικόνα 4.25** Εικόνα ρύπανσης (<http://www.topontiki.gr/article/268342/arsi-tis-apagoreysis-kolymvisis-sto-paraliako-metopo-tis-athinas-epita-mines-apo>)

Συγκεκριμένα:

- 1.200 μικρογραμμάρια ανά λίτρο στον Τύμβο Θεμιστοκλέους στον Πειραιά στις 10 Οκτωβρίου και στις 23 Οκτωβρίου 344 μικρογραμμάρια
- 100 μικρογραμμάρια στον Φλοίσβο
- 284 μικρογραμμάρια στην παραλία κοντά στον Ναυτικό Όμιλο Αιγυπτιωτών στις 23 Οκτωβρίου
- 269 μικρογραμμάρια στον Άγιο Κοσμά στις 23 Οκτωβρίου
- 110 μικρογραμμάρια στο ΕΛΚΕΘΕ στις 3 Οκτωβρίου
- 331 μικρογραμμάρια σε μέρος της παραλίας της Γλυφάδας στις 3 Οκτωβρίου και 66,8 μικρογραμμάρια στις 23 Οκτωβρίου
- 85,5 μικρογραμμάρια σε άλλο σημείο της παραλίας της Γλυφάδας στις 3 Οκτωβρίου και 66,8 στις 10 Οκτωβρίου
- 139 μικρογραμμάρια στην ακτή κοντά στο Ασκληπιείο Βούλας στις 18 Σεπτεμβρίου, στη συνέχεια υπήρξε περαιτέρω μείωση ([www.mononews.gr](http://www.mononews.gr)).



**Εικόνα 4.26** Ο χάρτης της ρύπανσης (IOPC FUNDS, 2017)

Δέκα μήνες μετά το περιστατικό, συνολική εικόνα στο Σαρωνικό κόλπο κρίθηκε ικανοποιητική. Σύμφωνα με τις μετρήσεις του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.) προέκυψε ότι οι κύριες επιπτώσεις του ατυχήματος περιορίστηκαν στην παράκτια ζώνη, ιδιαίτερα στις περιοχές της Σαλαμίνας, Γλυφάδας και Ελληνικού και μόνο για την περίοδο των τριών πρώτων μηνών μετά τη διαρροή του πετρελαίου. Μετά το Δεκέμβριο 2017 προέκυψε ότι σε όλη την ακτογραμμή δεν υπήρχαν πλέον σημαντικά ευρήματα πετρελαϊκών υδρογονανθράκων. Οι θαλάσσιοι οργανισμοί φαίνεται να μην επηρεάστηκαν, ενώ δεν βρέθηκαν ενδείξεις βιοσυσσώρευσης. Σε ό,τι αφορά το θαλάσσιο πυθμένα, τόσο από τις υποβρύχιες βιντεοσκοπήσεις σε βάθη 0-20 μέτρα, όσο και από τα δείγματα ιζημάτων που συλλέχθηκαν σε επιλεγμένα σημεία σε μεγαλύτερα βάθη δεν διαπιστώθηκε ύπαρξη ποσοτήτων πετρελαιοειδών (<http://www.fmvoice.gr/index.php/epikairotita/koinonia/item/192906-dodekamini-parakolythisi-ton-akton-sto-saroniko-me-epivarynsi-tis-etairias-tou-agia-zoni-ii>).

## 5. ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ GNOME

### 5.1 Εισαγωγή

Το πρόγραμμα GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment) είναι ένα μαθηματικό μοντέλο πετρελαιοκηλίδας του ινστιτούτου NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), γραμμένο σε C++, που προσομοιώνει την κίνηση της πετρελαιοκηλίδας λόγω ανέμων, ρευμάτων, παλίρροιας και διάδοσης. Το GNOME αναπτύχθηκε από την HAZMAT (Hazardous Materials Response Division) της NOAAOR&R (National Oceanic and Atmospheric Administration Office of Response and Restoration) δημιουργώντας ένα εργαλείο πρόβλεψης της τροχιάς με σκοπό την άμεση επέμβαση σε περίπτωση ατυχήματος (NOAA, 2002).

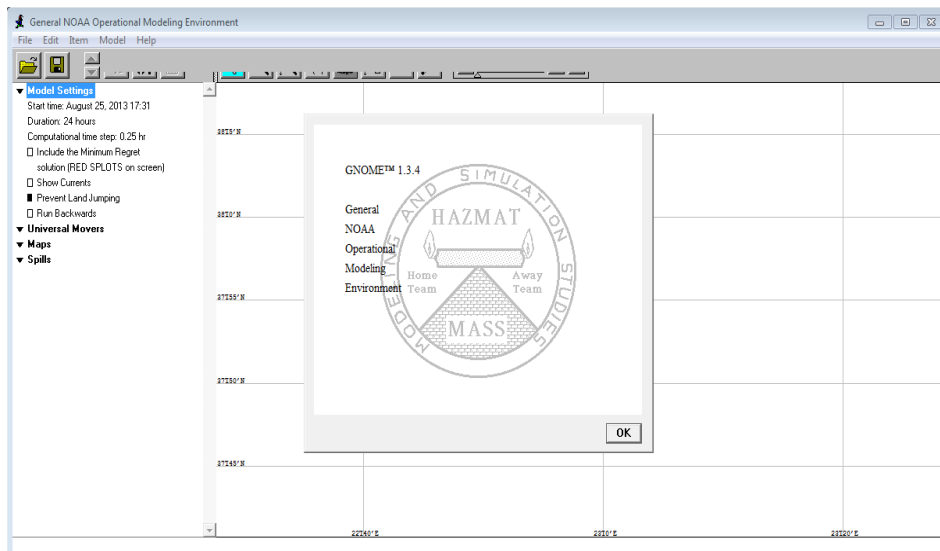
Το GNOME είναι ένα μοντέλο πρόβλεψης της τροχιάς που μπορεί να:

1. Εκτιμήσει την τροχιά της πετρελαιοκηλίδας με βάση την επεξεργασία των πληροφοριών που παρέχονται για τον άνεμο και τις καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες κυκλοφορίας, τη ροή του ποταμού και την πετρελαιοκηλίδα ή τις πετρελαιοκηλίδες που επιθυμεί ο χρήστης να προσομοιωθούν.
2. Προβλέψει τις τροχιές που προκύπτουν από την ανακρίβεια (αβεβαιότητα) των δεδομένων του ανέμου, των ρευμάτων αλλά και των προβλέψεων αυτών.
3. Χρησιμοποιήσει αλγόριθμους που σχετίζονται με τις διεργασίες του πετρελαίου (γήρανση) για να προβλέψει τις αλλαγές που υφίσταται όταν βρίσκεται εκτεθειμένο σε υδάτινο περιβάλλον.
4. Ενημερωθεί γρήγορα, να επαναυπολογίσει και να αποθηκεύσει τις νέες πληροφορίες.
5. Εξάγει ως αποτέλεσμα την τροχιά της πετρελαιοκηλίδας (συμπεριλαμβανομένου την εκτίμηση αβεβαιότητας) σε μορφή με γεωγραφική αναφορά η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δεδομένο εισόδου σε προγράμματα GIS (Geographic Information System).

Για να χρησιμοποιήσει ο χρήστης το GNOME, χρειάζεται να γίνει περιγραφή του σεναρίου διαρροής εισάγοντας πληροφορίες και δεδομένα στο πρόγραμμα. Το GNOME παράγει τη βέλτιστη λύση με μαύρα σωματίδια και μία δεύτερη με κόκκινα σωματίδια, όπου αντιπροσωπεύει τον ελάχιστο βαθμό αβεβαιότητας της τροχιάς σε μορφή βίντεο.

Επειδή το GNOME δημιουργήθηκε ως ένα εργαλείο για διάφορα είδη χρηστών, δημιουργήθηκαν τρεις τρόποι λειτουργίας του μοντέλου:

1. Βασική Λειτουργία (Standard Mode)
2. Λειτουργία Εξόδου GIS (GIS Output Mode)
3. Λειτουργία Διάγνωσης (Diagnostic Mode)



**Εικόνα 5.1** Αρχικό παράθυρο εργασίας προγράμματος GNOME στη λειτουργία Diagnostic Mode

Στην Βασική Λειτουργία, την πιο αυτοματοποιημένη λειτουργία του GNOME, εισάγεται ένα αρχείο τοποθεσίας στο οποίο έχουν ήδη αναπτυχθεί τα δεδομένα τοποθεσίας, όπως ένας χάρτης της περιοχής και τα κυρίαρχα ρεύματα. Ο «οδηγός» του GNOME (Wizard) καθοδηγεί τον χρήστη να δώσει τις πληροφορίες που απαιτούνται για να τρέξει το μοντέλο. Στη Βασική Λειτουργία, το μοντέλο μπορεί να αποθηκευτεί για μεταγενέστερη χρήση ή να εκτυπωθεί ως εικόνα είτε να δημιουργηθεί ένα βίντεο του μοντέλου. Η βασική λειτουργία του GNOME δεν είναι αρκετά ευέλικτη ώστε να χρησιμοποιηθεί για την ανταπόκριση σε περίπτωση πετρελαιοκηλίδας, αλλά είναι εξαιρετικό εργαλείο για την προσομοίωση πετρελαιοκηλίδων στον σχεδιασμό διαρροών και για την αίσθηση πρόληψης για περιοχές που μπορεί να κινδυνεύουν από ρύπανση.

Στη Λειτουργία Εξόδου GIS, απαιτείται ένα Αρχείο Τοποθεσίας για να δημιουργηθεί το επιθυμητό σενάριο. Σε αυτή τη λειτουργία είναι δυνατή η εξαγωγή αποτελεσμάτων σε μορφή συμβατή με GIS. Το GNOME παράγει την τροχιά της πετρελαιοκηλίδας σε μορφή ASCII η οποία μπορεί να διαβαστεί από διάφορα προγράμματα GIS. Η Λειτουργία Εξόδου GIS χρησιμοποιείται κυρίως για τη χωρική ανάλυση ή για την ανάλυση περιστατικών έκτακτης ανάγκης ατυχήματος πετρελαιοκηλίδας.

Στη Λειτουργία Διάγνωσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα Αρχείο Τοποθεσίας, λειτουργώντας επικουρικά για τη ρύθμιση του μοντέλου, ή μπορεί να δημιουργηθεί το μοντέλο από το μηδέν. (Χωρίς το Αρχείο Τοποθεσίας, το GNOME απαιτεί την εισαγωγή της ακτογραμμής και πληροφορίες σχετικά με το υδροδυναμικό της περιοχής).

Στη Λειτουργία Διάγνωσης παρέχονται οι παρακάτω πρόσθετες δυνατότητες:

1. Πλήρης πρόσβαση σε όλες τις παραμέτρους του μοντέλου και τις επιλογές κλιμάκωσης.
2. Προσαρμογή του μοντέλου σε πραγματικό χρόνο.
3. Δυνατότητα ανάπτυξης Αρχείων Τοποθεσίας της επιθυμίας του χρήστη.
4. Ορισμός συντελεστών οι οποίοι ελέγχουν το μέγεθος και την κατανομή της αβεβαιότητας στις εκτιμήσεις της ελάχιστης αβεβαιότητας (Minimum Regret).



## 5.2 Διεργασίες και εξισώσεις μαθηματικού μοντέλου

Το GNOME είναι ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιεί διάφορες πηγές δεδομένων. Κάθε χρήστης οφείλει να προσδιορίσει με ακρίβεια και επάρκεια τα δεδομένα εισόδου. Τα βασικά δεδομένα είναι οι χάρτες, το υδροδυναμικό (άνεμος και ρεύματα), η διάχυση και η διαρροή. Το μοντέλο είναι ελεγμένο και τα δεδομένα εισόδου και της διαρροής διατηρούνται με σαφή διάκριση. Τα αποτελέσματα είναι αξιόπιστα σε αναλογία με την αξιοπιστία των δεδομένων εισόδου.

Τα πετρελαιοειδή προσομοιώνονται σαν μάζες σημείων (μέχρι 10.000<sup>4</sup>) που ονομάζονται LEs (Lagrangian στοιχεία) ή σωματίδια (splot dots). Οι παράμετροι που αντιστοιχούν σε κάθε μάζα σημείου αντιπροσωπεύουν μία θέση (γεωγραφικό πλάτος/μήκος), χρόνο διαρροής, ηλικία, τύπο πετρελαίου και κατάσταση (π.χ. εξάτμιση, προσαιγιάλωση κ.α). Είναι καλύτερο να χρησιμοποιούνται τουλάχιστον 1.000 LEs, ειδάλως αλλοιώνεται η ποιότητα των στατιστικών στοιχείων. Καθώς τρέχει το μοντέλο, εμφανίζεται στην αριστερή πλευρά του παραθύρου η ισορροπία της μάζας, που εκφράζει πόση ποσότητα του πετρελαίου βρίσκεται μέσα στο νερό, πόση φτάνει στη στεριά και πόση εξατμίζεται (NOAA,2012).

### 5.2.1 Μετακίνηση

Για τον υπολογισμό της συνολικής μετακίνησης, η  $u$  (ανατολή-δύση) και η  $v$  (βορρά-νότου) συνιστώσες της ταχύτητας των ρεύματων, ο άνεμος, η διάχυση και κάθε δύναμη που θέτει το πετρέλαιο σε κίνηση προστίθενται σε κάθε χρονικό βήμα,  $i$ , χρησιμοποιώντας εξισώσεις Euler (δηλαδή, μια 1ης τάξης εξίσωση, Runge-Kutta μέθοδος). Δίνεται ένα σημείο ( $x, y, z, t$ ) και το μοντέλο δίνει ως αποτέλεσμα μια μετατόπιση ( $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ ) σε χρόνο  $t$  (Εξίσωση 5.1).

$$\Delta x = \frac{u}{\cos(y)} * \Delta t, \Delta y = \frac{v}{111,120.00024} * \Delta t, \text{ και } \Delta z = 0 \quad (5.1)$$

όπου,

$\Delta t = t - t_1$  είναι ο χρόνος που μεσολάβησε μεταξύ των χρονικών βημάτων  $i$

$y$  είναι το γεωγραφικό πλάτος σε ακτίνια

111,120.00024 είναι ο αριθμός των μέτρων ανά μοίρα γεωγραφικού πλάτους (γίνεται η υπόθεση πως 1' = 1 ναυτικό μίλι)

Και ( $\Delta x, \Delta y$ ) είναι η δισδιάστατη απεικόνιση του γεωγραφικού μήκους και του γεωγραφικού πλάτους μετατόπισης, αντίστοιχα σε βάθος στρώματος  $z$ .

Η συνολική μετατόπιση υπολογίζεται με προσθήκη του διανύσματος της μετατόπισης ενός σωματιδίου του ρυπαντή σε κάθε χρονικό βήμα. Τυπικά υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα στην ακρίβεια της πρόβλεψης των δεδομένων εισόδου και /ή στα στοιχεία των μετρήσεων. Τα δεδομένα που εισάγονται στο μοντέλο είναι πλεγματικά και οδηγούν σε μη ομαλά πεδία ταχύτητας - περιορίζοντας τη δυνατότητα χρήσης εξισώσεων υψηλότερης τάξης Runge-Kutta (εάν πρόσθετη ακρίβεια είναι επιθυμητή, μειώνοντας στο μοντέλο το χρονικό βήμα συχνά παράγεται ένα βελτιωμένο αποτέλεσμα πολλές φορές όμοιο με κάποιο μοντέλο που θα χρησιμοποιούσε μια πιο πολύπλοκη

μέθοδο ανώτερης τάξης). Κάθε μετακινητής που υπάρχει στο μοντέλο μπορεί να είναι ενεργός ή ανενεργός και μόνο οι μετακινητές που έχουν επισημανθεί ως ενεργοί χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της προσομοίωσης (Ποτουρίδης, 2013).

### 5.2.2 Ρεύματα (Current Movers)

Το GNOME δέχεται διάφορους τύπους και μορφές πλέγματος για τα τρέχοντα δεδομένα. Μια επιλογή από πρόσφατα ρεύματα μέτρησης και πρόβλεψης που είναι συμβατά με το GNOME είναι διαθέσιμα για λήψη μέσω των GOODS στην ιστοσελίδα <http://gnome.orr.noaa.gov/goods>. Για τα αρχεία της Βασικής Λειτουργίας γίνεται χρήση υδροδυναμικού μοντέλου τύπου Current Analysis for Simulation Trajectory (CATS). Το μοντέλο CATS είναι ένα δισδιάστατο μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων και δημιουργεί σταθερά μοτίβα που εξαρτώνται από το χρόνο, συνδέοντάς τα με μια χρονική σειρά, όπως για παράδειγμα παλιρροιακούς συντελεστές. Αυτά τα μοτίβα είναι αρκετά γρήγορα για να παραχθούν και να προσαρμοστούν εύκολα κατά τη διάρκεια μιας της χρήσης. Τα σχέδια είναι σε ένα τρίγωνο πλέγμα που επιτρέπει την καλή αντιστοίχιση της ακτογραμμής και υψηλότερη ανάλυση κοντά στην ακτή. Σύμφωνα με τα GOODS, τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας, όπως τα προγνωστικά, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου στο GNOME. Το μοντέλο δεν κάνει υπολογισμούς στις τρεις διαστάσεις.

Το GNOME δέχεται μοντέλα ρευμάτων που εξαρτώνται ή είναι σταθερά στο χρόνο. Για παράδειγμα, η προσομοίωση της παλίρροιας στα περισσότερα αρχεία τοποθεσίας είναι της μορφής  $U(x, y) T(t)$ . Χρησιμοποιείται ένα χωρικό πρότυπο από το υδροδυναμικό πρόγραμμα CATS της NOAA και τα αρχεία εξόδου του προγράμματος ονομάζονται  $U\_CATS$ . Έτσι, για ένα σημείο  $(x_0, y_0)$ , τα ρεύματα σε οποιοδήποτε σημείο  $U(x, y)$  δίνονται από την Εξίσωση (5.2).

$$\vec{U}(x, y) = \vec{T}(x_0, y_0, t) * \frac{\vec{U}_{CATS}(x, y)}{\vec{U}_{CATS}(x_0, y_0)} \quad (5.2)$$

Το GNOME δέχεται επίσης δεδομένα από άλλα υδροδυναμικά μοντέλα σε ορθογώνια, καμπυλόγραμμα, και τριγωνικά πλέγματα για τη χρήση των ρευμάτων. Στα ορθογώνια πλέγματα το GNOME κάνει την παραδοχή για τις ταχύτητες να βρίσκονται στο κέντρο των κελιών του καννάβου του πλέγματος ή στους κόμβους και σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιεί την ίδια τιμή για ένα κελί δικτύου και δεν την παρεμβάλλει. Τα ορθογώνια πλέγματα πρέπει να εισάγονται πάνω σε ένα χάρτη. Για καμπυλόγραμμα και τριγωνικά πλέγματα εάν δεν υπάρχει διαθέσιμος BNA χάρτης, το GNOME δημιουργεί ένα χάρτη από το όριο του πλέγματος. Επίσης γίνεται προέκταση του πλέγματος προς τα πάνω και δεξιά, και εφαρμόζονται τιμές ταχύτητας για την πρώτη γραμμή και την τελευταία στήλη.

Άλλοι τύποι αρχείων ρευμάτων μπορούν να είναι είτε σε μορφή American Standard Code for Information Interchange του GNOME (ASCII) ή σε μορφή Network Common Data Form (NetCDF).

### 5.2.3 Άνεμος (Wind Movers)

Το GNOME επιτρέπει κινήσεις ανέμου, σταθερές, εξαρτώμενες από το χρόνο και εξαρτώμενες από χρόνο/χώρο. Οι δύο πρώτες μπορούν είτε να εισαχθούν μέσα από ένα παράθυρο διαλόγου για τον άνεμο ή από ένα αρχείο στο On-Scene Model (OSSM) σε μορφή ανέμου (Torggrimson, 1984). Τα αρχεία περιέχουν ημερομηνία, ώρα, ταχύτητα και διεύθυνση. Οι μονάδες επιλέγονται όταν γίνεται εισαγωγή των αρχείων. Οι χωρικά μεταβαλλόμενοι άνεμοι πρέπει να εισάγονται μέσω ενός αρχείου είτε σε μορφή American Standard Code for Information Interchange του GNOME (ASCII) ή σε Network Common Data Form (NetCDF). Για μερικά επιλεγμένα μοντέλα τα ανεμολογικά δεδομένα μπορούν να ληφθούν μέσω της ιστοσελίδας <https://gnome.orr.noaa.gov/goods>. Το GNOME επιτρέπει εισαγωγή αρχείων από την Εθνική βάση δεδομένων της υπηρεσίας ψηφιακής πρόγνωσης (National Weather Service's National Digital Forecast Database), αλλά απαιτούν κάποια προεπεξεργασία. Ο χωρικά μεταβαλλόμενος άνεμος παρεμβάλλεται γραμμικά στο χρόνο, αλλά δεν παρεμβάλλεται στο χώρο.

### 5.2.4 Μετακίνηση στοιχείων λόγω ανέμου (Component Mover)

Η κινητήρια δύναμη του στοιχείου είναι ουσιαστικά ένα ρεύμα με αιολική ενέργεια. Μπορεί να έχει ένα ή δύο ρεύματα, τα οποία πρέπει να είναι σε μορφή CATS, όπου κλιμακώνονται με σταθερό ή χρονικά εξαρτώμενο άνεμο. Κάθε μοτίβο μπορεί να κλιμακωθεί από το στοιχείο του ανέμου σε μια δεδομένη κατεύθυνση. Συνήθως μπορεί να είναι ένα μοτίβο που καθοδηγείται από την παράκτια συνιστώσα του ανέμου και ένα άλλο που καθοδηγείται από τη διασυνοριακή συνιστώσα. Ο αέρας κλιμακώνεται σε ένα σημείο αναφοράς στο τρέχον μοτίβο το οποίο έχει οριστεί από τους χρήστες για μια δεδομένη ταχύτητα ανέμου.

