



ΕΜΠ 2020

**ΜΕΤΑ-ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ
ΑΕΡΙΟΥ**



**Συγγραφή: Νικόλαος Σ. Βελιώτης
Επίβλεψη: Νικόλαος Π. Βεντικός,
αναπληρωτής καθηγητής ΕΜΠ**

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
ΜΤΠΣ Ναυτική & Θαλάσσια τεχνολογία & επιστήμη

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
ΜΤΠΣ Ναυτική και θαλάσσια τεχνολογία και επιστήμη
Τομέας μελέτης πλοίου και θαλάσσιων μεταφορών

**Μετα-ανάλυση σε θέματα ασφαλείας υπεράκτιων εγκαταστάσεων
εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου**

Συγγραφή: Νικόλαος Σ. Βελιώτης
Επίβλεψη: Νικόλαος Π. Βεντικός, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2020

Περίληψη

Αντικείμενο της εργασίας είναι η εξέταση και συστηματική ανάλυση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με θέματα ασφαλείας και κινδύνους σε υπεράκτιες εγκαταστάσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ζητούμενο είναι η εξαγωγή ποιοτικών και ποσοτικών συμπερασμάτων σχετικά με ορισμένα από τα σημαντικότερα ζητήματα ασφαλείας που αφορούν τις εν λόγω εγκαταστάσεις καθώς και με την ενδεχόμενη εξάρτησή τους από άλλους παράγοντες.

Για τον σκοπό αυτό θα πραγματοποιηθεί σύγκριση διαφορετικών και ετερόκλιτων πηγών με χρήση στατιστικών μεθόδων μετά ανάλυσης. Ιδιαίτερη βαρύτητα θα δοθεί στην προσπάθεια να συμπεριληφθούν νέα δεδομένα της τελευταίας δεκαετίας και στην διερεύνηση ενδεχομένων νέων κινδύνων ούτως ώστε τα αποτελέσματα να ανταποκρίνονται στις τρέχουσες συνθήκες της βιομηχανίας, καθώς οι περισσότερες υπάρχουσες μελέτες δεν καλύπτουν αυτό το χρονικό φάσμα.

Αρχικά εξετάζεται ο συσχετισμός μεταξύ γεωγραφικής περιοχής και πλήθους ατυχημάτων. Βάσει των αποτελεσμάτων της μετά ανάλυσης, η Βόρειος Θάλασσα παρουσιάζει εμφανώς μεγαλύτερη ροπή στο ενδεχόμενο σοβαρών ατυχημάτων με τον κόλπο του Μεξικό και την Νότιο Αμερική να έρχονται δεύτερες, ενώ η Νοτιοανατολική Ασία και η Ωκεανία φαίνεται πως είναι λιγότερο επιρρεπείς σε περιστατικά ατυχημάτων.

Στην συνέχεια εφαρμόζεται μετά ανάλυση για τον συσχετισμό ανάμεσα στην φάση λειτουργίας της εγκατάστασης και στο πλήθος θανάτων λόγω ατυχημάτων. Σύμφωνα με τα υπάρχοντα δεδομένα τα αποτελέσματα υποδεικνύουν πως οι φάσεις production και drilling παρουσιάζουν μεγαλύτερο ποσοστό θανάτων ενώ οι φάσεις maintenance και compliance αποτελούν τις πιο ασφαλείς φάσεις λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

Τέλος εξετάζεται η σχέση μεταξύ είδους πλατφόρμας και περιστατικών φωτιάς και πυρκαγιάς. Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν σαφή σχέση μεταξύ πλατφορμών τύπου fixed και τέτοιων περιστατικών, ακολουθούμενες από τις πλατφόρμες τύπου tension και jackup. Πολύ μικρότερη τάση σε περιστατικά πυρκαγιάς εντοπίζεται στις πλατφόρμες τύπου spar και semi submersible.

Τα αποτελέσματα αυτά συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση των κινδύνων και στην κατάλληλη ιεράρχηση προτεραιοτήτων των αντίστοιχων θεμάτων ασφαλείας που αφορούν τις υπεράκτιες εγκαταστάσεις και μπορούν να αποτελέσουν αρχή για διεύρυνση των δεδομένων του αντικειμένου και βάση για περαιτέρω διερεύνηση.

Abstract

The purpose of the present thesis, is the systematic analysis of accidents related to offshore oil and gas structures. Specifically, qualitative and quantitative methods are applied on the current bibliography, to identify connections between safety issues, hazards, area, operation phase and type of construction. The statistical method used is one of meta-analysis, which can be used to compare miscellaneous sources, with emphasis on data from the latest decade. This way, the results are more closely related to the current industry conditions. It is worth noting however, that obtaining any relevant data is difficult and the data are scarce, as well as in need of normalization among the different sources.

In the first case, the correlation between area and number of accidents is analyzed. North Sea is significantly more prone to serious accidents, with The Gulf of Mexico and North America coming second, followed by South America third and Southeast Asia and Oceania last. Secondly, the meta-analysis is also applied in order to conduce results on the correlation between operation phase and number of deaths due to accidents. In accordance with the current perception, the results indicate production and drilling scoring higher on the death toll than the maintenance and completion phases. Lastly, the connection between the construction type and fire hazard incidents was analyzed. The results show a clear correlation between fires on fixed platforms, followed by tension and jackup ones. Much lower tendencies for fire accidents is found in the cases of spar and semi-submersible platforms.

These results indicate a deeper understanding of the dangers and point to the necessary prioritization among the hazards that is much needed in the industry. Hopefully, it can be used as the beginning of a discussion to expand on the data collection practices in the industry, plus as a stepping stone for further studies.

Περιεχόμενα

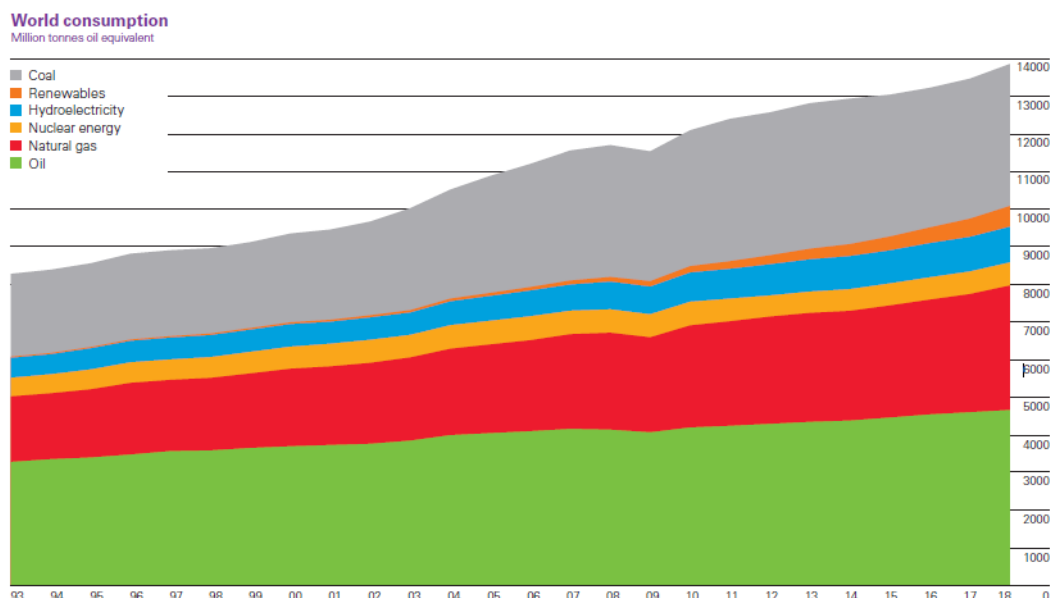
1.	Εισαγωγή.....	7
2.	Υπεράκτιες εγκαταστάσεις εξόρυξης πετρελαίου.....	10
2.1	Σταθερές κατασκευές.....	11
2.1.1	Πλατφόρμες Jacket.....	11
2.1.2	Πλατφόρμες STAR.....	12
2.1.3	Πλατφόρμες Βαρύτητας.....	13
2.2.	Ενδίδουσες κατασκευές.....	14
2.2.1	Πλατφόρμες TLP (tension leg platforms).....	14
2.2.2	Αρθρωτοί πύργοι (articulated towers).....	15
2.3.	Πλωτές κατασκευές.....	15
2.3.1	Γεωτρητικά σκάφη.....	16
2.3.2	Βυθιζόμενες και ημιβυθιζόμενες πλατφόρμες.....	18
2.3.3	Πλατφόρμες Jack-up.....	19
2.3.4	Πλατφόρμες Spar.....	20
2.4	Πλωτά συστήματα παραγωγής, αποθήκευσης και εκφόρτωσης.....	21
3.	Ασφάλεια υπεράκτιων κατασκευών.....	23
3.1	Κατηγορίες κινδύνων/ ατυχημάτων.....	23
3.1.1	Blowout.....	23
3.1.2	Σύγκρουση.....	25
3.1.3	Ανατροπή.....	26
3.1.4	Έκρηξη/Πυρκαγιά.....	27
3.2	Ορισμός Ατυχημάτων.....	29
4.	Μετα-ανάλυση.....	30
4.1.	Μεθοδολογία μετα-ανάλυσης.....	30
4.1.2	Διατύπωση κριτηρίων συμπερίληψης και αποκλεισμού.....	31
4.1.3	Σύλλογή δεδομένων.....	31
4.1.4	Ανάλυση δεδομένων.....	31
4.1.5	Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.....	33
4.2.	Επιλογή και αξιολόγηση δεδομένων.....	34
4.3.	Πρόγραμμα meta-easy.....	39
4.3.1	Μέθοδοι Υπολογισμού.....	39
4.3.2	Δομή του προγράμματος.....	40
4.4.	Συσχετισμός μεταξύ περιοχής και πλήθους ατυχημάτων.....	49
4.5.	Συσχετισμός μεταξύ φάσης λειτουργίας και πλήθους θανάτων.....	57
4.6.	Συσχετισμός μεταξύ τύπου κατασκευής και περιστατικών πυρκαγιάς.....	68
5.	Συμπεράσματα-Παρατηρήσεις.....	79
6.	Βιβλιογραφία.....	84

1. Εισαγωγή

Νερό, εύφορη γη, ξυλεία, μέταλλα και πετρέλαιο, οι φυσικοί πόροι αποτελούσαν πάντα την κινητήρια δύναμη της εξέλιξης του ανθρώπινου πολιτισμού. Η αναζήτηση για φυσικούς πόρους οδήγησε τους αρχαίους πολιτισμούς στα όρια του γνωστού κόσμου, και πέρα από αυτά, σε μακρινές εξερευνήσεις και σφυρηλάτησε την παγκόσμια ιστορία άλλοτε μέσα από αιματηρές συγκρούσεις και άλλοτε μέσα από εντυπωσιακές ανακαλύψεις.

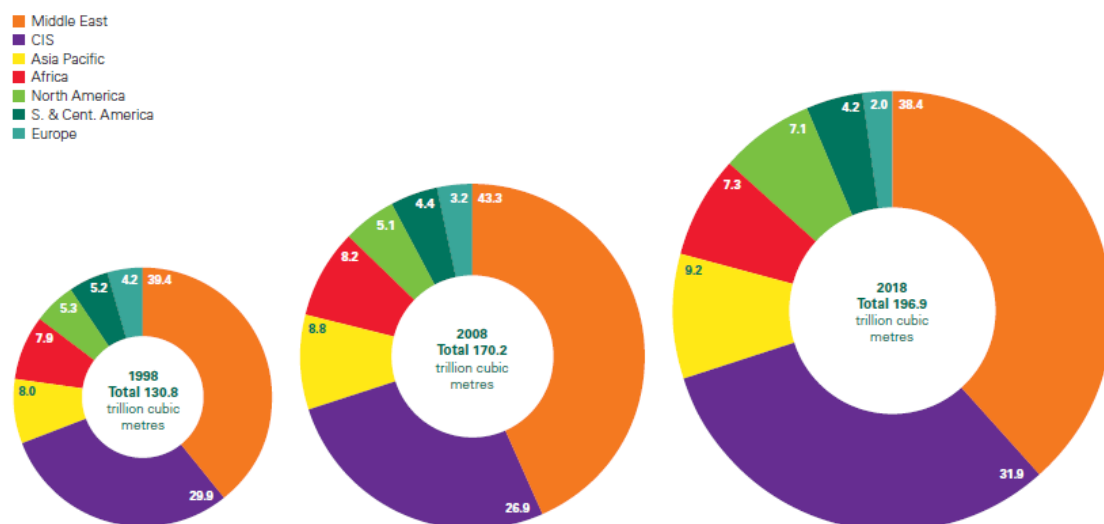
Όσο η τεχνολογία και ο πολιτισμός αναπτύσσονταν, τόσο αυξάνονταν οι ανάγκες για ακόμα περισσότερους πόρους αλλά και η δυνατότητα εξερεύνησης και εκμετάλλευσης ακόμα πιο μακρινών και δυσπρόσιτων περιοχών. Έτσι η αναζήτηση πόρων ωθήθηκε όλο και πιο βαθιά και μακριά στην στεριά και συχνά πέρα από τα όριά της.

Το πετρέλαιο και τα παράγωγά του αποτελούν τον τελευταίο αιώνα την κυριότερη πηγή ενέργειας ανά τον κόσμο. Αυτή την στιγμή καταλαμβάνει (μαζί με τα παράγωγά του) το 65% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ενώ παρά την προσπάθεια υιοθέτησης εναλλακτικών πηγών ενέργειας η ζήτηση για πετρέλαιο συνεχίζει να αυξάνεται. Ακόμα μεγαλύτερη αύξηση παρουσιάζει η χρήση φυσικού αερίου σημειώνοντας το τελευταίο έτος αύξηση που αντιστοιχεί στο 43% της συνολικής αύξησης όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (annual BP full report 2019) [1].



Σχήμα 1: Παγκόσμια κατανάλωση ενεργειακών πηγών ανά έτος. Στο διάγραμμα παρατηρείται πως τα προϊόντα πετρελαίου αποτελούν με διαφορά την μεγαλύτερη πηγή ενέργειας που καταναλώνεται παγκοσμίως ενώ μάλιστα ο όγκος που καταναλώνεται αυξάνεται σε ετήσια βάση

Δεδομένης της τεράστιας έκτασης που έλαβε η χρήση του πετρελαίου, πολύ σύντομα ξεκίνησε η αναζήτηση του και εκτός των ορίων της στεριάς, (η πρώτη υπεράκτια εξόρυξη χρονολογείται το 1896) σε ρηχό αρχικά νερό και με την πάροδο των ετών και την εξέλιξη της τεχνολογίας σε όλο και μεγαλύτερα βάθη των ωκεανών, καθιστώντας τις υπεράκτιες εγκαταστάσεις αναπόσπαστο κομμάτι της βιομηχανίας του πετρελαίου. Αυτήν την στιγμή υπολογίζεται πως περί το 30% του συνολικού πετρελαίου προέρχεται από υπεράκτια κοιτάσματα, ενώ αναμένεται να ενισχυθεί περαιτέρω ο ρόλος τους καθώς με την πρόοδο της τεχνολογίας αποκτάται πρόσβαση σε όλο και μεγαλύτερα βάθη. Στο ακόλουθο διάγραμμα γίνεται εμφανές πως παρ' ότι καταναλώνονται συνεχώς κοιτάσματα, η τεχνολογία επιτρέπει την εύρεση νέων με αποτέλεσμα η συνολική ποσότητα πετρελαίου σε αποδεδειγμένα κοιτάσματα να παρουσιάζει ελαφρά αύξηση.



Σχήμα 2: Κατανομή των αποδεδειγμένων κοιτασμάτων για τα έτη 1998, 2008 και 2018 αντίστοιχα. (oilindustryinsight.com) [64]. Στο διάγραμμα παρατηρείται πως με την πάροδο των ετών η ποσότητα του διαθέσιμου πετρελαίου φαίνεται να αυξάνεται παρά τους ταχείς ρυθμούς εξόρυξης. Αυτό οφείλεται στην συνεχή ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων που γίνεται εφικτή με την εξέλιξη της τεχνολογίας.

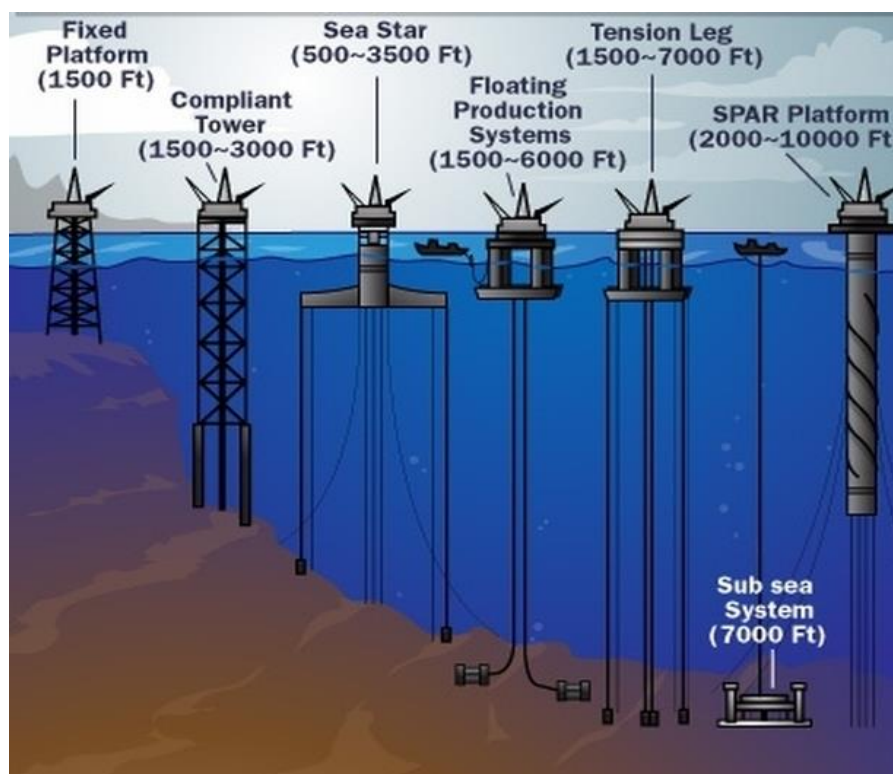
Από την φύση της η βιομηχανία των υπεράκτιων εγκαταστάσεων εξόρυξης πετρελαίου είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και ιδιαίζουσα. Πρόκειται για μεγάλης κλίμακας θαλάσσιες κατασκευές όπου συνδυάζονται βαριές βιομηχανικές διεργασίες με επικίνδυνα, εύφλεκτα υλικά υπό ακραία καιρικά φαινόμενα σε απρόβλεπτο και απομονωμένο περιβάλλον, οπού η πρόσβαση και η απομάκρυνση δεν είναι εύκολες.

Οποιοδήποτε σφάλμα δύναται να έχει τεράστιο κόστος σε ανθρώπινες ζωές, μεγάλο οικονομικό κόστος και σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Δεν είναι τυχαίο πως η εργασία σε τέτοιες εγκαταστάσεις θεωρείται ιδιαίτερα επικίνδυνη καθώς υπολογίζεται πως έχει 7 φορές υψηλότερες πιθανότητες σοβαρού ατυχήματος σε σχέση με τον μέσο όρο εργασιακών ατυχημάτων (US Center of disease control & prevention 2013) [3].

Γίνεται επομένως εύκολα αντιληπτή η σημασία της ασφαλούς λειτουργίας αυτών των εγκαταστάσεων, και η βαρύτητα που οφείλει να δοθεί σε επίπεδο έρευνας, πρόληψης και εκπαίδευσης προκειμένου να διασφαλιστεί τόσο η σωματική και ψυχική υγεία του προσωπικού όσο και η ομαλή, απερίσπαστη και αποδοτική λειτουργία των διεργασιών.

2. Υπεράκτιες εγκαταστάσεις εξόρυξης πετρελαίου

Οι δραστηριότητες εκμετάλλευσης των υποθαλάσσιων κοιτασμάτων οδήγησαν στην ανάπτυξη διαφόρων αντίστοιχων κατασκευών. «Η αναζήτηση, εξόρυξη και παραγωγή υδρογονανθράκων από τη θάλασσα αποτελούν το αντικείμενο της υπεράκτιας βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου (offshore oil and gas industry)» [4]. Η επιλογή της κατάλληλης εξαρτάται από τις συνθήκες της υπό διερεύνηση εξόρυξης, όπως το βάθος, ενώ εξίσου σημαντικός παράγον είναι και η οικονομική αποδοτικότητα της εκάστοτε επιλογής για τις δεδομένες συνθήκες (cost effectiveness).



Σχήμα 3: Διαφορετικοί τύποι υπεράκτιων πλατφορμών.(resource-science.co.uk) Από αριστερά προς τα δεξιά αναπαρίστανται οι σταθερές κατασκευές, οι αρθρωτοί πύργοι, οι κατασκευές τύπου star, οι επιπλέουσες κατασκευές, οι κατασκευές TLP, τα υποθαλάσσια συστήματα και οι πλατφόρμες τύπου SPAR. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, κύριο κριτήριο για την επιλογή της κατάλληλης κατασκευής αποτελεί το βάθος στο οποίο θα λειτουργήσει [57].

Η ταξινόμηση των προαναφερθέντων ναυπηγημάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορα κριτήρια όπως η γεωμετρία, οι διαστάσεις, ο τρόπος χρήσης και λειτουργίας κ.ο.κ. Ωστόσο το κύριο κριτήριο κατηγοριοποίησης αφορά την δυνατότητα μετακίνησης των κατασκευών. Κατά την έννοια αυτή, διακρίνονται τρεις κατηγορίες: Οι σταθερές κατασκευές (fixed structures), οι ενδίδουσες κατασκευές (compliant structures) και οι πλωτές κατασκευές (floating structures) [2], [6]. Ο καθοριστικότερος παράγον σχετικά με την επιλογή ενός εκ των τριών τύπων είναι το βάθος του νερού καθώς οι δύο πρώτες

κατηγορίες συνήθως (σταθερές και ενδίδουσες) επιλέγονται για μικρότερα βάθη, ενώ οι πλωτές κατασκευές είναι περισσότερο συμφέρουσες σε μεγαλύτερα βάθη.

Στην διεθνή βιβλιογραφία ως “ρηχά ύδατα” θεωρούνται τα ύδατα με βάθος έως 400m, ενώ “βαθιά ύδατα” αντίστοιχα τα ύδατα με βάθος από 400m έως 1500m. Ύδατα με βάθος μεγαλύτερο από 1500m θεωρούνται “πολύ βαθιά ύδατα”[3], [6], [28].

Με τα παραπάνω κριτήρια λοιπόν οι κυριότερες κατηγορίες υπεράκτιων κατασκευών εξόρυξης και παραγωγής πετρελαίου είναι οι ακόλουθοι [4], [5], [6]:

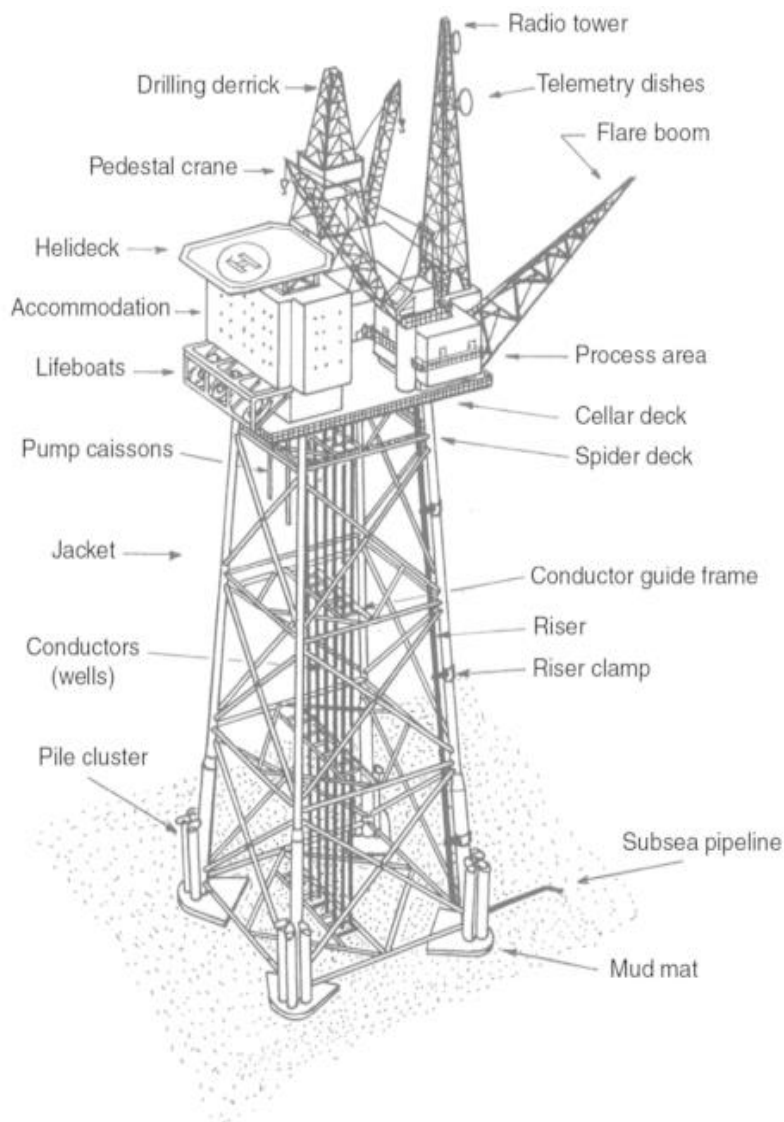
2.1. Σταθερές κατασκευές

Οι σταθερές κατασκευές, όπως ορίζει ο τίτλος τους, παρουσιάζουν ελάχιστη κινητικότητα υπό κυματισμούς και ρεύματα και χρησιμοποιούνται κυρίως για εξόρυξη και παραγωγή πετρελαίου. Οι κατασκευές αυτές είναι οικονομικά συμφέρουσες για σχετικά μικρά βάθη και ενδείκνυνται για μακροχρόνια χρήση. Διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες [4], [5]:

2.1.1 Πλατφόρμες jacket

Οι πλατφόρμες τύπου jacket (μεταλλικά χωροδικτυώματα) στηρίζονται σε κοίλα κυλινδρικά στοιχεία στήριξης, συνήθως 4,6 ή 8 τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μέσω χωροδικτυώματος για μεγαλύτερη σταθερότητα. Η κατασκευή στήριξης έχει μεγαλύτερο πλάτος στην βάση το οποίο σταδιακά μειώνεται μέχρι το ύψος της πλατφόρμας (stoolike structure) και θεμελιώνεται με πασσάλους σε μεγάλο βάθος στον πυθμένα της θάλασσας. Τέτοιες κατασκευές είναι συμφέρουσες σε μικρά βάθη (έως 450m) και μπορεί να είναι αυτάρκειες ή να συνοδεύονται από μία δεύτερη πλωτή κατασκευή υποστήριξης όπου θα περιέχονται βοηθητικές εγκαταστάσεις.

Οι κατασκευές jacket είναι ιδιαίτερα σταθερές και έχουν την δυνατότητα υποστήριξης μεγάλων φορτίων καταστρώματος. Επιπλέον δύνανται να υποστηρίξουν μεγάλα πεδία παραγωγής πετρελαίου για μεγάλη χρονική διάρκεια. Στα μειονεκτήματα τους περιλαμβάνεται το κόστος το οποίο αυξάνεται εκθετικά με αύξηση του βάθους, γεγονός που καθιστά την επιλογή ακατάλληλη για μεγαλύτερα βάθη καθώς και το υψηλό κόστος συντήρησης αφού τα χαλύβδινα δομικά μέρη της κατασκευής υπόκεινται σε διάβρωση. Επιπλέον η κατασκευή δεν μπορεί να μετακινηθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί [4], [7].



Σχήμα 4: Πλατφόρμα τύπου jacket [4].

2.1.2 Πλατφόρμες STAR

Οι πλατφόρμες αυτού του είδους στηρίζονται σε έναν μονό πυλώνα (monopod) ο οποίος συνήθως στηρίζεται σε μία jacket κατασκευή θεμελιωμένη στον πυθμένα. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε γεωτρήσεις σε περιφερειακά πηγάδια με οριακά αποθέματα, όπου η ανέγερση μίας πλήρους jacketed πλατφόρμας θα ήταν οικονομικά ασύμφορη. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της πλατφόρμας star συγκριτικά με τις jacketed είναι η σχετικά εύκολη μεταφορά και εγκατάστασή της [5], [98].



Σχήμα 5: Πλατφόρμα τύπου STAR.[29]

2.1.3 Πλατφόρμες βαρύτητας

Οι πλατφόρμες βαρύτητας (gravity platforms) όπως ορίζει η ονομασία τους, εδράζονται στον πυθμένα της θάλασσας και συγκρατώνται εκεί υπό την επίδραση του βάρους τους και μόνο, χωρίς να απαιτείται θεμελίωση ή αγκύρωση. Η πλατφόρμα στηρίζεται σε πυλώνες που καταλήγουν σε μία μεγάλη τσιμεντένια βάση ώστε να επιτευχθεί χαμηλό κέντρο βάρους και σταθερότητα έναντι στις ροπές ανατροπής που δέχεται από τα στοιχεία του περιβάλλοντος [4]. Οι κατασκευές αυτές παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στον χρόνο και μπορούν να υποστηρίξουν μεγάλες διαστάσεις εγκαταστάσεων και χώρο για τον απαραίτητο εξοπλισμό ενώ η μεταφορά και τοποθέτησή τους είναι σχετικά εύκολη καθώς τα δομικά μέρη της κατασκευής μπορούν να ρυμουλκηθούν μέχρι το επιθυμητό σημείο και κατόπιν να τοποθετηθούν εκεί (τα δομικά της μέρη συνήθως περιέχουν δεξαμενές οπότε η πλευστότητά τους μπορεί να μεταβάλλεται). Αντίστοιχα, αυτές οι κατασκευές μειονεκτούν όσον αφορά την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης τους, ενώ η δυνατότητα χρήσης τους περιορίζεται από την μορφολογία του εδάφους καθώς απαιτείται σχετικά ομαλή μορφολογία πυθμένα [30], [31].



Σχήμα 6: Πλατφόρμα βαρύτητας.[31]

2.2. Ενδίδουσες κατασκευές

Οι ενδίδουσες κατασκευές είναι κατασκευές που αντιδρούν στις δυναμικές φορτίσεις του περιβάλλοντος με ευέλικτο τρόπο. Μπορούν δηλαδή να κινούνται σε απόκριση των εφαρμοζόμενων δυνάμεων αντί να αντιστέκονται άκαμπτα σε αυτές. Είναι πρακτικά πλωτές κατασκευές οι οποίες όμως υφίστανται κάποιον κινηματικό περιορισμό σε κάποιους από τους βαθμούς ελευθερίας τους [4].

Για την εφαρμογή αυτών των περιορισμών χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι και έτσι διακρίνονται τα εξής είδη ενδίδουσων πλατφορμών [32], [33]:

2.2.1 Πλατφόρμες TLP (tension leg platforms)

Πρόκειται για πλωτές πλατφόρμες που παραμένουν στη θέση ισορροπίας τους υπό την τάση προτεταμένων συρματόσχοινων. Η γάστρα στηρίζονται σε πυλώνες (συνήθως 4) οι οποίοι συνδέονται στην βάση με ισάριθμα ποντόνια. Η προένταση των συρματόσχοινων επιτρέπει μια σχετική ελευθερία σε κινήσεις surge και sway, ενώ προσδίδει μεγάλη σταθερότητα σε κινήσεις heave, roll και pitch, καθιστώντας τις πλατφόρμες κατάλληλες επιλογές σε θάλασσες με έντονα καιρικά φαινόμενα [34], [35]. Οι πλατφόρμες αυτές χρησιμοποιούνται σε μεγάλα βάθη νερού (600-1500m) και έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι ρυμουλκήσιμες γεγονός που καθιστά την μεταφορά και την εγκατάστασή τους αλλά και την μεταφορά τους σχετικά εύκολη. Το κυριότερο μειονέκτημα αυτού του τύπου κατασκευής είναι το μεγάλο κόστος των προτεταμένων συρματόσχοινων που αυξάνεται με αύξηση του βάθους [36], [37].



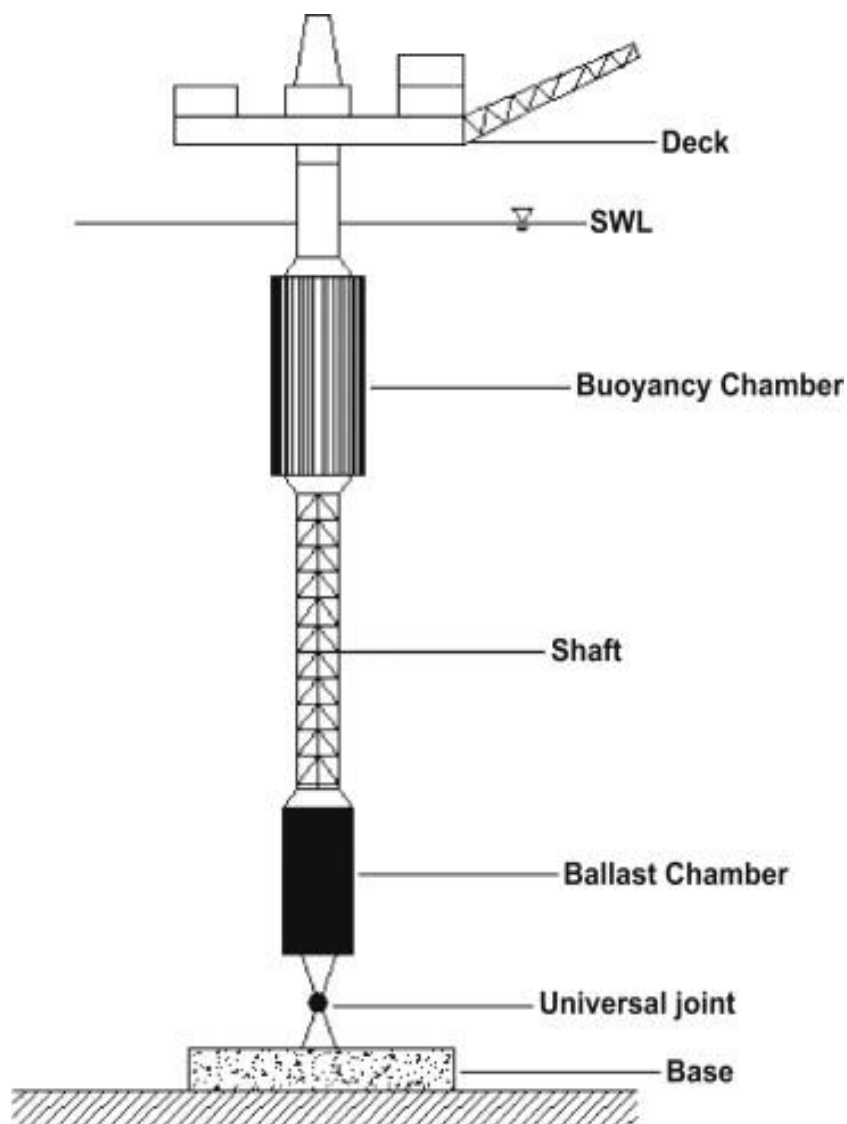
Σχήμα 7: Πλατφόρμα τύπου *tension legs* [38].

2.2.2 Αρθρωτοί πύργοι (articulated towers)

Οι αρθρωτοί πύργοι είναι κατασκευές που στηρίζονται στην ίδια αρχή με τις πλατφόρμες TLP. Σε αυτήν την περίπτωση η πλατφόρμα συνδέεται με τον πυθμένα μέσω ενός μονού πυλώνα ο οποίος συνδέεται στην βάση της θεμελίωσης μέσω άρθρωσης. Η άρθρωση αυτή προσίδει την επιθυμητή ευκαμψία σε ανταπόκριση με τις περιβαλλοντικές φορτίσεις [39].

2.3. Πλωτές κατασκευές

Η τρίτη και τελευταία κατηγορία των κατασκευών αφορά τα πλωτά ναυπηγήματα, κοινό χαρακτηριστικό των οποίων είναι η δυνατότητα μετακίνησής τους. Οι βασικές κατηγορίες των πλωτών κατασκευών είναι οι εξής [4], [5]:



Σχήμα 8: Πλατφόρμα με στήριξη σε αρθρωτό πύργο [40].

2.3.1 Γεωτρητικά σκάφη

Τα γεωτρητικά σκάφη είναι πλοία τα οποία φέρουν τον απαραίτητο εξοπλισμό για να πραγματοποιούν γεωτρήσεις. Επιπλέον διαθέτουν σύστημα πολλαπλών αγκυρώσεων ώστε να επιτευχθεί μέγιστη δυνατή σταθερότητα κατά την διαδικασία της γεώτρησης [7], [42].



Σχήμα 9: Γεωτρητικό σκάφος εν πλω [42].



Σχήμα 10: Αυτοπροωθούμενη ημιβυθιζόμενη πλατφόρμα [43].

2.3.2 Βυθιζόμενες και ημιβυθιζόμενες πλατφόρμες

Οι πλατφόρμες αυτές στηρίζονται σε πυλώνες που καταλήγουν σε δεξαμενές πλευστότητας με δυνατότητα ερματισμού και αφερματισμού. Κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται επαρκής άντωση ώστε η κατασκευή να επιπλέει αλλά και επαρκές βάρος για να είναι σταθερή [4], [5].

Παρουσιάζουν καλύτερη απόκριση στις εξωτερικές φορτίσεις και χρησιμοποιούνται τόσο κατά την φάση της γεώτρησης όσο και της παραγωγής. Μπορούν να ρυμουθληθούν στην επιθυμητή θέση, ενώ συχνά φέρουν έλικες πρόωσης για την μετακίνησή τους και ακριβή τοποθέτησή τους. Οι βυθιζόμενες πλατφόρμες συνήθως χρησιμοποιούνται σε ρηχά ύδατα ενώ οι ημιβυθιζόμενες σε βαθύτερα [43].



Σχήμα 11: Πλατφόρμα *jackup* με τους πυλώνες κατεβασμένους κατά την διαδικασία τοποθέτησης της [48].

2.3.3 Πλατφόρμες Jack-up

Οι πλατφόρμες jack up είναι, αυτήν την στιγμή, οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου [7]. Οι πλατφόρμες jack up αποτελούνται από την γάστρα η οποία φέρει το κατάστρωμα, έναν αριθμό από πυλώνες, και έναν μηχανισμό ανύψωσης των πυλώνων. Οι πυλώνες μπορούν να ανυψωθούν καθιστώντας την κατασκευή πλωτή ώστε να πραγματοποιηθεί εύκολα η μετακίνησή της, και να κατέλθουν και να εδραστούν στον πυθμένα (πάνω σε πέδιλα), στηρίζοντας πλέον την κατασκευή στο επιθυμητό σημείο και ύψος. Κατά τον τρόπο αυτόν οι πλατφόρμες jack up συνδυάζουν την ευκολία μεταφοράς μίας πλωτής κατασκευής με την σταθερότητα μίας σταθερής κατασκευής [44], [45].

Οι κατασκευή αυτή είναι πλήρως αυτοδύναμη καθώς περιέχει όλον τον απαραίτητο εξοπλισμό, ενώ συχνά συνοδεύεται από ένα εφεδρικό πλοiάριο για λόγους ασφαλείας [46].



Σχήμα 12: Πλατφόρμα jackup με τους πυλώνες ανεβασμένους [48].

Η κατηγορία jack up χρησιμοποιείται, όπως αναφέρθηκε, ευρύτατα κατά όλες τις διαδικασίες εξόρυξης πετρελαίου, γεώτρηση, παραγωγή, διαμονή προσωπικού, συντήρηση κλπ.

Η κατασκευή αυτή ωστόσο, υφίσταται κάποιους επιχειρησιακούς περιορισμούς, όπως ο περιορισμός του βάρους κατά την πλωτή φάση αλλά και την φάση ανύψωσης της γάστρας καθώς και το περιορισμένο βάθος στο οποίο μπορεί να τοποθετηθεί. Μία σύγχρονη πλατφόρμα jack up συνήθως μπορεί να τοποθετηθεί σε βάθος μέχρι 150m και δύναται να ανταποκριθεί σε συνθήκες κυματισμού έως και 25 μέτρων [47], [48].

2.3.4 Πλατφόρμες Spar

Οι πλατφόρμες spar αποτελούν ένα ακόμα ναυπήγημα που χρησιμοποιείται ευρέως για την εξόρυξη πετρελαίου αλλά και για την αποθήκευση υδρογονανθράκων. Αποτελείται από μία γάστρα, ένα σύστημα αγκύρωσης, την υπερκατασκευή και το σύστημα αγωγών. Κύριο χαρακτηριστικό της κατασκευής spar είναι ο κατακόρυφος κυλινδρικός πύργος ο οποίος παραμένει στην θέση του μέσω συστήματος αγκύρωσης. Ο πύργος αυτός βρίσκεται στο μεγαλύτερο μέρος του εντός της θάλασσας καθιστώντας ιδιαίτερα ευνοϊκές της επιχειρήσεις σε μεγάλα βάθη. Η διάταξη του κυλίνδρου προσδίδει πολύ καλή σταθερότητα της κατασκευής καθώς στο κατώτερο μέρος του περιέχονται δεξαμενές με έρμα, επιτρέποντας παράλληλα επαρκή κινητικότητα με σκοπό την απορρόφηση δυνάμεων σε ακραία καιρικά φαινόμενα [49], [65].

Ο μεταλλικός σκελετός της κατασκευής περιβάλλεται από σπειροειδείς σειρές ελασμάτων ώστε να αυξάνεται η ευστάθεια της κατασκευής. Οι πλατφόρμες αυτές μπορούν να λειτουργήσουν σε πολύ μεγάλα βάθη (έως 3km) και μπορούν να υποστηρίξουν μεγάλα βάρη φορτίων. Χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη σταθερότητα καθώς το κέντρο άντωσης τους βρίσκεται πάντα πάνω από το κέντρο βάρους τους και μπορούν να μεταφερθούν σχετικά εύκολα [50]. Επιπλέον δύνανται να λειτουργήσουν και ως αποθηκευτικές μονάδες υδρογονανθράκων με χαμηλό κόστος. Οι πλατφόρμες spar διακρίνονται σε τρεις βασικές υποκατηγορίες [49]:

Κλασσική spar

Η κλασσική spar κατασκευή αποτελείται από έναν μονό κύλινδρο ο οποίος είναι χωρισμένος σε τρεις τομείς. Ο άνω τομέας περιλαμβάνει ένα κεντρικό φρεάτιο γεμάτο με νερό, γύρω από το οποίο βρίσκονται στεγανά διαμερίσματα. Το κατώτατο φρεάτιο περιέχει διαμερίσματα έρματος, ενώ ο μεσαίος τομέας μπορεί να πληρωθεί με νερό ή να χρησιμοποιηθεί ως αποθηκευτικός χώρος υδρογονανθράκων [51], [143].

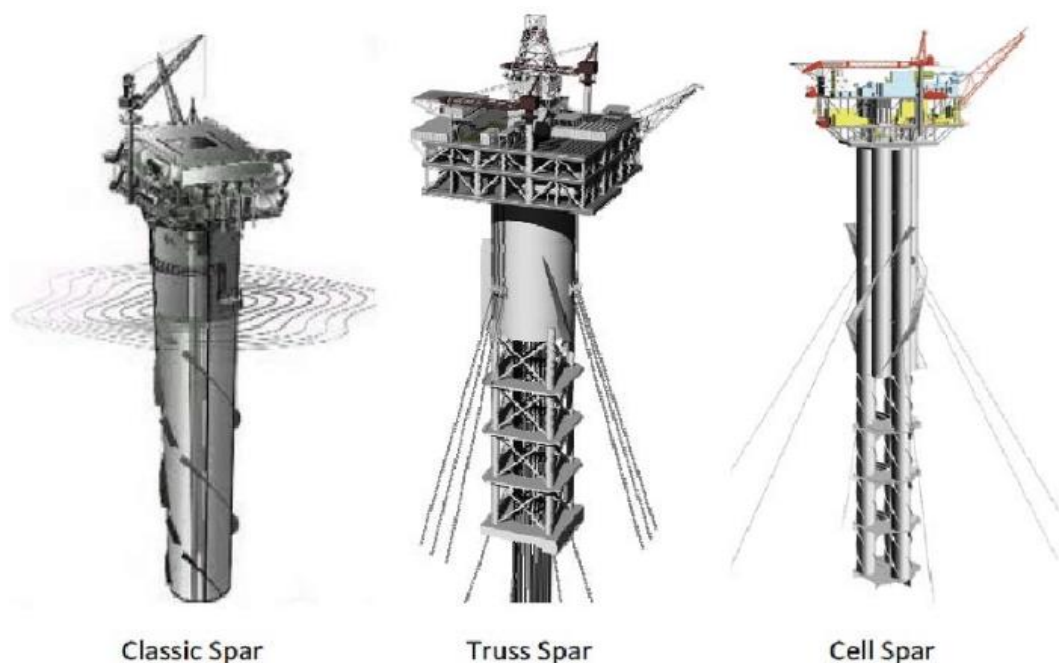
Truss spar

Η κατασκευή truss spar μοιάζει με την κλασσική spar, με την διαφορά ότι ο κύλινδρος είναι μικρότερος και το κατώτερο τμήμα του έχει αντικατασταθεί από ένα δυκτίωμα

(truss). Και εδώ διακρίνονται τρεις τομείς, ο άνω κυλινδρικός (hard tank), ο μέσος τομέας δυκτιώματος (middle truss section) και τον κατώτερο τομέα τορπίδας (soft tank) [65]. Η χρήση και πλήρωση των τομέων είναι αντίστοιχη με την περίπτωση της κλασσικής spar. Η truss spar ωστόσο παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα όσο αφορά την ευκολία κι το κόστος κατασκευής τους σε σχέση με την κλασσική εκδοχή [143], [52], [146].

Cell spar

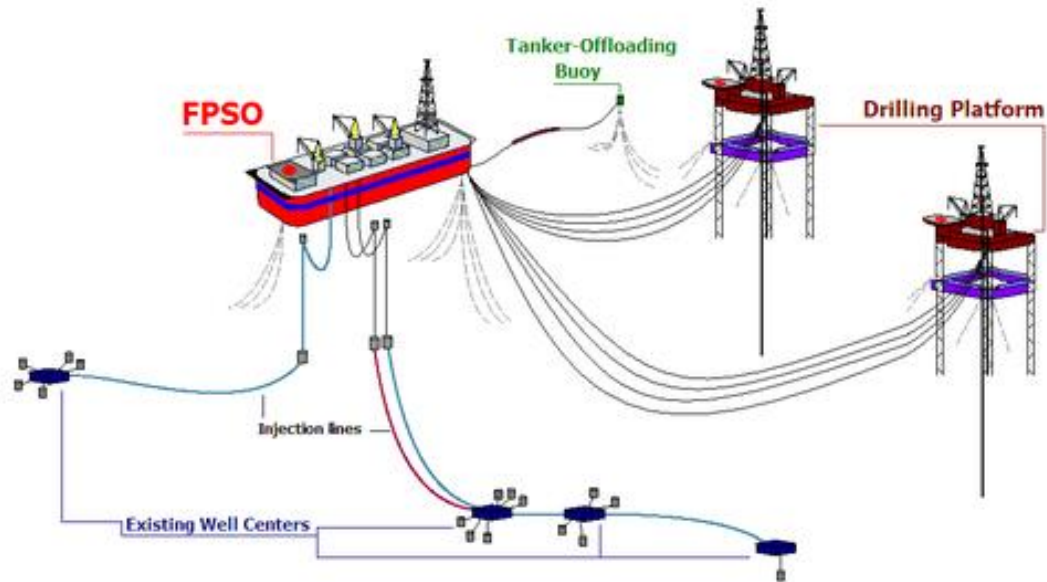
Αυτή η εκδοχή της spar διαθέτει επίσης τρεις τομείς με την διαφορά ότι ο άνω τομέας αποτελείται από 6 κυλίνδρους τοποθετημένους γύρω από έναν κεντρικό, ενώ το μέσο τμήμα αποτελείται από την προέκταση τριών εκ των 7 άνω κυλίνδρων. Ο κατώτερος τομέας της κατασκευής περιέχει σταθερό έρμα [49], [53].



Σχήμα 13: Διαφορετικοί τύποι πλατφορμών spar [41].

2.4. Πλωτά συστήματα παραγωγής, αποθήκευσης και εκφόρτωσης (floating prduction, storage, and off-loading systems)

Πρόκειται για πλωτά συστήματα που χρησιμοποιούνται για τις ανωτέρω διεργασίες. Τέτοιες μονάδες μπορούν να αντλούν πετρέλαιο απ' ευθείας από τον πυθμένα να το επεξεργάζονται, να το αποθηκεύουν και να το μεταφορτώνουν σε δεξαμενόπλοια ή να το μεταφέρουν μέσω αγωγού [54], [56].



Σχήμα 14: Παράδειγμα πλωτού συστήματος παραγωγής, αποθήκευσης και εκφόρτωσης [5].

3. Ασφάλεια υπεράκτιων κατασκευών

3.1. Κατηγορίες κινδύνων/ ατυχημάτων

Οι πλατφόρμες εξόρυξης, υπόκεινται σε πολλούς κινδύνους, όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, η λειτουργία τους συνδυάζει τους πιθανούς κινδύνους της ναυτιλίας με τους πιθανούς κινδύνους της βιομηχανίας πετρελαίου [8], [9], [10]. Οι κυριότεροι κίνδυνοι που απειλούν την ασφάλεια μίας πλατφόρμας ανήκουν στις ακόλουθες κατηγορίες [11], [17], [66].

Blowout

Σύγκρουση

Πτώση αντικειμένων

Πτώσεις προσωπικού

Απώλεια ευστάθειας/ στηρίξεων

Φωτιές και εκρήξεις

Μόλυνση περιβάλλοντος

3.1.1 Blowout

Ως blowout ορίζεται η ανεξέλεγκτη ροή υδρογονανθράκων από μία υπόγεια δεξαμενή διαμέσου του φρεατίου γεώτρησης στην ατμόσφαιρα, στη θάλασσα ή σε οποιοδήποτε άλλο υπόγειο σχηματισμό [45]. Είναι αναγκαίος ο διαχωρισμός του ατυχήματος “blowout” από το “blow”, καθώς το τελευταίο αφορά στην διαρροή ρευστών από τα τοιχώματα της γεώτρησης, που όμως είναι δυνατόν να σφραγιστεί ή να εκτραπεί σε κάποια διακλάδωση σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αντίθετα, στην περίπτωση του blowout όλα τα τεχνικώς προκαθορισμένα φράγματα ή η ενεργοποίηση αυτών έχει αστοχήσει και η ανεξέλεγκτη διαρροή συνεχίζεται για σημαντικό χρονικό διάστημα.

Θεωρείται ο σημαντικότερος κίνδυνος σε εγκαταστάσεις εξόρυξης υδρογονανθράκων και για τον λόγο αυτόν αποτελεί αντικείμενο πληθώρας μελετών με σκοπό την αποφυγή του φαινομένου [13], [76].

Η επικινδυνότητα του blow out είναι όντως πολύ μεγάλη τόσο για την κατασκευή και το προσωπικό όσο και για το περιβάλλον, αν αναλογιστεί κανείς ότι τεράστια ποσότητα εύφλεκτων υδρογονανθράκων εκλύεται με πίεση στο περιβάλλον. Η πιθανότητα

έκρηξης και πυρκαγιάς είναι πάρα πολύ υψηλή θέτοντας σε θανάσιμο κίνδυνο το προσωπικό ενώ τεράστια ποσότητα πετρελαίου καταλήγει στην θάλασσα. [17], [18].

Το blowout είναι ιδιαίτερα επίφοβο κατά την φάση της γεώτρησης και δευτερευόντως της επεξεργασίας. [37, 65, 67]. Οι γεωτρήσεις, ειδικά σε βαθιά ύδατα αποτελούν διεργασίες υψηλού κινδύνου, κόστους και αβεβαιότητας. Η φάση αυτή απαιτεί χρήση βαρέως εξοπλισμού και συνωστισμό μεγάλου αριθμού σωληνώσεων και αντλιών σε περιορισμένο χώρο με ελάχιστο εξαερισμό. Συνεπώς ο κίνδυνος διαρροής είναι υψηλός, και μία ανάφλεξη μπορεί να οδηγήσει σε πυρκαγιά ή έκρηξη και ακολούθως σε blowout [16].



Σχήμα 15: Blowout σε εγκατάσταση άντλησης πετρελαίου, Spindletop Texas (1901). Στην εικόνα φαίνεται ο πίδακας πετρελαίου που σχηματίζεται από την ακατάσχετη ροή προς την επιφάνεια. Αυτή η κατάσταση παρουσία σπινθήρα ακολουθείται από ανάφλεξη του πίδακα με καταστροφικές συνέπειες.



Σχήμα 16: Blowout ακολουθούμενο από ανάφλεξη. Deepwater Horizon, κόλπος του Μεξικό, 2010.

3.1.2 Σύγκρουση

Ένας ακόμα κίνδυνος που αντιμετωπίζει η υπεράκτια βιομηχανία είναι η πιθανότητα σύγκρουσης με άλλο πλωτό μέσο [11]. Η σύγκρουση αυτή μπορεί να λάβει χώρα μεταξύ πλατφόρμας και οποιασδήποτε κατηγορίας πλοίου και μπορεί να οδηγήσει σε υλικές ζημιές τόσο στην πλατφόρμα όσο και στο πλοίο, σε εκρήξεις και πυρκαγιές, σε βύθιση, τραυματισμούς και θανάτους καθώς και σε περιβαλλοντική καταστροφή [19], [20].

Ο κίνδυνος σύγκρουσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η εγγύτητα της πλατφόρμας στις γραμμές αποστολής που αποτελεί και τον κυριότερο παράγοντα, στην συχνότητα χρήσης τους και στις καιρικές συνθήκες. Αντίστοιχα η σοβαρότητα του ατυχήματος εξαρτάται από το μέγεθος του πλοίου, την ταχύτητά του, το είδος του φορτίου του αλλά και από το είδος και μέγεθος της πλατφόρμας καθώς και από την φάση λειτουργίας της. Ιδιαίτερα επικίνδυνες είναι οι συγκρούσεις μεταξύ πλατφορμών και πετρελαιοφόρων ή LNG πλοίων καθώς είναι πολύ υψηλό το ενδεχόμενο έκρηξης και φωτιάς [72].

Κύρια αίτια συγκρούσεων είναι τα ανθρώπινα λάθη στην πλοήγηση, οι κακές καιρικές συνθήκες (ομίχλη κ.α.), η σταθερότητα και ικανότητα ελιγμών του πλοίου, η κυκλοφοριακή συμφόρηση και η δραστηριότητα στην περιοχή. Πολλά ατυχήματα αυτού του είδους ίσως οφείλονται σε περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η μειωμένη ορατότητα και τα λάθη στην πλοήγηση. Για τον λόγο αυτό θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική η χρήση αντίστοιχων παραμέτρων ασφαλείας όπως GPS, VTS, ραντάρ, καθώς η ανίχνευση εμποδίων και η καλή επικοινωνία μεταξύ πλοίων - πλατφορμών είναι καίριας σημασίας. Περαιτέρω, για λόγους ασφαλείας, προβλέπεται ζώνη αποκλεισμού 500m γύρω από κάθε υπεράκτια εγκατάσταση [11], [21], [22].

Στην ευρύτερη κατηγορία των συγκρούσεων εντάσσεται και ο κίνδυνος σύγκρουσης και πρόσκρουσης ελικοπτέρου, είτε λόγω άμεσης σύγκρουσης με την υπερκατασκευή της πλατφόρμας είτε κατά την διάρκεια επιχειρήσεων σχετικών με την λειτουργία της πλατφόρμας. Τα ατυχήματα αυτά αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικό κίνδυνο καθώς οι τακτικές πτήσεις ελικοπτέρων από και προς την πλατφόρμα, συχνά υπό πολύ κακές συνθήκες ορατότητας και ανέμων, αυξάνουν σημαντικά τις πιθανότητες ατυχήματος.



Σχήμα 17: Σύγκρουση πλοίου με πλατφόρμα Jacket.

3.1.3 Ανατροπή

Όπως σε όλες τις πλωτές κατασκευές, έτσι και στις υπεράκτιες πλατφόρμες, υπάρχει ο κίνδυνος ανατροπής. Η ανατροπή μπορεί να οφείλεται σε ακραία καιρικά φαινόμενα ή σε αστοχία σχεδιασμού και δομικών στοιχείων της κατασκευής. Τα παραπάνω αίτια έχουν σαν αποτέλεσμα την κατάκλιση του καταστρώματος που κατ' επέκταση αυξάνει το οριζόντιο φορτίο και την ροπή ανατροπής. Προφανώς η ανατροπή μίας πλατφόρμας

εξόρυξης πετρελαίου αποτελεί έναν σοβαρότατο κίνδυνο αφού οι ανθρώπινες και υλικές απώλειες ενός τέτοιου ατυχήματος μπορεί να είναι τεράστιες [11].



Σχήμα 18: Ανατροπή πλατφόρμας thunder horse από ακραία καιρικά φαινόμενα στον κόλπο του Μεξικό.