Οι τρέχοντες συνιστώσες μπορούν να κλιμακωθούν γραμμικά με την ταχύτητα του ανέμου ή με το τετράγωνο της ταχύτητας του ανέμου (δηλαδή την πίεση του ανέμου). Το μοτίβο του ρεύματος μπορεί επίσης να κλιμακωθεί με τον μέσο όρο των προηγούμενων τιμών ανέμου. Η επιλογή αυτού του μέσου όρου καταγράφει την υστέρηση στην απόκριση των ρευμάτων λόγω του εξαναγκασμού του ανέμου, μια συμπεριφορά που παρατηρείται συχνά λόγω της προσθήκης παρασυρόμενων ουσιών όπως οι βλαβερές ανθοφόρες φυλές (HABS). Ο συντελεστής του ρεύματος μπορεί να κλιμακωθεί σε οποιαδήποτε δύναμη του μέσου όρου του ανέμου, καθώς όταν γίνει η εκτίμηση του μέσου ανέμου μπορεί να εφαρμοστεί οποιοσδήποτε πολλαπλασιαστικός συντελεστής. Εάν δεν υπάρχουν διαθέσιμα ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα ή το αρχείο ανέμου δεν επαρκεί για να ικανοποιήσει τον επιλεγμένο χρόνο προσομοίωσης, το μοντέλο μπορεί να ρυθμιστεί να προεκτείνεται και να χρησιμοποιεί τα διαθέσιμα δεδομένα έως να συγκεντρωθούν τα απαιτούμενα.

### 5.2.5 Επιρροή ταχύτητας και εμμόνη ανέμου

Η επιρροή του ανέμου εισάγεται στο πεδίο "Windage" (=επιρροή του ανέμου στην κίνηση της κηλίδας). Η ταχύτητα με την οποία ο αέρας κινεί το ρύπο υπολογίζεται συνήθως περίπου στο 3% της ταχύτητας του ανέμου με βάση αναλυτική μελέτη και την

εμπειρική παρατήρηση ότι το πετρέλαιο τείνει να εξαπλωθεί και εκατέρωθεν της διεύθυνσης του ανέμου (Stolzenbach, Madsen, Adams, Pollack, & Cooper, 1977). Η NOAA χρησιμοποιεί ένα συντελεστή της τάξης του 1% με 4%, που προσαρμόζεται με βάση τις επί τόπου παρατηρήσεις (Lehr & Šimeček-Beatty, 2000). Το ίδιο ποσοστό χρησιμοποιείται στο GNOME ως προεπιλογή με ομοιόμορφη κατανομή. Ένα δεδομένο σταγονίδιο πετρελαίου θα κινηθεί με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με το πόσο κοντά είναι στην επιφάνεια, δηλαδή το κατά πόσο εκτίθεται άμεσα στον άνεμο.

Η εξάπλωση του πετρελαίου είναι χαμηλότερη όσο το πετρέλαιο βρίσκεται περισσότερο χρόνο κάτω από την επιφάνεια. Λόγω της συγκεκριμένης ιδιότητας του πετρελαίου το μοντέλο παρέχει δύο επιλογές όσον αφορά την αδρανειακή εμμόνη να μετακινηθεί λόγω της επιρροής του ανέμου. Η τυπική προεπιλογή είναι δεκαπέντε λεπτά. Η δεύτερη επιλογή είναι η άπειρη εμμόνη, η οποία χρησιμοποιείται όταν μοντελοποιούνται βαρύτερα αντικείμενα που επιπλέουν στην επιφάνεια της θάλασσας. Σε γενικές γραμμές, θα μπορούσε κανείς να χρησιμοποιήσει την επιλογή της δεκαπεντάλεπτης εμμόνης για το πετρέλαιο, όπου η επιρροή του ανέμου αυξάνεται και μειώνεται με το χρόνο όσο τα σωματίδια του πετρελαίου ωθούνται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας από τα κύματα. Η άπειρη εμμόνη χρησιμοποιείται όταν κάθε ένα από τα σωματίδια επηρεάζεται διαφορετικά από τον άνεμο και διατηρεί τη διαφορά αυτή επ'αόριστον, όπως για παράδειγμα τα συντρίμια από ένα σκάφος.

Η ποσότητα της διασποράς λόγω του ανέμου δίνεται από την Εξίσωση (5.3).

$$\frac{d\sigma^2}{dt} = S(t) \quad (5.3)$$

όπου

$\sigma^2$  είναι η διακύμανση των θέσεων και

$S(t)$  είναι το πόσο εξαπλώνεται το στοιχείο, συναρτήσει του χρόνου, επειδή η ταχύτητα του ανέμου είναι συνάρτηση με το χρόνο.

Για ένα σταθερό άνεμο, η  $S$  θα είναι συνεχής και  $\sigma^2 = S * t$ . Δηλαδή, η διακύμανση των σωματιδίων αυξάνεται γραμμικά στο χρόνο.

### 5.2.6 Διάχυση (Diffusion)

Η διάχυση του πετρελαίου γίνεται με ένα απλό αλγόριθμο τυχαιότητας με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Ο αλγόριθμος τυχαιότητας αυτός βασίζεται στην τιμή διάχυσης  $D$ , που στο μοντέλο αντιπροσωπεύει την οριζόντια δίνη διαχύσης στο νερό. Μια χαμηλή τιμή είναι  $1000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ , και μία υψηλή τιμή κυμαίνεται μεταξύ  $100000$  έως και  $1000000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ . Η προεπιλογή του μοντέλου είναι  $100000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ . Κατά τη διάρκεια μιας διαρροής πετρελαίου, η τιμή του  $D$  υπολογίζεται από τα δεδομένα της έκτασης της πετρελαιοκηλίδας αντίστροφα από μαθηματικούς τύπους.

Το GNOME χρησιμοποιεί τους κλασσικούς τύπους διάχυσης όπως δίνονται στην Εξίσωση (5.4) και Εξίσωση (5.5).

Η κλασική εξίσωση διάχυσης που χρησιμοποιεί το GNOME

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C \quad (5.4)$$

όπου C είναι η συγκέντρωση ενός υλικού και D είναι ο προαναφερθείς συντελεστής διάχυσης.

Η Εξίσωση 5.4 στις καρτεσιανές συντεταγμένες.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x * \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y * \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad (5.5)$$

όπου  $D_x$  και  $D_y$  είναι οι συντελεστές κλιμακωτής διάχυσης στις κατευθύνσεις x και y.

Η μέση θέση παραμένει μηδενική, αλλά η διάχυση αυξάνεται γραμμικά με το χρόνο. Η ακριβής μορφή της πιθανότητας κατανομής μετακίνησης του πετρελαίου λόγω διάχυσης είναι ασύνδετη όσο δεύτερη στιγμή του είναι  $2D\Delta t$  (Csanady, 1973). Η διάχυση επομένως μπορεί να προσομοιωθεί με οποιαδήποτε κατανομή, με τον συντελεστή διάχυσης είναι το ήμισυ της διακύμανσης της κατανομής κάθε βήματος όπου διαιρείται με το χρονικό βήμα (Εξίσωση 5.6).

$$D_x = \frac{1}{2} * \frac{\sigma_x^2}{\Delta t} \quad (5.6)$$

Στο GNOME υπολογίζεται ένα ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ) από το δεδομένα εισόδου τον συντελεστή διάχυσης D και σε κάθε βήμα μια dx και dy επιλέγονται τυχαία από μια ομοιόμορφη κατανομή (των αριθμών κινητής υποδιαστολής) μεταξύ -1 και 1, έτσι ώστε  $-\Delta x \leq dx \leq \Delta x$ ,  $-\Delta y \leq dy \leq \Delta y$  και  $\Delta x = \Delta y$ . Αυτό οδηγεί σε μια τετραγωνική κατανομή των σημείων. Η διακύμανση αυτής της κατανομής δίδεται από την εξίσωση (5.7), και ομοίως για  $\sigma_y^2$ .

$$\sigma_x^2 = \int_{-\Delta x}^{\Delta x} \frac{x^2}{2 * \Delta x} dx = \frac{\Delta x^2}{3} \quad (5.7)$$

Τέλος τα  $\Delta x$  και  $\Delta y$  υπολογίζονται από την εξίσωση (5.8):

Υπολογισμός της μετατόπισης των ζωνών και των μεσημβρινών με διάχυση.

$$\Delta x = \frac{dx * \sqrt{\frac{6 * D}{10,000} * \Delta t}}{\cos(y)}, \Delta y = dy * \frac{\sqrt{6 * \frac{D}{10,000} * \Delta t}}{111,120.00024} \quad (5.8)$$

όπου,

$\Delta t = t - t_1$  είναι ο χρόνος που μεσολάβησε μεταξύ των χρονικών βημάτων i

y είναι το γεωγραφικό πλάτος σε ακτίνια

111,120.00024 είναι ο αριθμός των μέτρων ανά μοίρα γεωγραφικού πλάτους (γίνεται υπόθεση πως 1' = 1 ναυτικό μίλι)

Και ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ) είναι η δισδιάστατη απεικόνιση του γεωγραφικού μήκους και του γεωγραφικού πλάτους μετατόπισης, αντίστοιχα, στο βάθος του στρώματος z.

Το GNOME έχει επίσης έναν αλγόριθμο διάχυσης εξαρτώμενο από βάθος (z), αλλά προς

το παρόν ο υπολογισμός αυτός είναι διαθέσιμος μόνο για συγκεκριμένα Αρχεία Τοποθεσίας.

$$D = 10^{1+e^{(1-\frac{10}{z})}} \quad (5.9)$$

### 5.2.7 Εξάτμιση (Evaporation)

Για την εξάτμιση το GNOME χρησιμοποιεί έναν απλοϊκό αλγόριθμο τριών φάσεων (Εξίσωση 5.10, Boehm, Feist, Mackay, & Paterson, 1982), όπου ο ρύπος αντιμετωπίζεται ως ένα τριμερές συστατικό με ανεξάρτητους χρόνους ημιζωής.

$$X_{prob} = \frac{P_1 * \left( \frac{-t_i}{2^{H_1-2}} \frac{t_{i-1}-2*t_i}{H_1} \right) + P_2 * \left( \frac{-t_i}{2^{H_2-2}} \frac{t_{i-1}-2*t_i}{H_2} \right) + P_3 * \left( \frac{-t_i}{2^{H_3-2}} \frac{t_{i-1}-2*t_i}{H_3} \right)}{P_1 * 2^{\frac{-t_i}{H_1}} + P_2 * 2^{\frac{-t_i}{H_2}} + P_3 * 2^{\frac{-t_i}{H_3}}} \quad (5.10)$$

όπου

T και T1 είναι ο χρόνος που παρήλθε (σε ώρες) κατά το χρονικό βήμα i και στο βήμα i-1, αντίστοιχα, από την κυκλοφορία του στοιχείου

H<sub>i</sub> είναι οι ημιζωές κάθε συστατικού (σε ώρες) από τον Πίνακα 5.1 για τον ρύπο

P<sub>i</sub> είναι τα ποσοστά του κάθε συστατικού (ως δεκαδικά) από τον Πίνακα 5.1 για τον ρύπο.

Για κάθε στοιχείο σε κάθε χρονικό βήμα i, παράγεται ένας τυχαίος αριθμός, το R<sub>(0,1)</sub>, μεταξύ 0 και 1. Εάν το R<sub>(0,1)</sub> ≤ X, η μάζα του στοιχείου είναι ορισμένη ίση με μηδέν.

Ο τύπος του ρυπαντή που επιλέγεται για την προσομοίωση της πετρελαιοκηλίδας καθορίζει τις παραμέτρους που σχετίζονται με τις διεργασίες του πετρελαίου και υπολογίζεται για τον συγκεκριμένο τύπο η εξάτμιση. Αν η μάζα του στοιχείου είναι μηδέν μετά από κάποιο ορισμένο χρόνο, τότε το στοιχείο θεωρείται εξατμισμένο. Οι τύποι ρύπων που υποστηρίζονται από το GNOME δίνονται στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 5.1).

Ο πίνακας αυτός είναι κατάλληλος για απλά σενάρια και συγκρίσεις, αλλά δεδομένου ότι οι τύποι πετρελαίου του GNOME και οι καιρικές συνθήκες είναι πολύ στοιχειώδης, κατά τη διάρκεια μιας πραγματικής διαρροής οι τροχιές του GNOME υπολογίζονται χωρίς τις διεργασίες της πετρελαιοκηλίδας. Για τον υπολογισμό του βαθμού εξάτμισης η NOAA συστήνει την εφαρμογή του ERD του προγράμματος ADIOS2 της NOAA. Το ADIOS2 (Automated Data Inquiry for Oil Spills) δίνει λεπτομερές πληροφορίες για την κατάσταση της πετρελαιοκηλίδας. Επιπλέον, έχει πληρέστερη βάση δεδομένων όσον αφορά τα είδη πετρελαίου και πραγματεύεται καλύτερα τις διάφορες διεργασίες («γήρανση») από το GNOME.

**Πίνακας 5.1** Τύποι ρύπων, προεπιλεγμένη σύνθεση και χρόνοι ημιζωής.(NOAA, Office of Response and Restoration (2012) “General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation”)

Pollutant Type	Percent Each Constituent	Half-Life Each Constituent (Hours)	Observational Threshold Time (Hours)
Gasoline	50.0	0.12	18.55
	50.0	5.3	18.55
	0.0	1.0x10 <sup>9</sup>	18.55
Kerosene & Jet Fuel	35.0	5.3	50.44
	50.0	14.4	50.44
	15.0	69.2	50.44
Diesel	30.0	14.4	170.1
	45.0	48.6	170.1
	25.0	243.0	170.1
Fuel Oil #4	24.0	14.4	170.1
	37.0	48.6	170.1
	39.0	1.0x10 <sup>9</sup>	170.1
Medium Crude	22.0	14.4	170.1
	26.0	48.6	170.1
	52.0	1.0x10 <sup>9</sup>	170.1
Fuel Oil #6	20.0	14.4	170.1
	15.0	48.6	170.1
	65.0	1.0x10 <sup>9</sup>	170.1
User Definable	100.0	1.0x10 <sup>9</sup>	3.5x10 <sup>9</sup>
	0.0	1.0x10 <sup>9</sup>	3.5x10 <sup>9</sup>
	0.0	1.0x10 <sup>9</sup>	3.5x10 <sup>9</sup>
Conservative	100.0	1.0x10 <sup>9</sup>	3.5x10 <sup>9</sup>
	0.0	1.0x10 <sup>9</sup>	3.5x10 <sup>9</sup>
	0.0	1.0x10 <sup>9</sup>	3.5x10 <sup>9</sup>
Default	100.0	1.0x10 <sup>9</sup>	3.5x10 <sup>9</sup>
	0.0	1.0x10 <sup>9</sup>	3.5x10 <sup>9</sup>
	0.0	1.0x10 <sup>9</sup>	3.5x10 <sup>9</sup>

### 5.2.8 Προσαγιάλωση (Beaching)

Σε κάθε χρονικό βήμα και αφού τα σωματίδια έχουν μετακινηθεί, το GNOME ελέγχει τον χάρτη για να διαπιστωθεί αν οι νέες θέσεις των στοιχείων βρίσκονται στη στεριά ή στο νερό. Ο αλγόριθμος προσαγιάλωσης ελέγχει το σύνολο της ακτογραμμής στο χάρτη ανάμεσα στο παλιό και στο νέο σημείο για να βεβαιωθεί ότι τα σωματίδια δεν πηδούν πάνω από την ξηρά και τις ακτές. Η τοποθεσία στο νερό ακριβώς πριν φτάσουν τα σωματίδια στη στεριά αποθηκεύεται ώστε να χρησιμοποιηθεί ως σημείο εκκίνησης όταν και εάν ένα σωματίδιο έχει εκ νέου διασπορά. Αν η επιλογή “prevent land jumping” δεν είναι επιλεγμένη, ένας απλοποιημένος αλγόριθμος εξετάζει εάν το νέο σημείο είναι στο νερό ή στην ξηρά και στη συνέχεια απλά αγνοεί την πορεία που πήρε το στοιχείο. Η



προεπιλογή είναι να είναι ενεργοποιημένη αυτή η εντολή και η αλληλεπίδραση του ρύπου με ιζήματα και ζώντες οργανισμούς δεν είναι διαμορφωμένη.

### 5.2.9 Ανέλκυση- Επανατοποθέτηση (Refloating)

Η ημιζωή είναι μια παράμετρος που περιγράφει εμπειρικά την πρόσφυση του πετρελαίου στην ακτογραμμή. Είναι μια συνάρτηση μεταξύ του υποστρώματος πορώδους, της παρουσίας ή απουσίας βλάστησης, της προσκόλλησης του πετρελαίου και άλλων φυσικών ιδιοτήτων και διαδικασιών του περιβάλλοντος. Αυτές οι διαφορετικές παράμετροι έχουν συγχωνευθεί σε μία μόνο παράμετρο, την Ημιζωή (Half-Life). Αυτή η παράμετρος είναι ο αριθμός των ωρών κατά τον οποίο το ήμισυ του πετρελαίου σε μια συγκεκριμένη ακτογραμμή αναμένεται να αποκολληθεί αν:

1. Υπάρξει άνεμος ή δυνάμεις διάχυσης.
2. Το επίπεδο της θάλασσας είναι στο ίδιο επίπεδο, ή υψηλότερο, από ότι το επίπεδο του πετρελαίου όταν έχει προσκολληθεί στη στεριά.

Αυτή η παράμετρος, μαζί με τα άλλα περιβαλλοντικά δεδομένα, επιτρέπει την ανέλκυση του πετρελαίου που έχει μολύνει μια ακτογραμμή. Η προεπιλογή της ημιζωής στο GNOME είναι 1 ώρα. Αν η τιμή είναι υψηλότερη το πετρέλαιο θα κολλήσει στην ακτογραμμή, ενώ για τις πολύ μικρές τιμές το πετρέλαιο αποκολλάται αμέσως και επανακυκλοφορεί στο υδάτινο περιβάλλον. Στη θεωρία ο χρόνος ημιζωής μπορεί να ρυθμιστεί σε διαφορετικές τιμές κατά μήκος διαφορετικών τμημάτων της ακτογραμμής ανάλογα με τον τύπο της ακτής. Η πιθανότητα  $P$  ένα στοιχείο να επανακυκλοφορήσει στο υδάτινο περιβάλλον, που προσδιορίζεται με τον προεπιλεγμένο χρόνο ημιζωής (1 ώρα), δίνεται από την Εξίσωση (5.12).

$$p_{refloat} = 1 - e^{\frac{-t \cdot \ln(2)}{(1 \text{ hour})}} = 1 - 2^{-t} \quad (5.12)$$

όπου  $t$  μετράται σε ώρες. Η αναδιάταξη για ένα LE καθορίζεται επιλέγοντας τυχαία έναν αριθμό στο διάστημα  $(0,1)$ :  $R_{(0,1)}$ . Αν το  $R_{(0,1)} < p$ , το LE είναι επανατοποθετημένο. Αν ένα LE έχει ανελκυθεί, τοποθετείται στην τελευταία θέση όπου βρισκόταν μέσα στο νερό πριν προσαιγιαλωθεί.

### 5.2.10 Αβεβαιότητα (Uncertainty)

Οι προγνώσεις του ανέμου και των ρευμάτων συνήθως δεν είναι αρκετά ακριβή ώστε να παράγουν τροχιές σε απόσταση 1 μίλι με ακρίβεια μετά από 48 ώρες (Galt, 1998). Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το GNOME υποστηρίζει την αβεβαιότητα που καθορίζεται από τον χρήστη με παραμέτρους, οι οποίες εισάγονται στα δεδομένα εισόδου. Το GNOME ενημερώνει συνεχώς κατά τη διάρκεια ενός σεναρίου τα δεδομένα εισόδου και το μοντέλο επανεκκινείται και επαναρυθμίζεται τουλάχιστον μια φορά την ημέρα.

Για να ληφθεί μια λύση αβεβαιότητας, υπάρχει στις ρυθμίσεις του μοντέλου η επιλογή "include minimum regret" και υπολογίζεται μια δεύτερη λύση (κόκκινα σωματίδια). Αυτό δημιουργεί ένα δεύτερο σύνολο LEs που κινείται υπό την επίδραση των ενεργών κινητήριων δυνάμεων, οι οποίες έχουν προεπιλεγμένες παραμέτρους αβεβαιότητας.



Οι διάφορες μορφές ρευμάτων και ο άνεμος έχουν παραμέτρους που δηλώνουν τη διάρκεια και τη χρονική στιγμή όπου ξεκινά η αβεβαιότητα. Επιπλέον στα ανεμολογικά δεδομένα παραμετροποιείται και η αβεβαιότητα στη γωνία διεύθυνσης και στην ταχύτητα. Η διάχυση έχει μια απλή αβεβαιότητα στην οποία τα σωματίδια της κινούνται με διαφορετική τυχαία εξάπλωση (ένας πολλαπλασιαστικός συντελεστής που καθορίζεται από τον χρήστη) και το τυχαίο βήμα αυξάνεται με την τετραγωνική ρίζα αυτού του συντελεστή.

### 5.3 Δεδομένα εισόδου μαθηματικού μοντέλου

Τα δεδομένα εισόδου στο GNOME είναι τα ακόλουθα:

1. Χαρακτηριστικά υπολογισμών (Model Settings).
2. Χαρακτηριστικά πετρελαιοκηλίδας.
3. Χάρτης περιοχής.
4. Χαρακτηριστικά ανέμου και ρευμάτων.

#### 5.3.1 Χαρακτηριστικά υπολογισμών

Τα δεδομένα εισόδου στο GNOME είναι τα ακόλουθα:

1. Χρόνος εκκίνησης των υπολογισμών.
2. Διάρκεια υπολογισμών.
3. Χρόνος εκκίνησης και διάρκεια.
4. Χρονικό βήμα υπολογισμών.
5. Εκτίμηση ελάχιστης λύσης (minimum regret solution). Για να ληφθεί μια λύση αβεβαιότητας υπάρχει επιλογή επιθυμίας της εκτίμησης ελάχιστης λύσης (minimum regret solution) του GNOME για την διαρροή. Η λύση αυτή αντιπροσωπεύεται από κόκκινα σωματίδια. Η εκτίμηση του βαθμού αβεβαιότητας βασίζεται στην υπόθεση πως η πιθανότητα του πετρελαίου να παραμείνει εντός της περιοχής που καλύπτεται από τα κόκκινα σωματίδια είναι της τάξεως του 90%.
6. Prevent land jumping. Το GNOME έχει έναν αλγόριθμο ο οποίος ελέγχει το σύνολο της ακτογραμμής στο χάρτη ανάμεσα στο παλιό σημείο και στο νέο σημείο για να βεβαιωθεί ότι τα στοιχεία δεν πηδούν πάνω από την ξηρά και τις παραλίες. Η τοποθεσία στο νερό ακριβώς πριν φτάσουν τα σωματίδια στη γη αποθηκεύεται ώστε να χρησιμοποιήσει ως σημείο εκκίνησης όταν και εάν ένα σωματίδιο έχει εκ νέου διασπορά. Αν η επιλογή "prevent land jumping" δεν είναι επιλεγμένη, ένας απλοποιημένος αλγόριθμος εξετάζει εάν το νέο σημείο είναι στο νερό ή στην ξηρά και στη συνέχεια απλά αγνοεί την πορεία που πήρε το στοιχείο. Η επιλογή αυτή λαμβάνει υπόψη τη στεριά.

#### 5.3.2 Χαρακτηριστικά πετρελαιοκηλίδας

1. Ονομασία πετρελαιοκηλίδας.
2. Τύπος πετρελαίου. Οι τύποι πετρελαίου που διαθέτει το GNOME είναι: gasoline, kerosene/ jet fuel, diesel, fuel oil #4, medium crude, fuel oil #6 και non-weathering.
3. Ποσότητα διαρροής.
4. Ημερομηνία έναρξης πετρελαιοκηλίδας.

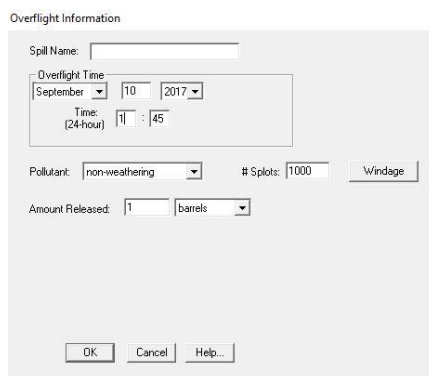
5. Ώρα έναρξης πετρελαιοκηλίδας.
6. Τοποθεσία πετρελαιοκηλίδας.
7. Ημερομηνία λήξης πετρελαιοκηλίδας.
8. Ώρα λήξης πετρελαιοκηλίδας.
9. Αριθμός σωματιδίων (Spots) της πετρελαιοκηλίδας.
10. Διαφορετική τοποθεσία λήξης διαρροής. Επιλογή αλλαγή τοποθεσίας λήξης διαρροής λόγω ενδεχομένης παράσυρσης του δεξαμενόπλοιου. Στο περιστατικό αυτό δεν υφίσταται καμία αλλαγή τοποθεσίας.

**Εικόνα 5.2** Παράθυρο χαρακτηριστικών πετρελαιοκηλίδας

11. Επιρροή ταχύτητας και εμμονή ανέμου. Παρατηρήσεις για πραγματικές διαρροές πετρελαίου και ελεγχόμενα πειράματα έχουν δείξει πως η επιρροή αυτή μπορεί να κυμαίνεται και από 1% έως 6% της ταχύτητας του ανέμου. Η πετρελαιοκηλίδα μπορεί να κινηθεί μέχρι και το 5.5% της ταχύτητας του. Γίνεται υπόθεση πως το υψηλότερο ποσοστό είναι το 6% (NOAA, 2002). Η εμμονή του ανέμου είναι 15 λεπτά, διότι η μοντελοποίηση αφορά πετρέλαιο όπου η επιρροή της μετακίνησής του από τον άνεμο αυξάνεται και μειώνεται με το χρόνο όσο τα σωματίδια του πετρελαίου ωθούνται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας από τα κύματα. Η επιλογή της άπειρη εμμονής χρησιμοποιείται όταν κάθε ένα από τα σωματίδια επηρεάζεται διαφορετικά από τον άνεμο, αλλά και διατηρεί τη διαφορά αυτή επ' αόριστον.
12. Χρονική στιγμή εκροής πετρελαίου (Age at Release). Δίνεται η τιμή (σε ώρες) η οποία δηλώνει τις ιδιότητες του πετρελαίου από τη χρονική στιγμή που διέρρευσε στο υδάτινο περιβάλλον.

**Εικόνα 5.3** Παράθυρο επιρροής ταχύτητας και εμμονής ανέμου

13. Πρόσθετη πετρελαιοκηλίδα (Spray Can). Επιλογή εισαγωγής μιας σημειακής διαρροής πετρελαίου («ψέκασμα»). Τα δεδομένα που απαιτούνται είναι όμοια.



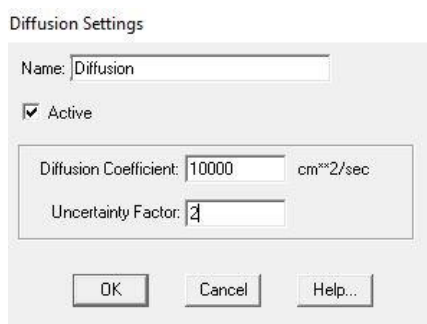
**Εικόνα 5.4** Παράθυρο χαρακτηριστικών πρόσθετης πετρελαιοκηλίδας

14. Spots from GNOME Spots File. Εισαγωγή σεναρίου διαρροής από αρχείο πετρελαιοκηλίδας του GNOME.

15. Splot Grid. Επιλογή εισαγωγής πλέγματος με σωματίδια ρύπανσης σε κάθε κελί.

16. Χρόνος ημιζωής (Refloat half life). Η ημιζωή είναι μια παράμετρος που περιγράφει εμπειρικά την πρόσφυση του πετρελαίου στην ακτογραμμή. Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.1 από το εγχειρίδιο “General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation” του GNOME γίνεται η επιλογή της παραμέτρου αυτής.

17. Συντελεστής διάχυσης (Diffusion). Η διάχυση του πετρελαίου γίνεται με ένα απλό αλγόριθμο τυχαιότητας με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Ο αλγόριθμος τυχαιότητας αυτός βασίζεται στην τιμή διάχυσης  $D$ , που στο μοντέλο αντιπροσωπεύει την οριζόντια δίνη διαχύσεως στο νερό. Μια χαμηλή τιμή είναι  $1000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ , και μία υψηλή τιμή είναι μεταξύ  $10000$  έως και  $1000000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ . Η προεπιλογή του μοντέλου είναι  $100000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ .



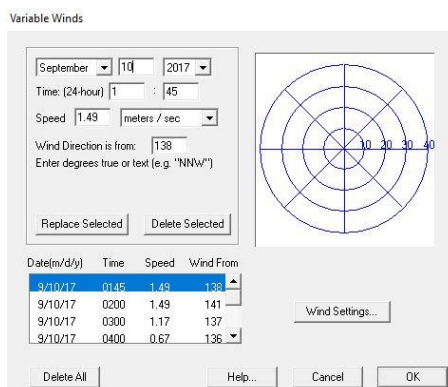
**Εικόνα 5.5** Παράθυρο συντελεστή διάχυσης

### 5.3.3 Χάρτης περιοχής

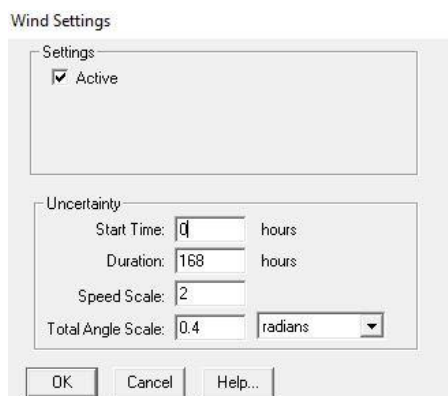
1. Χάρτης περιοχής. Λήψη από <https://gnome.orr.noaa.gov/goods>.
2. Επιλογή αναπαράστασης χάρτη (Show Land/Water Map).

### 5.3.4 Χαρακτηριστικά ανέμου και ρευμάτων

1. Ρεύματα.
2. Άνεμος-Μεταβλητός (Wind-Variable).



Εικόνα 5.6 Παράθυρο μεταβλητού ανέμου



Εικόνα 5.7 Παράθυρο αβεβαιότητας μεταβλητού ανέμου

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.9 στα ανεμολογικά δεδομένα εισάγονται: η ώρα έναρξης της αβεβαιότητας (Start Time), η διάρκεια της (Duration) και η τιμή της για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου (Speed Scale, Total Angle Scale). Σύμφωνα με το εγχειρίδιο Technical Documentation του GNOME η μέγιστη τιμή για την διεύθυνση του ανέμου είναι 60°.

3. Σταθερός άνεμος (Constant Wind). Εισαγωγή σταθερής ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου από το αντίστοιχο παράθυρο.
4. Component Mover. Άλλες κατηγορίες ρευμάτων που δέχεται το μοντέλο είναι ρεύματα, των οποίων η κινητήρια δύναμη είναι η αιολική ενέργεια (Component Mover). Μπορούν να είναι ένα ή δύο και πρέπει να έχουν τη μορφή ρεύματος CATS, όπου κλιμακώνονται με σταθερό ή χρονικά εξαρτώμενο άνεμο. Η χρήση των

ρευμάτων αυτών εφαρμόζεται για την Βασική Λειτουργία του μοντέλου (Standard Mode).

## 5. Compound Current.

### 5.4 Αποτελέσματα μαθηματικού μοντέλου

Αφού έχουν εισαχθεί τα δεδομένα σχετικά με την τοποθεσία, τις κινητήριες δυνάμεις (μετακινητές) και τη διαρροή, το μοντέλο τρέχει και παράγει την τροχιά.

Το GNOME εξάγει δύο λύσεις για κάθε ένα σενάριο πετρελαιοκηλίδας:

1. Τη βέλτιστη λύση.
2. Τη λύση ελάχιστης αβεβαιότητας.

Η βέλτιστη λύση εξάγει το αποτέλεσμα του μοντέλου που προκύπτει από τα δεδομένα εισόδου ως σωστή. Ωστόσο, τα μοντέλα, οι παρατηρήσεις και οι προβλέψεις τους σπάνια είναι τέλεια. Κατά συνέπεια, έχει ενσωματωθεί στο GNOME το σύνολο των αβεβαιοτήτων (όπως οι διακυμάνσεις στον άνεμο ή ρεύματα) που μπορεί να προκύψουν. Η δεύτερη λύση επιτρέπει στο μοντέλο να προβλέψει άλλες πιθανές τροχιές που όμως έχουν μικρότερη πιθανότητα να συμβούν, αλλά έχουν υψηλότερη επικινδυνότητα. Η λύση ελάχιστης αβεβαιότητας δίνει πληροφορίες σχετικά με τις περιοχές που θα μπορούσαν να επηρεαστούν εάν για παράδειγμα, ο άνεμος έχει διαφορετική διεύθυνση από ότι έχει οριστεί, ή αν τα ρεύματα στην περιοχή ρέουν πιο γρήγορα ή πιο αργά από ότι αναμενόταν. Σε κάποιες περιπτώσεις οι περιοχές που περιέχονται στη λύση της ελάχιστης αβεβαιότητας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στη μόλυνση από την πετρελαιοκηλίδα.

## 6. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΑΣ ΤΟΥ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2017 ΣΤΟ ΣΑΡΩΝΙΚΟ ΚΟΛΠΟ

### 6.1 Σενάρια υπολογισμών

Για την προσομοίωση της πετρελαιοκηλίδας εκτελέστηκαν υπολογισμοί με χρήση των δεδομένων που υπήρχαν. Έγινε επιλογή των τελικών υπολογισμών και τέλος μία ανάλυση ευαισθησίας. Στον Πίνακα 6.1 αναγράφονται τα σενάρια υπολογισμών.

**Πίνακας 6.1** Πίνακας υπολογισμών

<b>Αρχικοί υπολογισμοί</b>		
Σενάριο	Άνεμος	Ρεύματα
S1	-	Από Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ σε αρχείο NetCDF
S2	Από Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αναλυμένο σε υπολογιστικό φύλλο EXCEL	Από Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ σε αρχείο NetCDF
S3	Από Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αναλυμένο σε υπολογιστικό φύλλο EXCEL (σε μεγάλο πλέγμα)	-
S4	Από Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αναλυμένο σε υπολογιστικό φύλλο EXCEL (σε μικρό πλέγμα)	-
S5	Από ιστοσελίδα πρόβλεψης καιρού ( <a href="http://www.timeanddate.de">www.timeanddate.de</a> ) αναλυμένο σε υπολογιστικό φύλλο EXCEL	-
S6	Από ιστοσελίδα πρόβλεψης καιρού ( <a href="http://www.wunderground.com">www.wunderground.com</a> ) αναλυμένο σε υπολογιστικό φύλλο EXCEL	-
S7	Από Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) αναλυμένο σε υπολογιστικό φύλλο EXCEL	-
S8	Από Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών αναλυμένο σε υπολογιστικό φύλλο EXCEL (σε μεγάλο πλέγμα)	-
S9	Από Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών αναλυμένο σε υπολογιστικό φύλλο EXCEL (σε μικρό πλέγμα)	-
<b>Τελικοί υπολογισμοί</b>		
Βαθμονομημένα ανεμολογικά δεδομένα χωρίς ρεύματα		
<b>Ανάλυση ευαισθησίας (βλ. Πίνακα 6.3)</b>		



### *Ρεύματα Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ*

Έγινε λήψη από OpenDAP Server του ατμοσφαιρικού μοντέλου Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ με πλέγμα χωρισμένο στο 1/30 της μοίρας ανά 6 ώρες.

- Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν αρχεία NetCDF για κάθε ημέρα. Εισάγοντάς τα διαπιστώθηκε πως δεν διαβάζονται με τη σειρά αλλά σταματάει το μοντέλο μόλις διαβάσει τα δεδομένα της 1<sup>ης</sup> ημέρας.
- Έγινε σύμπτυξη αυτών σε ένα αρχείο με αποτέλεσμα ένα ενιαίο NetCDF ρευμάτων. Τρέχοντας αυτό, διαπιστώθηκε πως το μοντέλο αθροίζει τις τιμές των διανυσμάτων ανά ημέρα για όλο το βάθος.
- Οι ταχύτητες σε μεγάλα βάθη αφαιρέθηκαν και παρέμειναν αυτές της ελεύθερης επιφάνειας.
- Έγινε περιορισμός του πλέγματος (Grid) ώστε να είναι πιο συγκεκριμένη η περιοχή.
- Μέσω επεξεργασίας του NetCDF αρχείου έγινε προσπάθεια αλλαγής των τιμών NaN, χωρίς όμως την επιθυμητή τιμή. Ωστόσο, δεν υπήρξε επιρροή στο αποτέλεσμα και αφέθηκαν όπως ήταν.
- Στην εισαγωγή αυτού του αρχείου εντοπίστηκε πρόβλημα με έναν πολλαπλασιαστικό συντελεστή, ο οποίος μεταβάλλει τις ταχύτητες των ρευμάτων. Θέτοντας αυτόν τον συντελεστή με την τιμή 1 μεταβάλλεται η τιμή των ταχυτήτων και αλλάζει στο επόμενο υπολογιστικό βήμα αυτόματα στην προκαθορισμένη τιμή του μοντέλου (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).

Για την εισαγωγή των ρευμάτων γίνανε οι παρακάτω ενέργειες:

### *Ρεύματα από άλλα ατμοσφαιρικά μοντέλα*

Έγινε λήψη δεδομένων από τις πηγές: Alermo, My ocean και ECMWF και παρά τις προσπάθειες επεξεργασίας των αρχείων αυτών ώστε να είναι συμβατά, δεν κατέσται δυνατή η ανάγνωσή τους (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).

### *Ρεύματα σε μορφή ASCII*

Στην επόμενη προσπάθεια έγινε καταγραφή των δεδομένων των ρευμάτων σε αρχεία μορφής ASCII ανά 6 ώρες σύμφωνα με το “General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation Data Formats”. Εισάγοντας τα εμφανίστηκε λάθος (Error Message) στην ανάγνωση των ταχυτήτων (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).

### *Εναλλακτικές δυνατότητες*

Λήψη αρχείων ρευμάτων από την ιστοσελίδα <https://gnome.orr.noaa.gov/goods> (GOODS). Για την περιοχή ενδιαφέροντος δεν υπήρχαν δεδομένα.

### *Άνεμος*

Για την εισαγωγή των ανεμολογικών δεδομένων έγινε ανάλυση και διερεύνηση αυτών σε υπολογιστικό φύλλο EXCEL. Η εισαγωγή τους έγινε από το παράθυρο του μεταβλητού

ανέμου (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ). Άλλοι τρόποι που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται παρακάτω.

#### *Άνεμος Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ*

Έγινε λήψη των ανεμολογικών δεδομένων από τα ατμοσφαιρικό μοντέλο Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ από OpenDAP Server. Οι τιμές είναι ωριαίες με πλέγμα χωρισμένο στο 1/20 της μοίρας.

- Χρησιμοποιήθηκε αρχείο NetCDF. Εισάγοντας αυτό δεν μπορούσε να γίνει ανάγνωση λόγω λανθασμένης ονοματολογίας μέσα στο NetCDF αρχείο.
- Διορθώνοντας την ονοματολογία έγινε εισαγωγή, αλλά διαπιστώθηκε λάθος στην ανάγνωση του από το GNOME (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).

#### *Ανεμολογικά δεδομένα από άλλες πηγές*

Έγινε λήψη δεδομένων από το ατμοσφαιρικό μοντέλο ΣΚΙΡΩΝ ανά 3 ώρες και με πλέγμα χωρισμένο στο 1/10 της μοίρας, αλλά δεν κρίθηκε ικανοποιητικό σε σχέση με αυτά από το Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ. Επίσης βρέθηκαν δεδομένα από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) και από ιστοσελίδες στο διαδίκτυο(<https://www.timeanddate.com/weather/greece/athens/historic?month=9&year=2017>,<https://www.wunderground.com/history/daily/gr/elefsis/LGEL/date/2017-9-10>).

#### *Ανεμολογικά δεδομένα σε μορφή ASCII*

Στην επόμενη προσπάθεια έγινε καταγραφή των δεδομένων του ανέμου σε αρχεία μορφής ASCII για κάθε βωρο σύμφωνα με το “General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation Data Formats”. Εισάγοντας αυτό το αρχείο εμφανίστηκε λάθος (Error Message) στην ανάγνωση των ταχυτήτων (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).

#### *Εναλλακτικές δυνατότητες*

Λήψη αρχείων από την ιστοσελίδα <https://gnome.orr.noaa.gov/goods> (GOODS). Για την περιοχή ενδιαφέροντος δεν υπήρχαν ιστορικά δεδομένα.

## 6.2 Χαρακτηριστικά υπολογισμών

Με βάση τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου GNOME και τα στοιχεία του περιστατικού συνοψίζονται στον Πίνακα 6.2 τα χαρακτηριστικά των υπολογισμών. Στα αποτελέσματα των υπολογισμών απεικονίζονται η βέλτιστη λύση με μαύρα σωματίδια και η αβεβαιότητα με κόκκινα.

Πίνακας 6.2 Χαρακτηριστικά των υπολογισμών

Ημερομηνία εκκίνησης υπολογισμών	10 Σεπτεμβρίου 2017
Ώρα εκκίνησης υπολογισμών	1:45
Διάρκεια υπολογισμών (ώρες)	216
Χρονικό βήμα υπολογισμών (ώρες)	0.01
Εκτίμηση ελάχιστης λύσης (minimum regret solution)	Ενεργοποιημένη
Prevent land jumping	Ενεργοποιημένη
Όνομα πετρελαιοκηλίδας	Agia Zoni II
Τύπος πετρελαίου	fuel oil #6
Ποσότητα διαρροής (μετρικοί τόνοι)	137
Ημερομηνία έναρξης πετρελαιοκηλίδας	10 Σεπτεμβρίου 2017
Ώρα έναρξης πετρελαιοκηλίδας	1:45
Τοποθεσία πετρελαιοκηλίδας	Lat 37.93, Long 23.56
Ημερομηνία λήξης πετρελαιοκηλίδας	12 Σεπτεμβρίου 2017
Ώρα λήξης πετρελαιοκηλίδας	9:10
Αριθμός σωματιδίων (spots)	1000
Διαφορετική τοποθεσία λήξης διαρροής	Όχι
Επιρροή ταχύτητας και εμμονή ανέμου	1%-6%, 15 λεπτά
Χρονική στιγμή εκροής πετρελαίου (ώρες)	0
Πρόσθετη πετρελαιοκηλίδα (Spray Can).	Απενεργοποιημένη
Spots from GNOME Spots File	Απενεργοποιημένη
Spot Grid	Απενεργοποιημένη
Χάρτης περιοχής	Lat: 37.70 - 38.00, Long: 23.25 -24.00
Χρόνος ημιζωής (Refloat half life) (ώρες)	14.4
Αναπαράσταση χάρτη (Show Land/Water Map)	Απενεργοποιημένη
Ρεύματα	Απενεργοποιημένη
Μεταβλητός άνεμος	Ενεργοποιημένη
Σταθερός άνεμος	Απενεργοποιημένη
Συντελεστής διάχυσης ( $\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ )	50000
Component Mover	Απενεργοποιημένη
Compound Current	Απενεργοποιημένη

### 6.3 Αποτελέσματα αρχικών υπολογισμών

Στο Σενάριο S1 όπου περιέχεται μόνο το αρχείο NetCDF των ρευμάτων η πετρελαιοκηλίδα κινείται μόνο την πρώτη μέρα και έπειτα φαίνεται να μην υπάρχει επιρροή των ρευμάτων. Η κίνηση περιορίζεται στην περιοχή της Κυνοσούρας.