Σχήμα 18: Ένα ακόμα παράδειγμα ανατροπής πλατφόρμα στον κόλπο του Μεξικό.

3.1.4 Έκρηξη / Πυρκαγιά

Όπως και στην ευρύτερη βιομηχανία του πετρελαίου, ο κίνδυνος εκρήξεων και πυρκαγιών είναι ιδιαίτερα υψηλός λόγω της εύφλεκτης φύσης των υδρογονανθράκων και

των υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια των διεργασιών στις οποίες υποβάλλονται. [12], [23], [24].

Μία πιθανή διαρροή μπορεί να οδηγήσει εύκολα σε ανάφλεξη ή έκρηξη, των οποίων η έκταση εξαρτάται από παράγοντες όπως το είδος του καυσίμου, η ταχύτητα διάδοσης, η θερμοκρασία και πίεση απελευθέρωσης, τα αποθέματα αέρα αλλά και από την αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα των συστημάτων ασφαλείας της κατασκευής [72].

Ο κίνδυνος πυρκαγιάς αποτελεί πιθανότατα τον σημαντικότερο κίνδυνο που αντιμετωπίζουν οι υπεράκτιες εγκαταστάσεις καθώς οι συνθήκες που επικρατούν ευνοούν την δημιουργία "σύννεφου ατμού" υδρογονανθράκων. Ο περιορισμένος χώρος δεν επιτρέπει την γρήγορη διάλυση του ατμού στην ατμόσφαιρα και επιπλέον δημιουργεί φαινόμενα στροβιλισμού που οδηγούν σε ταχύτερη καύση και υψηλότερες θερμοκρασίες λόγω υπερπίεσης [24],[25].

Διακρίνονται δε δύο κύρια είδη πυρκαγιάς σε εγκαταστάσεις τέτοιου είδους, φωτιές τύπου pool που σχηματίζονται από ανάφλεξη μίας "λίμνης" εύφλεκτου υγρού με κατεύθυνση φλόγας κυρίως προς τα πάνω και φωτιές τύπου jet όπου ένα αέριο διαρρέει με πίεση από έναν αγωγό με αποτέλεσμα η φωτιά να έχει οριζόντια διεύθυνση. Κάθε ένα από τα είδη οφείλεται σε διαφορετικά αίτια και απαιτεί ιδιαίτερη αντιμετώπιση [26].



Σχήμα 19: Η στιγμή της έκρηξης στην πλατφόρμα Deepwater Horizon, κόλπος Μεξικό, 2010.



Σχήμα 20: Πυρκαγιά στην πλατφόρμα Piper Alpha, Βόρειος Θάλασσα 1988.

3.2. Ορισμός Ατυχημάτων

Τι ορίζεται ως σοβαρό ατύχημα:

Με βάση τους αρμόδιους φορείς, ο ορισμός ενός ατυχήματος ως σοβαρού σημαίνει πως περιλαμβάνει τουλάχιστον ένα εκ των ακόλουθων [45], [14], [15].

1. Φωτιά, έκρηξη ή άλλη έκκλιση επικίνδυνης ουσίας που περιλαμβάνει θάνατο ή σοβαρό τραυματισμό σε άτομα επί της εγκατάστασης ή σχετιζόμενα με δραστηριότητες της εγκατάστασης.
2. Οποιοδήποτε περιστατικό περιλαμβάνει σημαντική ζημιά στην κατασκευή της εγκατάστασης ή των περιφερειακών εγκαταστάσεων ή απώλεια της ισορροπίας της κατασκευής.
3. Η σύγκρουση ελικοπτέρου με την κατασκευή.
4. Η αστοχία ζωτικής υποστήριξης σε καταδυτικές επιχειρήσεις σχετιζόμενες με την κατασκευή, η απόσπαση υποθαλάσσιου θαλάμου που χρησιμοποιείται σε επιχειρήσεις τέτοιου είδους.
5. Οποιοδήποτε περιστατικό κατά την διάρκεια των εργασιών που περιλαμβάνει θάνατο ή η σοβαρό τραυματισμό 5 ή παραπάνω ατόμων επί της κατασκευής ή σε δραστηριότητες σχετικές με την λειτουργία της κατασκευής.

4. Μετα-ανάλυση

Η μετα-ανάλυση αποτελεί ουσιαστικά μία μελέτη με αντικείμενο την ανάλυση άλλων μελετών. Με την αύξηση των δεδομένων και των μελετών, ο όγκος των πληροφοριών αυξάνεται και συχνά παρουσιάζεται σημαντική απόκλιση στα αποτελέσματα διαφορετικών μελετών, ενώ ορισμένες φορές είναι έως και αντιφατικά. Έτσι δεν είναι σαφές ποιό εξ αυτών των αποτελεσμάτων είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικό και προφανώς η ακρίβεια στα συμπεράσματα είναι περιορισμένη [58], [59].

Η σύνθεση πληροφοριών από ευρέως διεσπαρμένες δημοσιεύσεις είναι λοιπόν αναγκαία. Πρόκειται για μία μέθοδο που αναφέρεται στην ποσοτική σύνθεση των ευρημάτων διαφορετικών μελετών και στον στατιστικό υπολογισμό ενός συγκεντρωτικού αποτελέσματος [59], [60].

4.1. Μεθοδολογία μετα-ανάλυσης

Οι παραδοσιακές, αφηγηματικές ανασκοπήσεις της ερευνητικής βιβλιογραφίας, παρουσιάζουν μία σειρά μειονεκτημάτων όσον αφορά την διαχείριση μεγάλου αριθμού ερευνητικών μελετών, και κατά συνέπεια πραγματεύονται σε ένα μικρό υποσύνολο [59].

Αντίστοιχα, η περιγραφή και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων υπόκεινται επίσης σε μία σειρά σφαλμάτων. Για παράδειγμα, η απλή καταμέτρηση και ομαδοποίηση μελετών με συναφή αποτελέσματα δεν παράγει αντιπροσωπευτικά συμπεράσματα αφού δεν έχουν ληφθεί υπόψιν παράμετροι όπως το μέγεθος του δείγματος της κάθε μελέτης (Egger & Smith, 1997. Rosenthal & DiMatteo, 2001).

Αντίθετα, κατά τη διεξαγωγή μίας μετα-ανάλυσης, τα αριθμητικά δεδομένα των ερευνητικών μελετών συλλέγονται και κωδικοποιούνται με αντικειμενικά κριτήρια και διαδικασίες. Επιπλέον, το ποσοτικό, συγκεντρωτικό αποτέλεσμα υπολογίζεται με τη χρήση στατιστικών μεθόδων αντίστοιχων με αυτές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση πρωτογενών δεδομένων, επιτρέποντας μία πιο αντικειμενική αξιολόγηση των ευρημάτων. Παράλληλα, η ίδια η φύση της μετα- ανάλυσης επιτρέπει τη συμπερίληψη και ανάλυση ευρημάτων από ένα μεγάλο αριθμό μελετών.

Η μετα-ανάλυση μπορεί ακόμα να συμβάλλει τόσο στη διατύπωση απαντήσεων σε ερωτήματα που δεν είχαν προσεγγίσει οι πρωτογενείς μελέτες όσο και στον υπολογισμό του μεγέθους του δείγματος που χρειάζονται μελλοντικές μελέτες. Ταυτόχρονα, η μετα-ανάλυση διατηρεί όλα τα θετικά χαρακτηριστικά των αφηγηματικών ανασκοπήσεων.

Τα βασικά βήματα για τη διεξαγωγή μίας μετα-ανάλυσης είναι τα ίδια με τα αυτά οποιασδήποτε άλλης εμπειρικής μελέτης [59]:

4.1.1. Διαμόρφωση του προς μελέτη ερωτήματος.

Κατάλληλα ερωτήματα για μετα-ανάλυση είναι ερωτήματα σαφώς καθορισμένα που αφορούν συσχετισμό τουλάχιστον μίας παραμέτρου και αποτελέσματος, για τα οποία τα συμπεράσματα από τις υπάρχουσες μελέτες παρουσιάζουν σημαντική απόκλιση. Το ερευνητικό ερώτημα μπορεί να διαμορφωθεί με όρους μίας ανεξάρτητης μεταβλητής,

μίας ομάδας συχνά μελετώμενων μεταβλητών, ή με όρους αιτιών και αποτελεσμάτων σημαντικών μεταβλητών.

Τέλος, μπορεί να έχει τη μορφή συγκεκριμένης ερευνητικής υπόθεσης, για παράδειγμα: “Υπόθεση της ημισφαιρικής επικράτησης: το δεξί ημισφαίριο είναι πιο πιθανό να επεξεργάζεται τα συναισθήματα” (Wager & συν., 2003).

4.1.2. Διατύπωση κριτηρίων συμπερίληψης και αποκλεισμού.

Η ύπαρξη σαφώς διατυπωμένων κριτηρίων για συμπερίληψη ή αποκλεισμό μιας μελέτης στην μετα ανάλυση, είναι ένα απαραίτητο βήμα για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Τα κριτήρια αυτά αναφέρονται στην ποιότητα και το σχεδιασμό των μελετών (π.χ., πειραματικός σχεδιασμός, μέθοδος τυχαιοποίησης, ύπαρξη ομάδας ελέγχου, τρόπος μέτρησης των μεταβλητών, διαγνωστικά κριτήρια), αλλά και στα χαρακτηριστικά του δείγματος των μελετών (π.χ., ηλικία, φύλο, ύπαρξη ή απουσία παθολογίας).

4.1.3. Συλλογή δεδομένων.

Με σαφώς ορισμένα τα κριτήρια για περίληψη ή αποκλεισμό, ακολούθως πραγματοποιείται αναγνώριση και συγκέντρωση των μελετών που ικανοποιούν τα κριτήρια συμπερίληψης. Είναι σημαντικό δε να συμπεριληφθεί μέγιστος δυνατός αριθμός μελετών από ποικίλες πηγές. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται μέσω μίας σειράς συμπληρωματικών μεθόδων, οι οποίες περιλαμβάνουν (α) τη συστηματική αναζήτηση σε ηλεκτρονικές βάσεις βιβλιογραφικών δεδομένων (π.χ., Medline, Embase, PsychINFO, PubMed, Dissertation Abstracts Online), (β) την εξέταση των βιβλιογραφικών αναφορών της κάθε συμπεριληφθείσας έρευνας, (γ) την εξέταση της βιβλιογραφίας σημαντικών επιστημονικών περιοδικών και βιβλίων που ασχολούνται με το θέμα προς διερεύνηση, καθώς και (δ) τη συνδρομή ειδικών επιστημόνων από το πεδίο στο οποίο γίνεται η μετα-ανάλυση, οι οποίοι μπορούν να υποδείξουν κατά πόσο υπάρχουν σχετικές μελέτες που δεν εντοπίστηκαν από τις άλλες μεθόδους. Η περιγραφή της μεθόδου αναζήτησης των μελετών πρέπει πάντα να περιλαμβάνεται στη μέθοδο των άρθρων, έτσι ώστε να μπορεί να επαναληφθεί και από μελλοντικούς ερευνητές εφόσον το επιθυμούν. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία συλλογής των μελετών, πρέπει να πραγματοποιείται επιμελής μεθοδολογίας και αποτελεσμάτων της κάθε μελέτης προκειμένου να πραγματοποιηθεί εξαγωγή και κωδικοποίηση ανεξάρτητων, εξαρτημένων και παρεμβαλλόμενων μεταβλητών.

4.1.4. Ανάλυση δεδομένων.

Για τους σκοπούς της μετα-ανάλυσης, μονάδα παρατήρησης αποτελεί η μελέτη, ενώ την θέση των δεδομένων του κάθε συμμετέχοντος των πρωτογενών μελετών, λαμβάνει το μέγεθος αποτελέσματος (effect size) της κάθε μελέτης. Πρόκειται για ένα δείκτη της ισχύος της σχέσης ανάμεσα στην ανεξάρτητη και την εξαρτημένη μεταβλητή, ενώ το είδος του εκτιμητή μεγέθους αποτελέσματος εξαρτάται από τη φύση των δεδομένων των πρωτογενών μελετών.

Συγκεκριμένα (α) όταν τα δεδομένα των πρωτογενών μελετών είναι συνεχή (μέσοι όροι

και τυπικές αποκλίσεις), τότε ως εκτιμητής αποτελέσματος χρησιμοποιείται η σταθμισμένη μέση διαφορά, (β) όταν τα δεδομένα είναι δυαδικού χαρακτήρα, χρησιμοποιούνται ο σχετικός κίνδυνος, ο περιττός λόγος, ή η διαφορά κινδύνου, ενώ (γ) αν τα δεδομένα είναι συσχετιστικά, ως εκτιμητής αποτελέσματος χρησιμοποιείται η συσχέτιση.

Αφού υπολογιστεί το μέγεθος αποτελέσματος για κάθε μεμονωμένη μελέτη, υπολογίζεται το συγκεντρωτικό μέγεθος αποτελέσματος της μετα-ανάλυσης. Πρόκειται για το μέσο όρο των μεγεθών αποτελέσματος όλων των μελετών που συμπεριλαμβάνονται στη μετα-ανάλυση, με την κάθε μελέτη όμως να επηρεάζει το συγκεντρωτικό αποτέλεσμα σε βαθμό που συναρτάται από το μέγεθος του δείγματός της.

Επομένως, μικρότερες μελέτες (μελέτες με μικρότερο αριθμό συμμετεχόντων) συνεισφέρουν λιγότερο στο συγκεντρωτικό αποτέλεσμα συγκριτικά με μεγαλύτερες μελέτες (μελέτες με μεγαλύτερο αριθμό συμμετεχόντων). Η λογική πίσω από αυτήν την προσέγγιση είναι ότι τα αποτελέσματα των μικρότερων μελετών υπόκεινται σε τυχαία σφάλματα περισσότερο από ότι τα αποτελέσματα μεγαλύτερων μελετών και άρα έχουν μικρότερη ακρίβεια (Rosenthal & DiMatteo, 2001).

Υπάρχουν δύο μοντέλα για τον υπολογισμό της συνεισφοράς της κάθε μελέτης στο συγκεντρωτικό αποτέλεσμα: το μοντέλο σταθερών επιδράσεων (fixed effect) και το μοντέλο τυχαίων επιδράσεων (random effects). Η διαφορά ανάμεσα σε αυτές τις δύο προσεγγίσεις έγκειται στον τρόπο με τον οποίο ερμηνεύονται οι διαφορές στα αποτελέσματα των πρωτογενών μελετών.

Για το πρώτο μοντέλο οι διαφορές ανάμεσα στα μεγέθη αποτελέσματος των πρωτογενών μελετών οφείλονται σε τυχαίους παράγοντες που προκύπτουν από την τυχαία δειγματοληψία (δεν υπάρχει ετερογένεια), ενώ για το δεύτερο μοντέλο, οι διαφορές ανάμεσα στα μεγέθη αποτελέσματος οφείλονται σε πραγματικές διαφορές ανάμεσα στις μελέτες. Το μοντέλο σταθερών επιδράσεων στηρίζεται στην υπόθεση ότι το μέγεθος αποτελέσματος είναι κοινό σε όλες τις μελέτες και αναζητά να βρει μία τιμή του συγκεντρωτικού αποτελέσματος, το “πραγματικό” μέγεθος αποτελέσματος. Το μοντέλο τυχαίων επιδράσεων, εν αντιθέσει, στηρίζεται στην υπόθεση πως οι μελέτες που εξετάζονται στα πλαίσια της μετα-ανάλυσης αποτελούν τυχαίο δείγμα του πληθυσμού όλων των πιθανών μελετών και αντίστοιχα τα μεγέθη αποτελέσματός τους αποτελούν τυχαίο δείγμα όλων των πιθανών μεγεθών αποτελέσματος. Στόχος της μεθόδου είναι επομένως η εύρεση του εύρους τιμών που μπορεί να λάβει το συγκεντρωτικό αποτέλεσμα.

Το συγκεντρωτικό αποτέλεσμα επομένως, υπολογισθέν από τα διαφορετικά μοντέλα, αναμένεται να παρουσιάζει αξιοσημείωτη αριθμητική διαφορά μόνο σε περίπτωση που η ετερογένεια μεταξύ των μελετών είναι σημαντική.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μετα-ανάλυσης, είναι η δυνατότητα ερμηνείας της ετερογένειας μεταξύ των μελετών, εφόσον ασφαλώς υφίσταται. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει με την ανάλυση ενδιάμεσων μεταβλητών (moderator variables analysis), που μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους:

Σε περίπτωση που οι ενδιάμεσες μεταβλητές είναι συνεχείς, μπορεί να πραγματοποιηθεί μετα-παλινδρόμηση (meta-regression), η οποία αντιστοιχεί στη γραμμική παλινδρόμηση πρωτογενών δεδομένων. Αντίθετα, αν οι ενδιάμεσες μεταβλητές είναι κατηγορικής φύσης,

τότε πραγματοποιείται διαστρωματική ανάλυση, η οποία αντιστοιχεί στην ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) που χρησιμοποιείται στις πρωτογενείς μελέτες.

4.1.5. Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Το τελευταίο βήμα για την πραγματοποίηση μίας μετα-ανάλυσης είναι η παρουσίαση και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Η διαδικασία αυτή υπόκειται στις ίδιες αρχές όπως και η παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων των πρωτογενών μελετών. Θα περιοριστούμε, λοιπόν, εδώ στην παρουσίαση του χαρακτηριστικού σχηματικού τρόπου παρουσίασης των αποτελεσμάτων της μετα-ανάλυσης, το δενδρόγραμμα (forest plot).

Το δενδρόγραμμα αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της διαδικασίας μετα-ανάλυσης, καθώς υπηρετεί την οπτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Στο δενδρόγραμμα το μέγεθος αποτελέσματος κάθε μελέτης, απεικονίζεται με ένα τετράγωνο, το οποίο διαπερνάται από μία οριζόντια γραμμή, η οποία αντιπροσωπεύει το διάστημα εμπιστοσύνης της μελέτης. Το μέγεθος του τετραγώνου αντιπροσωπεύει τη συμβολή της κάθε μελέτης στο συγκεντρωτικό αποτέλεσμα.

Στο Σχήμα 1, για παράδειγμα, η μελέτη Γ συνεισφέρει το 70% της αξίας του συγκεντρωτικού αποτελέσματος, ενώ οι μελέτες Α και Β συνεισφέρουν από 15%. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δύο μικρότερες μελέτες έχουν μεγαλύτερα διαστήματα εμπιστοσύνης (είναι λιγότερο ακριβείς,) από τη μελέτη Γ, για την οποία η οριζόντια γραμμή που αντιστοιχεί στο διάστημα εμπιστοσύνης ίσα που διακρίνεται (η μελέτη Γ είναι πολύ ακριβής). Στην τελευταία γραμμή του δενδρογράμματος βρίσκεται ένας ρόμβος, ο οποίος απεικονίζει το συγκεντρωτικό μέγεθος αποτελέσματος της μετα-ανάλυσης. Η δεξιά και αριστερή άκρη του ρόμβου είναι το διάστημα εμπιστοσύνης του συγκεντρωτικού μεγέθους αποτελέσματος. Το δενδρόγραμμα είναι εξαιρετικά χρήσιμο, καθώς από αυτό εξάγεται συγκεντρωτικά ένα πλήθος συμπερασμάτων.

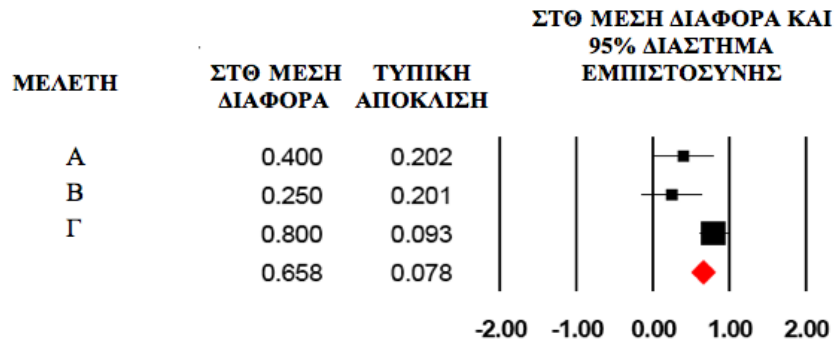
Συγκεκριμένα:

(α) αν το συγκεντρωτικό αποτέλεσμα έχει εξαχθεί από τη σύνθεση πολλών ή λίγων μελετών, καθώς και πόσες και ποιες είναι αυτές οι μελέτες.

(β) αν το συγκεντρωτικό αποτέλεσμα βασίζεται σε πολλές ή λίγες μελέτες.

(γ) αν οι εκτιμητές αποτελέσματος των πρωτογενών μελετών είναι κοντά αριθμητικά και εάν τα διαστήματα εμπιστοσύνης τους επικαλύπτονται.

(δ) κατά πόσο μελέτες με ακραίες τιμές μεγέθους αποτελέσματος συμπεριλαμβάνονται στη μετα-ανάλυση.



Σχήμα 21: Δενδρογράμμο υποθετικής μετα-ανάλυσης τριών μελετών. Το 95% διάστημα εμπιστοσύνης για κάθε μελέτη αναπαρίσταται από μία οριζόντια γραμμή και το μέγεθος αποτελέσματος από ένα τετράγωνο σημείο. Το συγκεντρωτικό αποτέλεσμα αναπαρίσταται από το ρόμβο στην τελευταία σειρά του δενδρογράμμου [61].

4.2. Επιλογή και αξιολόγηση δεδομένων

Για τον σκοπό της παρούσας μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τις εξής πηγές:

International Regulators Forum (IRF) [66]

Annual offshore statistics and regulatory activity report 2018
 Annual offshore statistics and regulatory activity report 2017
 Annual offshore statistics and regulatory activity report 2016
 Annual offshore statistics and regulatory activity report 2015
 Annual offshore statistics and regulatory activity report 2014
 Annual offshore statistics and regulatory activity report 2013
 Annual offshore statistics and regulatory activity report 2012
 Annual offshore statistics and regulatory activity report 2011
 Annual offshore statistics and regulatory activity report 2010
 Annual offshore statistics and regulatory activity report 2009
 Annual offshore statistics and regulatory activity report 2008

DNV GL [67]

Worldwide offshore accident databank 1970- 2012 (WOAD)

International Association of Oil & Gas Producers (IOGP) [68]

Fatal incident report 1991
 Fatal incident report 1992
 Fatal incident report 1993
 Fatal incident report 1994
 Fatal incident report 1995
 Fatal incident report 1996

Fatal incident report 1997
Fatal incident report 1998
Fatal incident report 1999
Fatal incident report 2000
Fatal incident report 2001
Fatal incident report 2002
Fatal incident report 2003
Fatal incident report 2004
Fatal incident report 2005
Fatal incident report 2006
Fatal incident report 2007
Fatal incident report 2008
Fatal incident report 2009
Fatal incident report 2010
Fatal incident report 2011
Fatal incident report 2012
Fatal incident report 2013
Fatal incident report 2014
Fatal incident report 2015
Fatal incident report 2016
Fatal incident report 2017
Fatal incident report 2018

High potential event report 2000
High potential event report 2001
High potential event report 2002
High potential event report 2003
High potential event report 2004
High potential event report 2005
High potential event report 2006
High potential event report 2007
High potential event report 2008
High potential event report 2009
High potential event report 2010
High potential event report 2011
High potential event report 2012
High potential event report 2013
High potential event report 2014
High potential event report 2015
High potential event report 2016
High potential event report 2017
High potential event report 2018

Bureau of Safety and Environmental Performance (BSEE) [69]

Offshore incident statistics report 2007
Offshore incident statistics report 2008
Offshore incident statistics report 2009
Offshore incident statistics report 2010
Offshore incident statistics report 2011
Offshore incident statistics report 2012
Offshore incident statistics report 2013

Offshore incident statistics report 2014
Offshore incident statistics report 2015
Offshore incident statistics report 2016
Offshore incident statistics report 2017
Offshore incident statistics report 2018
Incidents Associated with Oil and Gas Operations 1956-2000

Oil Spill data 1956-2013

Oil & Gas UK (OGUK) [70]

Accident Statistics for Offshore Units on the UKCS 1990-2007
Health & Safety Report 2018

Επιπλέον εξετάσθηκαν και οι ακόλουθες πηγές ωστόσο δεν κρίθηκαν κατάλληλες για τις ανάγκες της μελέτης καθώς δεν περιείχαν επαρκή δεδομένα για τις επιθυμητές παραμέτρους.

Health and Safety Executive UK (HSE) [71]

Annual offshore statistics and regulatory reports database 2012-2018
Offshore Injury, Ill, Health and Incident Statistics database 2004-2011
Offshore Hydrocarbon Population Data 1992 - 2016
Offshore Hydrocarbon Releases database 1992 – 2016
Accidents on fixed offshore units in the UK continental shelf 1980-2003

International association of oil and gas producers (OGP) [72]

Risk Assessment Data Directory 2010

Petroleum Safety Authority (PSA) [73]

Injuries on permanent placed facilities 2009-2018
Injuries on mobile facilities 2009-2018
Injuries, work-hours and injury rates by operators and contractors on permanently located installations 2009-2018
Question based survey 2018

SINTEF [73]

Offshore Blowout Database 1955-2016

HeliOffshore [74]

Helicopter Offshore Safety performance 2013-2018

BP Statistical Review of World Energy 68th edition 2019 [75]

Shell safety performance data [76]

SDU [77]

Accidents in Offshore Oil and Gas Production

Lessons learned from offshore oil and gas incidents in the Arctic and other ice-prone seas [77] Amos Necci, Stefano Tarantola, Bogdan Vamanu, Elisabeth Krausmann, Luca Ponte 2019

Offshore Blowouts, Causes and Trends [78]

Per Holand, Trondheim, Norway 1996

Blowout Accident Impact Analysis Method for the Siting of Offshore Floating Nuclear Power Plant in Offshore Oil Fields [79]

CNOOC Research Institute, Beijing, Zhigang Lan 2019;

Accident rate analysis on the offshore oil and gas production installations and platforms Fattakhova E.Z., Barakhnina V. B [80]

Learning from failures: Accidents of marine structures on Norwegian continental shelf over 40 years time period [81]

Michaela Ibriona, Nicola Paltriniera, Amir R. Nejad. 2020

Probabilistic approach for collision risk analysis of powered vessel with offshore platforms

M.P. Mujeeb-Ahmed, Jung Kwan Seo, Jeom Kee Paik 2018 [82]

The spatiotemporal characteristics of environmental hazards caused by offshore oil and gas operations in the Gulf of Mexico

Qingmin Meng, 2016 [83]

A practical approach to fire hazard analysis for offshore structures

Joel Krueger, Duncan Smith, 2003 [84]

In search of causes behind offshore incidents: Fire in offshore oil and gas facilities

S. Zohra Halim, Sunder Janardanan, Tatiana Flechas, M. Sam Mannan, 2018 [85]

The impact of water depths safety and environmental performance in offshore oil and gas production

Lucija Muehlenbachs a,n, Mark A. Cohen a,b, Todd Gerarden, 2018 [86]

A Bayesian network to manage risks of maritime piracy against offshore oil fields

Amal Bouejla , Xavier Chaze , Franck Guarnieri , Aldo Napoli, 2014 [87]

Probability analysis of offshore fire by incorporating human and organizational factor

Yan Fu Wanga, Min Xie, Kien Min, Mohamed Salahuddin Habibullah, 2013 [88]

Probabilistic risk assessment of oil spill from offshore oil wells in Persian Gulf

Payam Amir-Heidari, Mohammad Raie, 2018 [89]

EU offshore authorities group

Offshore landmark incidents [90]

Offshore helicopter safety

Andrew Haylen Fintan Codd, 2019 [91]

Helicopter Safety Performance 2013-2018

HeliOffshore [92]

Safety of offshore oil and gas operations Lessons from past accident analysis

European Commission JRC scientific and political reports

ACCIDENTS ON FIXED OFFSHORE UNITS ON THE UK CONTINENTAL SHELF 1980-2003

DNV Consulting, Det Norske Veritas [94]

**Μελέτη ατυχημάτων σύγκρουσης και blowout υπεράκτιων πλατφορμών εξόρυξης
πετρελαίου και φυσικού αερίου με χρήση μετά-ανάλυσης και δικτύων πίστωσης**
Γραμματικάκη Αικατερίνη, 2013 [95]

Να σημειωθεί πως εν αντιθέσει με τις ιατρικές επιστήμες, όπου βρίσκουν εφαρμογή συνήθως οι μέθοδοι μετα-ανάλυσης, στο αντικείμενο της παρούσας ανάλυσης το πλήθος των σχετικών μελετών είναι αρκετά περιορισμένο, ενώ πρέπει να ληφθεί υπόψιν πως η δημοσίευση δεδομένων υπεράκτιων συμβάντων δεν είναι εξίσου αντιπροσωπευτική για όλες τις περιοχές, καθώς σε ορισμένες περιοχές πχ Βόρειος θάλασσα και κόλπος του Μεξικό υπάρχει πληθώρα φορέων που πραγματοποιούν και δημοσιοποιούν δεδομένα ενώ αντίστοιχα στον Περσικό κόλπο, όπου εδρεύει εξίσου μεγάλο πλήθος υπεράκτιων εγκαταστάσεων, τα δημοσιοποιημένα δεδομένα είναι ελάχιστα.