Στο Σενάριο S2 με το NetCDF των ρευμάτων και τα ανεμολογικά δεδομένα από το ατμοσφαιρικό μοντέλο Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ η πετρελαιοκηλίδα φαίνεται αρχικά να κινείται και έπειτα παραμένει στην ακτογραμμή. Μαζί με την αβεβαιότητα προσεγγίζει την περιοχή γύρω από τον Πειραιά και την Κυνόσουρα.

Στο Σενάριο S3 με τα δεδομένα ανέμου από το Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ σε πλέγμα ολόκληρου του χάρτη όπου είχε γίνει λήψη, η τροχιά της πετρελαιοκηλίδας είναι πιο έντονη και όλο το χρονικό διάστημα των υπολογισμών τείνει να κινηθεί. Κυρίως παραμένει στην περιοχή της Κυνοσούρας έως τον Πειραιά.

Στο Σενάριο S4 όμοια με δεδομένα από το Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αλλά σε μικρότερο πλέγμα παρατηρώντας την επιρροή του ανέμου στην περιοχή γύρω από το περιστατικό, η πετρελαιοκηλίδα φαίνεται να κινείται κοντά στην Κυνόσουρα και στον Πειραιά. Διάσπαρτα σωματίδια αβεβαιότητας έχουν μολύνει την ακτογραμμή ανατολικά.

Στο Σενάριο S5 τα ανεμολογικά δεδομένα βρέθηκαν από ιστοσελίδα πρόβλεψης καιρού στο διαδίκτυο ([www.timeanddate.de](http://www.timeanddate.de)). Η τροχιά της πετρελαιοκηλίδας που προκύπτει είναι μικρή επηρεάζοντας τις περιοχές της Κυνοσούρας και του Πειραιά.

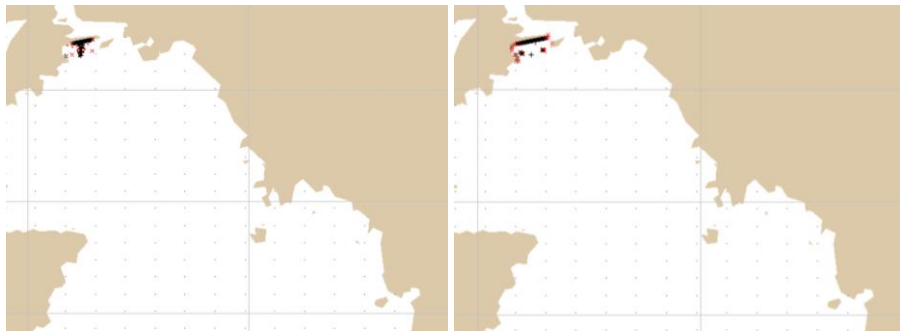
Στο Σενάριο S6 τα δεδομένα λήφθηκαν από ιστοσελίδα πρόβλεψης καιρού ([www.wunderground.com](http://www.wunderground.com)) και η συμπεριφορά της πετρελαιοκηλίδας φαίνεται να προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα. Σύμφωνα με αυτό το σενάριο επηρεάζονται όλες οι περιοχές όπως στο πραγματικό περιστατικό και τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών κρίνονται ικανοποιητικά.

Στο Σενάριο S7 με δεδομένα από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) η κίνηση της ρύπανσης είναι ικανοποιητική, αλλά κυρίως η αβεβαιότητα προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική κατάσταση των ακτών στα ανατολικά του Σαρωνικού κόλπου.

Στο Σενάριο S8 με τα δεδομένα από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών σε πλέγμα όλου του χάρτη οι υπολογισμοί κρίνονται ικανοποιητικοί, καθώς τείνουν να προσεγγίσουν αρκετά την πραγματικότητα.

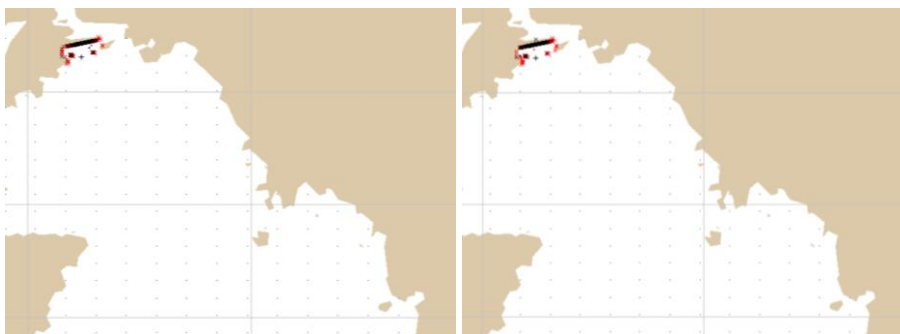
Στο Σενάριο S9 όμοια με δεδομένα από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, αλλά σε περιοχή μικρού πλέγματος γύρω από τη βύθιση του πλοίου, αποσκοπώντας σε καλύτερη προσέγγιση επιρροής του ανέμου, δεν προέκυψαν ιδιαίτερα ικανοποιητικά τα αποτελέσματα.

Οι υπολογισμοί των Σεναρίου S1 έως S14 φαίνονται την Εικόνα 6.1, Εικόνα 6.2, Εικόνα 6.3, Εικόνα 6.4, Εικόνα 6.5, Εικόνα 6.6, Εικόνα 6.7, Εικόνα 6.8 και Εικόνα 6.9.