Επιπλέον η δραστηριοποίηση ιδιωτικών εταιριών συλλογής, ανάλυσης και πώλησης δεδομένων καθιστά την εύρεση πληροφοριών ακόμα πιο δύσκολη. Να σημειωθεί πως κατά την φάση διερεύνησης δεδομένων πραγματοποιήθηκε επαφή με πολλές διεθνείς εταιρίες υπεράκτιας εξόρυξης και παραγωγής πετρελαίου, καμία εκ των οποίων δεν φάνηκε πρόθυμη να παραχωρήσει δεδομένα για τον σκοπό της μελέτης για λόφους ευαισθησίας δεδομένων.

Μία επιπλέον δυσκολία στην εύρεση και αξιοποίηση δεδομένων αποτελεί η ανομοιομορφία των δεδομένων και των πληροφοριών μεταξύ μελετών καθώς ακόμα και για μελέτες του ίδιου θέματος, η κατηγοριοποίηση των διαφόρων παραμέτρων ήταν κατά περιπτώσεις αρκετά διαφορετική. Μία άλλη παράμετρος που κατέστησε την ανάλυση δύσκολη ήταν οι διαφορετικές χρονικές περίοδοι που εξέταζε κάθε μελέτη, καθώς αρκετές αναφέρονταν σε ετήσια βάση, άλλες σε συγκεκριμένο μεγαλύτερο διάστημα και άλλες δεν ανέφεραν καν την περίοδο στην οποία αναφέρονται. Προς εξαγωγή αντιπροσωπευτικών αποτελεσμάτων σε κάθε μελέτη προηγήθηκε κανονικοποίηση και αναγωγή σε ετήσια βάση.

Επιπρόσθετα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία σε τυχόν διαφορές στους ορισμούς που υιοθετεί κάθε μελέτη καθώς και στην έκταση των εκάστοτε συμβάντων που συνυπολογίζονται στην ανάλυση.

Στην μελέτη που ακολουθεί έχουν ληφθεί υπόψιν όλες οι αναφερθείσες παράμετροι και έχει γίνει προσπάθεια να εξαληφθούν όσο είναι δυνατόν τυχόν ασυμμετρίες και ελλείψεις ούτως ώστε να προκύψει ένα αντιπροσωπευτικό αποτέλεσμα. Τα υποψήφια επιμέρους θέματα για ανάλυση ήταν πολλά ωστόσο τα υπάρχοντα δεδομένα για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω περιορίζουν σημαντικά τις επιλογές για διεξαγωγή αξιόπιστης μελέτης.

4.3. Πρόγραμμα meta-easy

Στην τρέχουσα ενότητα παρουσιάζεται το πρόγραμμα Meta-Easy, που χρησιμοποιείται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας για τη Στατιστική Ανάλυση.

Το εν λόγω πρόγραμμα είναι ένα πρόσθετο στο Excel και κύριος στόχος του είναι η τυποποίηση των διαδικασιών μίας βασικής μετά-ανάλυσης όσον αφορά τον συνδυασμό αποτελεσμάτων από διάφορες μελέτες, οι οποίες εξάγουν τα αποτελέσματά τους σε διαφορετικές μορφές [62], [63].

4.3.1 Μέθοδοι Υπολογισμού

Το πρόγραμμα MetaEasy χρησιμοποιεί οκτώ διαφορετικές μεθόδους για τον υπολογισμό του εκτιμητή του μεγέθους αποτελέσματος (Effect Size - ES) και του τυπικού σφάλματος (Standard Error - SE), αναλόγως με τη φύση και τον αριθμό των δεδομένων που εισάγονται. Σε ορισμένες περιπτώσεις, παρέχονται επαρκή δεδομένα για τη χρήση περισσότερων από μίας μεθόδων. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιούνται όλες οι δυνατές μέθοδοι από το πρόγραμμα, το οποίο παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την κάθε μέθοδο. Ωστόσο, τελικά επιλέγεται ο εκτιμητής του μεγέθους αποτελέσματος και το τυπικό σφάλμα μόνο από μία μέθοδο, για χρήση στο διάγραμμα σκέδασης (funnel plot) και στη μετα-ανάλυση.

Οι μέθοδοι ταξινομούνται σύμφωνα με την προσδοκώμενη ακρίβεια των αποτελεσμάτων τους, δηλαδή σύμφωνα με την προσδόκιμη ακρίβεια του εκτιμητή του μεγέθους αποτελέσματος και της σχετιζόμενης διακύμανσης. Ως γενικός κανόνας, όσο λιγότεροι είναι οι μαθηματικοί μετασχηματισμοί που εμπλέκονται, τόσο μεγαλύτερη είναι η αναμενόμενη ακρίβεια της μεθόδου. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι οκτώ διαφορετικές μέθοδοι, που μπορεί να εκτελέσει το πρόγραμμα MetaEasy.

Μέθοδος	Απαραίτητα δεδομένα για εισαγωγή από τον χρήστη	Μέθοδος υπολογισμού του εκτιμητή αποτελέσματος	Προτεραιότητα
1a	NIa, NCa, Ia, Ca	Διαφορά Κινδύνου (Risk Difference)	D2
1b	NIa, NCa, Ia, Ca	Περίττοι Λόγοι (Odds Ratio)	D3
2	NIa, NCa, OR, CI95(OR)	Περίττοι Λόγοι (Odds Ratio)	D1
3	NIa, NCa, MD & CI95(MD) ή SEdiff	Μέση Διαφορά (Mean Difference)	C3
4	NIa, NCa, MD, SD(Ia), SD(Ca)	Μέση Διαφορά (Mean Difference)	C1

5	NIa, NCa, MD, CI95(Ia), CI95(Ca)	Μέση Διαφορά (Mean Difference)	C2
6	NIa, NCa, MD & (p-value) ή (t-value & df)	Μέση Διαφορά (Mean Difference)	C4
7	NIa, NCa & (p-value) ή (t-value & df)	Οποιαδήποτε	D4/C5

Σχήμα 22: Διαφορετικές Μέθοδοι και απαραίτητα δεδομένα για το λογισμικό meta easy[62].

4.3.2 Δομή του προγράμματος

Το πρόγραμμα MetaEasy μπορεί να υλοποιήσει έως δέκα μετα-αναλύσεις ταυτόχρονα, στο ίδιο αρχείο Excel. Για κάθε μία μετα-ανάλυση, χρησιμοποιούνται τέσσερα φύλλα Excel:

1. metaxdata
2. metaxresults
3. metaxsummary
4. metaxmodels

Όπου, 'x': ο αύξων αριθμός των μετα-αναλύσεων που πραγματοποιούνται (το x παίρνει τιμές από 1 έως 10).

1. metaxdata

Το φύλλο αυτό είναι το «φύλλο δεδομένων», στο οποίο πρέπει να εισαχθούν από τον χρήστη όλα τα δεδομένα για την υλοποίηση της μετα-ανάλυσης. Πρόκειται για το μόνο φύλλο, στο οποίο επιτρέπεται η επεξεργασία από τον χρήστη, καθώς τα υπόλοιπα φύλλα είναι κλειδωμένα και χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση της επεξεργασίας των δεδομένων και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Κάθε σειρά του φύλλου αυτού αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα μίας μελέτης, για το οποίο οι πληροφορίες πρέπει να εισαχθούν στο κατάλληλο πεδίο (υπολογιστικό κελί), ώστε να υπολογιστούν η επίδραση του αποτελέσματος και το τυπικό της σφάλμα. Ο αριθμός των πεδίων προς εισαγωγή δεδομένων είναι μεγάλος, ωστόσο, δεν είναι υποχρεωτικό να συμπληρωθούν όλα τα πεδία. Η μετα-ανάλυση θα υλοποιηθεί και με λιγότερο αριθμό συμπληρωμένων πεδίων, και το πρόγραμμα θα επιλέξει αυτόματα την καταλληλότερη μέθοδο, με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία που έχουν εισαχθεί. Παρόλα αυτά, συνίσταται να εισάγονται όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες στα αντίστοιχα πεδία.

2. metaxresults

Το φύλλο αυτό δημιουργείται μετά την εκτέλεση του προγράμματος και σε αυτό υπολογίζεται ο εκτιμητής του μεγέθους αποτελέσματος για κάθε μία μελέτη ξεχωριστά. Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο κοινός εκτιμητής των μελετών της μετα- ανάλυσης.

Το εν λόγω φύλλο περιέχει μόνο προστατευμένα κελιά και ο χρήστης δεν έχει τη δυνατότητα παρέμβασης ή τροποποίησης παρά μόνο αντιγραφής κελιών. Εδώ, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όλων των μεθόδων, που μπόρεσε να εκτελέσει το πρόγραμμα με βάση τα δεδομένα που ο χρήστης έχει εισάγει. Τα κελιά των μεθόδων που το πρόγραμμα δεν μπόρεσε να τρέξει, παραμένουν κενά. Στις τελευταίες στήλες του δεύτερου φύλλου, το πρόγραμμα αναφέρει αναλυτικά τα δεδομένα που του λείπουν για κάθε μέθοδο ξεχωριστά (missing data from method ...), αιτιολογώντας την αδυναμία του να εκτελέσει τη συγκεκριμένη μέθοδο.

3. metaxsummary

Στο τρίτο φύλλο της μετα-ανάλυσης, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου για την οποία υπολογίστηκε ο εκτιμητής του μεγέθους αποτελέσματος (effect), καθώς και το forest plot. Ουσιαστικά, στο σημείο αυτό το πρόγραμμα έχει ήδη επιλέξει την καταλληλότερη μέθοδο (the best possible method) με βάση τα δεδομένα που του εισήχθησαν και παρουσιάζει μόνο τα δικά της συμπεράσματα.

Πρώτα, παρουσιάζονται τα πρωταρχικά (primary) και στη συνέχεια τα δευτερεύοντα αποτελέσματα (secondary outcomes), κατηγοριοποιημένα ανά μελέτη. Το λογισμικό παρουσιάζει τις μελέτες με τη σειρά εισαγωγής του χρήστη, τόσο στα κελιά, όσο και στο forest plot. Έτσι, δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να εισάγει τις μελέτες, με τη σειρά που ο ίδιος επιθυμεί να παρουσιαστούν στο γράφημα.

4. metaxmodels

Στο τέταρτο και τελευταίο φύλλο του Meta-Easy, το πρόγραμμα υπολογίζει ένα συγκεντρωτικό εκτιμητή του μεγέθους αποτελέσματος (effect) και τη διακύμανσή του (variance) για κάθε μία μελέτη. Ο συγκεντρωτικός εκτιμητής του μεγέθους αποτελέσματος σε κάθε μελέτη είναι ο στατιστικός μέσος όρος (median) των εκτιμητών του μεγέθους αποτελέσματος των αντίστοιχων αποτελεσμάτων ενώ η διακύμανση είναι ο στατιστικός μέσος των διακυμάνσεών τους. Σε πολλά μοντέλα μετα-ανάλυσης, χρησιμοποιούνται αυτά τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα προκειμένου να καθοριστεί η συνολική επίδραση. Επιπλέον, δημιουργείται ένα ακόμη forest plot, που περιλαμβάνει τον εκτιμητή του μεγέθους αποτελέσματος κάθε μεμονωμένης μελέτης αλλά τον συνολικό εκτιμητή.

Μεταβλητές του προγράμματος Meta-Easy:

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται όλες οι μεταβλητές, του προγράμματος Meta-Easy, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι υποχρεωτικό να συμπληρωθούν όλες για τη διεξαγωγή της μετα-ανάλυσης.

Όνομα	Περιγραφή	Τύπος	Υποχρεωτική	Πληροφορίες
-------	-----------	-------	-------------	-------------

Study	Όνομα Μελέτης	Αλφαριθμητική Μεταβλητή (String)	NAI	Εισάγεται μία μόνο φορά και εξυπηρετεί τον χρήστη στην αναγνώριση των δεδομένων.
Design	Τύπος της μελέτης	Αλφαριθμητική Μεταβλητή (String)	OXI	Εισάγεται μία μόνο φορά για κάθε μελέτη, δείχνει το αν η μελέτη βασίστηκε σε πειραματικά αποτελέσματα ή σε στατιστικά δεδομένα
Variables	Μεταβλητές	Αλφαριθμητική Μεταβλητή (String)	NAI	Οι κύριες μεταβλητές της μετα-ανάλυσης, εισάγονται από τον χρήστη και βασίζονται στις μελέτες που χρησιμοποιούνται.
NIb	Μέγεθος της Πειραματικής Ομάδας πριν την εφαρμογή του πειράματος	Ακέραιος	OXI	Δε χρησιμοποιείται σε καμία μέθοδο αλλά εξυπηρετεί μόνο σκοπούς πληροφόρησης.
NIa	Μέγεθος της Πειραματικής Ομάδας μετά την εφαρμογή του πειράματος	Ακέραιος	NAI	-
NCb	Μέγεθος της Ομάδας Ελέγχου πριν την εφαρμογή του πειράματος	Ακέραιος	OXI	Δε χρησιμοποιείται σε καμία μέθοδο αλλά εξυπηρετεί μόνο σκοπούς πληροφόρησης.
NCa	Μέγεθος της Ομάδας Ελέγχου μετά την εφαρμογή του πειράματος	Ακέραιος	NAI	-
N(tot)b	NIb + NCb	Ακέραιος	OXI	Δε χρησιμοποιείται σε καμία μέθοδο αλλά εξυπηρετεί μόνο σκοπούς πληροφόρησης.

N(tot)a	N _{Ia} + N _{ca}	Ακέραιος	OXI	Δε χρησιμοποιείται σε καμία μέθοδο αλλά εξυπηρετεί μόνο σκοπούς πληροφόρησης.
Ib	Αριθμός των γεγονότων της Πειραματικής Ομάδας πριν την εφαρμογή του πειράματος	Ακέραιος	OXI	Δε χρησιμοποιείται σε καμία μέθοδο αλλά εξυπηρετεί μόνο σκοπούς πληροφόρησης.
Ia	Αριθμός των γεγονότων της Πειραματικής Ομάδας μετά την εφαρμογή του πειράματος	Ακέραιος	Υποχρεωτική μόνο για τις μεθόδους 1a και 1b	
Cb	Αριθμός των γεγονότων της Ομάδας Ελέγχου πριν την εφαρμογή του πειράματος	Ακέραιος	OXI	Δε χρησιμοποιείται σε καμία μέθοδο αλλά εξυπηρετεί μόνο σκοπούς πληροφόρησης.
Ca	Αριθμός των γεγονότων της Ομάδας Ελέγχου μετά την εφαρμογή του πειράματος	Ακέραιος	Μόνο για τις μεθόδους 1a και 1b	-
mean (Ib)	Μέση Τιμή του Εκτιμητή της Πειραματικής Ομάδας πριν την εφαρμογή του πειράματος	Πραγματικός	OXI	Δε χρησιμοποιείται σε καμία μέθοδο αλλά εξυπηρετεί μόνο σκοπούς πληροφόρησης.
mean (Ia)	Μέση Τιμή του Εκτιμητή της Πειραματικής Ομάδας μετά την εφαρμογή του πειράματος	Πραγματικός	Μόνο για μεθόδους 3,4,5,6	-

mean (Cb)	Μέση Τιμή του Εκτιμητή της Ομάδας Ελέγχου πριν την εφαρμογή του πειράματος	Πραγματικός	ΟΧΙ	Δε χρησιμοποιείται σε καμία μέθοδο αλλά εξυπηρετεί μόνο σκοπούς πληροφόρησης.
mean (Ca)	Μέση Τιμή του Εκτιμητή της Ομάδας Ελέγχου μετά την εφαρμογή του πειράματος	Πραγματικός	Μόνο για μεθόδους 3,4,5,6	-
SD (Ia)	Τυπική Απόκλιση του Εκτιμητή της Πειραματικής Ομάδας μετά την εφαρμογή του πειράματος	Πραγματικός	Μόνο για μέθοδο 4	-
SD (Ca)	Τυπική Απόκλιση του Εκτιμητή της Ομάδας Ελέγχου μετά την εφαρμογή του πειράματος	Πραγματικός	Μόνο για μέθοδο 4	-
MD	Διαφορά Μέσης Τιμής (Means Difference), MD = mean (Ia) - mean (Ca)	Πραγματικός	Μόνο για μεθόδους 3,4,5,6	Αν δεν εισαχθεί από τον χρήστη, υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα.
ICI95 (MD)	Κάτω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης 95% για το MD	Πραγματικός	Μόνο για τη μέθοδο 3	-
uCI95 (MD)	Άνω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης 95% για το MD	Πραγματικός	Μόνο για τη μέθοδο 3	-

median (Ia)	Μέσος του Εκτιμητή της Πειραματικής Ομάδας μετά την εφαρμογή του πειράματος	Πραγματικός	OXI	Δε χρησιμοποιείται σε καμία μέθοδο αλλά εξυπηρετεί μόνο σκοπούς πληροφόρησης.
median (Ca)	Μέσος του Εκτιμητή της Ομάδας Ελέγχου μετά την εφαρμογή του πειράματος	Πραγματικός	OXI	Δε χρησιμοποιείται σε καμία μέθοδο αλλά εξυπηρετεί μόνο σκοπούς πληροφόρησης.
ICI95 (Ia)	Κάτω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης 95% για το Ia	Πραγματικός	Μόνο για μέθοδο 5	-
uCI95 (Ia)	Άνω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης 95% για το Ia	Πραγματικός	Μόνο για μέθοδο 5	-
ICI95 (Ca)	Κάτω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης 95% για το Ca	Πραγματικός	Μόνο για μέθοδο 5	-
uCI95 (Ca)	Άνω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης 95% για το Ca	Πραγματικός	Μόνο για μέθοδο 5	-
OR	Odds Ratio: $OR = [Ia/(NIa-Ia)]/[Ca/(NCa-Ca)]$	Πραγματικός	Μόνο για μέθοδο 2	-
ICI95 (OR)	Κάτω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης 95% για το OR	Πραγματικός	Μόνο για μέθοδο 2	-
uCI95 (OR)	Άνω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης 95% για το OR	Πραγματικός	Μόνο για μέθοδο 2	-
p-value	Στατιστική σημαντικότητα ενός αμφίδρομου τεστ μεταξύ των δύο ομάδων	Πραγματικός	Μόνο για μεθόδους 6,7	-

t-value	Το αποτέλεσμα ενός αμφίδρομου στατιστικού t-test (students) μεταξύ των δύο ομάδων	Πραγματικός	Μόνο για μεθόδους 6,7	-
df	Βαθμοί Ελευθερίας ενός αμφίδρομου στατιστικού t-test (students) μεταξύ των δύο ομάδων	Ακέραιος	Μόνο για μεθόδους 6,7	Αν δεν εισαχθεί από τον χρήστη, υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα ως εξής: $df = NIa + NCa + 2$
SEdiff	Τυπικό Σφάλμα της διαφοράς των μέσων των δύο ομάδων	Πραγματικός	Μόνο για μέθοδο 3	
direction	Κατεύθυνση του Εκτιμητή του αποτελέσματος	Μεταβλητή Χαρακτήρα (Char)	ΝΑΙ	Αν ο Εκτιμητής κλίνει προς την Πειραματική Ομάδα δε συμπληρώνεται. Στην αντίθετη περίπτωση, εισάγεται ένα "μείον" (-)
quality	Ποιότητα της μελέτης	Ακέραιος	ΟΧΙ	Αξιολόγηση της κάθε μελέτης. Εισάγεται μία φορά για κάθε μελέτη και είναι προαιρετικό.
subgroup	Πληροφορίες που αφορούν τα αποτελέσματα των υπο-ομάδων	Αλφαριθμητική Μεταβλητή (String)	ΟΧΙ	Πληροφορίες για τα αποτελέσματα των υπο- ομάδων.

Σχήμα 23: Οι μεταβλητές που περιλαμβάνονται στο προγράμματος meta easy και η χρήση τους [62]

Μετά την εισαγωγή δεδομένων, το λογισμικό θα πραγματοποιήσει μία σειρά υπολογισμών εφαρμόζοντας 7 διαφορετικές μεθόδους. Βάσει των δεδομένων που εισάγονται στις μετα-αναλύσεις που περιλαμβάνονται στα πλαίσια της παρούσας μελέτης εφαρμόζονται οι εξής δύο μέθοδοι:

Μέθοδος 1: Διαφορά κινδύνου - Risk Difference (RD)

Η πρώτη μέθοδος, που εκτέλεσε το Meta-Easy είναι η μέθοδος της «διαφοράς κινδύνου», γνωστή ως Risk Difference ή εν συντομία RD. Για τον υπολογισμό του

εκτιμητή RD από το πρόγραμμα είναι υποχρεωτικό να εισαχθούν τιμές για τις ακόλουθες μεταβλητές:

NIa

NCa

Ia

Ca

Αφού ο χρήστης εισάγει στο φύλλο “metaxdata” τιμές για τις ανωτέρω μεταβλητές, ο εκτιμητής risk difference υπολογίζεται από το πρόγραμμα ως εξής:

Βήμα 1:

$$SE_{diff}(RD) = \sqrt{\frac{P_{Ia} \cdot (1 - P_{Ia})}{NIa} + \frac{P_{Ca} \cdot (1 - P_{Ca})}{NCa}}$$

Όπου : $P_{Ia}=Ia$ και $P_{Ca}=Ca/NC$

Βήμα 2:

$$SE_{effect} =$$

Βήμα 3:

$$SD = SE_{diff} / SE_{effect}$$

Βήμα 4:

$$effect = RD/SD$$

Βήμα 5:

$$CI_{95\%}(effect) = effect \pm 1.96 SE_{effect}$$

Μία αρνητική διαφορά στο effect δηλώνει ότι η πιθανότητα εμφάνισης του γεγονότος είναι μεγαλύτερη στην ομάδα ελέγχου, ενώ μία θετική διαφορά δηλώνει ακριβώς το αντίθετο [58].

Τελικά, όπως θα φανεί και στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων, για τις μετα-αναλύσεις blowout και collision, το Meta-Easy επέλεξε ως καταλληλότερη μέθοδο την Ia του Πίνακα 9, δηλαδή ο εκτιμητής του μεγέθους αποτελέσματος (effect) στο φύλλο “metaxsummary” ήταν η διαφορά κινδύνου (RD). Παρόλα αυτά, το πρόγραμμα εκτέλεσε κανονικά και τη δεύτερη μέθοδο, 1b, του Πίνακα 9, η οποία για λόγους

πληρότητας αναλύεται στη συνέχεια.

Μέθοδος 2: Περιττοί Λόγοι – Odds Ratio (OR)

Στη δεύτερη μέθοδο, ο εκτιμητής του μεγέθους αποτελέσματος είναι οι «περιττοί λόγοι» ή odds ratio³² (OR). Ως odds ratio ορίζεται η αναλογία των odds για ένα γεγονός που συμβαίνει σε μία ομάδα προς τα odds αυτού του γεγονότος σε μία άλλη ομάδα [58]. Για τον υπολογισμό του εκτιμητή odds ratio είναι υποχρεωτικό να εισαχθούν οι ακόλουθες μεταβλητές:

NIa

NCa

Ia

Ca

Αφού ο χρήστης εισάγει στο φύλλο “metaxdata” τιμές για τις ανωτέρω μεταβλητές, ο εκτιμητής odds ratio υπολογίζεται από το πρόγραμμα ως εξής:

Βήμα 1:

$$Q = \ln(\text{OR})$$

Όπου:

$$\text{OR} = \frac{Ia}{NIa - Ia} / \frac{Ca}{NCa - Ca}$$

Προσοχή: Αν NIa = Ia ή Ca = NCa - Ca, τότε ο εκτιμητής odds ratio δεν μπορεί να υπολογιστεί.

Βήμα 2:

$$\text{SEdiff}(Q) = \sqrt{\frac{1}{Ia} + \frac{1}{NIa - Ia} + \frac{1}{Ca} + \frac{1}{NCa - Ca}}$$

Βήμα 3:

$$\text{upperCI95\%}(Q) = Q + 1.96 \text{SEdiff}(Q)$$

$$\text{lowerCI95\%}(Q) = Q - 1.96 \text{SEdiff}(Q)$$

Βήμα 4:

$$\text{effect} = Q \sqrt{3/\pi}$$

Βήμα 5:

$$\text{upperCI95\%}(\text{effect}) = \text{upperCI95\%}(Q) \sqrt{3/\pi}$$

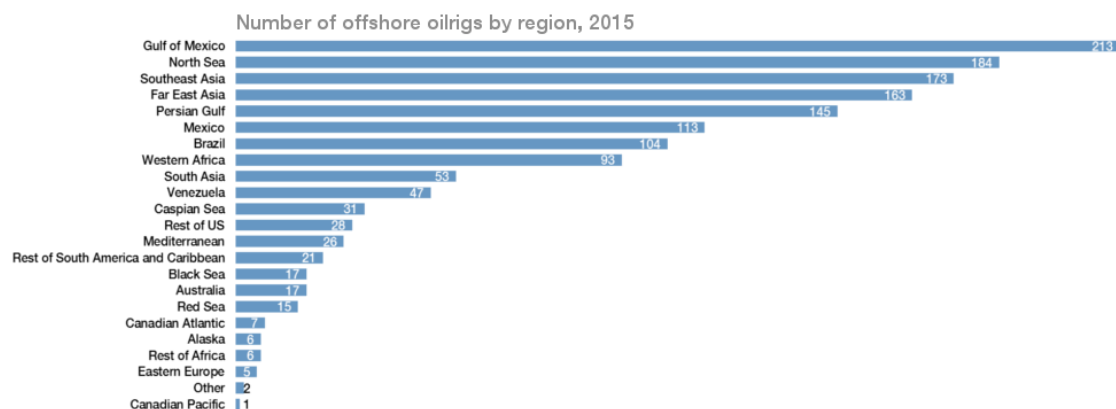
$$\text{lowerCI95\%}(\text{effect}) = \text{lowerCI95\%}(Q) \sqrt{3/\pi}$$

Εάν το effect δηλαδή το $\ln(\text{OR}) \sqrt{3/\pi}$ είναι ίσο με 0, τότε το γεγονός ή η κατάσταση που εξετάζεται είναι εξίσου πιθανή και για τις δύο ομάδες (την πειραματική ομάδα και την ομάδα ελέγχου). Ένα effect μεγαλύτερο από το 0 δηλώνει ότι το γεγονός είναι πιο πιθανό στην 1η ομάδα, ενώ ένα effect μικρότερο του μηδενός δείχνει ότι το γεγονός είναι λιγότερο πιθανό στην 1η ομάδα. Όταν η πιθανότητα του υπό μελέτη γεγονότος για την 1η ομάδα πλησιάζει στο μηδέν, τότε το effect τείνει στο $-\infty$, ενώ όταν η πιθανότητα του υπό μελέτη γεγονότος για την 2η ομάδα πλησιάζει στο μηδέν, τότε το effect τείνει στο άπειρο [58].

4.4. Συσχετισμός μεταξύ περιοχής και πλήθους ατυχημάτων

Ο πρώτος συσχετισμός που θα εξετασθεί είναι αυτός ανάμεσα στην περιοχή όπου βρίσκεται μία πλατφόρμα και στο πλήθος των ατυχημάτων που αντιστοιχούν στην περιοχή αυτή.

Η επιλογή αυτής την ανάλυσης κρίθηκε σκόπιμη καθώς στην υπάρχουσα βιβλιογραφία δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς το ζήτημα εάν και κατά πόσο η περιοχή λειτουργίας μιας υπεράκτιας πλατφόρμας πετρελαίου επηρεάζει την πιθανότητα ατυχήματος. Παράμετροι όπως οι καιρικές συνθήκες, ο κυματισμός και τα θαλάσσια ρεύματα, το βάθος και η μορφολογία του εδάφους, η κουλτούρα των εργαζομένων και η πολιτική της διοίκησης έχουν άμεση σχέση με την γεωγραφική περιοχή και επηρεάζουν άμεσα και έμμεσα την ασφάλεια των κατασκευών.



Source: Statista

Σχήμα 24: Πλήθος πλατφορμών ανά γεωγραφική ζώνη. Παρατηρείται πως ο μεγαλύτερος αριθμός πλατφορμών εντοπίζεται στην ευρύτερη περιοχή του κόλπου του Μεξικό ενώ ακολουθεί η Βόρειος θάλασσα και η Νοτιοανατολική Ασία. Ο Περσικός κόλπος είναι 5ος παγκοσμίως σε πλήθος πλατφορμών ωστόσο τα διαθέσιμα δεδομένα για την περιοχή είναι

εξαιρετικά περιορισμένα σε σχέση με τις προαναφερθείσες ζώνες και για τον λόγο αυτό δεν θεωρήθηκε δόκιμο να συμπεριληφθεί στην μετα-ανάλυση.

Απουσία περαιτέρω δεδομένων και προς απλούστευση της διαδικασίας επιλέχθηκαν οι εξής τέσσερις βασικές και αντιπροσωπευτικές γεωγραφικές ζώνες:

1)Κόλπος του Μεξικό και Βόρειος Αμερική

2)Βόρειος Θάλασσα

3)Νοτιοανατολική Ασία και Ωκεανία

4)Νότιος Αμερική.

Δεν επιλέχθηκαν και δεν εξετάστηκαν περισσότερες περιοχές διότι τα δεδομένα για αυτές ήταν ανεπαρκή και τα αποτελέσματα δεν θα ήταν αξιόπιστα. Παρ' όλα αυτά οι περιοχές που έχουν επιλεγεί αντιστοιχούν στο μεγαλύτερο μέρος του συνόλου των υπεράκτιων πλατφορμών και έτσι μπορούν να προσφέρουν μια σχετικά αντιπροσωπευτική εικόνα.

Στην ανάλυση αυτή ελήφθησαν υπόψιν μόνο ατυχήματα που ορίζονται ως σοβαρά (βάσει του ορισμού που δόθηκε ανωτέρω) ενώ δεν λήφθηκε υπόψιν η έκταση της ζημιάς του εκάστοτε σοβαρού ατυχήματος, παρά μόνο το πλήθος τους. Μετά από ενδελεχή έλεγχο όλων των διαθέσιμων δεδομένων τελικά κατάλληλες για την συγκεκριμένη ανάλυση κρίθηκαν οι ακόλουθες τρεις βάσεις δεδομένων:

DNV-GL Worldwide offshore accident report 1970-2012

IRF offshore safety reports 2007

IRF offshore safety reports 2008

IRF offshore safety reports 2009

IRF offshore safety reports 2010

IRF offshore safety reports 2011

IRF offshore safety reports 2012

IRF offshore safety reports 2013

IRF offshore safety reports 2014

IRF offshore safety reports 2015

IRF offshore safety reports 2016

IRF offshore safety reports 2017

IRF offshore safety reports 2018

IOGP database (2000-2018)

Χάριν διευκόλυνσης υπολογισμών και παρουσίασης, τα δεδομένα των 12 εκθέσεων του IRF συνδυάστηκαν και εμφανίζονται ακολούθως ως μία έκθεση που αφορά ολόκληρο το χρονικό διάστημα 2007-2018

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν καλύπτουν τα κριτήρια που τέθηκαν παραπάνω καθώς παρουσιάζουν σχετική ομοιομορφία μεταξύ τους, έχουν πραγματοποιηθεί από διαφορετικούς και αξιόπιστους φορείς και περιέχουν όλες πληροφορίες σχετικά με τις υπό εξέταση περιοχές. Επιπλέον είναι σχετικά πρόσφατες επομένως τα αποτελέσματα θα αντιπροσωπεύουν σε έναν βαθμό τις τρέχουσες συνθήκες.

Να σημειωθεί πως οι ανωτέρω πηγές ενώ παρείχαν σημαντικά δεδομένα συσχετισμού περιοχής και πλήθους ατυχημάτων, δεν περιείχαν δεδομένα σχετικά με το πλήθος των εγκαταστάσεων ανά περιοχή που αντιστοιχεί στην μεταβλητή Ca. Για τον λόγο αυτόν, χρησιμοποιήθηκαν και συνδυάστηκαν δεδομένα από διαφορετικές πηγές.

Να σημειωθεί επίσης πως οι αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν εξετάζουν περιστατικά σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Αρκετές αναφέρονταν σε ετήσια βάση, άλλες σε συγκεκριμένο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και άλλες δεν αναφέρουν καν την περίοδο στην οποία αναφέρονται. Προς εξαγωγή αντιπροσωπευτικών αποτελεσμάτων σε κάθε μελέτη προηγήθηκε κανονικοποίηση και αναγωγή σε ετήσια βάση. Κατά τον τρόπο αυτόν, τα δεδομένα που εισήχθησαν τελικά στο αρχικό φύλλο του προγράμματος ήταν τα ακόλουθα:

Report	Variables	NIa	NCa	Ia	Ca
IRF 2007-2018	SE Asia Australia	218	10248	42	2160
	North Sea	218	10248	61	2208
	GoM US	218	10248	68	4116
	S America	218	10248	47	1764
DNV 1970-2012	SE Asia Australia	2404	20440	140	7200
	North Sea	2404	20440	1459	7360
	GoM US	2404	20440	665	4116
	S America	2404	20440	140	1764
IOGP	SE Asia Australia	201	11358	22	3240
	North Sea	201	11358	70	3312
	GoM US	201	11358	75	2646
	S America	201	11358	34	2160

Σχήμα 25: Input των δεδομένων για τον συσχετισμό γεωγραφικής περιοχής και πλήθους ατυχημάτων στο λογισμικό meta easy. Η πρώτη στήλη (reports) αντιστοιχεί στο όνομα της έκθεσης ενώ η δεύτερη στήλη (variables) περιέχει τις υπό εξέταση μεταβλητές της εκάστοτε έκθεσης. Η τρίτη στήλη (NIa) ισούται με το άθροισμα της στήλης Ia και αντιστοιχεί στο σύνολο των περιστατικών που εξετάζονται στην κάθε έκθεση. Προφανώς η τιμή NIa είναι η ίδια για όλες τις μεταβλητές της ίδιας έκθεσης. Η στήλη (NCa) αντιστοιχεί στο σύνολο των υπό εξέταση μονάδων που συμπεριελήφθησαν σε κάθε έκθεση και ισούται με το άθροισμα της στήλης Ca. Προφανώς η τιμή NCa είναι ίδια για κάθε μεταβλητή της ίδιας έκθεσης. Η στήλη Ia αντιστοιχεί στο πλήθος των ατυχημάτων που σημειώθηκαν στην εκάστοτε περιοχή ενώ η στήλη Ca αντιστοιχεί στο πλήθος των μονάδων που βρίσκονται στην αντίστοιχη περιοχή.

Μετά τους υπολογισμούς, η πρώτη σελίδα των αποτελεσμάτων (meta analysis) είναι η ακόλουθη:

Με την λύση 1a:

Report	Variables	Method 1a (based on RD) - Dichotomous Data						Value for error bars
		SEdiff	SEeffect	SD	effect	effect I95	effect u95	
IRF 2007-2018	SE Asia Australia	0,0270	0,0684	0,3947	-0,0459	-0,1800	0,0883	0,1342
	North Sea	0,0307	0,0684	0,4482	0,1436	0,0095	0,2778	0,1342
	GoM US	0,0317	0,0684	0,4639	-0,1934	-0,3276	-0,0593	0,1342
	S America	0,0281	0,0684	0,4106	0,1059	-0,0283	0,2400	0,1342
DNV 1970-2012	SE Asia Australia	0,0058	0,0216	0,2703	-1,0876	-1,1298	-1,0453	0,0423
	North Sea	0,0105	0,0216	0,4876	0,5063	0,4640	0,5485	0,0423
	GoM US	0,0095	0,0216	0,4427	0,1700	0,1277	0,2123	0,0423
	S America	0,0052	0,0216	0,2395	-0,1172	-0,1594	-0,0749	0,0423
IOGP	SE Asia Australia	0,0224	0,0712	0,3152	-0,5578	-0,6973	-0,4184	0,1395
	North Sea	0,0339	0,0712	0,4760	0,1190	-0,0204	0,2585	0,1395
	GoM US	0,0343	0,0712	0,4826	0,2904	0,1510	0,4299	0,1395
	S America	0,0267	0,0712	0,3752	-0,0560	-0,1955	0,0834	0,1395

Σχήμα 25: Φύλλο υπολογισμών meta-results για την μέθοδο 1a του συσχετισμού πλήθους ατυχημάτων και γεωγραφικής περιοχής.

Αντίστοιχα με την λύση 1b:

Method 1b (based on OR) - Dichotomous Data - $Q=\ln(OR)$				
SEdiff(Q)	effect(SMD)	effect I95	effect u95	Value for error bars
0,1734	-0,0620	-0,2495	0,1254	0,1874
0,1528	0,1913	0,0262	0,3564	0,1651
0,1476	-0,2164	-0,3759	-0,0569	0,1595
0,1668	0,1539	-0,0263	0,3341	0,1802
0,0883	-1,1986	-1,2941	-1,1032	0,0954
0,0442	0,5565	0,5087	0,6043	0,0478
0,0488	0,2296	0,1769	0,2824	0,0528
0,0906	-0,2335	-0,3314	-0,1357	0,0979
0,2269	-0,6494	-0,8945	-0,4042	0,2452
0,1495	0,1439	-0,0177	0,3054	0,1615
0,1475	0,3710	0,2116	0,5304	0,1594
0,1897	-0,0787	-0,2837	0,1262	0,2049

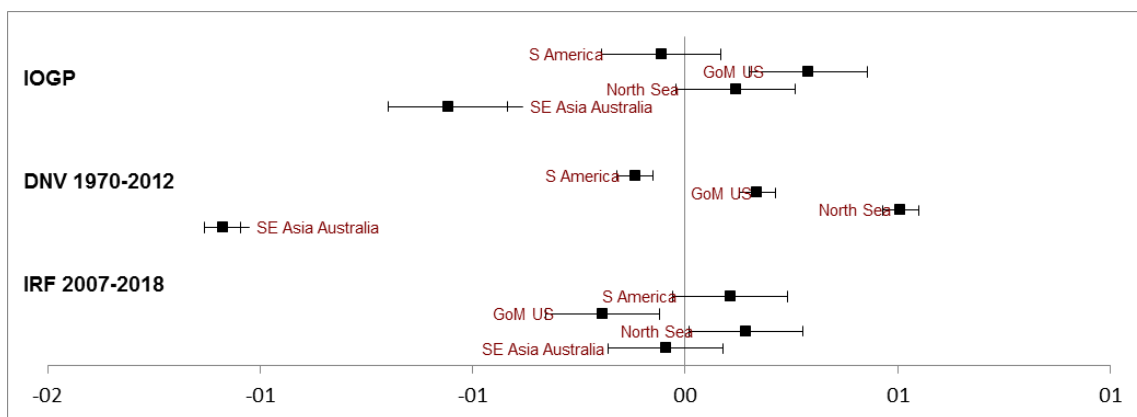
Σχήμα 26: Φύλλο υπολογισμών meta-results για την μέθοδο 1b σχετικά με την γεωγραφική περιοχή και το πλήθος ατυχημάτων

Η δεύτερη σελίδα των αποτελεσμάτων (meta1summary) μαζί με το αντίστοιχο διάγραμμα διαστημάτων εμπιστοσύνης:

Study	Variables	effect	effect I95	effect u95	Value for error bars	count
IRF 2007-2018	SE Asia Australia	-0,0459	-0,1800	0,0883	0,1342	1
IRF 2007-2018	North Sea	0,1436	0,0095	0,2778	0,1342	2
IRF 2007-2018	GoM US	-0,1934	-0,3276	-0,0593	0,1342	3
IRF 2007-2018	S America	0,1059	-0,0283	0,2400	0,1342	4
						5
						6
						7
DNV 1970-2012	SE Asia Australia	-1,0876	-1,1298	-1,0453	0,0423	8
DNV 1970-2012	North Sea	0,5063	0,4640	0,5485	0,0423	9
DNV 1970-2012	GoM US	0,1700	0,1277	0,2123	0,0423	10

DNV 1970-2012	S America	-0,1172	-0,1594	-0,0749	0,0423	11
						12
						13
						14
IOGP	SE Asia Australia	-0,5578	-0,6973	-0,4184	0,1395	15
IOGP	North Sea	0,1190	-0,0204	0,2585	0,1395	16
IOGP	GoM US	0,2904	0,1510	0,4299	0,1395	17
IOGP	S America	-0,0560	-0,1955	0,0834	0,1395	18

Σχήμα 27: Φύλλο υπολογισμών meta x summary σχετικά με την γεωγραφική περιοχή και το πλήθος ατυχημάτων



Σχήμα 28: Διάγραμμα effects κα διαστημάτων εμπιστοσύνης σχετικά με την γεωγραφική περιοχή και το πλήθος ατυχημάτων. Η τιμή του effect υποδηλώνει κατά πόσο υπάρχει σχέση μεταξύ της περιοχής και των ατυχημάτων. Θετικές τιμές υποδηλώνουν τάση για ατυχήματα ενώ αρνητικές αρνητική τάση. Το διάστημα εμπιστοσύνης αντιπροσωπεύει την αξιοπιστία του effect και για να θεωρηθεί το αποτέλεσμα στατιστικά σημαντικό πρέπει να μην περιέχει το "0" αλλά να είναι αμιγώς θετική ή αρνητική.

Στο διάγραμμα παρατηρείται πως σύμφωνα με την IOGP η Νότιος Αμερική παρουσιάζει αρνητικό effect πράγμα που υποδηλώνει αρνητική σχέση μεταξύ της περιοχής και ατυχημάτων. Αντίθετα ο κόλπος του Μεξικό παρουσιάζει θετικό effect επομένως υπάρχει θετικός συσχετισμός μεταξύ της συγκεκριμένης περιοχής και του πλήθους ατυχημάτων. Στην Βόρειο θάλασσα παρατηρείται επίσης θετικό effect ενώ στην Ν.Α Ασία και Αυστραλία αρνητικό. Ωστόσο για να έχει στατιστική σημασία το αποτέλεσμα πρέπει το διάστημα εμπιστοσύνης να έχει αμιγώς θετικό ή αρνητικό πρόσημο, επομένως το αποτέλεσμα έχει στατιστική σημασία μόνο για τις περιπτώσεις του κόλπου του Μεξικό και της ΝΑ Ασίας και Αυστραλίας.

Σύμφωνα με την DNV η Νότιος Αμερική και η ΝΑ Ασία και Αυστραλία παρουσιάζουν αρνητικό effect με αμιγώς αρνητικό διάστημα εμπιστοσύνης ενώ ο κόλπος του Μεξικό καθώς και η Βόρειος θάλασσα παρουσιάζουν θετικό effect με αμιγώς θετικό διαστήματα εμπιστοσύνης. Επομένως όλα τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έχουν στατιστική σημασία.

Σύμφωνα με την IRF η Νότιος Αμερική έχει θετική τιμή effect με διάστημα εμπιστοσύνης να περιλαμβάνει και το 0 ενώ ο κόλπος του Μεξικό έχει θετική τιμή effect με αμιγώς αρνητικό διάστημα εμπιστοσύνης. Η βόρειος θάλασσα εμφανίζει θετικό effect και αμιγώς θετικό διάστημα εμπιστοσύνης ενώ η ΝΑ Ασία και Αυστραλία έχει αρνητικό effect με διάστημα εμπιστοσύνης που δεν περιλαμβάνει το 0.

Επομένως στατιστικά σε όλες τις μελέτες, η βόρειος Θάλασσα παρουσιάζει θετικό effect που υποδηλώνει πως υπάρχει μία τάση προς σοβαρά ατυχήματα. Δεύτερος τη σειρά βρίσκεται ο κόλπος το Μεξικό που παρουσιάζει θετικές τιμές σε ορισμένες μελέτες ενώ η Νότιος Αμερική σε μία. Αντίθετα Η Νοτιοανατολική Ασία και η Αυστραλία παρουσιάζουν αρνητικές τιμές σε όλες τις μελέτες ένδειξη η οποία υποδηλώνει τάση προς μεγαλύτερη ασφάλεια.

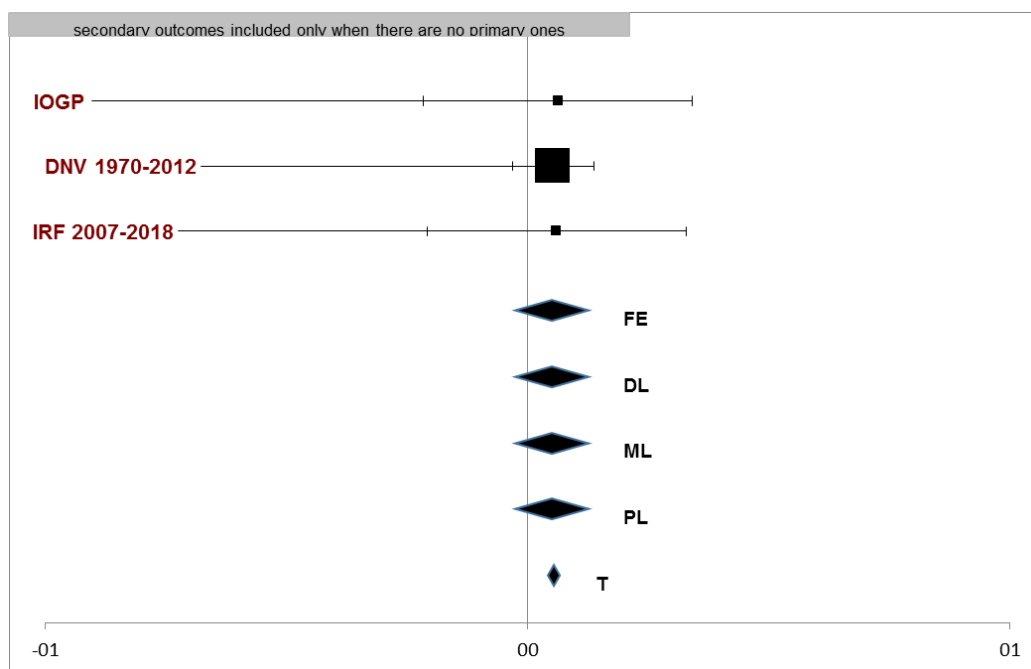
Μάλιστα, τα περισσότερα διαστήματα εμπιστοσύνης του ανωτέρω διαγράμματος δεν περιλαμβάνουν το μηδέν, που σημαίνει πως τα ανωτέρω αποτελέσματα έχουν στατιστική σημασία. Τα περισσότερα έγκυρα συμπεράσματα αφορούν την βόρειο Θάλασσα ενώ τα λιγότερο έγκυρα την νότιο Αμερική καθώς τα περισσότερα διαστήματα εμπιστοσύνης για την συγκεκριμένη ζώνη, περιέχουν το μηδέν.

Στην συνέχεια φαίνεται το διάγραμμα forest plot και το σχετικό φύλο υπολογισμών του meta-easy:

Study	Effect	lower 95%CI	upper 95%CI	error bars	count
IRF 2007-2018	0,0300	-0,1042	0,1641	0,1342	1
DNV 1970-2012	0,0264	-0,0159	0,0687	0,0423	2
IOGP	0,0315	-0,1080	0,1710	0,1395	3
	mean eff	var eff	195%CI	u95%CI	
FE model	0,0271	0,0004	-0,0116	0,0658	
DL model	0,0271	0,0004	-0,0116	0,0658	
Q model	0,0271	0,0004	-0,0116	0,0658	
ML model	0,0271	0,0004	-0,0116	0,0658	
PL model	0,0271	0,0004	-0,0199	0,0758	
T-test	0,0293	0,0000	0,0228	0,0358	
PE method					
Heterogeneity measures					
	value	df	p-value		
Cochrane Q	0,01	2	0,9967		

tau ² estimate (DL)	0,0000				
tau ² estimate (ML)	0,0000				
tau ² estimate (PL)	0,0000				
I ²	%0,00				
H ² _M	0,0000				

Σχήμα 29: Φύλλο υπολογισμών meta-summary σχετικά με την γεωγραφική περιοχή και το πλήθος ατυχημάτων



Σχήμα 30: Forest plot σχετικά με την γεωγραφική περιοχή και το πλήθος ατυχημάτων. Το 95% διάστημα εμπιστοσύνης για κάθε μελέτη αναπαρίσταται από την οριζόντια γραμμή και το μέγεθος αποτελέσματος από το τετράγωνο σημείο. Το συγκεντρωτικό αποτέλεσμα αναπαρίσταται από το ρόμβο στην τελευταία σειρά του διαγράμματος[61]. Παρατηρείται πως ο φορέας DNV έχει την μεγαλύτερη βαρύτητα καθώς το μέγεθος των δεδομένων είναι πολύ μεγαλύτερο λόγω μεγάλης χρονικής έκτασης. Επίσης παρατηρείται πως η γεωγραφική περιοχή ασκεί επίδραση στο πλήθος ατυχημάτων.

Παρατηρείται πως το πρόγραμμα λαμβάνει ως πιο έγκυρη και αξιόπιστη την μελέτη DNV, πράγμα που ήταν αναμενόμενο αφού όντως η μελέτη αυτή περιείχε σαφώς μεγαλύτερο όγκο δεδομένων και περιλάμβανε πολύ μεγαλύτερη χρονική περίοδο.

4.5. Συσχετισμός μεταξύ φάσης λειτουργίας και πλήθους θανάτων

Μία καθοριστική παράμετρος στην ανάλυση των ατυχημάτων εγκαταστάσεων εξόρυξης πετρελαίου είναι η φάση της λειτουργίας και η διαδικασία κατά την οποία συνέβη κάποιο περιστατικό. Διαφορετικές λειτουργίες χαρακτηρίζονται από διαφορετικό ποσοστό επικινδυνότητας αλλά και από διαφορετική φύση κινδύνων και ατυχημάτων. Αρχικός σκοπός της συγκεκριμένης ανάλυσης ήταν η διερεύνηση συσχετισμού ανάμεσα σε είδος λειτουργίας και είδους ατυχημάτων ωστόσο λόγω έλλειψης επαρκών δεδομένων εξετάστηκε η σχέση μεταξύ είδους λειτουργίας και θανάτων που προκλήθηκαν από ατυχήματα κατά την αντίστοιχη φάση.

Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε σαν κριτήριο το πλήθος των θανάτων και όχι των ατυχημάτων είναι διότι μεταξύ διαφορετικών πηγών περιέχονταν δεδομένα ατυχημάτων με πολύ μεγάλη ανομοιομορφία σχετικά με την σοβαρότητά τους, καθιστώντας της σύγκρισή τους άτοπη. Εν αντιθέσει το πλήθος θανάτων αποτελεί ένα αντικειμενικό και αντιπροσωπευτικό κριτήριο σοβαρότητας των ατυχημάτων.

Στόχος αυτής της ανάλυσης είναι να ερευνηθεί η σχέση μεταξύ θανάτων και διαφορετικής φάσης λειτουργίας της πλατφόρμας με σκοπό την διερεύνηση της επικινδυνότητας της κάθε φάσης λειτουργίας. Να επισημανθεί πως εξετάζεται το πλήθος των θανάτων χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν το πλήθος των ατυχημάτων που αντιστοιχεί σε αυτούς τους θανάτους.

Για τον σκοπό της ανάλυσης και μετά από αναλυτική έρευνα χρησιμοποιήθηκαν η βάση δεδομένων της BSEE με αναλυτικές αναφορές για τα έτη: 2013-2019, 2000, 1999, 1991-1996, 1956-1990 καθώς και η αναλυτική βάση WOAD με δεδομένα από το 2000 έως το 2018

Αξίζει να σημειωθεί πως ενώ το πλήθος των θανάσιμων ατυχημάτων και το είδος της λειτουργίας ήταν παράμετροι πολύ συνήθεις σε σχετικές μελέτες, ελάχιστες συνδύαζαν αυτές τις δύο παραμέτρους ώστε να είναι χρήσιμες για την προκείμενη ανάλυση.

Μία ακόμα παράμετρος που κατέστησε την ανάλυση δύσκολη ήταν οι διαφορετικές χρονικές περίοδοι που εξέταζε κάθε μελέτη, καθώς αρκετές αναφέρονταν σε ετήσια βάση, άλλες σε συγκεκριμένο μεγαλύτερο διάστημα και άλλες δεν ανέφεραν καν την περίοδο στην οποία αναφέρονται. Για τον λόγο αυτό, και προς εξαγωγή αντιπροσωπευτικών αποτελεσμάτων σε κάθε μελέτη προηγήθηκε κανονικοποίηση και αναγωγή σε ετήσια βάση.

Βάσει των δεδομένων και χάριν απλούστευσης και τυποποίησης των αποτελεσμάτων θεωρήθηκαν οι εξής βασικές κατηγορίες λειτουργίας μίας πλατφόρμας:

Exploration

Drilling

Production

Completion

Maintenance

Other

Σαν μεταβλητές Variables στο πρόγραμμα δόθηκαν οι διαφορετικές φάσεις λειτουργίας ενώ σαν Ia το πλήθος των αντίστοιχων θανάτων. Δεδομένου πως κάθε μία από τις εξεταζόμενες φάσεις λειτουργίας πραγματοποιείται σε κάθε μία από τις πλατφόρμες, το μέγεθος του test group (Ca) θεωρήθηκε ίσο με το πλήθος των εξεταζομένων περιπτώσεων κάθε μελέτης.

Βάσει των ανωτέρω παραδοχών, τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρώτο φύλλο του προγράμματος meta-easy είχε την ακόλουθη μορφή:

Study	Variables	NIa	NCb	Nca	Ia	Ca
BSEE 2013-2018	production	8		6110	6	3055
	drilling	8		6110	2	3055
BSEE 2000	drilling	5		672	3	224
	diving	5		672	1	224
	motor vessel	5		672	1	224
BSEE 1999	construction	6		462	3	154
other	motor vessel	6		462	2	154
	diving	6		462	1	154
BSEE 1998	production	18		965	8	193
	construction	18		965	4	193
	completion	18		965	2	193
	drilling	18		965	3	193
	construction	18		965	1	193
BSEE 1997	production	16		1290	4	258
	other	16		1290	3	258
	completion	16		1290	2	258
	workover	16		1290	2	258
	drilling	16		1290	5	258
BSEE 1996	drilling	5		720	2	180
	workover	5		720	1	180
	abandonment	5		720	1	180
	welding	5		720	1	180
BSEE 1995	completion	7		376	1	94
	other	7		376	1	94
	production	7		376	4	94
	drilling	7		376	1	94
BSEE 1991-1994	drilling	23		624	8	104
	construction	23		624	1	104
	production	23		624	1	104
	abandonment	23		624	1	104

	workover	23		624	11	104
	maintenance	23		624	1	104
BSEE 1956-1990	production	109		432	23	36
	completion	109		432	7	36
	construction	109		432	1	36
	wireline	109		432	4	36
	cementing	109		432	1	36
	drilling	109		432	7	36
	welding	109		432	18	36
	workover	109		432	2	36
	completion	109		432	2	36
	maintenance	109		432	2	36
	production	109		432	28	36
	other	109		432	14	36
IOGP 2000-2018	exploration	154		4875	3	975
	drilling	154		4875	54	975
	production	154		4875	70	975
	construction	154		4875	11	975
	unspecified	154		4875	16	975

Σχήμα 31: Input δεδομένων σχετικά με την φάση λειτουργίας και το πλήθος θανάτων. Στην πρώτη στήλη εισάγεται το όνομα της μελέτης ή της έκθεσής ενώ στην δεύτερη οι πιθανές μεταβλητές που εξετάζονται, εν προκειμένω οι φάσεις λειτουργίας. Στην στήλη Is εισάγεται το πλήθος των παρατηρηθέντων περιστατικών για κάθε κατηγορία και στην στήλη Ca το πλήθος των μονάδων ανά κατηγορία. Στις στήλες NIa και NCa εισάγεται το άθροισμα των στηλών Is και Ca αντίστοιχα.