10/09/2017 10:30

12/09/2017 17:00



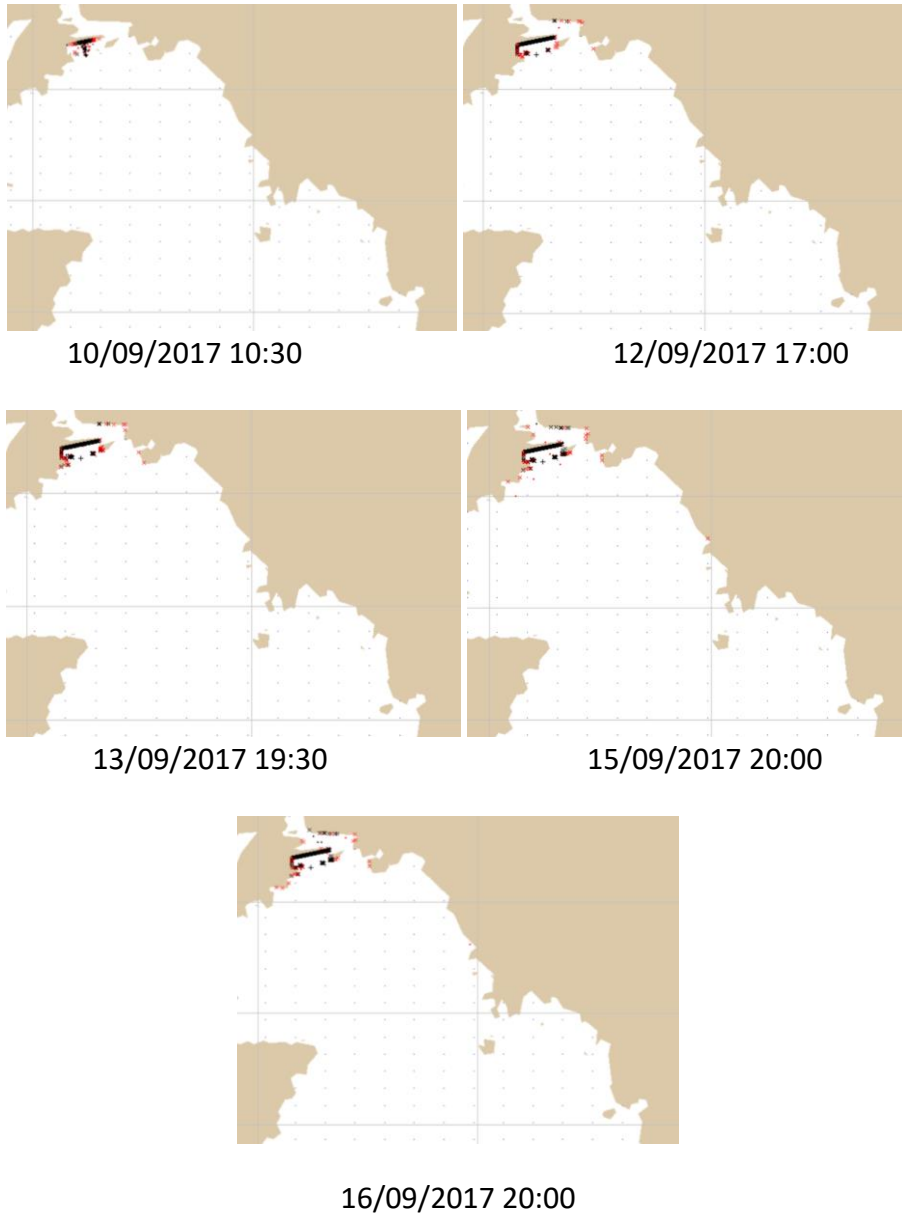
13/09/2017 19:30

15/09/2017 20:00



16/09/2017 20:00

**Εικόνα 6.1** Υπολογισμοί Σεναρίου S1



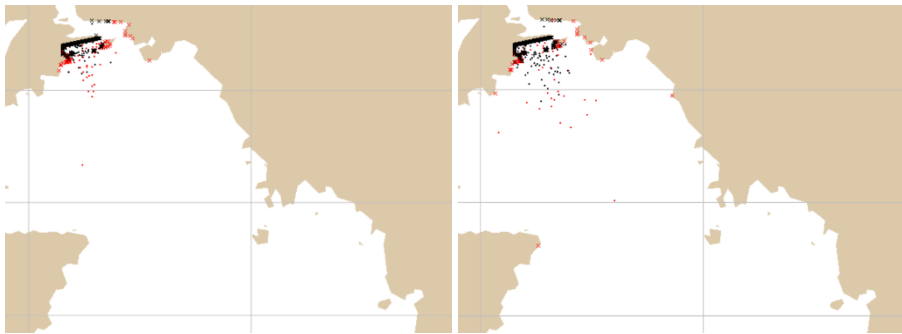
**Εικόνα 6.2** Υπολογισμοί Σεναρίου S2





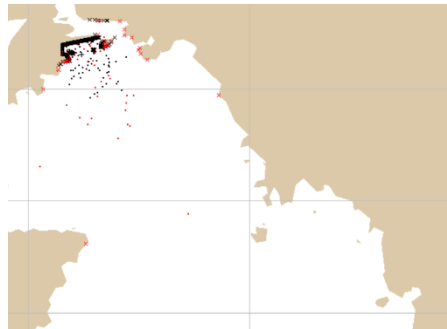
10/09/2017 10:30

12/09/2017 17:00



13/09/2017 19:30

15/09/2017 20:00



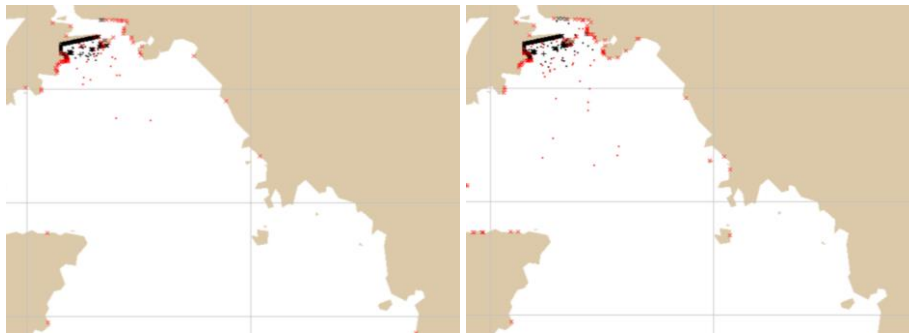
16/09/2017 20:00

**Εικόνα 6.3** Υπολογισμοί Σεναρίου S3



10/09/2017 10:30

12/09/2017 17:00



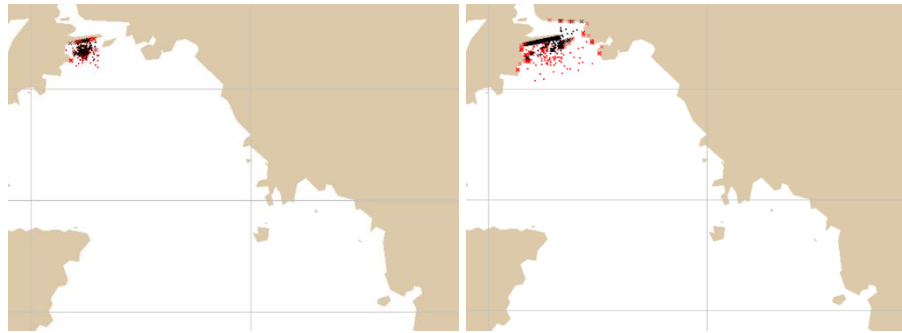
13/09/2017 19:30

15/09/2017 20:00



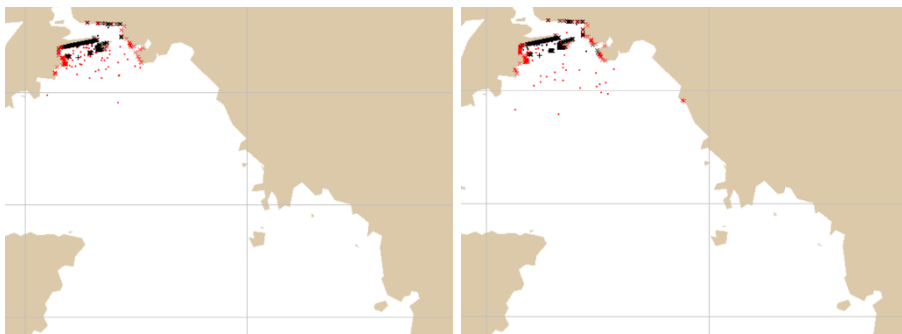
16/09/2017 20:00

**Εικόνα 6.4** Υπολογισμοί Σεναρίου S4



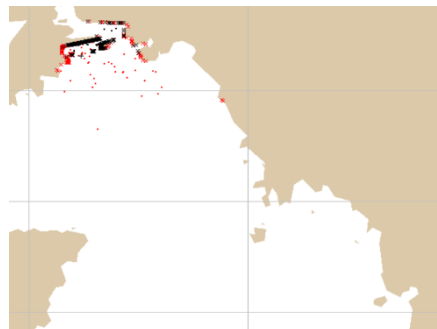
10/09/2017 10:30

12/09/2017 17:00



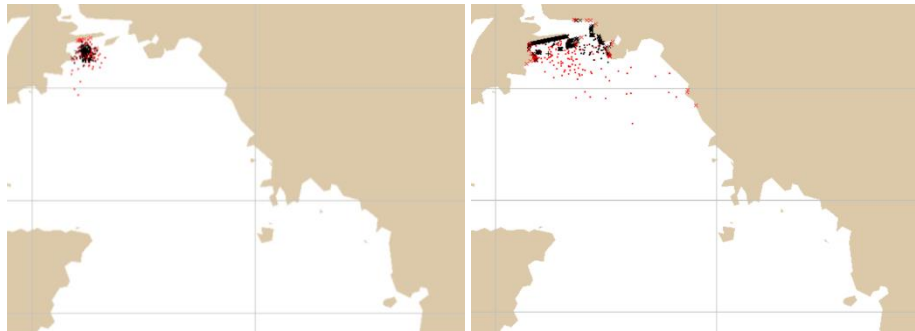
13/09/2017 19:30

15/09/2017 20:00



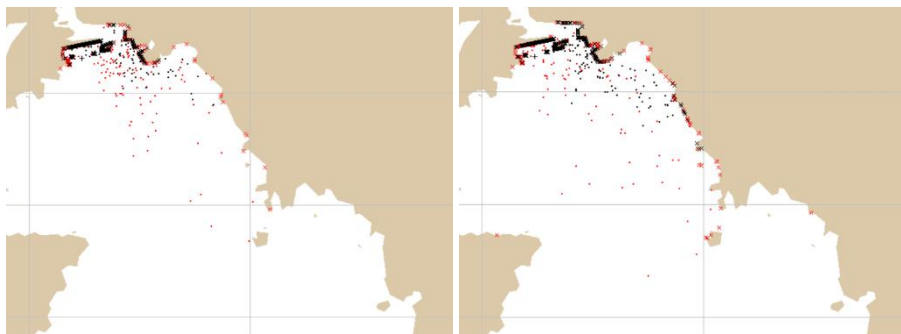
16/09/2017 20:00

**Εικόνα 6.5** Υπολογισμοί Σεναρίου S5



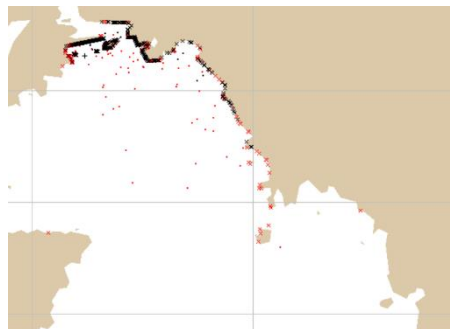
10/09/2017 10:30

12/09/2017 17:00



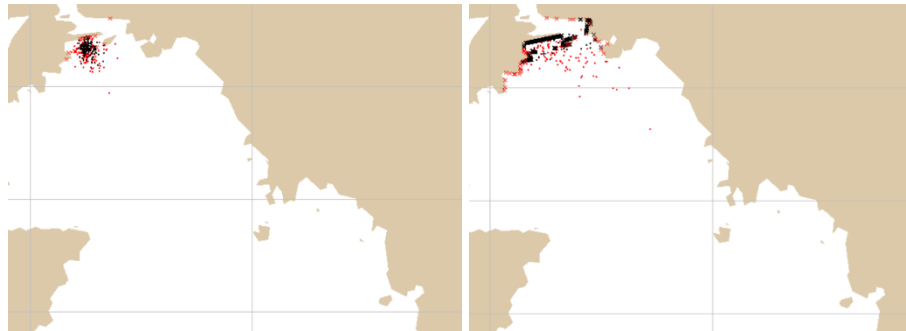
13/09/2017 19:30

15/09/2017 20:00



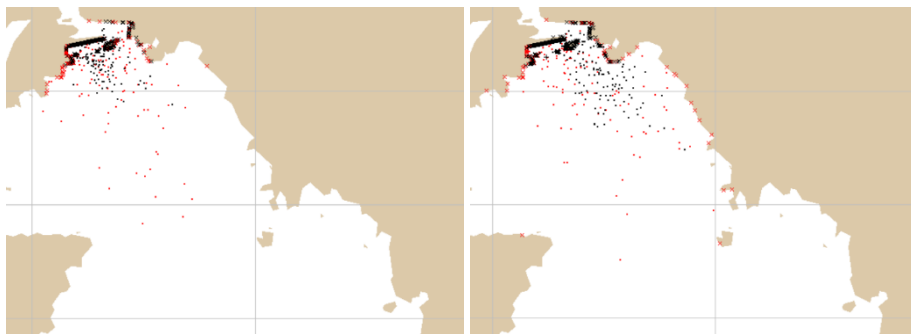
16/09/2017 20:00

**Εικόνα 6.6** Υπολογισμοί Σεναρίου S6



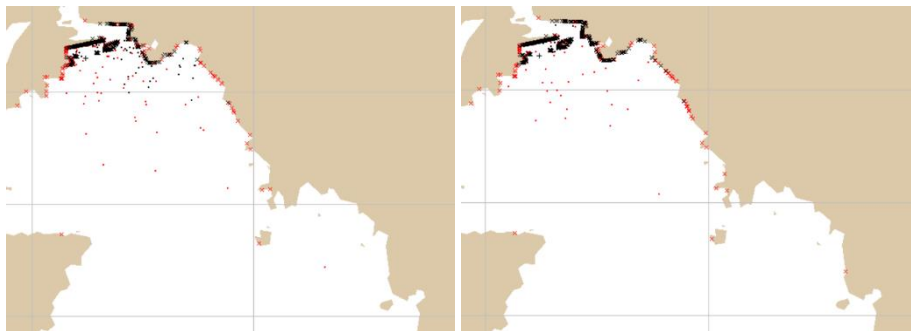
10/09/2017 10:30

12/09/2017 17:00



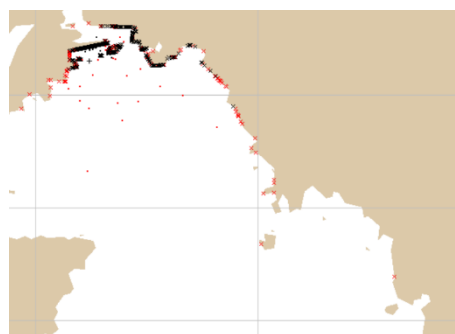
13/09/2017 19:30

15/09/2017 20:00



16/09/2017 19:30

17/09/2017 20:00



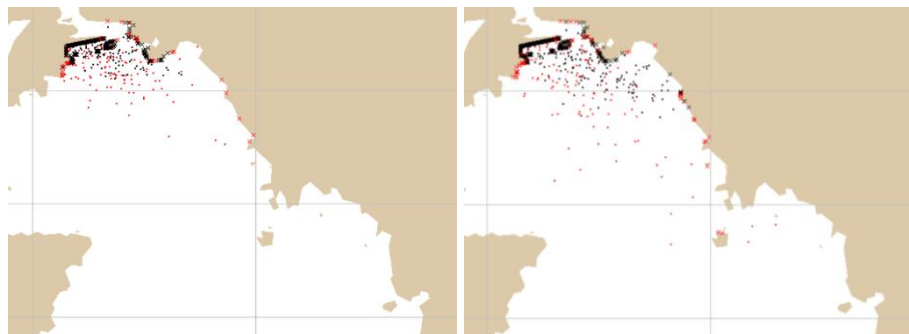
18/09/2017 20:00

**Εικόνα 6.7** Υπολογισμοί Σεναρίου S7



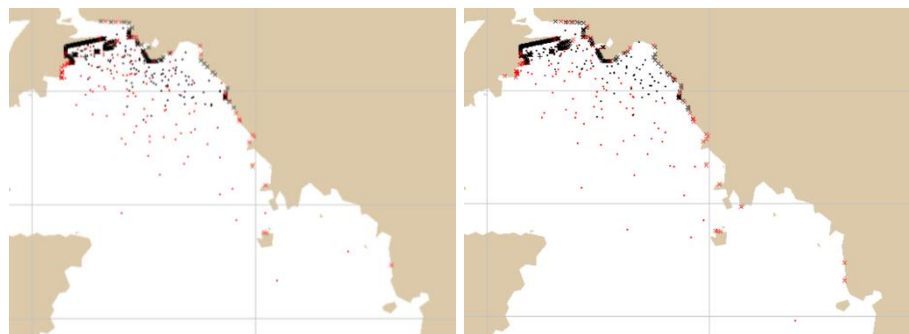
10/09/2017 10:30

12/09/2017 17:00



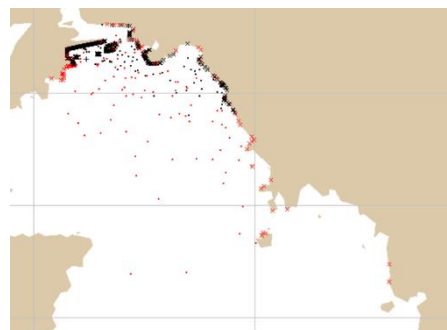
13/09/2017 19:30

15/09/2017 20:00



16/09/2017 20:00

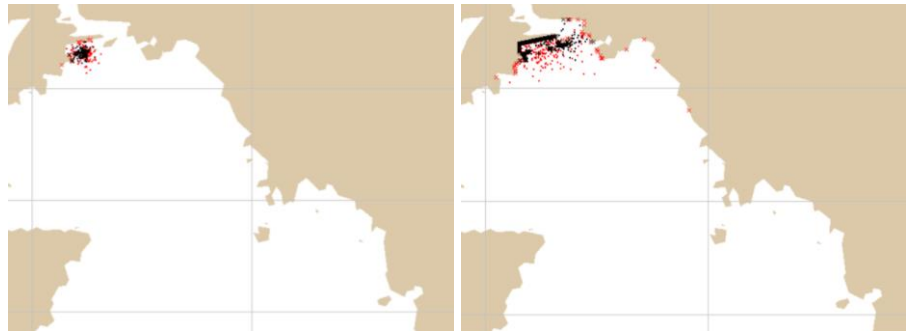
17/09/2017 20:00



18/09/2017 20:00

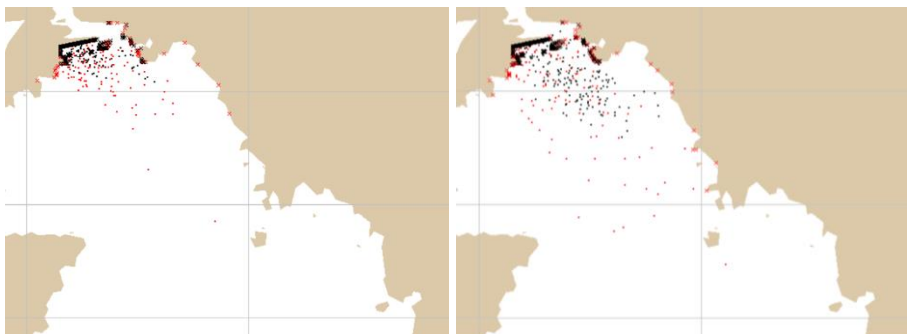
**Εικόνα 6.8** Υπολογισμοί Σεναρίου S8





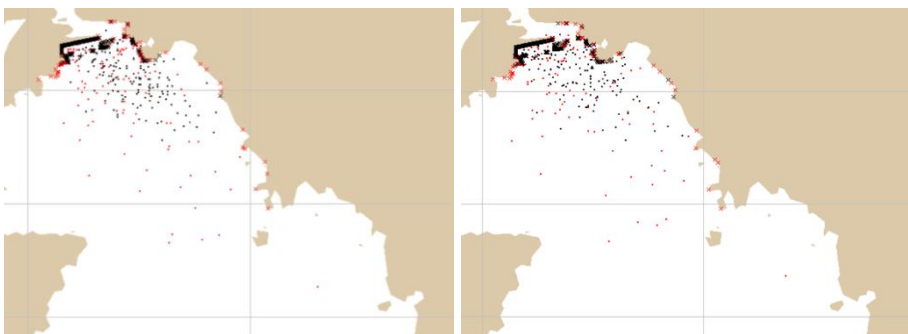
10/09/2017 10:30

12/09/2017 17:00



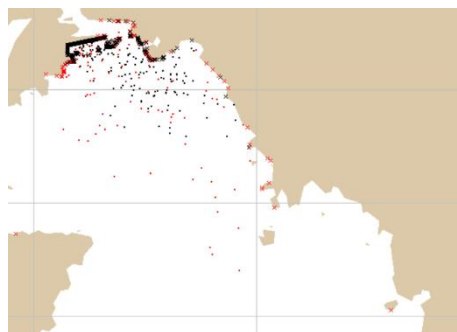
13/09/2017 19:30

15/09/2017 20:00



16/09/2017 20:00

17/09/2017 20:00



18/09/2017 20:00

**Εικόνα 6.9** Υπολογισμοί Σεναρίου S9

## 6.4 Αποτελέσματα τελικών υπολογισμών

Για τη διαμόρφωση του σεναρίου που εκτελέστηκε στο μοντέλο έγινε βαθμονόμηση των ανεμολογικών δεδομένων από τέσσερις πηγές όπου λήφθηκαν τα δεδομένα αυτά. Καταγράφηκαν τα δεδομένα από το ατμοσφαιρικό μοντέλο Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ (μικρού κα μεγάλου πλέγματος), των ιστοσελίδων πρόγνωσης καιρού όπου βρέθηκαν ιστορικά δεδομένα της περιοχής και της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) σε υπολογιστικό φύλλο EXCEL. Με βάση τα πραγματικά στοιχεία του περιστατικού προέκυψε ένα νέο σενάριο τελικών υπολογισμών με ανεμολογικά δεδομένα που προσέγγισαν σε καλύτερο βαθμό τη συμπεριφορά της πετρελαιοκηλίδας.



Εικόνα 6.10 10/09/2017 πρωί

**18:00:** Το αεροσκάφος του λιμενικού σώματος διενέργησε συμπληρωματική περιπολία στην περιοχή του συμβάντος. Παρατηρήθηκε ρύπανση από πετρελαιοειδή, σε διάφορα σημεία από το ακρωτήριο Κυνοσούρας μέχρι τον όρμο Σεληνίων. Από το δημοτικό Λιμενικό Ταμείο Σαλαμίνας τοποθετήθηκε πλωτό φράγμα στον λιμενίσκο Σεληνίων (WWF Ελλάς, 2017).

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.11 οι υπολογισμοί συμπίπτουν με το πραγματικό περιστατικό, καθώς η συγκεκριμένη περιοχή έχει μολυνθεί από την πετρελαιοκηλίδα.

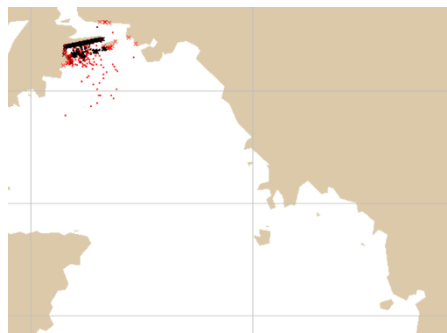


Εικόνα 6.11 10/09/2017 18:00 μ.μ

Η δήμαρχος της Σαλαμίνας Ισιδώρα Παπαθανασίου ανέφερε πως από το απόγευμα της Κυριακής ο καιρός και έφερε την πετρελαιοκηλίδα στο νησί. Καθώς, επισημαίνει πως όλες οι ακτές της ανατολικής πλευράς έχουν γεμίσει μαζούτ (<http://www.kathimerini.gr/926110/gallery/epikairothta/ellada/petrelaio-stis-aktes-ths-salaminas-apo-th-vy8ish-toy-de3amenoploioy-agia-zwnh>).

Σύμφωνα με τον πλοικτήτη Θεόδωρο Κουντούρη το απόγευμα της Δευτέρας 11/09/2017 βρέθηκαν πετρελαιοειδή στη Σαλαμίνα (<http://www.skai.gr/player/tv/?mmid=296440>, ΣΚΑΪ, 31/10/2017, ΙΣΤΟΡΙΕΣ, Η αυτοψία στο ναυάγιο του Αγία Ζώνη II).

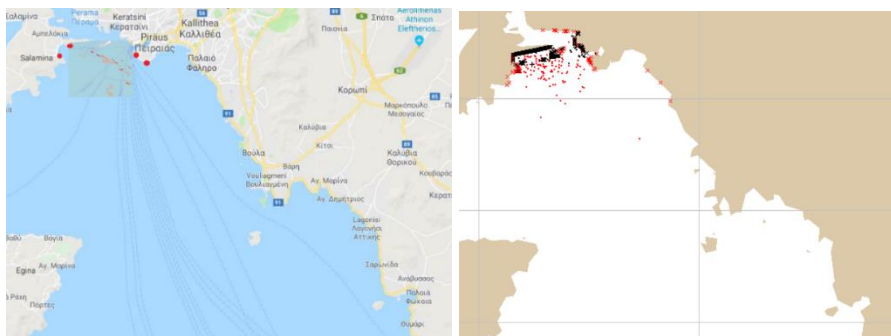
Στην Εικόνα 6.12 απεικονίζεται το αποτέλεσμα του σεναρίου στις 11/09/2017 με βάση το οποίο έχει γίνει πολύ καλή προσέγγιση της πραγματικότητας.



**Εικόνα 6.12** 11/09/2017 18:00 μ.μ

Το απόγευμα της 12<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου παρουσιάστηκαν κομμάτια πετρελαιοκηλίδας κοντά στις ακτές της Φρεατύδας με έντονη δυσοσμία (<http://www.iefimerida.gr/news/361959/stin-peiraiki-eftase-i-petrelaiokilida-apo-ti-salamina-anisyhoyn-oi-arhes-eikonesvinteo>).

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς όπου απεικονίζονται στην Εικόνα 6.13 το πραγματικό περιστατικό έχει προσεγγιστεί ικανοποιητικά.

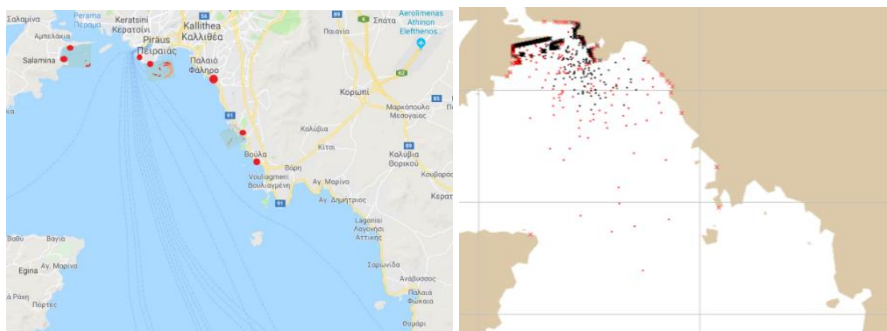


**Εικόνα 6.13** 12/09/2017

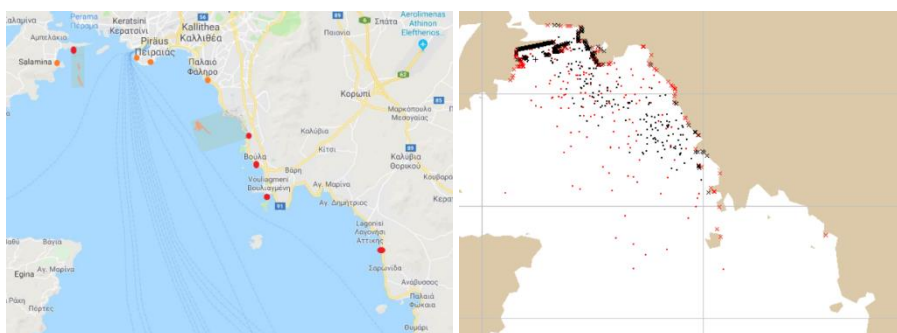
Σύμφωνα με το [notiareport.gr](http://notiareport.gr) το βράδυ της Τετάρτης 13/09/2017 εντοπίστηκε κηλίδα έκτασης περίπου 5 στρεμμάτων, 3,2 μίλια ανοιχτά της Χερσονήσου του ΠΙΚΠΑ στη Βούλα (<http://www.onalert.gr/stories/aperanto-mauro-h-paraliaki-ews-th-boula-kommatia-apo-thn-petraiochlida/59348>).

Σύμφωνα με τον δήμαρχο του Παλαιού Φαλήρου, Διονύση Χατζηδάκη εκείνες τις μέρες ο άνεμος ήταν βορειοδυτικός (<https://www.cnn.gr/news/perivallon/story/110563/saronikos-kai-meta-tin-petrelaiokilida-ti>).

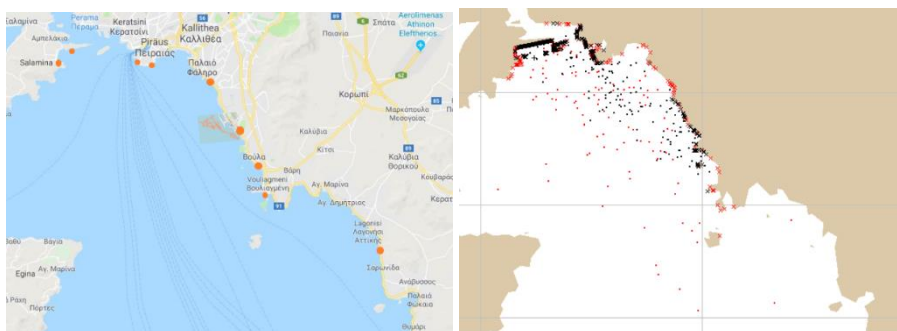
Στην Εικόνα 6.14, Εικόνα 6.15 και Εικόνα 6.16 απεικονίζονται οι υπολογισμοί του σεναρίου.



**Εικόνα 6.14** 13/09/2017



**Εικόνα 6.15** 15/09/2017

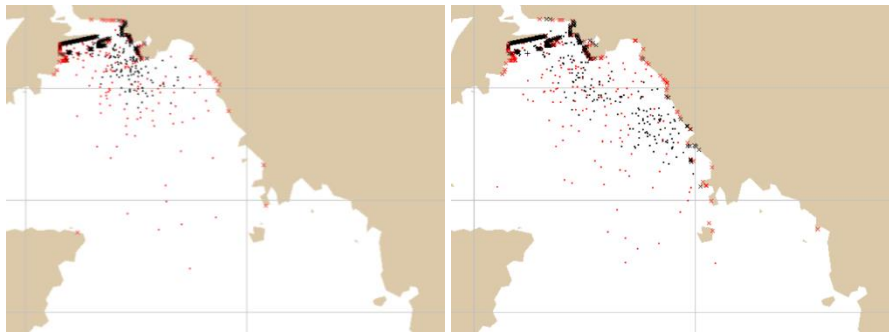


**Εικόνα 6.16** 16/09/2017



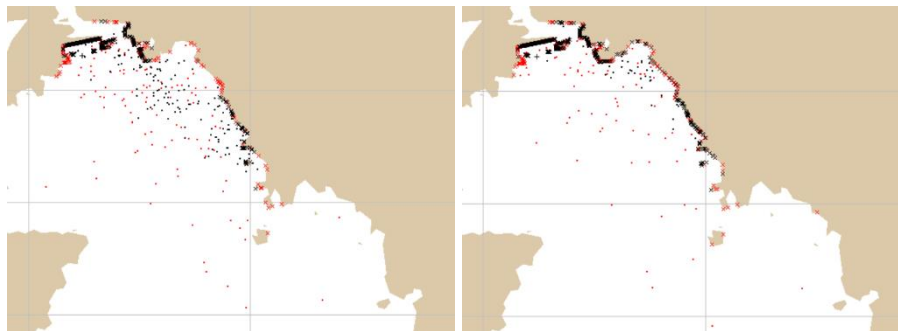
10/09/2017 10:30

12/09/2017 17:00



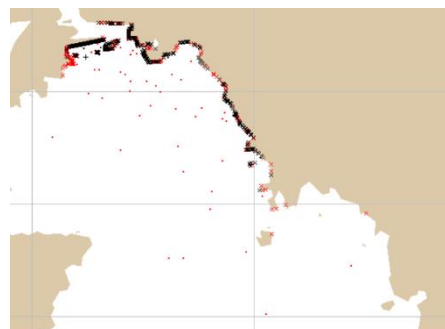
13/09/2017 19:30

15/09/2017 20:00



16/09/2017 20:00

17/09/2017 20:00



18/09/2017 20:00

**Εικόνα 6.17** Αποτέλεσμα τελικών υπολογισμών

## 6.5 Ανάλυση ευαισθησίας

Για τη μελέτη επίδρασης που υφίσταται στην αλλαγή παραμέτρων των τελικών υπολογισμών έχει γίνει μία ανάλυση ευαισθησίας. Στον Πίνακα 6.2 αναγράφονται οι αλλαγές των παραμέτρων αυτών.

**Πίνακας 6.3** Ανάλυση ευαισθησίας

Ανάλυση ευαισθησίας		
Σενάριο	Παράμετρος	Τιμή
SA1	Χρόνος ημιζωής (ώρες)	48.6
SA2	Χρόνος ημιζωής (ώρες)	$1 \times 10^9$
SA3	Συντελεστής διάχυσης ( $\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ )	5000
SA4	Συντελεστής διάχυσης ( $\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ )	10000
SA5	Συντελεστής διάχυσης ( $\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ )	80000
SA6	Συντελεστής διάχυσης ( $\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ )	100000
SA7	Αριθμός σωματιδίων	500
SA8	Αριθμός σωματιδίων	10000
SA9	Ποσότητα διαρροής (μετρικοί τόνοι)	448.2
SA10	Ποσότητα διαρροής (μετρικοί τόνοι)	623

Στο Σενάριο SA1 γίνεται αλλαγή της παραμέτρου που του χρόνου ημιζωής του πετρελαίου. Σύμφωνα με το το εγχειρίδιο “General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation”, η παράμετρος αυτή παίρνει και άλλες τιμές. Έχει υπολογιστεί το σενάριο με χρόνο ημιζωής 48.6 ώρες. Με την αύξηση αυτής της παραμέτρου συνεπάγεται πως η εμμόνη του πετρελαίου διαρκεί για περισσότερο χρονικό διάστημα στις ακτές.

Στο Σενάριο SA2 η αλλαγή του χρόνου ημιζωής παίρνει ακόμη μεγαλύτερη τιμή, η οποία ισούται με  $1 \times 10^9$  και είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει η παράμετρος αυτή σύμφωνα με το εγχειρίδιο “General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation”. Παρατηρήσιμο είναι πως τα σωματίδια της πετρελαιοκηλίδας είναι προσκολλημένα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στις ακτές συγκριτικά με τις τιμές του χρόνου ημιζωής στους τελικούς υπολογισμούς και με το Σενάριο SA1.

Στο Σενάριο SA3 γίνεται μείωση του συντελεστή διάχυσης σε  $5000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ . Με την αλλαγή αυτή η οριζόντια διάχυση της ρύπανσης καθίσταται μικρότερη και δεν επεκτείνεται σε μεγάλο βαθμό προς την ακτογραμμή.

Στο Σενάριο SA4 ο συντελεστής διάχυσης παίρνει την τιμή  $10000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ . Σε σχέση με τους τελικούς υπολογισμούς η εξάπλωση της ρύπανσης καθίσταται μικρότερη και φτάνουν λιγότερα σωματίδια στην ακτογραμμή.

Στο Σενάριο SA5 αυξήθηκε ο συντελεστής διάχυσης στα  $80000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ . Με την τροποποίηση αυτή η οριζόντια διάχυση του πετρελαίου είναι μεγαλύτερη και τα



σωματίδια εξαπλώνονται περισσότερο στο υδάτινο περιβάλλον. Ο συντελεστής αυτός θεωρείται μεγάλος για τον τύπο πετρελαίου όπου διέρρευσε από το δεξαμενόπλοιο.

Στο Σενάριο SA6 ο συντελεστής διάχυσης έχει λάβει τη τιμή  $100000 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ . Η τιμή αυτή είναι η προεπιλεγμένη του μοντέλου GNOME, αλλά αρκετά μεγάλη για τον τύπο πετρελαίου που αφορά το σύνολο των υπολογισμών, καθώς θεωρείται βαρύ πετρέλαιο. Η διάχυση των σωματιδίων της πετρελαιοκηλίδας είναι αισθητά αυξημένη.