Στους ακόλουθους δύο πίνακες φαίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν με χρήση της λύσης 1a και 1b αντίστοιχα

Report	Variables	SEdiff	SEeffect	SD	effect	effect 195	effect u95	Value for error bars
BSEE 2013-2018	production	0,1532	0,3538	0,4331	0,5772	-0,1162	1,2706	0,6934
	drilling	0,1532	0,3538	0,4331	-0,5772	-1,2706	0,1162	0,6934
BSEE 2000	drilling	0,2198	0,4489	0,4898	0,5445	-0,3353	1,4243	0,8798
	diving	0,1798	0,4489	0,4006	-0,3329	-1,2126	0,5469	0,8798
	other	0,1798	0,4489	0,4006	-0,3329	-1,2126	0,5469	0,8798
BSEE 1999	construction	0,2053	0,4109	0,4996	0,3336	-0,4718	1,1389	0,8053
	other	0,1937	0,4109	0,4714	0,0000	-0,8053	0,8053	0,8053
	diving	0,1537	0,4109	0,3741	-0,4455	-1,2508	0,3598	0,8053

BSEE 1998	production	0,1178	0,2379	0,4953	0,4935	0,0273	0,9598	0,4663
	construction	0,0988	0,2379	0,4155	0,0535	-0,4128	0,5198	0,4663
	completion	0,0752	0,2379	0,3160	-0,2813	-0,7475	0,1850	0,4663
	drilling	0,0888	0,2379	0,3732	-0,0893	-0,5556	0,3769	0,4663
	construction	0,0555	0,2379	0,2333	-0,6191	-1,0853	-0,1528	0,4663
BSEE 1997	production	0,1088	0,2515	0,4326	0,1156	-0,3775	0,6086	0,4930
	motor vessel	0,0982	0,2515	0,3904	-0,0320	-0,5250	0,4610	0,4930
	completion	0,0834	0,2515	0,3317	-0,2261	-0,7192	0,2669	0,4930
	workover	0,0834	0,2515	0,3317	-0,2261	-0,7192	0,2669	0,4930
	drilling	0,1164	0,2515	0,4628	0,2431	-0,2499	0,7361	0,4930
BSEE 1996	drilling	0,2197	0,4488	0,4895	0,3064	-0,5732	1,1860	0,8796
	workover	0,1796	0,4488	0,4002	-0,1249	-1,0045	0,7547	0,8796
	abandonment	0,1796	0,4488	0,4002	-0,1249	-1,0045	0,7547	0,8796
	welding	0,1796	0,4488	0,4002	-0,1249	-1,0045	0,7547	0,8796
BSEE 1995	completion	0,1341	0,3815	0,3516	-0,3047	-1,0524	0,4430	0,7477
	other	0,1341	0,3815	0,3516	-0,3047	-1,0524	0,4430	0,7477
	production	0,1884	0,3815	0,4938	0,6509	-0,0968	1,3986	0,7477
	drilling	0,1341	0,3815	0,3516	-0,3047	-1,0524	0,4430	0,7477
BSEE 1991-1994	drilling	0,1004	0,2123	0,4730	0,3830	-0,0331	0,7992	0,4162
	construction	0,0451	0,2123	0,2122	-0,5804	-0,9966	-0,1643	0,4162
	production	0,0451	0,2123	0,2122	-0,5804	-0,9966	-0,1643	0,4162
	abandonment	0,0451	0,2123	0,2122	-0,5804	-0,9966	-0,1643	0,4162
	workover	0,1052	0,2123	0,4956	0,6288	0,2126	1,0449	0,4162
	maintenance	0,0451	0,2123	0,2122	-0,5804	-0,9966	-0,1643	0,4162
BSEE 1956-1990	production	0,0413	0,1072	0,3851	0,3315	0,1214	0,5416	0,2101
	completion	0,0270	0,1072	0,2518	-0,0759	-0,2860	0,1342	0,2101
	construction	0,0161	0,1072	0,1505	-0,4928	-0,7028	-0,2827	0,2101
	wireline	0,0224	0,1072	0,2089	-0,2233	-0,4334	-0,0132	0,2101
	cementing	0,0161	0,1072	0,1505	-0,4928	-0,7028	-0,2827	0,2101
	drilling	0,0270	0,1072	0,2518	-0,0759	-0,2860	0,1342	0,2101
	welding	0,0380	0,1072	0,3542	0,2309	0,0208	0,4410	0,2101
	workover	0,0185	0,1072	0,1726	-0,3766	-0,5867	-0,1665	0,2101
	completion	0,0185	0,1072	0,1726	-0,3766	-0,5867	-0,1665	0,2101
	maintenance	0,0185	0,1072	0,1726	-0,3766	-0,5867	-0,1665	0,2101
	production	0,0439	0,1072	0,4097	0,4236	0,2135	0,6337	0,2101
	other	0,0347	0,1072	0,3237	0,1393	-0,0707	0,3494	0,2101
IOGP 2000-2018	exploration	0,0125	0,0818	0,1530	-1,1797	-1,3401	-1,0193	0,1604
	drilling	0,0389	0,0818	0,4750	0,3172	0,1567	0,4776	0,1604
	production	0,0405	0,0818	0,4952	0,5140	0,3536	0,6744	0,1604
	construction	0,0215	0,0818	0,2630	-0,4888	-0,6492	-0,3284	0,1604
	unspecified	0,0252	0,0818	0,3085	-0,3116	-0,4720	-0,1511	0,1604

Σχήμα 32: Φύλλο υπολογισμών meta-results με χρήση της μεθόδου 1α.

SEdiff(Q)	effect(SMD)	effect I95	effect u95	Value for error bars
0,8169	0,6057	-0,2770	1,4884	0,8827
0,8169	-0,6057	-1,4884	0,2770	0,8827
0,9165	0,6057	-0,3847	1,5961	0,9904
1,1210	-0,3822	-1,5935	0,8292	1,2114
1,1210	-0,3822	-1,5935	0,8292	1,2114
0,8224	0,3822	-0,5066	1,2709	0,8887
0,8716	0,0000	-0,9419	0,9419	0,9419
1,0999	-0,5052	-1,6937	0,6834	1,1885
0,4811	0,6413	0,1214	1,1612	0,5199
0,5726	0,0736	-0,5452	0,6924	0,6188
0,7543	-0,3822	-1,1973	0,4330	0,8151
0,6376	-0,1230	-0,8120	0,5659	0,6889
1,0321	-0,7977	-1,9131	0,3176	1,1153
0,5815	0,1586	-0,4698	0,7870	0,6284
0,6443	-0,0441	-0,7403	0,6521	0,6962
0,7591	-0,3085	-1,1288	0,5118	0,8203
0,7591	-0,3085	-1,1288	0,5118	0,8203
0,5438	0,3296	-0,2581	0,9173	0,5877
0,9169	0,3822	-0,6087	1,3730	0,9908
1,1213	-0,1586	-1,3703	1,0531	1,2117
1,1213	-0,1586	-1,3703	1,0531	1,2117
1,1213	-0,1586	-1,3703	1,0531	1,2117
1,0867	-0,3822	-1,5564	0,7921	1,1743
1,0867	-0,3822	-1,5564	0,7921	1,1743
0,7730	0,7643	-0,0710	1,5996	0,8353
1,0867	-0,3822	-1,5564	0,7921	1,1743
0,4508	0,5408	0,0536	1,0279	0,4871
1,0281	-0,8169	-1,9278	0,2941	1,1110
1,0281	-0,8169	-1,9278	0,2941	1,1110
1,0281	-0,8169	-1,9278	0,2941	1,1110
0,4310	0,8394	0,3736	1,3051	0,4658
1,0281	-0,8169	-1,9278	0,2941	1,1110
0,2922	0,5949	0,2791	0,9107	0,3158
0,4277	-0,1550	-0,6172	0,3072	0,4622
1,0196	-1,2594	-2,3611	-0,1576	1,1018
0,5384	-0,4795	-1,0613	0,1022	0,5817
1,0196	-1,2594	-2,3611	-0,1576	1,1018
0,4277	-0,1550	-0,6172	0,3072	0,4622
0,3112	0,4286	0,0923	0,7649	0,3363
0,7346	-0,8721	-1,6659	-0,0783	0,7938
0,7346	-0,8721	-1,6659	-0,0783	0,7938

tudy	Variables	effect	effect I95	effect u95	Value for error bars	count
BSEE 2013-2018	production	0,5772	-0,1162	1,2706	0,6934	1
BSEE 2013-2018	drilling	-0,5772	-1,2706	0,1162	0,6934	2
						3
						4
						5
BSEE 2000	drilling	0,5445	-0,3353	1,4243	0,8798	6
BSEE 2000	diving	-0,3329	-1,2126	0,5469	0,8798	7
BSEE 2000	other	-0,3329	-1,2126	0,5469	0,8798	8
						9
						10
						11
BSEE 1999	construction	0,3336	-0,4718	1,1389	0,8053	12
BSEE 1999	other	0,0000	-0,8053	0,8053	0,8053	13
BSEE 1999	diving	-0,4455	-1,2508	0,3598	0,8053	14
						15
						16
						17
BSEE 1998	production	0,4935	0,0273	0,9598	0,4663	18
BSEE 1998	construction	0,0535	-0,4128	0,5198	0,4663	19
BSEE 1998	completion	-0,2813	-0,7475	0,1850	0,4663	20
BSEE 1998	drilling	-0,0893	-0,5556	0,3769	0,4663	21
BSEE 1998	construction	-0,6191	-1,0853	-0,1528	0,4663	22
						23
						24
						25
BSEE 1997	production	0,1156	-0,3775	0,6086	0,4930	26
BSEE 1997	other	-0,0320	-0,5250	0,4610	0,4930	27
BSEE 1997	completion	-0,2261	-0,7192	0,2669	0,4930	28
BSEE 1997	workover	-0,2261	-0,7192	0,2669	0,4930	29
BSEE 1997	drilling	0,2431	-0,2499	0,7361	0,4930	30
						31
						32
						33
BSEE 1996	drilling	0,3064	-0,5732	1,1860	0,8796	34
BSEE 1996	workover	-0,1249	-1,0045	0,7547	0,8796	35
BSEE 1996	abandonment	-0,1249	-1,0045	0,7547	0,8796	36
BSEE 1996	welding	-0,1249	-1,0045	0,7547	0,8796	37
						38
						39
						40

BSEE 1995	completion	-0,3047	-1,0524	0,4430	0,7477	41
BSEE 1995	other	-0,3047	-1,0524	0,4430	0,7477	42
BSEE 1995	production	0,6509	-0,0968	1,3986	0,7477	43
BSEE 1995	drilling	-0,3047	-1,0524	0,4430	0,7477	44
						45
						46
						47
BSEE 1991-1994	drilling	0,3830	-0,0331	0,7992	0,4162	48
BSEE 1991-1994	construction	-0,5804	-0,9966	-0,1643	0,4162	49
BSEE 1991-1994	production	-0,5804	-0,9966	-0,1643	0,4162	50
BSEE 1991-1994	abandonment	-0,5804	-0,9966	-0,1643	0,4162	51
BSEE 1991-1994	workover	0,6288	0,2126	1,0449	0,4162	52
BSEE 1991-1994	maintenance	-0,5804	-0,9966	-0,1643	0,4162	53
						54
						55
						56
BSEE 1956-1990	production	0,3315	0,1214	0,5416	0,2101	57
BSEE 1956-1990	completion	-0,0759	-0,2860	0,1342	0,2101	58
BSEE 1956-1990	construction	-0,4928	-0,7028	-0,2827	0,2101	59
BSEE 1956-1990	wireline	-0,2233	-0,4334	-0,0132	0,2101	60
BSEE 1956-1990	cementing	-0,4928	-0,7028	-0,2827	0,2101	61
BSEE 1956-1990	drilling	-0,0759	-0,2860	0,1342	0,2101	62
BSEE 1956-1990	welding	0,2309	0,0208	0,4410	0,2101	63
BSEE 1956-1990	workover	-0,3766	-0,5867	-0,1665	0,2101	64
BSEE 1956-1990	completion	-0,3766	-0,5867	-0,1665	0,2101	65
BSEE 1956-1990	maintenance	-0,3766	-0,5867	-0,1665	0,2101	66
BSEE 1956-1990	production	0,4236	0,2135	0,6337	0,2101	67
BSEE 1956-1990	other	0,1393	-0,0707	0,3494	0,2101	68
						69
						70
						71

IOGP 2000-2018	exploration	-1,1797	-1,3401	-1,0193	0,1604	72
IOGP 2000-2018	drilling	0,3172	0,1567	0,4776	0,1604	73
IOGP 2000-2018	production	0,5140	0,3536	0,6744	0,1604	74
IOGP 2000-2018	construction	-0,4888	-0,6492	-0,3284	0,1604	75
IOGP 2000-2018	unspecified	-0,3116	-0,4720	-0,1511	0,1604	76

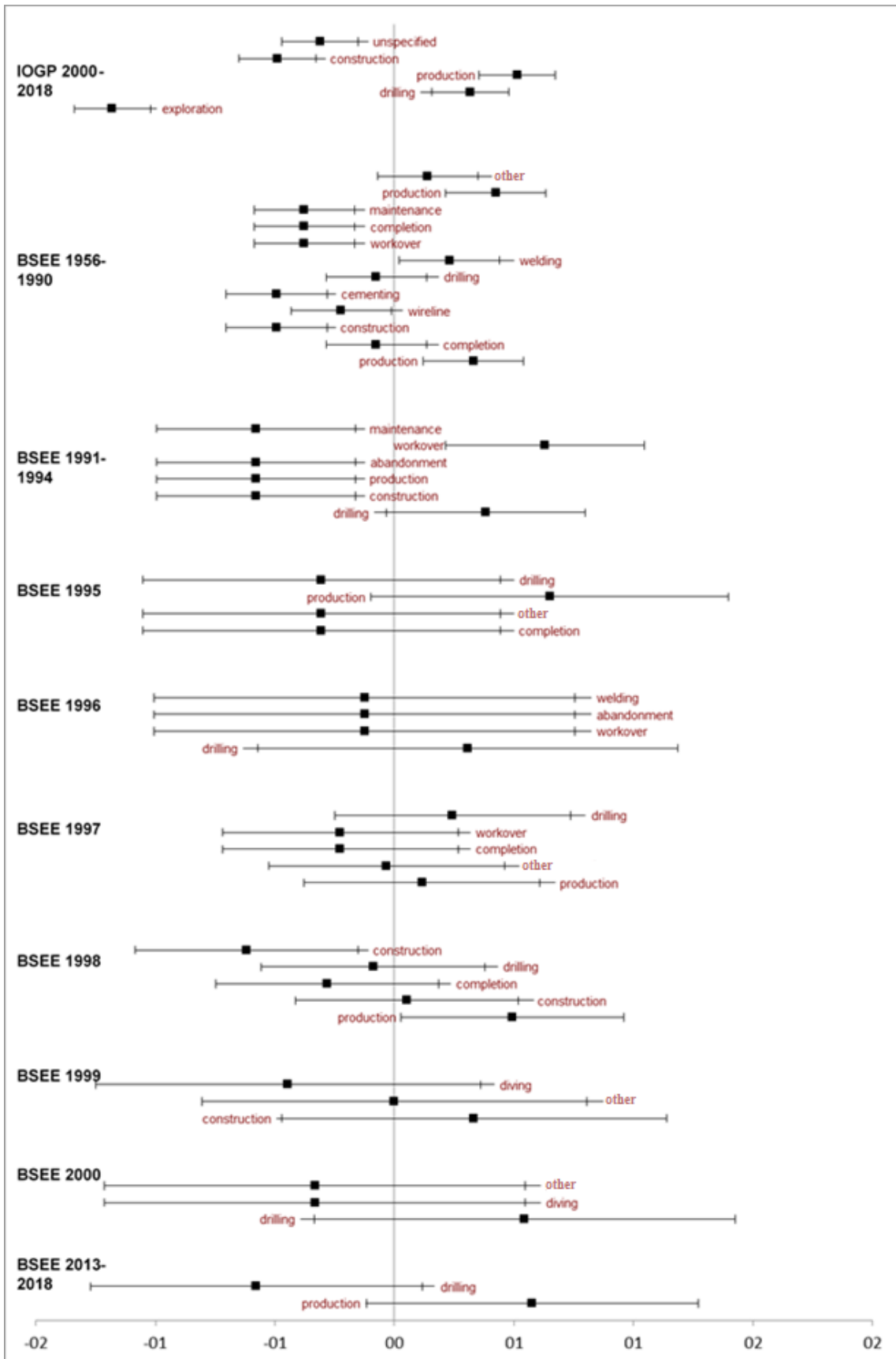
Σχήμα 33: Φύλλο υπολογισμών meta-results με χρήση μεθόδου 1b.

Ενώ το δεύτερο φύλλο αποτελεσμάτων με το effect και τα διαστήματα εμπιστοσύνης με το αντίστοιχο διάγραμμα είναι τα ακόλουθα:

Report	Variables	effect	effect 195	effect u95	Value for error bars	count
BSEE 2013-2018	production	0,5772	-0,1162	1,2706	0,6934	1
BSEE 2013-2018	drilling	-0,5772	-1,2706	0,1162	0,6934	2
						3
						4
						5
BSEE 2000	drilling	0,5445	-0,3353	1,4243	0,8798	6
BSEE 2000	diving	-0,3329	-1,2126	0,5469	0,8798	7
BSEE 2000	other	-0,3329	-1,2126	0,5469	0,8798	8
						9
						10
						11
BSEE 1999	construction	0,3336	-0,4718	1,1389	0,8053	12
BSEE 1999	other	0,0000	-0,8053	0,8053	0,8053	13
BSEE 1999	diving	-0,4455	-1,2508	0,3598	0,8053	14
						15
						16
						17
BSEE 1998	production	0,4935	0,0273	0,9598	0,4663	18
BSEE 1998	construction	0,0535	-0,4128	0,5198	0,4663	19
BSEE 1998	completion	-0,2813	-0,7475	0,1850	0,4663	20
BSEE 1998	drilling	-0,0893	-0,5556	0,3769	0,4663	21
BSEE 1998	construction	-0,6191	-1,0853	-0,1528	0,4663	22
						23
						24
						25
BSEE 1997	production	0,1156	-0,3775	0,6086	0,4930	26
BSEE 1997	other	-0,0320	-0,5250	0,4610	0,4930	27
BSEE 1997	completion	-0,2261	-0,7192	0,2669	0,4930	28
BSEE 1997	workover	-0,2261	-0,7192	0,2669	0,4930	29
BSEE 1997	drilling	0,2431	-0,2499	0,7361	0,4930	30

						31
						32
						33
BSEE 1996	drilling	0,3064	-0,5732	1,1860	0,8796	34
BSEE 1996	workover	-0,1249	-1,0045	0,7547	0,8796	35
BSEE 1996	abandonment	-0,1249	-1,0045	0,7547	0,8796	36
BSEE 1996	welding	-0,1249	-1,0045	0,7547	0,8796	37
						38
						39
						40
BSEE 1995	completion	-0,3047	-1,0524	0,4430	0,7477	41
BSEE 1995	other	-0,3047	-1,0524	0,4430	0,7477	42
BSEE 1995	production	0,6509	-0,0968	1,3986	0,7477	43
BSEE 1995	drilling	-0,3047	-1,0524	0,4430	0,7477	44
						45
						46
						47
BSEE 1991-1994	drilling	0,3830	-0,0331	0,7992	0,4162	48
BSEE 1991-1994	construction	-0,5804	-0,9966	-0,1643	0,4162	49
BSEE 1991-1994	production	-0,5804	-0,9966	-0,1643	0,4162	50
BSEE 1991-1994	abandonment	-0,5804	-0,9966	-0,1643	0,4162	51
BSEE 1991-1994	workover	0,6288	0,2126	1,0449	0,4162	52
BSEE 1991-1994	maintenance	-0,5804	-0,9966	-0,1643	0,4162	53
						54
						55
						56
BSEE 1956-1990	production	0,3315	0,1214	0,5416	0,2101	57
BSEE 1956-1990	completion	-0,0759	-0,2860	0,1342	0,2101	58
BSEE 1956-1990	construction	-0,4928	-0,7028	-0,2827	0,2101	59
BSEE 1956-1990	wireline	-0,2233	-0,4334	-0,0132	0,2101	60
BSEE 1956-1990	cementing	-0,4928	-0,7028	-0,2827	0,2101	61
BSEE 1956-1990	drilling	-0,0759	-0,2860	0,1342	0,2101	62
BSEE 1956-1990	welding	0,2309	0,0208	0,4410	0,2101	63
BSEE 1956-1990	workover	-0,3766	-0,5867	-0,1665	0,2101	64
BSEE 1956-1990	completion	-0,3766	-0,5867	-0,1665	0,2101	65
BSEE 1956-1990	maintenance	-0,3766	-0,5867	-0,1665	0,2101	66
BSEE 1956-1990	production	0,4236	0,2135	0,6337	0,2101	67
BSEE 1956-1990	other	0,1393	-0,0707	0,3494	0,2101	68
						69
						70
						71
IOGP 2000-2018	exploration	-1,1797	-1,3401	-1,0193	0,1604	72
IOGP 2000-2018	drilling	0,3172	0,1567	0,4776	0,1604	73
IOGP 2000-2018	production	0,5140	0,3536	0,6744	0,1604	74
IOGP 2000-2018	construction	-0,4888	-0,6492	-0,3284	0,1604	75
IOGP 2000-2018	unspecified	-0,3116	-0,4720	-0,1511	0,1604	76

Σχήμα 34: Φύλλο υπολογισμών *meta x results*.



Σχήμα 35: Διάγραμμα effect και διαστημάτων εμπιστοσύνης σχετικά με την φάση λειτουργίας και το πλήθος θανάτων. Θετικές τιμές υποδηλώνουν ύπαρξη συσχετισμού μεταξύ της φάσης λειτουργίας και θανάτων. Ενώ αρνητικές έλλειψη αυτής. Το διάστημα των τιμών υποδηλώνει το εύρος στο οποίο κυμαίνεται το 95% των τιμών και σε περίπτωση που έχει αποκλειστικά θετικές η αρνητικές τιμές υποδεικνύει πως το αποτέλεσμα είναι στατιστικά σημαντικό ενώ αν περιλαμβάνει το μηδέν η στατιστική αξιοπιστία του αποτελέσματος θεωρείται μικρότερη.

Στο ανωτέρω διάγραμμα παρατηρείται πως οι κατηγορίες production, construction, Από το διάγραμμα παρατηρείται πως οι διαδικασίες production, drilling παρουσιάζουν στις περισσότερες μελέτες θετικές τιμές, ενώ οι κατηγορίες, maintenance, compliance και other παρουσιάζουν μόνο αρνητικές τιμές. Επομένως εκ πρώτης άποψης, οι πρώτες κατηγορίες διεργασιών παρουσιάζουν μία σχετικά αυξημένη τάση προς θανατηφόρα περιστατικά. Λαμβάνοντας υπόψιν ωστόσο τα διαστήματα εμπιστοσύνης, παρατηρείται πως στατιστικώς σημαντική τάση για θανατηφόρα (δηλαδή διάστημα εμπιστοσύνης που δεν περιλαμβάνει το μηδέν) παρουσιάζουν οι εξής περιπτώσεις: Production και Drilling (IOGP), production και welding (BSEE 1956-1990), workover (BSEE 1991-1994), production (1998) Αντίθετα η κατηγορία construction παρουσιάζει αμιγώς αρνητική τιμή στην μελέτη BSEE 1998.

Το Forest Plot με το αντίστοιχο φύλλο εργασίας έχει την ακόλουθη μορφή:

Report	Effect	lower 95%CI	upper 95%CI	error bars	count
BSEE 2013-2018	0,0000	-0,6934	0,6934	0,6934	1
BSEE 2000	-0,3329	-1,2126	0,5469	0,8798	2
BSEE 1999	0,0000	-0,8053	0,8053	0,8053	3
BSEE 1998	-0,0893	-0,5556	0,3769	0,4663	4
BSEE 1997	-0,0320	-0,5250	0,4610	0,4930	5
BSEE 1996	-0,1249	-1,0045	0,7547	0,8796	6
BSEE 1995	-0,3047	-1,0524	0,4430	0,7477	7
BSEE 1991-1994	-0,5804	-0,9966	-0,1643	0,4162	8
BSEE 1956-1990	-0,1496	-0,3597	0,0605	0,2101	9
IOGP 2000-2018	-0,3116	-0,4720	-0,1511	0,1604	10

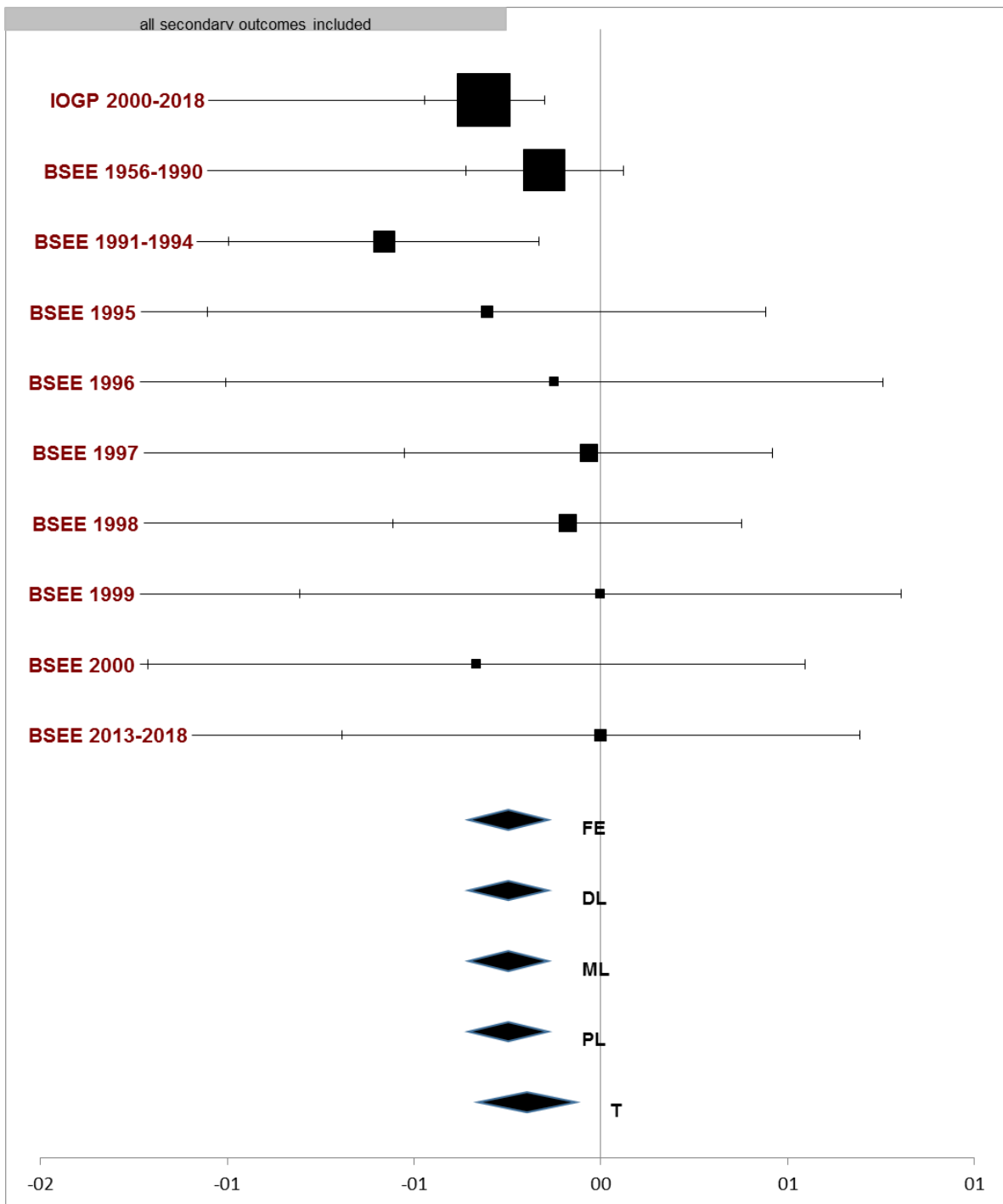
	mean eff	var eff	195%CI	u95%CI	
FE model	- 0,2444	0,0031	-0,3535	-0,1353	
DL model	- 0,2444	0,0031	-0,3535	-0,1353	
Q model	- 0,2444	0,0031	-0,3535	-0,1353	
ML model	- 0,2444	0,0031	-0,3535	-0,1353	
PL model	- 0,2444	0,0031	-0,3590	-0,0992	
T-test	- 0,1925	0,0035	-0,3261	-0,0590	
PE method	- 0,2444	NA	-3,6933	-0,0066	
Heterogeneity measures					
	value	df	p-value		
Cochrane Q	6,06	9	0,7336		
tau ² estimate (DL)	0,0000				
tau ² estimate (ML)	0,0000				
tau ² estimate (PL)	0,0000				
I ²	%0,00				
H ² _M	0,0000				

Σχήμα 36: Φύλλο υπολογισμών meta-summary

Στο ακόλουθο forest plot παρατηρείται πως οι μελέτες IOGP 2000-2018 και BSEE 1956-1990 παρουσιάζουν την μεγαλύτερη εγκυρότητα και αξιοπιστία, πράγμα αναμενόμενο καθώς περιέχουν πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων από μεγάλες χρονικές περιόδους αντίστοιχα.

4.6. Συσχετισμός μεταξύ τύπου κατασκευής και περιστατικών πυρκαγιών

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι φωτιές και πυρκαγιές αποτελούν ίσως τον σημαντικότερο κίνδυνο τον οποίο αντιμετωπίζουν οι υπεράκτιες κατασκευές εξόρυξης. Όπως αναφέρθηκε, η εύφλεκτη φύση των υδρογοναναθράκων σε συνδυασμό με βιομηχανικές διεργασίες υπό περιορισμένο χώρο δημιουργεί ιδιαίτερα αυξημένες πιθανότητες για ξέσπασμα φωτιάς.