Στο Σενάριο SA7 η πετρελαιοκηλίδα συνίσταται από μικρότερο αριθμό σωματιδίων ίσο με 500 splots. Μειώνοντας τα σωματίδια η ρύπανση της πετρελαιοκηλίδας φαίνεται μικρότερη και δεν προσεγγίζει τις ακτές στον ίδιο βαθμό συγκριτικά με τους τελικούς υπολογισμούς. Στην ελεύθερη επιφάνεια φαίνεται να επιπλέουν λιγότερα σωματίδια.

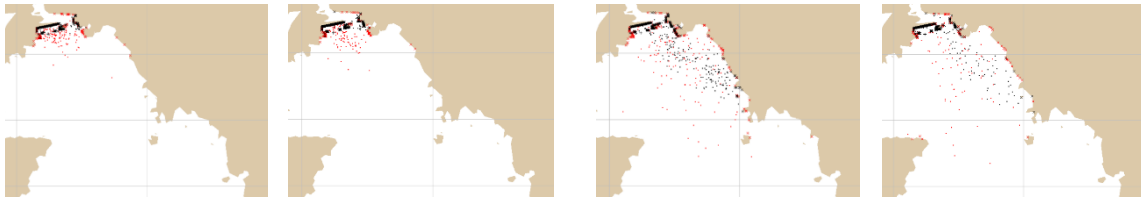
Στο Σενάριο SA8 ο αριθμός των σωματιδίων τα οποία συνιστούν την πετρελαιοκηλίδα είναι ίσος με 10000 splots και είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει το μοντέλο GNOME. Αυξάνοντας αυτή την παράμετρο η μόλυνση του υδάτινου περιβάλλοντος είναι αισθητά μεγαλύτερου βαθμού. Η εξάπλωση της πετρελαιοκηλίδας είναι πιο έντονη, περισσότερα σωματίδια φαίνεται να επιπλέουν στην ελεύθερη επιφάνεια και προσεγγίζουν τις ακτογραμμές.

Το Σενάριο SA9 προσομοιώνεται σύμφωνα με την περιγραφή του περιστατικού και από τις υπάρχοντες πληροφορίες, όπου έως τις 13/09/2017 τουλάχιστον 28 τόνοι πετρελαίου βρέθηκαν στην παραλία Ζέρβα στη Γλυφάδα, έως τις 16/09/2017 είχαν απαντηθεί από το δεξαμενόπλοιο  $500 \text{ m}^3$  και ως τις 19/09/2017  $1550 \text{ m}^3$ , δηλαδή 1380 περίπου μετρικοί τόνοι πετρελαίου τύπου Fuel Oil. Επιπλέον, έως τις 28/09/2017 το πλοίο «ΣΥΡΟΣ» απάντησε  $984 \text{ m}^3$  πετρέλαιο, δηλαδή 875.8 μετρικούς τόνους.

Με ένα ισοζύγιο μάζας αφαιρώντας από την αρχική ποσότητα 2732 μετρικούς τόνους την συνολική ποσότητα 2283.8 μετρικούς τόνους (28 μ.τ + 1380 μ.τ + 875.8 μ.τ) προκύπτει ποσότητα διαρροής 448.2 μετρικοί τόνοι.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών στις 16/09/2017 στις 11:45 επιπλέουν στο υδάτινο περιβάλλον 98 μετρικοί τόνοι, 211 έχουν φτάσει στις ακτές και 139 μετρικοί τόνοι έχουν ήδη εξατμιστεί και διασκορπιστεί. Ενώ την ίδια χρονική στιγμή με βάση τα αποτελέσματα των τελικών υπολογισμών επιπλέουν 31 μετρικοί τόνοι, στις ακτές βρίσκονται 63 μετρικοί τόνοι και 43 έχουν διασκορπιστεί και εξατμιστεί.

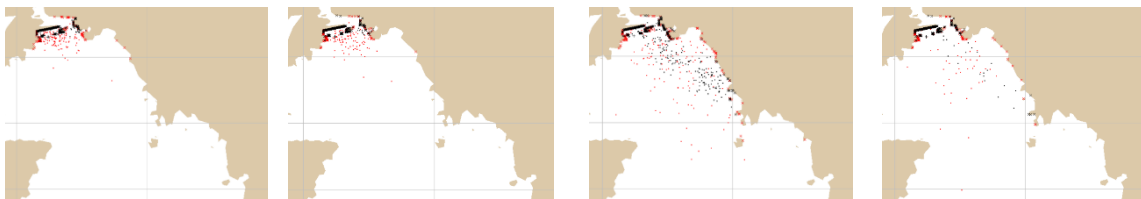
Το Σενάριο SA10 προσομοιώνεται με βάση την IOPC FUNDS όπου η ποσότητα διαρροής αγγίζει τα  $700 \text{ m}^3$  δηλαδή 623 μετρικοί τόνοι Fuel oil. Με βάση αυτό το σενάριο στις 16/09/2017 στις 11:45 επιπλέουν στο υδάτινο περιβάλλον 135 μετρικοί τόνοι, 294 έχουν φτάσει στις ακτές και 194 μετρικοί τόνοι έχουν ήδη εξατμιστεί και διασκορπιστεί. Βάσει τα αποτελέσματα των τελικών υπολογισμών επιπλέουν 31 μετρικοί τόνοι, στις ακτές βρίσκονται 63 μετρικοί τόνοι και 43 έχουν διασκορπιστεί και εξατμιστεί.



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

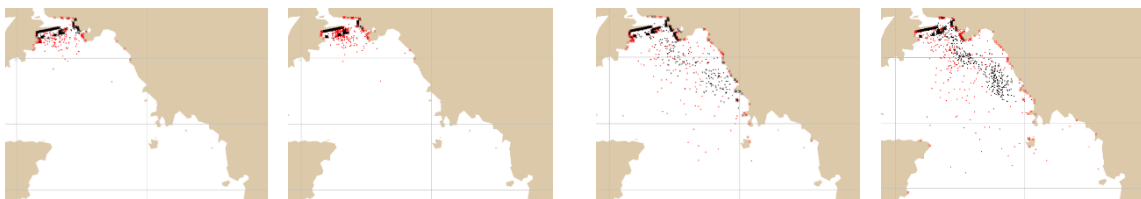
**Εικόνα 6.18** Υπολογισμοί Σεναρίου SA1 (αριστερά απεικονίζονται οι τελικοί υπολογισμοί και δεξιά γίνεται σύγκριση με τους υπολογισμούς του Σεναρίου SA1)



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

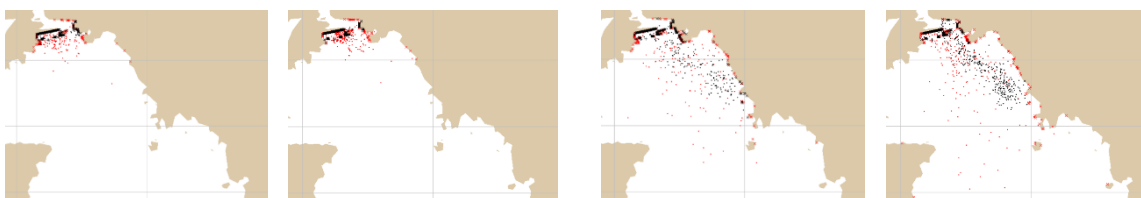
**Εικόνα 6.19** Υπολογισμοί Σεναρίου SA2 (αριστερά απεικονίζονται οι τελικοί υπολογισμοί και δεξιά γίνεται σύγκριση με τους υπολογισμούς του Σεναρίου SA2)



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

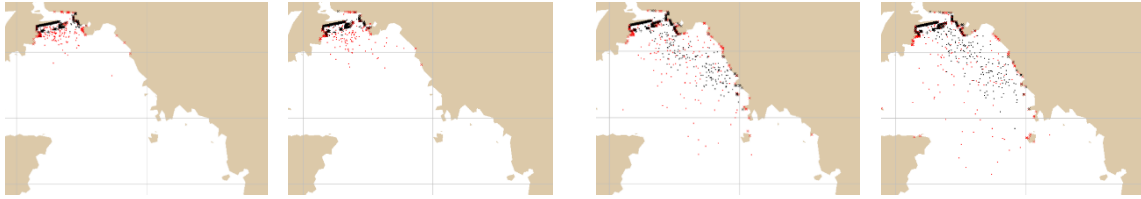
**Εικόνα 6.20** Υπολογισμοί Σεναρίου SA3 (αριστερά απεικονίζονται οι τελικοί υπολογισμοί και δεξιά γίνεται σύγκριση με τους υπολογισμούς του Σεναρίου SA3)



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

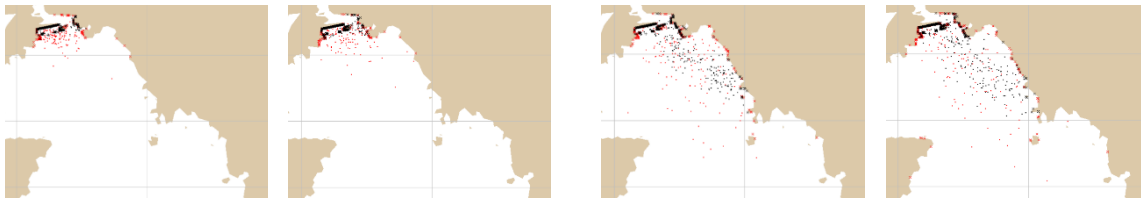
**Εικόνα 6.21** Υπολογισμοί Σεναρίου SA4 (αριστερά απεικονίζονται οι τελικοί υπολογισμοί και δεξιά γίνεται σύγκριση με τους υπολογισμούς του Σεναρίου SA4)



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

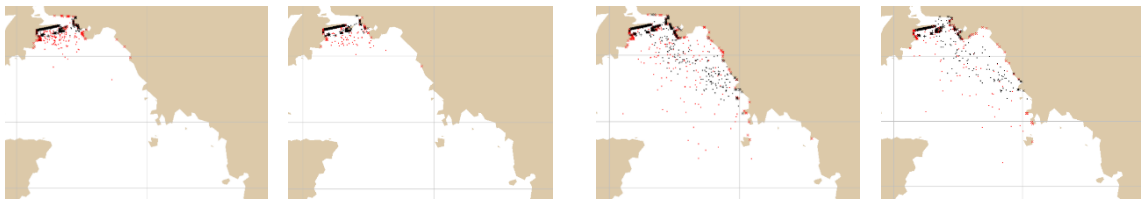
**Εικόνα 6.22** Υπολογισμοί Σεναρίου SA5 (αριστερά απεικονίζονται οι τελικοί υπολογισμοί και δεξιά γίνεται σύγκριση με τους υπολογισμούς του Σεναρίου SA5)



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

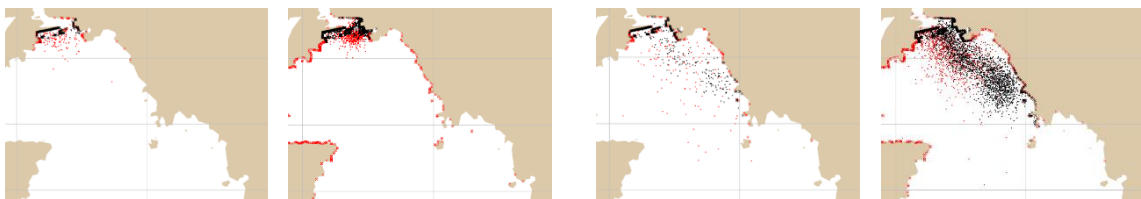
**Εικόνα 6.23** Υπολογισμοί Σεναρίου SA6 (αριστερά απεικονίζονται οι τελικοί υπολογισμοί και δεξιά γίνεται σύγκριση με τους υπολογισμούς του Σεναρίου SA6)



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

**Εικόνα 6.24** Υπολογισμοί Σεναρίου SA7 (αριστερά απεικονίζονται οι τελικοί υπολογισμοί και δεξιά γίνεται σύγκριση με τους υπολογισμούς του Σεναρίου SA7)



12/09/2017 17:00

15/09/2017 20:00

**Εικόνα 6.25** Υπολογισμοί Σεναρίου SA8 (αριστερά απεικονίζονται οι τελικοί υπολογισμοί και δεξιά γίνεται σύγκριση με τους υπολογισμούς του Σεναρίου SA8)

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ένα απλοποιημένο 2D μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης συμπεριφοράς πετρελαιοκηλίδας (GNOME). Έγιναν διαδοχικοί υπολογισμοί με ανεμολογικά δεδομένα και ρεύματα από διαφορετικές πηγές (βλ. κεφάλαιο 6). Επίσης χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές ποσότητες διαρροής σύμφωνα με στοιχεία από τη βιβλιογραφία. Με βάση τους υπολογισμούς των σεναρίων καταλήξαμε σε ένα βαθμονομημένο σενάριο το οποίο προσομοιώνει ικανοποιητικά την τροχιά της πετρελαιοκηλίδας του πραγματικού περιστατικού (βλ. ενότητα 6.4).

Συμπληρωματικά, πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη ανάλυση ευαισθησίας με βάση 4 διαφορετικές παραμέτρους (χρόνος ημιζωής, συντελεστής διάχυσης, αριθμός σωματιδίων, ποσότητα διαρροής). Αυτή η ανάλυση ευαισθησίας απέδειξε ότι τα μοντέλα προσομοίωσης πετρελαιοκηλίδας επηρεάζονται σημαντικά από τις αλλαγές κάποιων παραμέτρων και τα αποτελέσματα αυτών είναι σημαντικά διαφοροποιημένα.

Στην παρούσα εργασία, όπως προαναφέρθηκε έγινε χρήση ενός απλοποιημένου μοντέλου, με δεδομένα από διαφορετικές πηγές, γενικά χαρακτηριστικά πετρελαίου και μη επιβεβαιωμένα δεδομένα εισόδου σχετικά με τη διαρροή. Ως εκ τούτου είναι δύσκολο να πετύχουμε την απόλυτη προσέγγιση του περιστατικού καθώς (α) απαιτείται η χρήση πιο εξειδικευμένου μοντέλου, (β) χρήση δεδομένων (άνεμοι και ρεύματα) μεγαλύτερης ανάλυσης και (γ) η ύπαρξη δεδομένων ακριβείας του πραγματικού περιστατικού (όπως ποσότητα διαρροής, τύπος πετρελαίου, χρήση μέσων αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδας κ.ά.). Στις ελλείψεις αυτές βασίζεται και η καθυστέρηση της προσομοίωσης να προσεγγίσει τις πληγείσες ακτές.

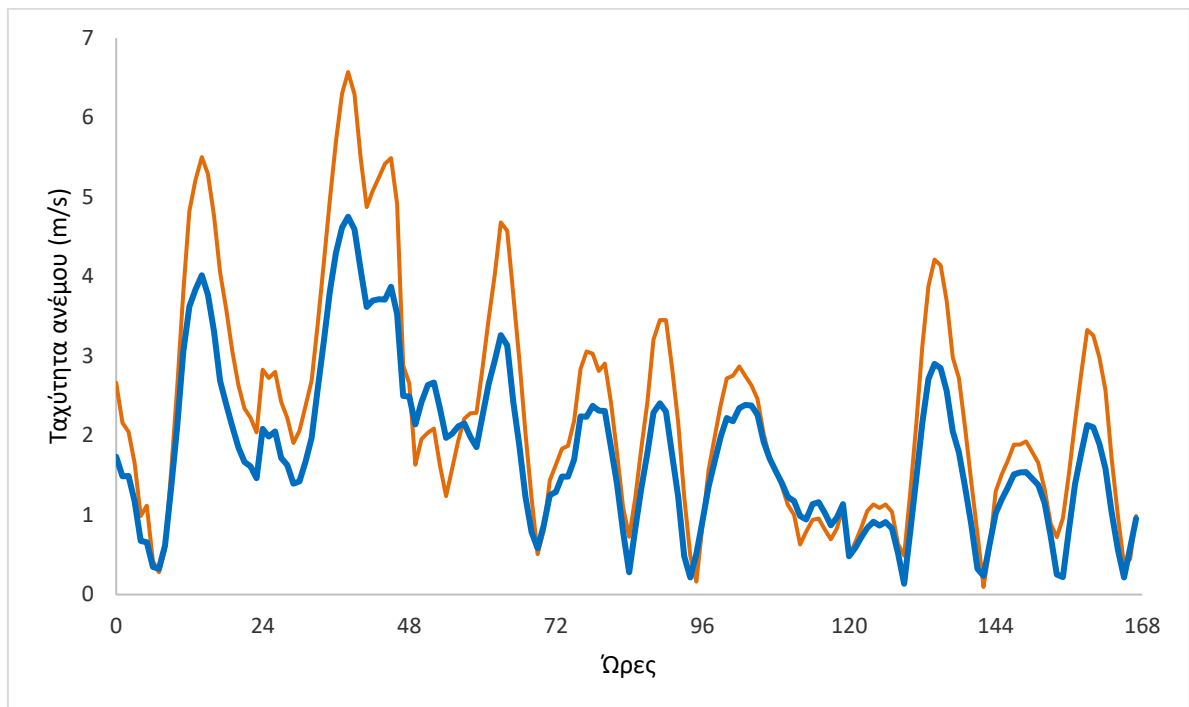
Τέλος, λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου είναι πολύ δύσκολο να έχουμε σαφή στοιχεία για τις ποσότητες του πετρελαίου που είτε κατέληξαν στις ακτές, είτε εξατμίστηκαν είτε παρέμειναν στην ελεύθερη επιφάνεια.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

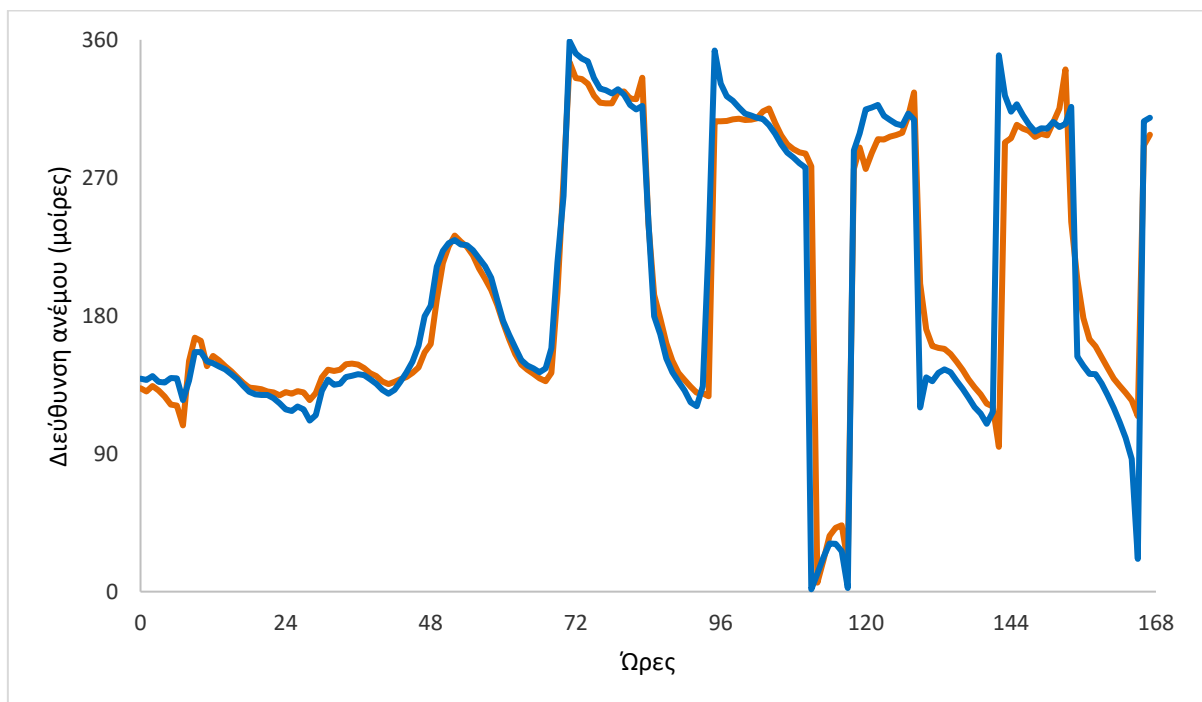
1. Atlas, R.M. (1981). Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective. *Microbiological Reviews*, 45, pp. 225-266.
2. Greenpeace (2007). Οι σημαντικότερες πετρελαιοκηλίδες στην Ελλάδα.
3. Greenpeace Greece (2006). Οι επιπτώσεις της ρύπανσης από πετρελαιοειδή.
4. Greenpeace Greece (2006). Όταν το πετρέλαιο χυθεί στη θάλασσα.
5. Gundlach, E.R., and Boehm, P. (1981). Fates of several oil spills in coastal and offshore waters. Report to NOAA/Seattle. NOAA Grant No.NA80RAD00060, RPI/R/81/12/31-30.
6. Harrison, W., Winnik, M.A., Kwong, P.T.Y., and MacKay, D. (1975). Disappearance of aromatic and aliphatic components from small sea-surface slicks. *Environmental Science and Technology*, 9, pp. 231-234.
7. iTac (2008). Use of Models in Oil Spill Response, Technical report, Southampton, UK.
8. ITOPF, Handbook 2010/11, Technical report, The International Tanker Owners Pollution Federation Limited, 2010.
9. ITOPF (1987). Response to Marine Oil Spills. International Tanker Owners. Pollution Federation Ltd., London.
10. IOPC FUNDS (2017). INCIDENTS INVOLVING THE IOPC FUNDS – 1992 FUND.
11. IOPC FUNDS (2017). Agia Zoni II.
12. Jokuty, P., Whitticar, S., Wang, Z., Fingas, M., Fieldhouse, B., Lambert, P., and Mullin, J. Properties of crude oils and oil products, Technical report, Environment Canada, 2000
13. Lacaze, J.C., and Villedon de Naide, O. (1976). Influence of illumination on phototoxicity of crude oil. *Marine Pollution Bulletin*, 7, pp. 73-16.
14. Lehr, W.J. (2001). Review of modeling procedures for oil spill weathering behavior, in: C.A. Brebbia (Ed.), *Oil Spill Modeling and Processes*, WIT Press, Southampton, UK, 2001, pp. 5190.
15. MacKay, D., and Matsugu, R.S. (1973). Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 51, pp. 434-439.
16. Neff, J.M. (1990). Composition and Fate of Petroleum and Spill Treating Agents in the Marine Environment. In: J.R. Geraci and D.J. St. Aubin (eds.), *Sea Mammals and Oil: Confronting the Risks*. Academic Press, New York, NY, pp. 1-33.
17. NOAA, Office of Response and Administration (2002). GNOME User's Manual.
18. NOAA, Office of Response and Restoration (2012). General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation, Seattle, Washington USA.
19. Novelli, G. (2011). Numerical simulation of oil spills in coastal areas using shallow water equations in generalised coordinates, Doctoral Thesis, Department of Mechanical Engineering, Universitat Rovira I Virgili.
20. Otay et. al, (2013). Risk assessment of oil spill accidents.
21. WWF Ελλάς (2017). Ρύπανση στον Σαρωνικό κόλπο, Αθήνα.
22. Xie, H., Yara, P.D., and Nakata, K. (2007). Modeling emulsification after an oil spill in the sea. *Journal of Marine Systems*, 68, pp. 489–506.
23. Γεωργία Σ. Παπαδονικολάκη. Μαθηματική προσομοίωση της συμπεριφοράς των πετρελαιοκηλίδων, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο πολυτεχνείο, Δεκέμβριος 2013.
24. Τριανταφύλλου Γ., και Βεργέτης Μ. Ενότητα: Πετρελαιοκηλίδες. Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2004, σελ. 6-7, σελ. 25-39.