Σχήμα 37: Διάγραμμα forest plot σχετικά με τις φάσεις λειτουργίας και το πλήθος θανάτων. Το μέγεθος του τετραγώνου υποδηλώνει την βαρύτητα η οποία δίνεται στην εκάστοτε έρευνα από το λογισμικό ενώ η οριζόντια θέση τους την επίδραση των εξεταζομένων παραμέτρων σε σχέση με το πλήθος θανάτων. Ο ρόμβος FE υποδηλώνει τον μέσο όρο των τιμών όλων των επιμέρους μελετών και ο οριζόντιος άξονάς του αντιστοιχεί στο 95% διάστημα εμπιστοσύνης του μέσου όρου των επιμέρους μελετών.

Για τον λόγο αυτόν αποτελεί και έναν από τα συνηθέστερα ατυχήματα καθώς και ένα από τα σοβαρότερα καθώς οι συνέπειες και τα συνεπακόλουθα μπορεί να είναι πολύ σοβαρά. Συγκεκριμένα, οι πυρκαγιές μαζί με τις συγκρούσεις βρίσκονται στην πρώτη θέση ατυχημάτων σε σχέση με την σοβαρότητα των ζημιών που προκαλούν (Accidents of marine structures on Norwegian continental shelf over 40 years time period, Michaela Ibriona, Paltrinieria, Nejadb) Επομένως η συνδυασμένη συχνότητα και σοβαρότητα του κινδύνου φωτιάς καθιστά απαραίτητη την λήψη αυστηρών μέτρων ασφαλείας και συνεχούς μελέτης για περαιτέρω βελτίωση της ασφάλειας έναντι τέτοιων φαινομένων

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει προσπάθεια να αναλυθεί ο συσχετισμός μεταξύ του είδους της κατασκευής και των περιστατικών πυρκαγιών ούτως ώστε να διαπιστωθεί εάν κάποιοι τύποι κατασκευών παρουσιάζουν αυξημένες πιθανότητες σε σχέση με άλλους και κατόπιν θα γίνει προσπάθεια να ερμηνευθεί το αποτέλεσμα.

Σε αυτό το σημείο να σημειωθεί πως ενώ βρέθηκαν στην βιβλιογραφία αρκετές πηγές με περιστατικά φωτιάς καθώς και με διαφορετικά είδη πλατφορμών, πολύ λίγες παρείχαν συνδυαστικές πληροφορίες ενώ καμία δεν παρείχε όλες τις απαραίτητες πληροφορίες δηλαδή τα περιστατικά φωτιάς ανά τύπο κατασκευής αλλά και την απαραίτητη παράμετρο Ca, που εν προκειμένω αντιστοιχεί στο πλήθος κατασκευών του κάθε είδους που συμπεριέλαβε στην ανάλυσή της κάθε μελέτη. Για τον λόγο αυτόν για την παράμετρο Ca χρησιμοποιήθηκαν και συνδυάστηκαν δεδομένα από την πηγή δεδομένων του οργανισμού WOAD

Με τα παραπάνω δεδομένα, η πρώτη σελίδα του προγράμματος που αντιστοιχεί στην εισαγωγή δεδομένων, έχει την ακόλουθη μορφή:

Report	Variables	NIa	Nca	Ia	Ca	df
BSEE 2018	Fixed	57	1320	41	627	1375
	Drillship	57	1320	7	31	1375
	Jackup	57	1320	1	260	1375
	TLP	57	1320	4	12	1375
	Semi	57	1320	4	390	1375
BSEE 2017	Fixed	54	1352	37	627	1404
	Semi	54	1352	5	390	1404
	Drillship	54	1352	6	69	1404
	Tension	54	1352	3	6	1404
	Jackup	54	1352	3	260	1404
BSEE 2016	Fixed	228	1314	188	627	1540
	Semi	228	1314	12	390	1540
	Tension	228	1314	14	6	1540
	Drillship	228	1314	9	31	1540
	Jackup	228	1314	5	260	1540
BSEE 2015	Fixed	92	1054	58	627	1144
	Semi	92	1054	7	390	1144
	Tension	92	1054	12	6	1144
	Drillship	92	1054	15	31	1144
BSEE 2014	Fixed	95	1314	79	627	1407

	Semi	95	1314	5	390	1407
	Tension	95	1314	8	6	1407
	Drillship	95	1314	1	31	1407
	Jackup	95	1314	2	260	1407
BSEE 2013	Fixed	107	1314	80	627	1419
	Semi	107	1314	14	390	1419
	Tension	107	1314	3	6	1419
	Drillship	107	1314	6	31	1419
	Jackup	107	1314	4	260	1419
OigUK 1990-2007	Fixed	2068	10722	1578	7890	12788
	Floating	2068	10722	490	2832	12788

Σχήμα 38: Input μετα ανάλυσης σχετικά με το είδος της κατασκευής και τα περιστατικά πυρκαγιάς. Στην πρώτη στήλη εισάγεται το όνομα της μελέτης/ έκθεσης ενώ στην δεύτερη τα είδη των κατασκευών που περιλαμβάνονται σε κάθε μελέτη. Στην στήλη Ia εισαγεται το πλήθος των περιστατικών πυρκαγιάς ενώ στην στήλη Ca το πλήθος των κατασκευών της εκάστοτε κατηγορίας. Οι στήλες NIa και NCa αντιστοιχούν στο άθροισμα των στηλών Ia και Ca αντίστοιχα.

Ενώ το πρώτο φύλλο υπολογισμών (μέθοδος 1a) ήταν το ακόλουθο:

Study	Variables	SEdiff	SEeffect	SD	effect	effect I95	effect u95	Value for error bars
BSEE 2018	Fixed	0,0611	0,1353	0,4515	0,5411	0,2759	0,8062	0,2652
	Drillship	0,0437	0,1353	0,3228	0,3077	0,0425	0,5728	0,2652
	Jackup	0,0205	0,1353	0,1519	-1,1813	-1,4465	-0,9161	0,2652
	TLP	0,0339	0,1353	0,2508	0,2435	-0,0216	0,5087	0,2652
	Semi	0,0361	0,1353	0,2668	-0,8445	-1,1096	-0,5793	0,2652
BSEE 2017	Fixed	0,0646	0,1388	0,4658	0,4754	0,2034	0,7474	0,2720
	Semi	0,0413	0,1388	0,2978	-0,6578	-0,9298	-0,3858	0,2720
	Drillship	0,0432	0,1388	0,3112	0,1931	-0,0789	0,4651	0,2720
	Tension	0,0312	0,1388	0,2250	0,2272	-0,0448	0,4992	0,2720
	Jackup	0,0330	0,1388	0,2375	-0,5757	-0,8477	-0,3037	0,2720
BSEE 2016	Fixed	0,0287	0,0717	0,4002	0,8681	0,7274	1,0087	0,1406
	Semi	0,0194	0,0717	0,2708	-0,9016	-1,0422	-0,7610	0,1406
	Tension	0,0160	0,0717	0,2231	0,2547	0,1141	0,3954	0,1406
	Drillship	0,0136	0,0717	0,1890	0,0840	-0,0566	0,2247	0,1406
	Jackup	0,0147	0,0717	0,2043	-0,8611	-1,0017	-0,7205	0,1406

BSEE 2015	Fixed	0,0525	0,1087	0,4834	0,0736	-0,1395	0,2866	0,2131
	Semi	0,0314	0,1087	0,2887	-1,0180	-1,2311	-0,8049	0,2131
	Tension	0,0352	0,1087	0,3237	0,3854	0,1723	0,5985	0,2131
	Drillship	0,0389	0,1087	0,3575	0,3738	0,1607	0,5869	0,2131
BSEE 2014	Fixed	0,0408	0,1062	0,3840	0,9230	0,7148	1,1312	0,2082
	Semi	0,0261	0,1062	0,2461	-0,9921	-1,2003	-0,7839	0,2082
	Tension	0,0286	0,1062	0,2687	0,2964	0,0881	0,5046	0,2082
	Drillship	0,0113	0,1062	0,1061	-0,1231	-0,3313	0,0851	0,2082
	Jackup	0,0184	0,1062	0,1730	-1,0222	-1,2304	-0,8140	0,2082
BSEE 2013	Fixed	0,0442	0,1005	0,4396	0,6153	0,4183	0,8124	0,1970
	Semi	0,0350	0,1005	0,3477	-0,4774	-0,6744	-0,2803	0,1970
	Tension	0,0161	0,1005	0,1598	0,1469	-0,0502	0,3439	0,1970
	Drillship	0,0226	0,1005	0,2251	0,1443	-0,0528	0,3413	0,1970
	Jackup	0,0214	0,1005	0,2127	-0,7546	-0,9517	-0,5576	0,1970
OigUK 1990-2007	Fixed	0,0103	0,0240	0,4278	0,0636	0,0165	0,1106	0,0471
	Floating	0,0103	0,0240	0,4278	-0,0636	-0,1106	-0,0165	0,0471

Σχήμα 39: Αποτελέσματα μεθόδου 1a

Αντίστοιχα το φύλλο υπολογισμών με την μέθοδο 1b είχε την ακόλουθη μορφή:

Method 1b (based on OR) - Dichotomous Data - $Q=\ln(OR)$				
SEdiff(Q)	effect(SMD)	effect I95	effect u95	Value for error bars
0,2999	0,5740	0,2499	0,8980	0,3241
0,4426	0,9712	0,4929	1,4494	0,4783
1,0113	-1,4445	-2,5373	-0,3517	1,0928
0,5941	1,1618	0,5198	1,8038	0,6420
0,5220	-0,9455	-1,5096	-0,3814	0,5641
0,2980	0,5088	0,1868	0,8309	0,3221
0,4733	-0,7606	-1,2720	-0,2491	0,5114
0,4503	0,4650	-0,0216	0,9516	0,4866

0,7214	1,4224	0,6429	2,2019	0,7795
0,5981	-0,7708	-1,4171	-0,1245	0,6463
0,1827	0,9036	0,7062	1,1010	0,1974
0,3027	-1,1180	-1,4451	-0,7909	0,3271
0,4935	1,4652	0,9319	1,9985	0,5333
0,3856	0,2928	-0,1239	0,7095	0,4167
0,4575	-1,3221	-1,8165	-0,8278	0,4943
0,2249	0,0827	-0,1604	0,3257	0,2431
0,3984	-1,0831	-1,5136	-0,6527	0,4305
0,5133	1,8005	1,2459	2,3552	0,5547
0,3360	1,0259	0,6628	1,3890	0,3631
0,2797	0,9308	0,6286	1,2330	0,3022
0,4634	-1,1180	-1,6188	-0,6172	0,5008
0,5513	1,6529	1,0572	2,2486	0,5957
1,0216	-0,4523	-1,5562	0,6517	1,1040
0,7180	-1,3451	-2,1210	-0,5692	0,7759
0,2293	0,6492	0,4014	0,8970	0,2478
0,2930	-0,5684	-0,8850	-0,2518	0,3166
0,7144	1,0137	0,2417	1,7857	0,7720
0,4578	0,4960	0,0013	0,9907	0,4947
0,5143	-1,0193	-1,5750	-0,4635	0,5558
0,0562	0,0799	0,0192	0,1406	0,0607
0,0562	-0,0799	-0,1406	-0,0192	0,0607

Σχήμα 40: Αποτελέσματα μεθόδου 1b

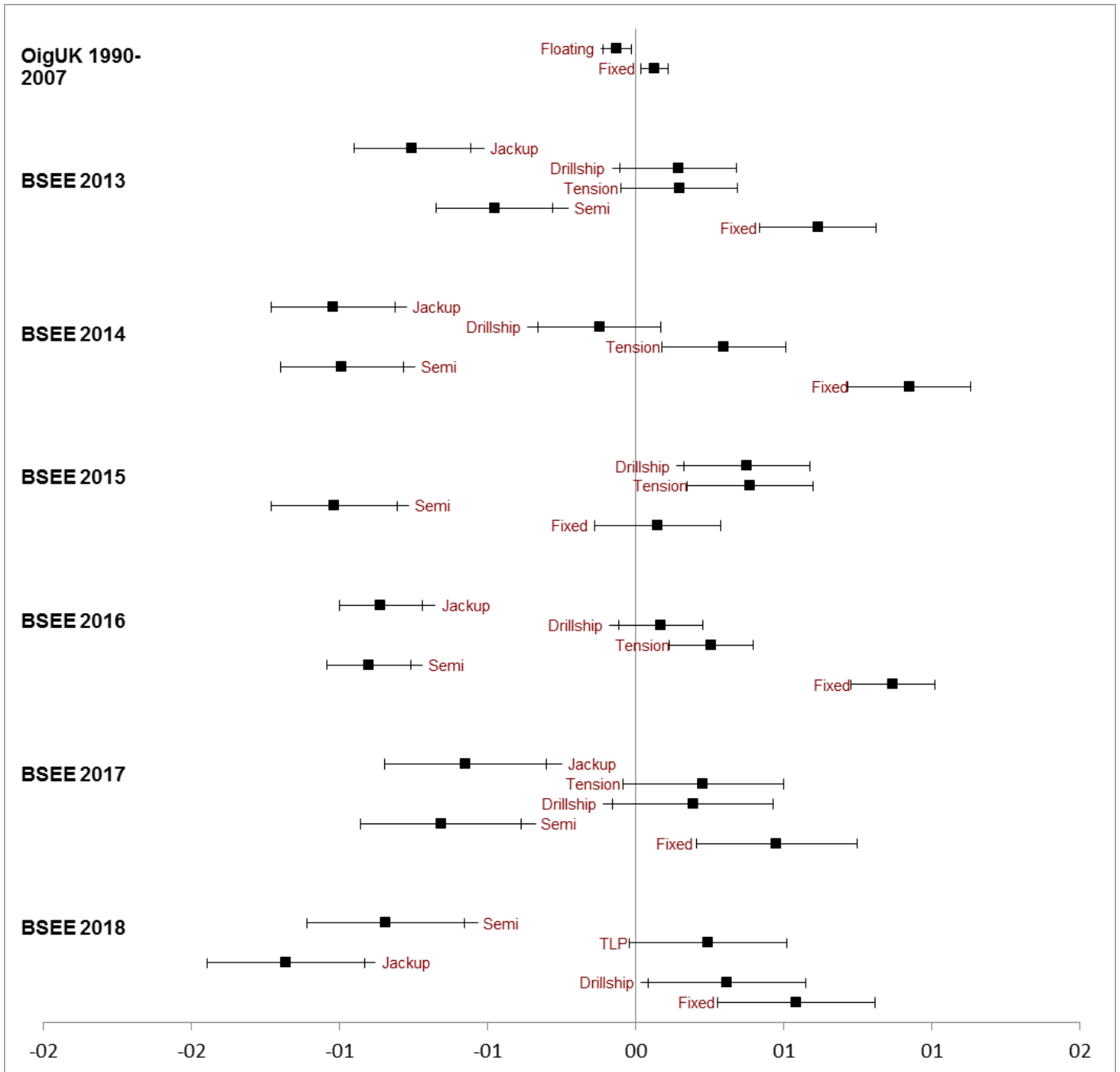
Τα αντίστοιχα effects και το διάγραμμα διαστημάτων εμπιστοσύνης:

Study	Variables	effect	effect 195	effect u95	Value for error bars	count
BSEE 2018	Fixed	0,5411	0,2759	0,8062	0,2652	1
BSEE 2018	Drillship	0,3077	0,0425	0,5728	0,2652	2
BSEE 2018	Jackup	-1,1813	-1,4465	-0,9161	0,2652	3
BSEE 2018	TLP	0,2435	-0,0216	0,5087	0,2652	4
BSEE 2018	Semi	-0,8445	-1,1096	-0,5793	0,2652	5
						6
						7

						8
BSEE 2017	Fixed	0,4754	0,2034	0,7474	0,2720	9
BSEE 2017	Semi	-0,6578	-0,9298	-0,3858	0,2720	10
BSEE 2017	Drillship	0,1931	-0,0789	0,4651	0,2720	11
BSEE 2017	Tension	0,2272	-0,0448	0,4992	0,2720	12
BSEE 2017	Jackup	-0,5757	-0,8477	-0,3037	0,2720	13
						14
						15
						16
BSEE 2016	Fixed	0,8681	0,7274	1,0087	0,1406	17
BSEE 2016	Semi	-0,9016	-1,0422	-0,7610	0,1406	18
BSEE 2016	Tension	0,2547	0,1141	0,3954	0,1406	19
BSEE 2016	Drillship	0,0840	-0,0566	0,2247	0,1406	20
BSEE 2016	Jackup	-0,8611	-1,0017	-0,7205	0,1406	21
						22
						23
						24
BSEE 2015	Fixed	0,0736	-0,1395	0,2866	0,2131	25
BSEE 2015	Semi	-1,0180	-1,2311	-0,8049	0,2131	26
BSEE 2015	Tension	0,3854	0,1723	0,5985	0,2131	27
BSEE 2015	Drillship	0,3738	0,1607	0,5869	0,2131	28
						29
						30
						31
BSEE 2014	Fixed	0,9230	0,7148	1,1312	0,2082	32
BSEE 2014	Semi	-0,9921	-1,2003	-0,7839	0,2082	33
BSEE 2014	Tension	0,2964	0,0881	0,5046	0,2082	34
BSEE 2014	Drillship	-0,1231	-0,3313	0,0851	0,2082	35
BSEE 2014	Jackup	-1,0222	-1,2304	-0,8140	0,2082	36
						37
						38
						39
BSEE 2013	Fixed	0,6153	0,4183	0,8124	0,1970	40
BSEE 2013	Semi	-0,4774	-0,6744	-0,2803	0,1970	41
BSEE 2013	Tension	0,1469	-0,0502	0,3439	0,1970	42
BSEE 2013	Drillship	0,1443	-0,0528	0,3413	0,1970	43
BSEE 2013	Jackup	-0,7546	-0,9517	-0,5576	0,1970	44
						45
						46
						47

OigUK 1990-2007	Fixed	0,0636	0,0165	0,1106	0,0471	48
OigUK 1990-2007	Floating	-0,0636	-0,1106	-0,0165	0,0471	49

Σχήμα 41: Αποτελέσματα effect



Σχήμα 42: Διάγραμμα effect και αντίστοιχων διαστημάτων εμπιστοσύνης. Θετικές τιμές effect υποδηλώνουν θετική επίδραση του τύπου κατασκευής στην εμφάνιση περιστατικών πυρκαγιάς ενώ αρνητικές τιμές το αντίστροφο. Διαστήματα εμπιστοσύνης που δεν περιλαμβάνουν το μηδέν υποδηλώνουν στατιστική αξιοπιστία του αποτελέσματος ενώ διαστήματα εμπιστοσύνης που περιέχουν το μηδέν υποδηλώνουν πως το αποτέλεσμα δεν

θεωρείται στατιστικά σημαντικό.

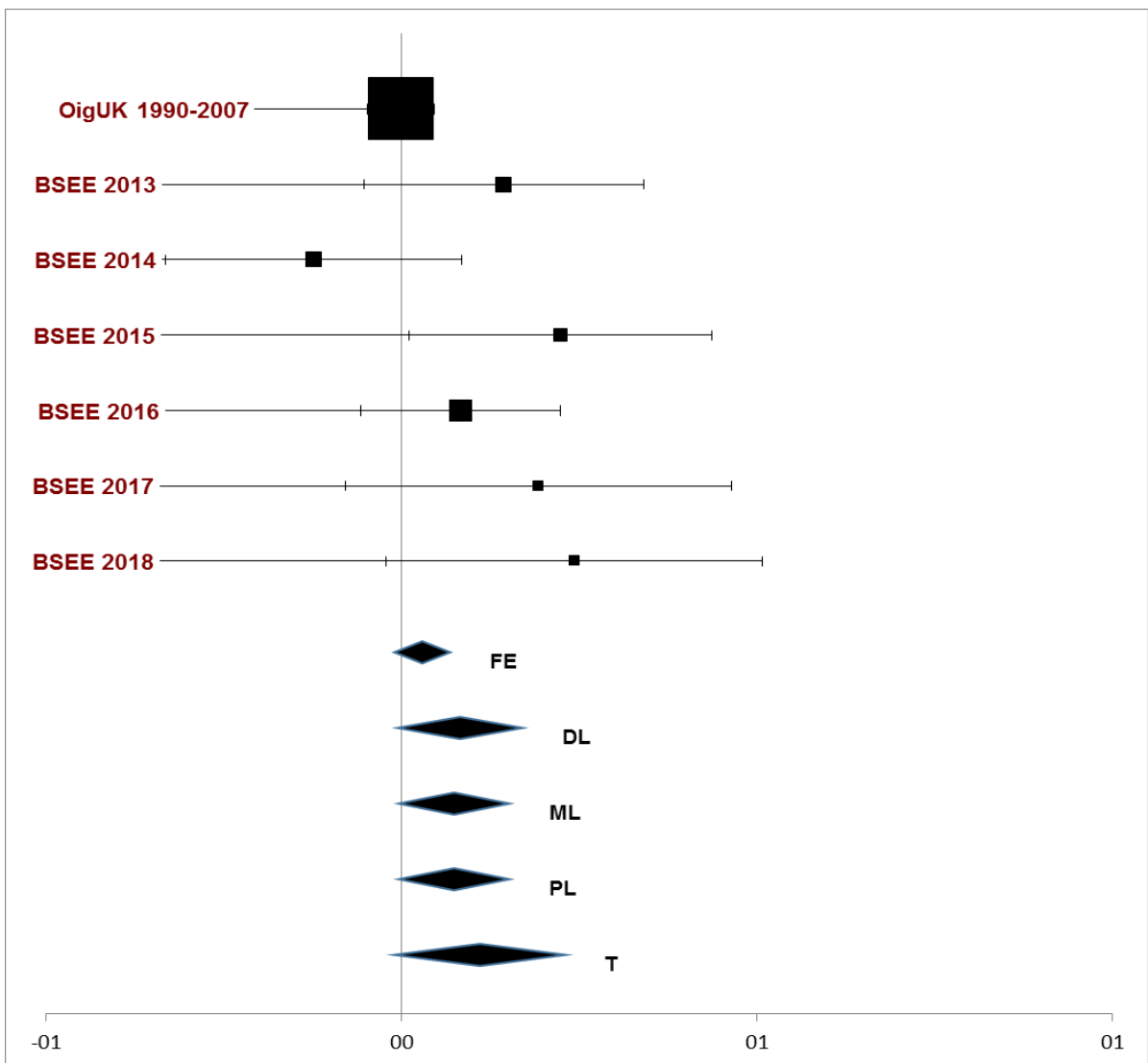
Με μία πρώτη ματιά παρατηρείται πως οι τύποι fixed, tension και drillship παρουσιάζουν κυρίως θετικές τιμές effect ενώ αντίθετα οι τύποι semi και jackup παρουσιάζουν μόνο αρνητικές. Επιπλέον οι τύποι fixed εμφανίζουν τις υψηλότερες θετικές τιμές και μάλιστα με αμιγώς θετικά διαστήματα εμπιστοσύνης στις περισσότερες μελέτες, πράγμα που υποδηλώνει στατιστικώς σημαντική τάση των fixed κατασκευών προς περιστατικά πυρκαγιάς. Σημαντική τάση, με ελαφρώς μικρότερες τιμές παρουσιάζουν και οι πλατφόρμες τύπου tension και drillship καθώς σε ορισμένες μελέτες παρουσιάζουν αμιγώς θετικά διαστήματα εμπιστοσύνης ενώ σε άλλες περιλαμβάνουν το μηδέν. Αντίθετα οι πλατφόρμες τύπου Jackup και Semi εμφανίζουν σημαντική στατιστική τάση προς έλλειψη ατυχημάτων πυρκαγιών αφού οι τιμές του είναι αρνητικές σε όλες τις μελέτες και μάλιστα με αμιγώς αρνητικά διαστήματα εμπιστοσύνης.

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται οι υπολογισμοί του 3^{ου} φύλλου εργασίας του meta easy, με το αντίστοιχο forest plot

Study	Effect	lower 95%CI	upper 95%CI	error bars	count
BSEE 2018	0,2435	-0,0216	0,5087	0,2652	1
BSEE 2017	0,1931	-0,0789	0,4651	0,2720	2
BSEE 2016	0,0840	-0,0566	0,2247	0,1406	3
BSEE 2015	0,2237	0,0106	0,4368	0,2131	4
BSEE 2014	-0,1231	-0,3313	0,0851	0,2082	5
BSEE 2013	0,1443	-0,0528	0,3413	0,1970	6
OigUK 1990-2007	0,0000	-0,0471	0,0471	0,0471	7
	mean eff	var eff	l95%CI	u95%CI	
FE model	0,0269	0,0004	-0,0140	0,0677	
DL model	0,0811	0,0021	-0,0093	0,1716	
Q model	0,0269	0,0004	-0,0140	0,0677	
ML model	0,0731	0,0016	-0,0064	0,1526	
PL model	0,0731	0,0016	-0,0083	0,1905	
T-test	0,1094	0,0025	-0,0135	0,2322	
PE method	0,0811	NA	-0,0006	0,1528	
Heterogeneity measures					
	value	df	p-value		

Cochrane Q	12,52	6	0,0513		
tau ² estimate (DL)	0,0067				
tau ² estimate (ML)	0,0041				
tau ² estimate (PL)	0,0041				
I ²	%52,08				
H ² _M	1,0866				

Σχήμα 43: Υπολογιστικό φύλλο meta-summary του λογισμικού meta-easy



Σχήμα 44: Διάγραμμα forest plot της ανάλυσης ανάμεσα στον τύπο κατασκευής και στα περιστατικά πυρκαγιάς. Το μέγεθος το τετραγώνου αντιστοιχεί στην βαρύτητα που δίδεται στην εκάστοτε μελέτη από το λογισμικό meta easy ενώ η οριζόντια θέση υποδηλώνει την

ύπαρξη η μη συσχετισμού μεταξύ ατυχημάτων και των υπό εξέταση παραμέτρων της μελέτης. Σύμφωνα με την αναφορά Oiguk που λαμβάνει την μεγαλύτερη βαρύτητα δεν φαίνεται να υπάρχει συσχετισμός ενώ από τις υπόλοιπες μελέτες, πέντε εκ των έξι δείχνουν ύπαρξη σχέσης. Ο ρόμβος στο κάτω μέρος του διαγράμματος αντιστοιχεί στην μέση τιμή των επιμέρους μελετών ενώ ο οριζόντιος άξονας του αντιστοιχεί στο 95% διάστημα εμπιστοσύνης των συνυπολογισθέντων μελετών.

Στο ανωτέρω διάγραμμα παρατηρείται πως το software θεώρησε περισσότερο έγκυρη την μελέτη OigUK 1990-2017, γεγονός αναμενόμενο καθώς πράγματι η μελέτη περιείχε σημαντικά μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων από τις υπόλοιπες.

5. Συμπεράσματα - Παρατηρήσεις

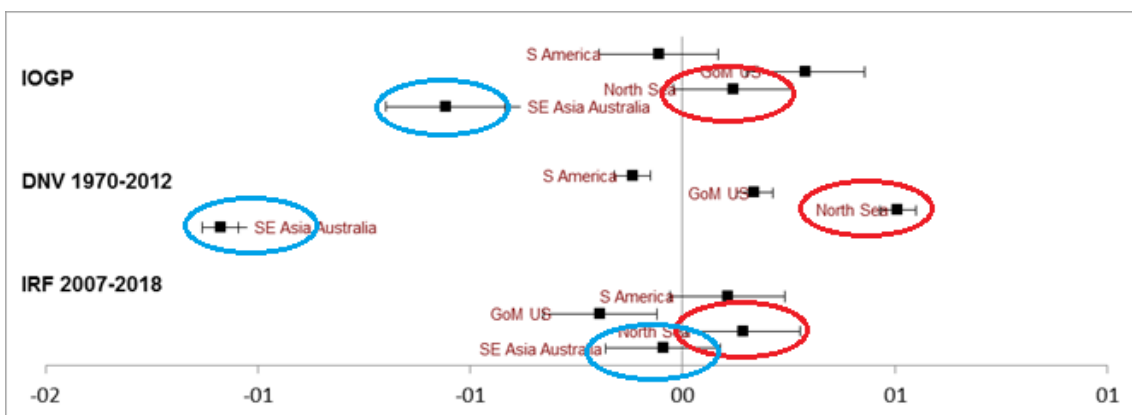
Αξίζει να σημειωθεί αρχικά πως στο αντικείμενο της μελέτης, ο όγκος, το είδος και η ομοιομορφία των πληροφοριών είναι αρκετά περιορισμένη σε σχέση με άλλα επιστημονικά πεδία. Το γεγονός αυτό περιορίσει σημαντικά το πεδίο πιθανών συσχετισμών προς διερεύνηση καθώς τα στοιχεία ήταν ελλιπή. Επίσης, ελάχιστες μελέτες διέθεταν όλες τις απαραίτητες παραμέτρους για διεξαγωγή μίας έγκυρης μετα ανάλυσης και όπου αυτό δεν ήταν εφικτό χρησιμοποιήθηκαν συμπληρωματικά δεδομένα από άλλες μελέτες και αναφορές, πράγμα το οποίο ενδεχομένως να προκαλεί μικρή παρέκκλιση των αποτελεσμάτων από τις τιμές που θα λαμβάνονταν αν οι μελέτες ήταν πλήρεις δεδομένων. Ιδιαίτερα δύσκολη ήταν η εξαγωγή της απαραίτητης παραμέτρου Ca που αντιστοιχεί στον πληθυσμό ελέγχου, καθώς ελάχιστες μελέτες περιείχαν αυτήν την πληροφορία.