25. Στέφανος Στ. Ποτουρίδης. Σύγκριση των προγραμμάτων GNOME, MEDSLIK και FLOW3D-L για τον υπολογισμό τροχιάς πετρελαιοκηλίδας, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Δεκέμβριος 2013.
26. NOAA (2002). Trajectory Analysis Handbook, Seattle, Wasington USA.
27. J. Mazurek & L. Smolarek (2013). Oil Spill Models: A State of the Art of the Grid Map as a Function of Wind, Current and Oil Parameters, Technical report, Gdynia Maritime University, Gdynia, Poland.
28. <http://www.alfavita.gr/arhron/koinonia/neo-dexamenoploio-gia-tin-apantlisi-ton-kaysimon-apo-ag-zoni-ii>
29. <http://www.bankwars.gr>
30. <http://www.efsyn.gr/arthro/oloklirothike-i-anelkysi-toy-agia-zoni-ii>
31. <http://www.hcg.gr/node/15922>
32. <http://www.hcg.gr/node/15922>
33. <http://www.hcg.gr/node/15937>
34. <http://www.hcg.gr/node/15943>
35. <http://www.hcg.gr/node/15945>
36. <http://www.hcg.gr/node/15965>
37. <http://www.hcg.gr/node/15978>
38. <http://www.iefimerida.gr>
39. <http://www.itopf.com/knowledge-resources/data-statistics/statistics/>
40. <http://www.itopf.com/marine-spills/fate/weathering-process/>
41. <http://www.shippedia.com/ships/ship-types/tanker>
42. <http://www.tetrattech.com/en/projects/spillcalc-oil-and-contaminant-spill-model>
43. <https://www.eleftherostypos.gr/ellada/128853-o-xartis-tis-rypansis-ston-saroniko-maxi-me-ton-xrono-gia-na-sothei-to-topio>
44. <https://www.google.com/intl/de/earth>
45. <https://www.marinetraffic.com>
46. <http://newpost.gr/ellada/629176/ploiokthths-oikologikhs-bombas-agia-zwnh-ii-olahn-nomima-to-ploio-eixe-epithewrhthei-prin-apo-enamish-mhna>
47. <http://www.iefimerida.gr/news/361959/stin-peiraiki-eftase-i-petrelaiokilida-apo-ti-salamina-anisyhoyn-oi-arhes-eikonesvinteo>
48. <https://www.protothema.gr/greece/article/712508/maurisan-paralies-tis-salaminas-meta-ti-vuthisi-tou-dexamenoploiou-sto-saroniko>
49. <http://www.documentonews.gr/article/petrelaiokhlida-oa-sygkrinoyn-deigma-kaysimwn-kai-toy-blue-star-synexizetai-h-aporrypansh>
50. <http://www.thetoc.gr/koinwnia/article/apisteuto-300-m-apo-tis-aktes-tis-boulas-i-petrelaiokilida>
51. <http://www.onalert.gr/stories/aperanto-mauro-h-paraliaki-ews-th-boula-kommatia-apo-thn-petraiochlida/59348>
52. [https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel\\_oil](https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_oil)
53. [www.mononews.gr](http://www.mononews.gr)
54. <http://www.pontos-news.gr/article/169247/ypovrgeio-ygeias-se-poi-es-aktes-apagoreyetai-kolympi-logo-petrelaiokilidas>
55. [www.yen.gr](http://www.yen.gr)
56. <http://www.fmvoice.gr/index.php/epikairo-tita/koinonia/item/192906-dodekamini-parakolythisi-ton-akton-sto-saroniko-me-epivarynsi-tis-etaireias-tou-agia-zoni-ii>
57. <http://www.skai.gr/player/tv/?mmid=296440>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

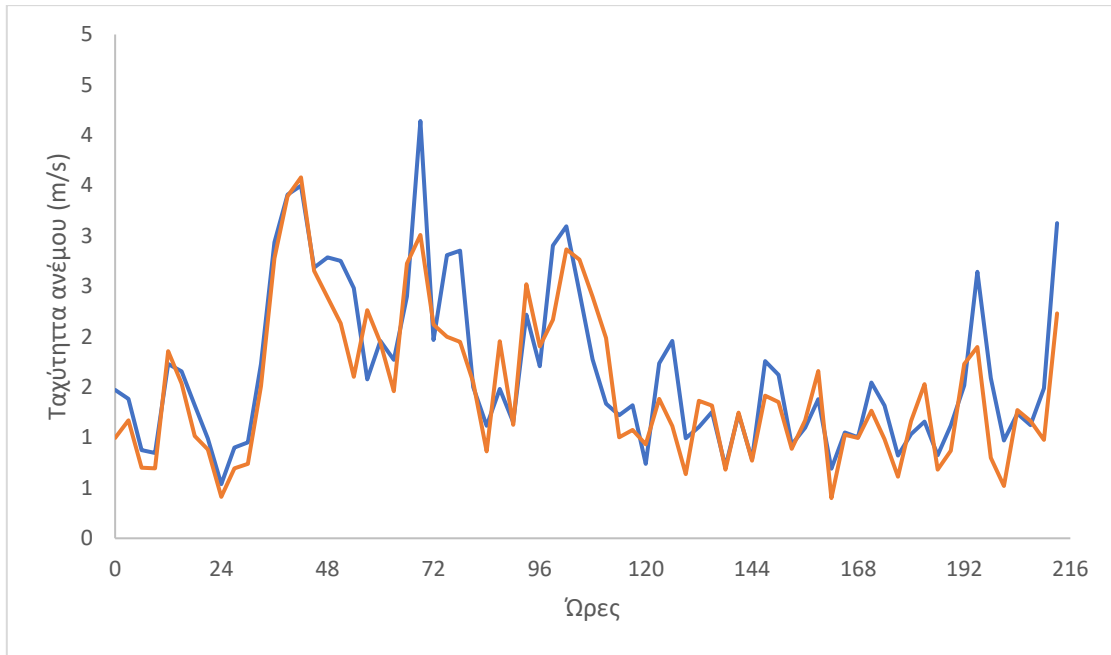


**Διάγραμμα 1** Ταχύτητα ανέμου σε ολόκληρο και περιορισμένο πλέγμα από το ατμοφαιρικό μοντέλο Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ (η μπλέ γραμμή αναφέρεται στο μεγάλο και η πορτοκαλί στο μικρό πλέγμα)

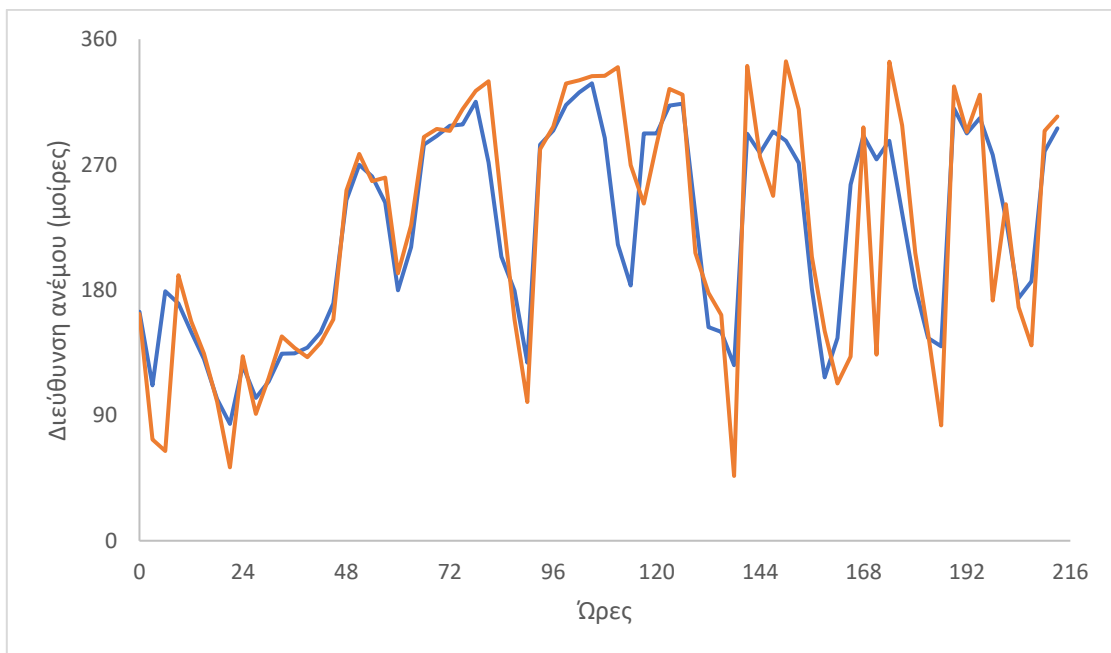


**Διάγραμμα 2** Διεύθυνση ανέμου σε ολόκληρο και περιορισμένο πλέγμα από το ατμοφαιρικό μοντέλο Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ (η μπλέ γραμμή αναφέρεται στο μεγάλο και η πορτοκαλί στο μικρό πλέγμα)

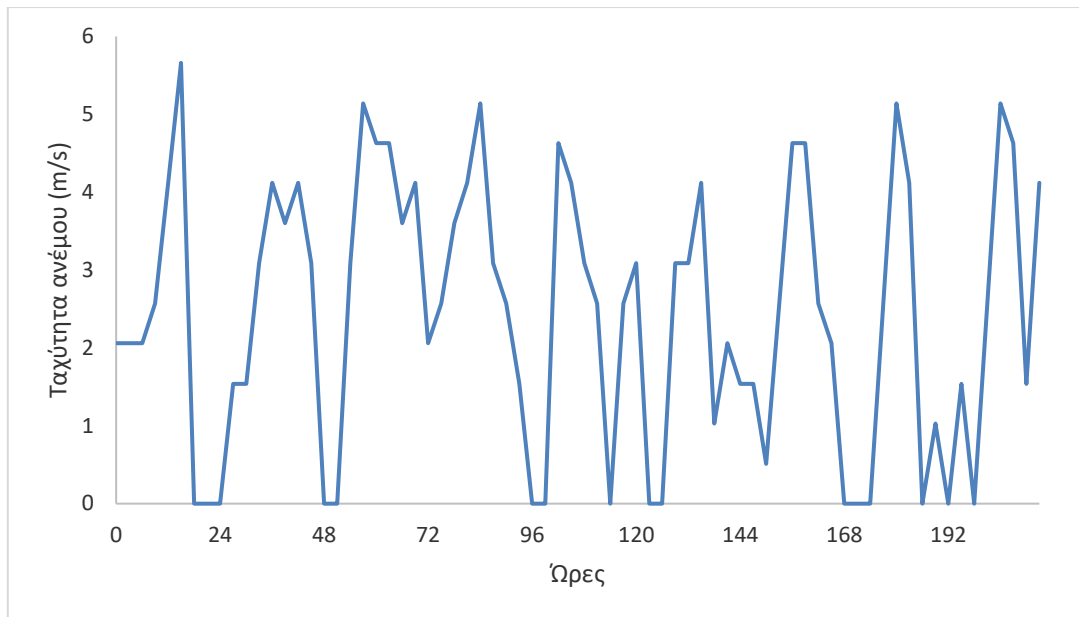




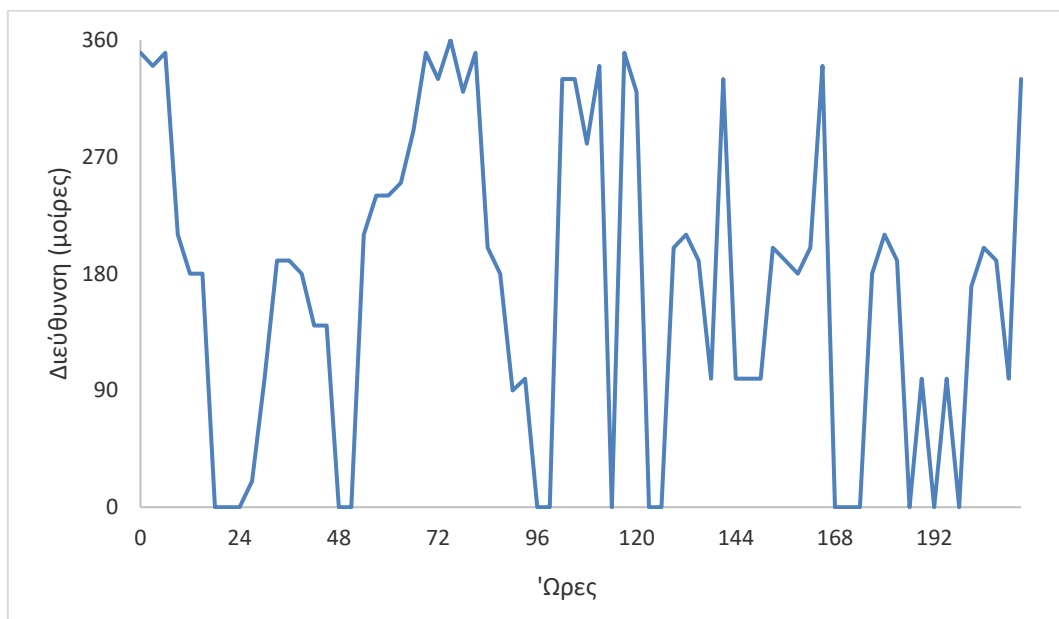
**Διάγραμμα 3** Ταχύτητα ανέμου σε ολόκληρο και περιορισμένο πλέγμα από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (η μπλέ γραμμή αναφέρεται στο μεγάλο και η πορτοκαλί στο μικρό πλέγμα)



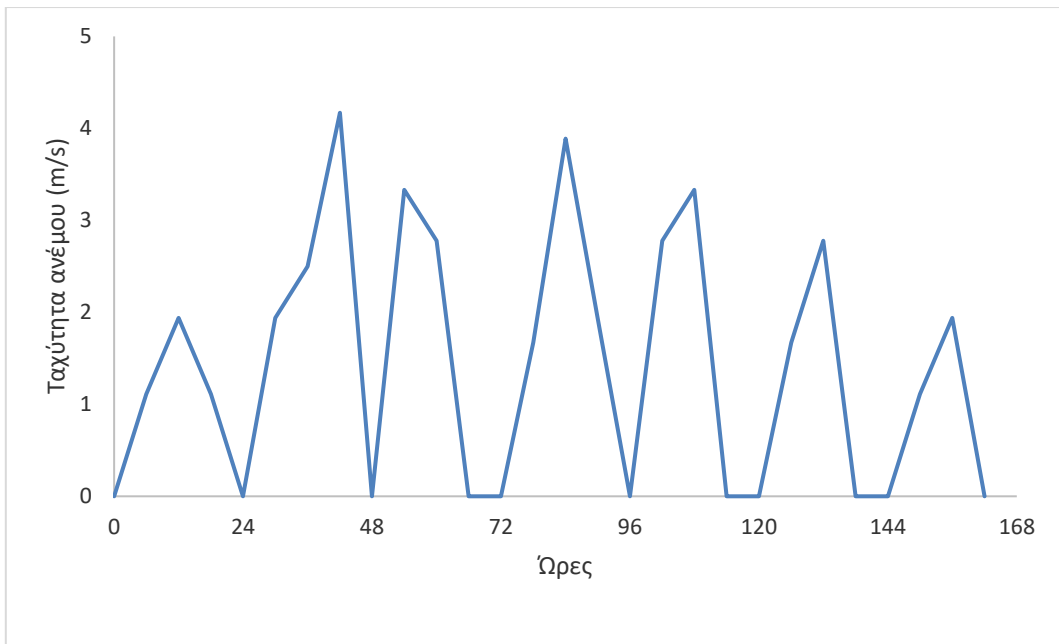
**Διάγραμμα 4** Διεύθυνση ανέμου σε ολόκληρο και περιορισμένο πλέγμα από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (η μπλέ γραμμή αναφέρεται στο μεγάλο και η πορτοκαλί στο μικρό πλέγμα)



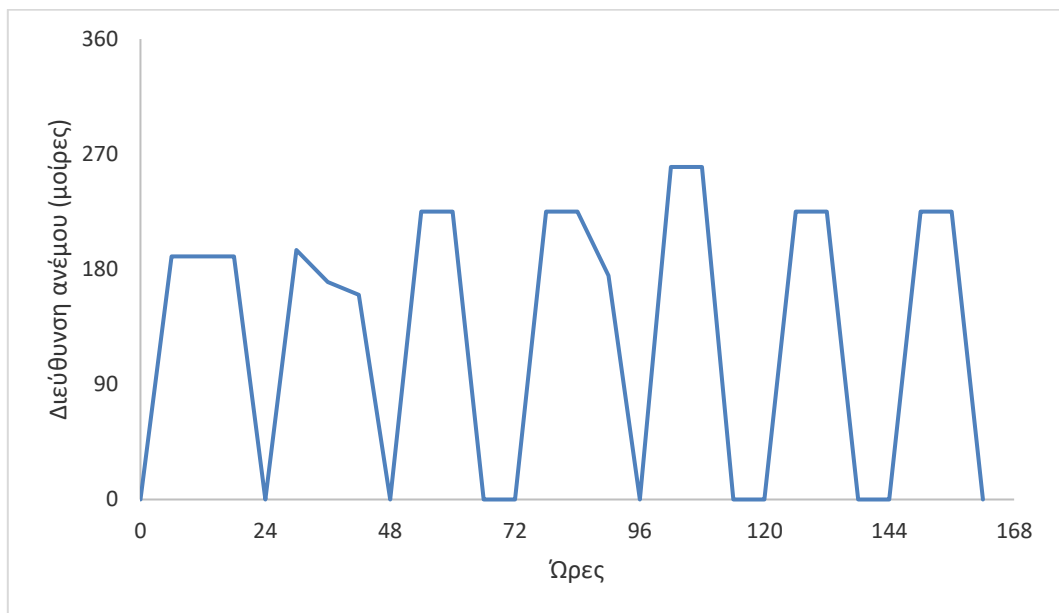
**Διάγραμμα 5** Ταχύτητα ανέμου από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία



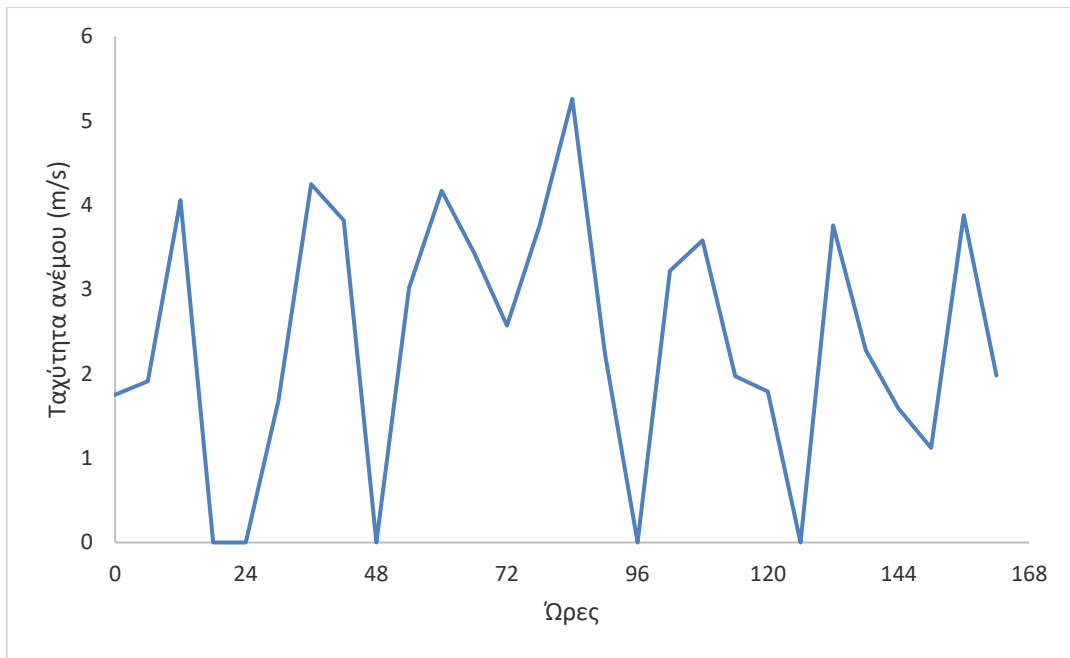
**Διάγραμμα 6** Διεύθυνση ανέμου από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία



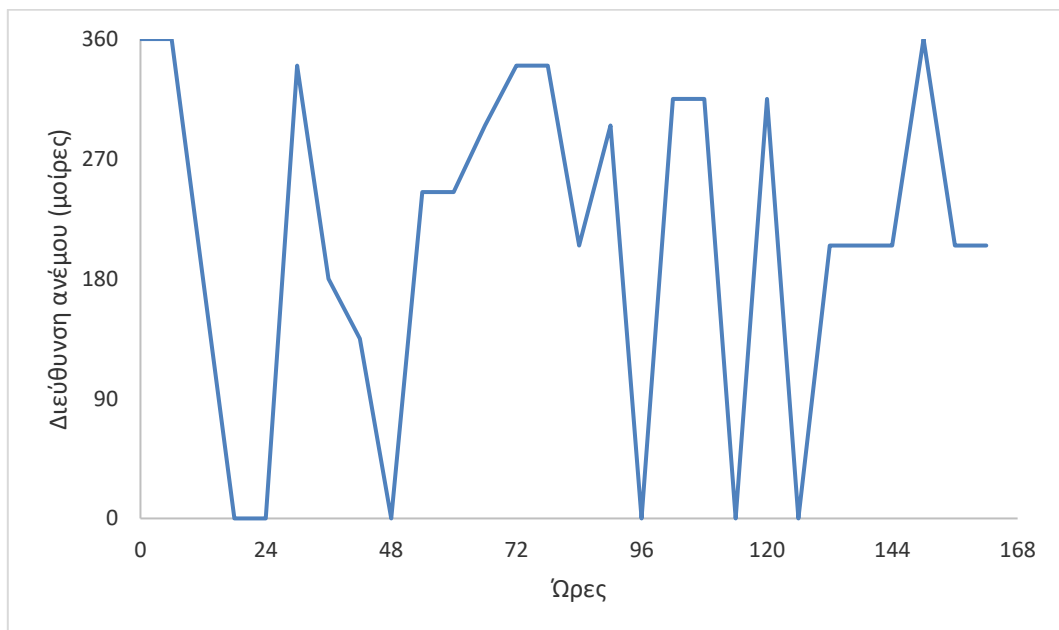
**Διάγραμμα 7** Ταχύτητα ανέμου από ιστοσελίδα πρόβλεψης καιρού (<https://www.timeanddate.com/weather/greece/athens/historic?month=9&year=2017>)



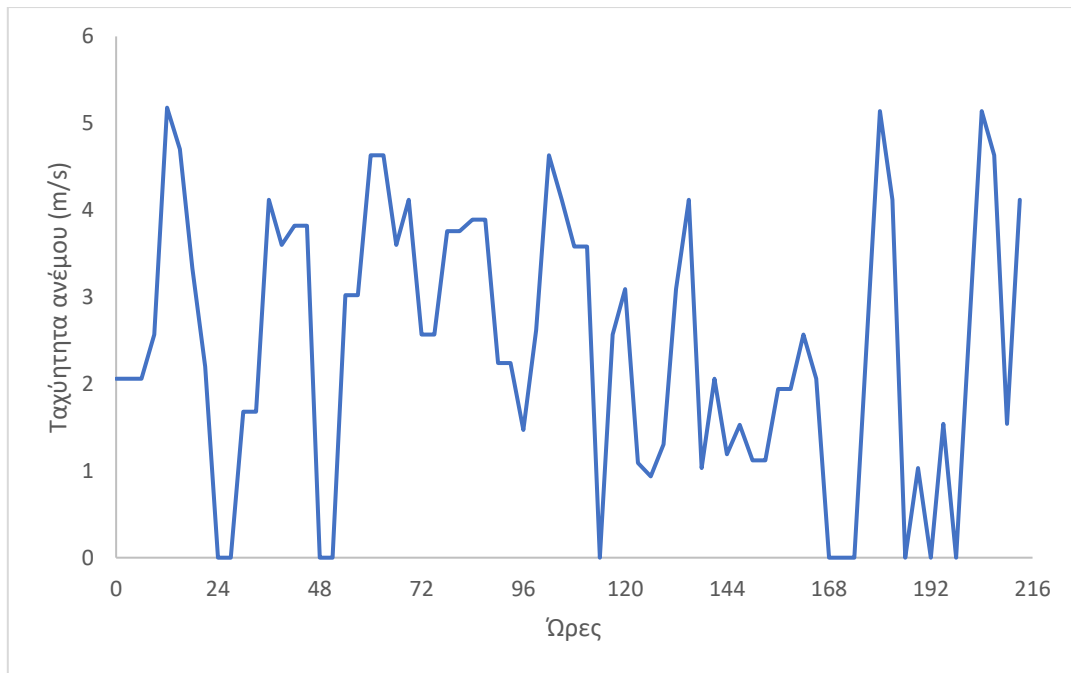
**Διάγραμμα 8** Διεύθυνση ανέμου από ιστοσελίδα πρόβλεψης καιρού (<https://www.timeanddate.com/weather/greece/athens/historic?month=9&year=2017>)



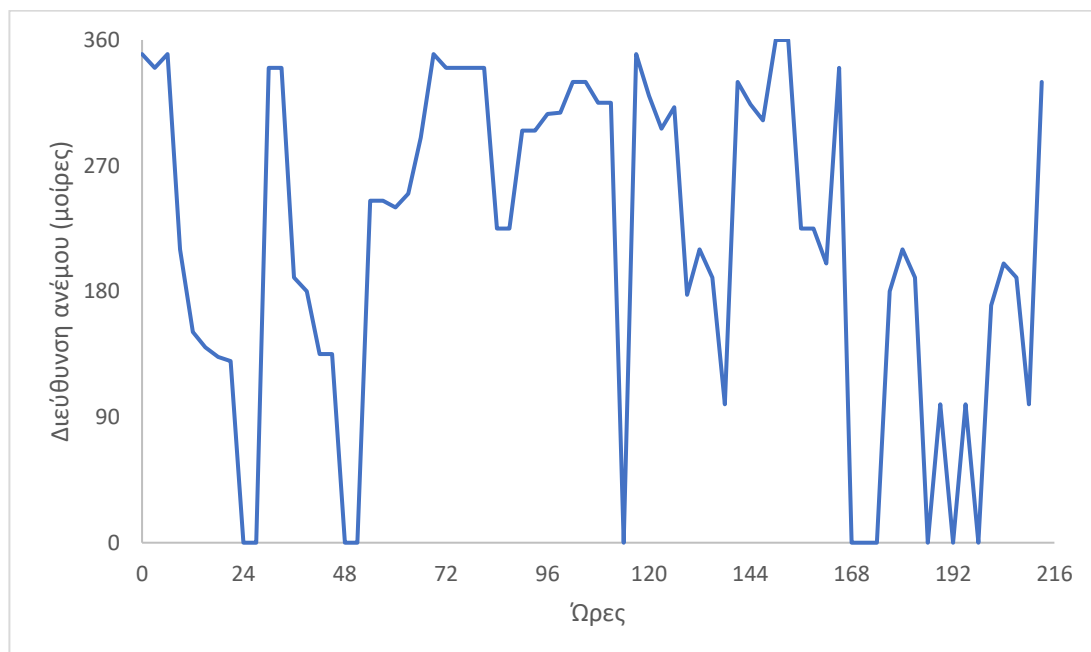
**Διάγραμμα 9** Ταχύτητα ανέμου από ιστοσελίδα πρόβλεψης καιρού  
<https://www.wunderground.com/history/daily/gr/elefsis/LGEL/date/2017-9-10>



**Διάγραμμα 10** Διεύθυνση ανέμου από ιστοσελίδα πρόβλεψης καιρού  
<https://www.wunderground.com/history/daily/gr/elefsis/LGEL/date/2017-9-10>



**Διάγραμμα 11** Ταχύτητα ανέμου βαθμονομημένου μοντέλου



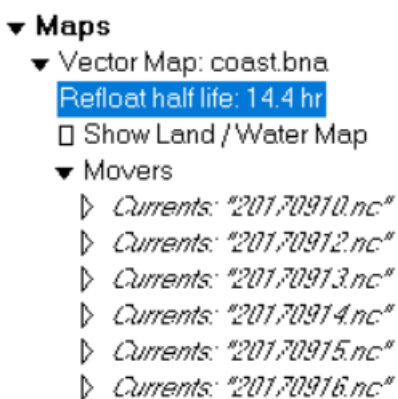
**Διάγραμμα 12** Διεύθυνση ανέμου βαθμονομημένου μοντέλου

## ΠΟΡΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Κατά την έναρξη της παρούσας εργασίας έγινε εγκατάσταση του μαθηματικού μοντέλου GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment) από την ιστοσελίδα <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/response-tools/gnome.html> και λήψη του χάρτη της περιοχής ενδιαφέροντος με συντεταγμένες Latitude: 37.70-38.00, Longitude: 23.25-24.00 από την ιστοσελίδα του μοντέλου <https://gnome.orr.noaa.gov/goods>.

Οι αρχικοί υπολογισμοί της προσομοίωσης γίνανε με ρεύματα από το ατμοσφαιρικό μοντέλο Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ με λήψη των δεδομένων αυτών από OpenDAP Server. Χρησιμοποιήθηκαν αρχεία NetCDF με πλέγμα χωρισμένο στο 1/30 της μοίρας ανά 6 ώρες. Σε κάθε ημέρα αντιστοιχούσε ένα ξεχωριστό αρχείο. Εισάγωντας τα όλα στο μοντέλο δεν ερμηνεύονται με τη σειρά, αλλά μόνο η 1<sup>η</sup> μέρα και έπειτα το μοντέλο σταματάει να τρέχει.

Επιπλέον, έγινε λήψη δεδομένων από το ατμοσφαιρικό μοντέλο Alermo χωρίς αποτέλεσμα στην ανάγνωσή του.



**Εικόνα 1** Εισαγωγή ρευμάτων στο GNOME

Στη συνέχεια έγινε σύμπτυξη αυτών σε ένα αρχείο με αποτέλεσμα ένα ενιαίο NetCDF ρευμάτων. Τρέχοντας αυτό, διαπιστώθηκε πως το μοντέλο αθροίζει τις τιμές των διανυσμάτων ανά ημέρα για όλο το βάθος και προκύπτουν διανύσματα με μεγάλες τιμές.

Προκειμένου να μην ερμηνεύεται το αρχείο με αυτό τον τρόπο αφαιρέθηκαν οι ταχύτητες σε μεγάλα βάθη και παρέμειναν αυτές της ελεύθερης επιφάνειας. Επιπλέον, έγινε περιορισμός του πλέγματος (Grid) ώστε να είναι πιο συγκεκριμένη η περιοχή, καθώς το αρχείο περιείχε πολύ μεγαλύτερη έκταση σε σχέση με την περιοχή ενδιαφέροντος.







[STARTTIME] 10 9 2017 0 0  
[ENDTIME] 10 9 2017 6 0  
[FILE] C:\gridcurTime6.cur  
[STARTTIME] 10 9 2017 6 0  
[ENDTIME] 10 9 2017 12 0  
[FILE] C:\ gridcurTime7.cur  
[STARTTIME] 10 9 2017 12 0  
[ENDTIME] 10 9 2017 18 0

Τέλος έγινε αναζήτηση αρχείων NetCDF για την περιοχή από τις πηγές ECMWF με καλύτερη ανάλυση χωρισμένο στο 1/8 της μοίρας, όπου παρά τις τροποποιήσεις δεν κατέσπει δυνατό να είναι συμβατό με το GNOME. Από τη πηγή My Ocean δεν υπήρχαν δεδομένα για την συσχετισμένη περιοχή και από το Alermo Forecasting System δεν ήταν επαρκή.

Στην ιστοσελίδα <https://gnome.orr.noaa.gov/goods> δεν υπήρχαν ιστορικά δεδομένα για τον Σαρωνικό κόλπο, καθώς δεν υπήρχε κάποιος κοντινός σταθμός.

Συνεπώς, ως αποτέλεσμα προέκυπτε συνεχώς λανθασμένη ανάγνωση ρευμάτων ως και ανέφικτη ανάγνωση. Απόρροια αυτών, δεν κατέσπει δυνατή η χρήση των δεδομένων των ρευμάτων στο υδροδυναμικό πεδίο.

Στην εισαγωγή των ανεμολογικών δεδομένων όμοια οι υπολογισμοί της προσομοίωσης ξεκίνησαν από την εισαγωγή αρχείων NetCDF της περιοχής για την περίοδο εκείνη. Έγινε λήψη των ανεμολογικών δεδομένων από τα ατμοσφαιρικό μοντέλο Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ από OpenDAP Server. Οι τιμές είναι ωριαίες για κάθε ημέρα με πλέγμα χωρισμένο στο 1/20 της μοίρας.

Εισάγωντας αυτά τα αρχεία στο μοντέλο δεν ήταν εφικτή η ανάγνωσή τους. Το πρόβλημα αφορούσε την ονοματολογία και χρειαζόταν αντικατάσταση η ονομασία `u_vel` σε `u` και `v_vel` σε `v`.

Με τη διόρθωση αυτή έγινε ανάγνωση, αλλά παρατηρώντας τα διανύσματα και τη τροχιά της πετρελαιοκηλίδας διαπιστώθηκε πως το GNOME δεν διάβαζε τη διεύθυνση σωστά. Το ορθό αποτέλεσμα είναι η ανάγνωση το από που έρχεται ο άνεμος, ενώ το μοντέλο το διάβαζε ανάποδα, δηλαδή προς τα που πάει.

Σε συνέχεια αυτού έγινε ανάγνωση των ανεμολογικών δεδομένων με χρήση του Raporly και επεξεργασία και ανάλυση αυτών σε υπολογιστικό φύλλο EXCEL για κάθε ημέρα ανά ώρα κατά `u` και `v`, υπολογίζοντας ταχύτητα ανέμου και διεύθυνση για το πλέγμα με Latitude: 37.70-38.00, Longitude: 23.25-24.0 και Latitude: 37.85-37.95, Longitude: 23.55-23.75. Η επιλογή ανάλυσης και επεξεργασίας ενός μικρότερου πλέγματος βασίστηκε στην υπόθεση πως ένα περιορισμένο πλέγμα στην περιοχή του περιστατικού, θα έδινε πιο ακριβή αποτελέσματα λαμβάνοντας υπόψη πως ο άνεμος διαφέρει αρκετά από περιοχή σε περιοχή. Η ανάγνωση των ανεμολογικών δεδομένων έγινε με χρήση της εφαρμογής Raporly. Στον Πίνακα 4 και Πίνακα 5 απεικονίζεται το υπολογιστικό φύλλο EXCEL των ανεμολογικών δεδομένων.

**Πίνακας 4** Υπολογιστικό φύλλο EXCEL για τα ανεμολογικά δεδομένα

u	23,25	23,30	23,35	23,40	23,45	23,50	23,55	23,60	23,65	23,70	23,75	23,80	23,85	23,90	23,95	24,00
37,7	-0,23	-0,23	-0,21	-0,46	-0,78	-1,05	-1,59	-1,87	-2,01	-2,27	-2,44	-2,54	-2,39	-1,64	-0,59	0,56
37,75	-0,32	-0,30	-0,44	-0,89	-1,40	-1,96	-2,56	-2,48	-2,48	-2,64	-2,75	-2,57	-1,79	-1,02	0,24	1,53
37,8	-0,47	-0,48	-0,59	-0,95	-1,66	-2,75	-2,68	-2,59	-2,60	-2,68	-2,61	-1,86	-1,05	0,11	1,33	1,19
37,85	-0,56	-0,62	-0,72	-0,85	-1,11	-2,08	-2,50	-2,43	-2,42	-2,39	-2,08	-1,37	0,00	1,22	0,98	0,36
37,9	-0,59	-0,67	-0,84	-0,97	-1,67	-2,34	-2,51	-2,38	-2,02	-1,69	-1,46	-0,48	0,89	0,76	0,06	-0,54
37,95	-0,94	-0,91	-1,03	-1,66	-2,48	-2,59	-2,51	-2,30	-1,63	-1,02	0,00	0,93	0,69	-0,04	-0,57	-1,14
38	-1,70	-1,68	-1,41	-2,09	-2,19	-2,21	-2,01	-1,35	-0,93	-0,38	0,64	1,10	0,81	0,21	-0,61	-1,29

**Πίνακας 5** Υπολογιστικό φύλλο EXCEL για τα ανεμολογικά δεδομένα

v	23,25	23,30	23,35	23,40	23,45	23,50	23,55	23,60	23,65	23,70	23,75	23,80	23,85	23,90	23,95	24,00
37,7	-0,82	-0,80	-0,75	-0,09	0,89	1,88	2,01	2,55	2,97	3,27	3,53	3,72	3,64	3,18	2,70	3,20
37,75	-0,89	-0,84	-0,82	-0,81	-0,22	1,05	1,78	2,20	2,64	3,03	3,25	3,20	2,43	1,93	3,37	4,60
37,8	-0,85	-0,78	-0,76	-0,69	-0,16	0,85	1,41	1,85	2,22	2,60	2,75	2,20	1,54	2,59	3,97	3,95
37,85	-0,62	-0,67	-0,65	-0,59	-0,39	0,59	1,24	1,62	2,01	2,32	2,49	2,10	2,31	3,09	2,99	2,98
37,9	-0,50	-0,57	-0,59	-0,49	0,07	0,84	1,34	1,63	1,84	2,02	2,36	3,02	3,21	2,06	0,66	1,23
37,95	-0,33	-0,66	-0,80	-0,28	0,35	0,89	1,33	1,59	1,63	1,68	2,01	2,63	2,11	0,66	0,35	1,32
38	0,19	-0,05	-0,18	-0,31	0,22	0,80	1,06	0,97	1,18	1,16	1,36	1,56	1,05	0,83	1,44	2,23

Η εισαγωγή του ανέμου έγινε από το παράθυρο του μεταβλητού ανέμου (Wind Variable) δηλώνοντας για κάθε χρονική στιγμή την ταχύτητα και τη διεύθυνση.

Έγινε λήψη δεδομένων σε μορφή αρχείου GRIB από το ατμοσφαιρικό μοντέλο ΣΚΙΡΩΝ ανά 3 ώρες και με πλέγμα χωρισμένο στο 1/10 της μοίρας, αλλά δεν κρίθηκε ικανοποιητικό σε σχέση με τα αρχεία από το Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ.

Στην επόμενη προσπάθεια εισαγωγής του ανέμου έγινε καταγραφή των δεδομένων σε αρχεία μορφής ASCII ανά 6 ώρες σύμφωνα με το εγχειρίδιο General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation Data Formats. Εισάγοντας αυτό το αρχείο εμφανίστηκε λάθος (Error Message) στην ανάγνωση των ταχυτήτων. Στην προσπάθεια διόρθωσης του αρχείου δεν βρέθηκε κάποιο λάθος.

```
[GRIDWINDTIME]
NUMROWS 7
NUMCOLS 16
LOLAT 37.7
HILAT 38
LOLONG 23.25
HILONG 23.4
[TIME] 10 9 17 00 00
1 1 -1.699 0.193
1 2 -1.680 -0.046
1 3 -1.405 -0.185
```

1 4 -2.093 -0.308

1 5 -2.188 0.219

1 6 -2.210 0.797

.....

Στην ιστοσελίδα <https://gnome.orr.noaa.gov/goods> δεν υπήρχαν ιστορικά δεδομένα για τον Σαρωνικό κόλπο, καθώς δεν υπήρχε κάποιος κοντινός σταθμός για να γίνει η λήψη τους.

Από ιστοσελίδες πρόγνωσης καιρού στο διαδίκτυο (<https://www.timeanddate.com/weather/greece/athens/historic?month=9&year=2017> <https://www.wunderground.com/history/daily/gr/elefsis/LGEL/date/2017-9-10>)

βρέθηκαν δεδομένα για την περίοδο εκείνη. Η χρήση αυτών έγινε με εισαγωγή από το παράθυρο του μεταβλητού ανέμου (Wind Variable).

Λήφθηκαν ανεμολογικά στοιχεία από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) για το διάστημα 9 Σεπτεμβρίου 2017 - 18 Σεπτεμβρίου 2017 από σταθμούς στο Ελληνικό, στην Ελευσίνα, στα Σπάτα, στο Λαύριο, στα Μέγαρα, στη Ψυττάλεια και στην Αίγινα. Από αυτούς τα πιο αντιπροσωπευτικά και επαρκή δεδομένα είχε ο σταθμός της Ελευσίνας.

Λήφθηκαν ανεμολογικά δεδομένα από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών για το διάστημα 9 Σεπτεμβρίου 2017 - 18 Σεπτεμβρίου 2017 και έγινε ανάλυση και επεξεργασία αυτών σε υπολογιστικό φύλλο EXCEL. Η διαδικασία αυτή διεκπεραιώθηκε για πλέγμα το οποίο περιείχε 32 κομβικά σημεία και για πλέγμα με 8 κομβικά σημεία, τα οποία περιορίζουν την περιοχή του περιστατικού, με στόχο τη διερεύνηση ενός πιο λεπτομερούς αποτελέσματος.