Κατά δεύτερον να σημειωθεί πως αν και αξιολογήθηκε το σύνολο των διαθέσιμων freeware μελετών και δεδομένων, υπάρχει ένα μεγάλο μέρος δεδομένων το οποίο ήταν μη διαθέσιμο, όπως πχ δεδομένα για Ασιατικές και Αφρικανικές χώρες που είναι εξαιρετικά περιορισμένα σε σχέση με τα αντίστοιχα που αφορούν την Ευρώπη και την Αμερική. Επιπλέον μεγάλο μέρος δεδομένων δεν ήταν διαθέσιμο για ακαδημαϊκή χρήση καθώς οι αρμόδιες εταιρίες αρνούνται την παροχή τους για λόγους επαγγελματικού απορρήτου.

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές, από το σύνολο των δεδομένων που αξιοποιήθηκε στις μετα-αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, προκύπτουν συγκεντρωτικά τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Σχετικά με τον συσχετισμό μεταξύ περιοχής και πλήθους ατυχημάτων, σύμφωνα με τα αποτελέσματα, φαίνεται πως η Βόρειος Θάλασσα αποτελεί την περιοχή με την μεγαλύτερη τάση προς σοβαρά ατυχήματα. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι τιμές του effect που αφορούν την Βόρειο Θάλασσα είναι όλες θετικές με διαστήματα εμπιστοσύνης που είναι επίσης αμιγώς θετικά. Παρουσιάζει επομένως σημαντική στατιστικά τάση για ατυχήματα. Αντίθετα οι εγκαταστάσεις στην νοτιοανατολική Ασία και Ωκεανία παρουσιάζουν την μικρότερη τάση προς σοβαρά ατυχήματα καθώς όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, το αντίστοιχο effect έχει αρνητικές τιμές με αμιγώς αρνητικά διαστήματα εμπιστοσύνης. Ο κόλπος του Μεξικό και η Βόρειος Αμερική βρίσκονται σε μία ενδιάμεση κατάσταση έχοντας τόσο θετικά όσο και αρνητικά effects, με την Νότιο Αμερική να βρίσκεται σε ελαφρώς καλύτερη θέση καθώς παρουσιάζει θετικό effect σε μία εκ των τριών μελετών, ενώ ο κόλπος του Μεξικό σε δύο εκ των τριών.

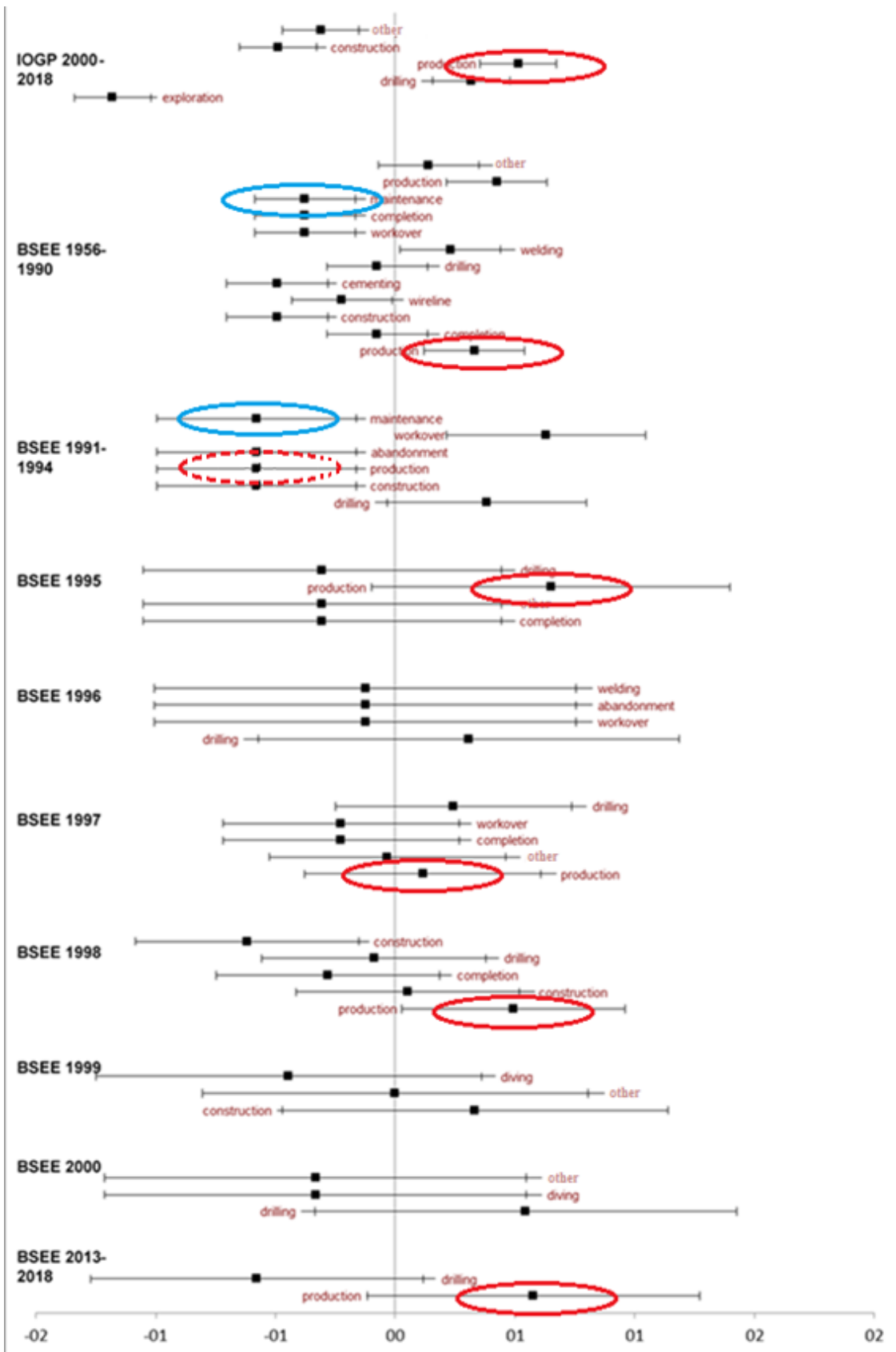
Οι λόγοι για τους οποίους παρατηρούνται τα παραπάνω αποτελέσματα πιθανότατα έχουν να κάνουν με τις ιδιαίτερες γεωλογικές, θαλάσσιες και καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή και με την πολιτική ασφαλείας που ακολουθείται αλλά και με την εργασιακή κουλτούρα του προσωπικού. Μία άλλη ενδιαφέρουσα οπτική είναι το ενδεχόμενο τα ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής (βάθος, μορφή, πυθμένα, ρεύματα κλπ) να ορίζουν το είδος της πλατφόρμας που ενδείκνυται και το είδος της πλατφόρμας με την σειρά του να παίζει ρόλο στην ροπή προς ατυχήματα ατυχημάτων, και όχι τόσο τα χαρακτηριστικά της περιοχής αυτής καθ' αυτής.



Σχήμα 44: Διάγραμμα effects κα διαστημάτων εμπιστοσύνης σχετικά με την γεωγραφική περιοχή και το πλήθος ατυχημάτων. Με κόκκινο χρώμα φαίνονται τα effects της Βορείου Θάλασσας που παρουσιάζει την σημαντικότερη τάση προς σοβαρά ατυχήματα ενώ μπλε τα effects της Νοτιοανατολικής Ασίας και Ωκεανίας που αποτελούν τις λιγότερο επιρρεπείς περιοχές προς περιστατικά ατυχημάτων.

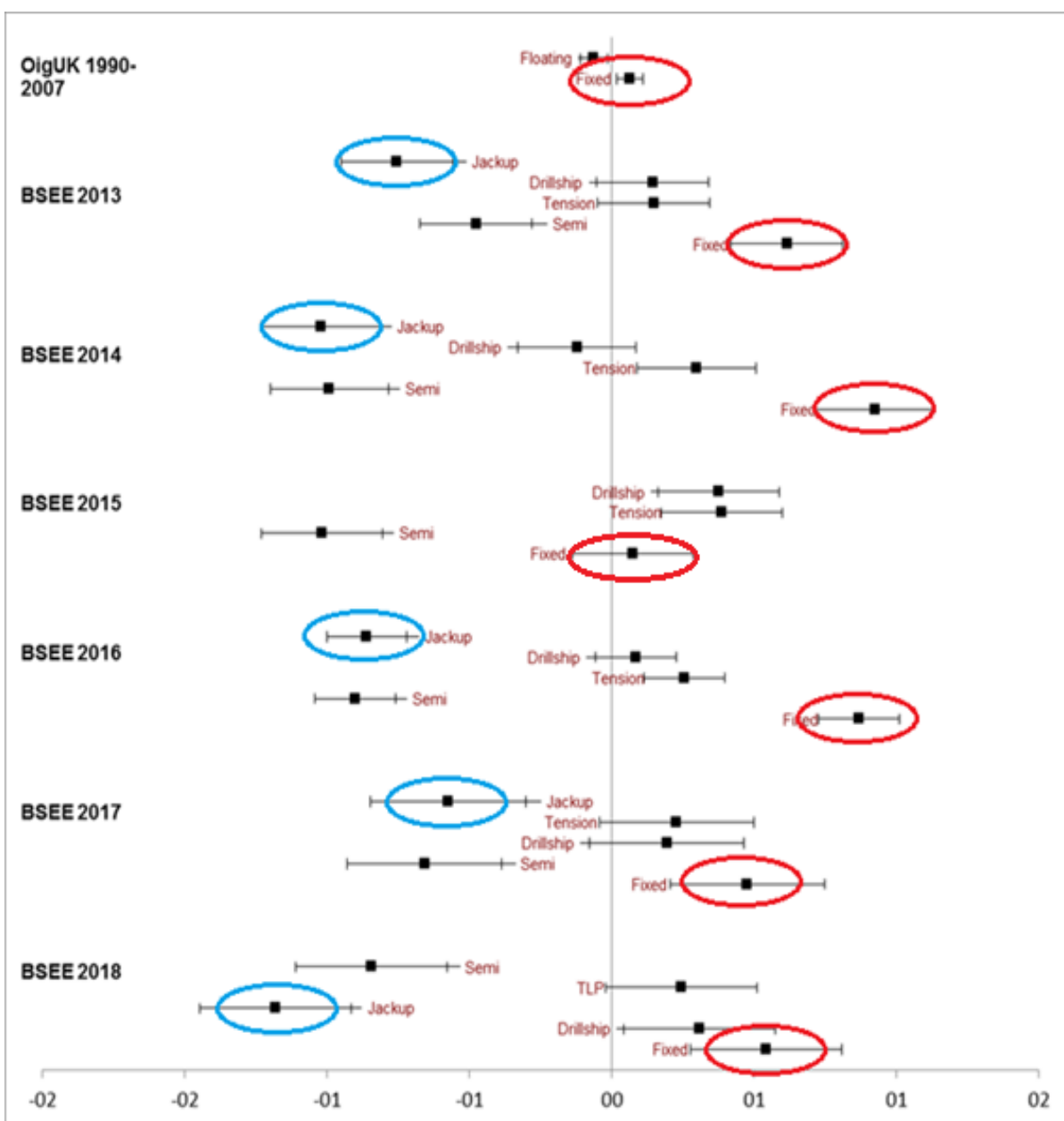
Όσον αφορά τον συσχετισμό μεταξύ φάσης λειτουργίας και πλήθους θανάτων, οι πιο επισφαλής δραστηριότητες φαίνεται πως είναι το production, έχοντας θετικές τιμές effect σε έξι από τις επτά μελέτες στις οποίες απαντάται και μάλιστα σε τρεις εκ των έξι τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν περιλαμβάνουν το μηδεν, προσδίδοντας έτσι στατιστική σημασία στο αποτέλεσμα. Με μικρή διαφορά επικινδυνότητα ακολουθεί η φάση του drilling με τέσσερα εκ των έξι μελετών να παρουσιάζουν θετικό effect size, ενώ οι διαδικασίες που αφορούν την συντήρηση (maintenance) και completion φαίνεται να είναι οι πλέον ασφαλείς φάσεις λειτουργίας της πλατφόρμας σε σχέση με θανάσιμα περιστατικά. Να σημειωθεί πως στην κατηγορία other περιέχονται όλα τα ατυχήματα που σχετίζονται με την λειτουργία της πλατφόρμας που δεν εμπίπτουν ακριβώς σε κάποια από τις βασικές φάσεις λειτουργίας.

Τα αποτελέσματα αυτά είναι λογικά και συνάδουν με την εικόνα που επικρατεί πως οι φάσεις drilling και production είναι οι πιο επικίνδυνες καθώς υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα και η έκταση των ατυχημάτων που δύνανται να συμβούν κατά την διάρκεια αυτών των φάσεων (πχ blowout) είναι πολύ πιο μεγάλη σε σχέση με ατυχήματα που συμβαίνουν σε άλλες φάσεις. Κατά τον τρόπο αυτόν, ακόμα και αν το πλήθος των ατυχημάτων δεν είναι απαραίτητα μεγαλύτερο, το πλήθος των θανάτων που προκύπτουν από τέτοια ατυχήματα είναι μεγαλύτερο.



Σχήμα 44: Διάγραμμα διαστημάτων εμπιστοσύνης σχετικά με την φάση λειτουργίας και το πλήθος θανάτων. Η πιο επικίνδυνη φάση σύμφωνα με τα αποτελέσματα της

ανάλυσης είναι αυτή της παραγωγής (κόκκινο χρώμα) ενώ η λιγότερο επισφαλής για θανατηφόρα ατυχήματα η φάση της συντήρησης και του completion (μπλε χρώμα)



Σχήμα 45: Διάγραμμα effect size και διαστημάτων εμπιστοσύνης σχετικά με τον τύπο της κατασκευής και το πλήθος των περιστατικών πυρκαγιάς. Οι πλατφόρμες της κατηγορίας fixed φαίνεται πως έχουν αυξημένες πιθανότητες για εμφάνιση τέτοιων περιστατικών (κόκκινο χρώμα) ενώ αντίθετα οι πλατφόρμες τύπου jack up φαίνεται να είναι οι λιγότερο επιρρεπείς σε περιστατικά πυρκαγιάς.

Τέλος, όσον αφορά τον συσχετισμό μεταξύ τύπου εγκατάστασης και ατυχημάτων πυρκαγιάς τα αποτελέσματα είναι αρκετά σαφή στο ότι οι πλατφόρμες τύπου fixed είναι περισσότερο επιρρεπείς σε περιστατικά πυρκαγιάς. Αυτό γίνεται εμφανές από το αντίστοιχο διάγραμμα όπου παρατηρείται πως οι τιμές effect για τις fixed πλατφόρμες είναι όλες θετικές (επτά από τις επτά) ενώ μάλιστα οι έξι εξ' αυτών δεν τέμνουν το μηδέν, πράγμα που υποδεικνύει πως ο συσχετισμός είναι στατιστικά σημαντικός. Ακολουθούν σε επικινδυνότητα πυρκαγιάς οι πλατφόρμες τύπου tension των οποίων τα effects είναι επίσης θετικά ωστόσο με τιμές ελαφρώς μικρότερες. Τα διαστήματα εμπιστοσύνης στη περίπτωση των tension δεν περιλαμβάνουν το μηδέν, επομένως και εδώ προσδίδεται στατιστική σημασία στην παρατήρηση. Τρίτες τη σειρά σε σχέση με ενδεχόμενο πυρκαγιάς έρχεται η κατηγορία drillship με τιμές effect κυρίως θετικές ενώ αντίθετα οι κατηγορίες jack up και semi είναι οι πλέον ασφαλείς. Συγκεκριμένα η κατηγορία jack up φαίνεται να είναι η λιγότερο επιρρεπής κατηγορία όσον αφορά περιστατικά πυρκαγιάς καθώς εμφανίζει αρνητικές τιμές σε όλες τις μελέτες όπου εμφανίζεται και μάλιστα με τιμές μικρότερες του -0.1 ενώ όλα τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης είναι αμιγώς αρνητικά. Επομένως το προκύπτον αποτέλεσμα θεωρείται στατιστικά αξιόπιστο.

Το αποτέλεσμα αυτό ωστόσο, ίσως είναι λίγο πλασματικό καθώς οι πλατφόρμες fixed είναι το παλαιότερο είδος και κατ' επέκταση πλατφόρμες τέτοιου είδους έχουν υποστεί πολλά ατυχήματα σε βάθος χρόνου, σε περιόδους που τα μέτρα ασφαλείας δεν ήταν τόσο αυστηρά όσο είναι σήμερα.

Σκοπός τη μελέτης αυτής, μέσω των τριών μετα-αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν, ήταν να εντοπισθούν πιθανοί συσχετισμοί μεταξύ διαφόρων παραμέτρων σχετικών με τις υπεράκτιες κατασκευές και των αντίστοιχων κινδύνων. Τα παραπάνω αποτελέσματα επισημαίνουν τα σημεία στα οποία πρέπει να δοθεί περισσότερη βαρύτητα και το κάθε ένα από αυτά μπορεί να αποτελέσει βάση για επιμέρους μελέτη. Η διερεύνηση των αιτιών που οδηγούν σε αυτά τα αποτελέσματα καθώς και η εξέταση των περιθωρίων βελτίωσης ξεφεύγουν από τα όρια της παρούσας μελέτης ωστόσο μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο περαιτέρω διερεύνησης με πολύ χρήσιμα και αποκαλυπτικά συμπεράσματα που θα συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση των κινδύνων που διατρέχει οι υπεράκτια βιομηχανία πετρελαίου, και στην βελτίωση των μέτρων ασφαλείας.

6. Βιβλιογραφία

- [1] Annual BP full report 2019
- [2] Σ.Α. Μαυράκου, «Μελέτη και Σχεδίαση Πλωτών Κατασκευών, Υδροδυναμική Ανάλυση», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 1989.
- [3] Bai Y., Bai Q., “Subsea Engineering Handbook”, Gulf Professional Publishing, 2010.
- [4]. Σ.Α. Μαυράκου, «Μελέτη και Σχεδίαση Πλωτών Κατασκευών, Υδροδυναμική Ανάλυση», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 1989.
- [5] Offshore Center Denmark, “Offshore Book 2010: An introduction to the offshore industry”, July 2010. Editor: Morten Holmager, Technical Consulting: Mahmoud Redda, Graphic production: Jan C Design & Kommunikation. This edition of Offshore Book is part of the project Focus at Danish Offshore that is funded by The European Social Fund, Growth Forum in the Region of Southern Denmark and the offshore industry.
- [6] Γ. Ζαραφωνίτης, «Εισαγωγή στη Ναυπηγική και Θαλάσσια Τεχνολογία, Σημειώσεις», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2002.
- [7] Σ. Σταματάκη, «Τεχνολογία Γεωτρήσεων», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 2001.
- [8] Cai, B., Liu, Y., Zhang, Y., Fan, Q., Liu, Z., Tian, X., “A dynamic Bayesian Networks Modelling of Human Factors on Offshore Blowouts”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2013.
- [9] Hopkins Taylor D., Casta R., RN, Van Walker, Collier F., Fromm R.E. Jr., “Air Medical Transport of Patients from Offshore Oil and Gas Facilities: Historical Accident Data and Initial Experience”, Air Medical Journal, pp. 21-28, January/February 1993.
- [10] Basra G., & Kirwan B., “Collection of Offshore Human Error Probability Data”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 61, pp. 77-93, 1998.
- [11] Flohberger M.L., “Master's Thesis: Suggested Improvements for Ship- Installation Collision Risk Models to Reflect Current Collision Avoidance Systems”, University of Stavanger, Faculty of Science and Technology, 2010.
- [12] Moan T., “Development of Accidental Collapse Limit State Criteria for Offshore Structures”, Structural Safety, Vol. 31, pp.124–135, 2009.
- [13] Wendy Adie W., Cairns J., Macdiarmid J., Ross J., Watt S., Taylor C.L., Osman L.M., “Safety Culture and Accident Risk Control: Perceptions of Professional Divers and Offshore Workers”, Safety Science, Vol. 43, pp. 131–145, 2005.
- [14] Eckle, P., Burgherr, P. and Edouard Michaux, E., “Risk of Large Oil Spills: A Statistical Analysis in the Aftermath of Deepwater Horizon”, Environmental Science &

Technology, 46: 13002-13008, 2012.

[15] Burgherr P, Eckle P., and Hirschberg S., “Comparative Assessment of Severe Accident Risks in the Coal, Oil and Natural Gas Chains”, Reliability Engineering and System Safety, 2012

[16] Borse E., “Design Basis Accidents and Accident Analysis with Particular Reference to Offshore Platforms”, Journal of Occupational Accidents, Vol.2, pp. 227- 243, 1979.

[17] Sharples B. P. M., Bennett W. T. Jr., Trickey J. C., “Risk Analysis of Jackup Rigs”, Marine Structures, Vol.2, pp. 281-303,1989.

[18] Energy Market Review, “After Tokohu: What Next for the Energy Insurance Markets? After Macondo: What Next for Well Pollution Risks”, Willis, April 2011.

[19] DeFarias B.V., Netto T.A., “FPSO Hull Structural Integrity Evaluation via Bayesian Updating of Inspection Data”, Ocean Engineering, Vol. 56, pp. 10–19, 2012.

[20] American Bureau of Shipping, “Guidance Notes on Risk Assessment Applications for the marine and Offshore Oil and Gas Industries”, June 2000.

[21] Dai L., Ehlers S., Rausand M., and Utne I. B., “Risk of Collision between Service Vessels and Offshore Wind Turbines”, Reliability Engineering and System Safety, 2012.

[22] Helmera Navigator, “Τεχνικό Δελτίο: Υπεράκτιες εγκαταστάσεις στο Βόρειο-Ανατολικό Ατλαντικό”, Τεύχος 91, σελ.1-4,

[23] Vinnem J.E., “On the Development of Failure Models for Hydrocarbon Leaks During Maintenance Work in Process Plants on Offshore Petroleum Installations”, Reliability Engineering and System Safety, 2012.

[24] Bjerketvedt D, Bakke J.R., Van Wingerden K., “Gas Explosion Handbook”, Journal of Hazardous Materials, Vol. 52, pp.1 – 150, 1997.

[25] Das B., Weinberg M., “Improving Flammable Mass Estimation for Vapor Cloud Explosion Modeling in an Offshore QRA”, Safety Science Vol. 50, pp.1218–1227, 2012.

[26] Vinnem J.E., Aven T., Husebø T., Seljelid J., Tveit O.J., “Major Hazard Risk Indicators for Monitoring of Trends in the Norwegian Offshore Petroleum Sector”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 91, pp.778–791, 2006.

[27] Gholizad A., Golafshani A.A., Akrami V., “Structural Reliability of Offshore Platforms Considering Fatigue Damage and Different Failure Scenarios”, Ocean Engineering, Vol. 46, pp. 1–8, 2012.

- [28] Marinewiki: “Types of Offshore Structures based on location”. Available at <http://www.marinewiki.org>
- [29] Ramboll Oil & Gas: "Danish Offshore History: From Fishing Town to Offshore Centre", Offshore Greenland 2011, Presented by Kai B. Olsen, Sisimiut, May 2011, Available at <http://www.offshoregreenland.com>
- [30] Günther F. Clauss, "The Conquest of the Inner Space – Challenges and Innovations in Offshore Technology", 21st National Congress on Maritime Transportation, Ship Construction and Offshore Engineering Rio de Janeiro, Brazil. 27th November to 1st December 2006.
- [31] Structurae, International Database and Gallery of Structures: “Gullfaks C”. Available at <http://en.structurae.de/structures/data>
- [32] “State-of-the-art report on the Guyed Tower Platforms”, Prepared by National Bureau of Standards, U.S. Department of Commerce, Brown and Root Development Inc., 1983.
- [33] Wybren de Vries, “Compliant Bottom Mounted Support Structure Types, Deliverable WP4.2.4 Report on compliant bottom mounted support structure types”, Delft University of Technology, July 2009.
- [34] Jeom Kee Paik & Anil Kumar Thayamballi, “Ship-shaped Offshore Installations, Design, Building and Operation”, Cambridge University Press, 2007.
- [35] Rigzone: “How Does a Tension Leg Platform (TLP) Work?” Available at <http://www.rigzone.com>
- [36] D. Faulkner, M. J. Cowling & P. A. Frieze, “Integrity of Offshore Structures”, Applied Science Publishers, London and New Jersey, 1981.
- [37] Global Security: “Tension Leg Platform (TLP)”. Available at <http://www.globalsecurity.org>
- [38] Offshore Technology: “Morpeth, United States of America”. Available at <http://www.offshore-technology.com> (accessed at 23/2/2012)
- [39] P. Bar-Avi and H. Benaroya, “Non-linear dynamics of an articulated tower in the ocean”, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Rutgers University, Piscataway, New Jersey, U.S.A., May 1995.
- [40] Nazrul Islam, Mohd Moonis Zaheer, Suhail Ahmed, “Double hinged articulated tower interaction with wind and waves”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volume 97, Issues 5–6, August 2009, Pages 287–297. Available at <http://www.sciencedirect.com>
- [41] FLOATEC: “2012 Deep Water Solutions & Records for Concept Selection, Going Deeper with Production Technology”. Prepared by: Christopher N. Mahoney and Chad Supan of Wood Group Mustang. Assistance by: E. Kurt Albaugh, P.E. of Repsol E & P

USA. Graphics by: Chris Jones of Xenon Group. Available at <http://www.floatec.com> (accessed at 04/2020)

[42] Seadrill: “West Gemini”. Available at <http://www.seadrill.com> 2012

[43] Seadrill: “West Taurus”. Available at <http://www.seadrill.com>

[44] BASS and OTD/KeppelFels (BENNETT & ASSOCIATES, L.L.C. & OFFSHORE TECHNOLOGY DEVELOPMENT INC.), “Jack-up Units, A Technical Primer for the Offshore Industry Professional”, Copy Right 2005, updated Oct, 2005.

[45] Marinewiki: “Jack-up units”. Available at <http://www.marinewiki>.

[46] Rigzone: “How Do Jack-ups Work?” Available at <http://www.rigzone.com>

[47] Marineinsight: “What are Jack Up Drilling Rigs?” Available at <http://www.marineinsight.com>

[48] NUS (National University of Singapore), ScholarBank@NUS, “Jack-up Unit”, Available at <http://scholarbank.nus.edu.sg>

[49] GlobalSecurity.org: “Spar Platform”. Available at <http://www.globalsecurity.org>

[50] Daryl B. Rapp, "An Overview of Offshore Concepts, SPE Expanding Facilities Knowledge Workshop, Session 1: Offshore Concepts Selection", Available at <http://documentsearch.org>

[51] Marinewiki: “Offshore structure based on the life cycle of the oil field Oil Platform”. Available at <http://www.marinewiki.org>

[143] Wikipedia: “Spar (platform)”. Available at <http://en.wikipedia.org>

[52] FLOATEC: “Truss Spar Concept”. Available at <http://www.floatec.com>

[53] Offshore Technology: “Red Hawk, Gulf of Mexico, United States of America”. Available at <http://www.offshore-technology.com>

[54] Wikipedia: “FPSOs”. Available at <http://en.wikipedia.org>

[55] Nautilia.gr: “FPSOs”. Available at <http://www.nautilia.gr>

[56] FPSO World Fleet: “A Floating Production, Storage and Offloading vessel”. Available at <http://fpso.com>

[57] NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) – “Offshore Platforms”. Available at <http://oceanexplorer.noaa.gov>

[58] Παρασκευή Ι. Στρατή, “Meta Analysis”, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μαθηματικών, Μεταπτυχιακό

Τμήμα Σπουδών: «Στατιστική και Επιχειρησιακή Έρευνα», Θεσσαλονίκη, Ιούλιος 2007.

[59] Ευρυδίκη Πατελάρου, Ηρώ Μπροκαλάκη, «Μεθοδολογία της Συστηματικής Ανασκόπησης και Μετα-ανάλυσης», Ειδικό Άρθρο της Νοσηλευτικής 49(2):122– 130, 2010.

[60] Iain K. Crombie, Huw TO Davies, “What is meta-analysis?”. Available at <http://www.whatisseries.co.uk>

[61] Artemether-Quinine Meta-analysis Study Group, “A meta-analysis using individual patient data of trials comparing artemether with quinine in the treatment of severe falciparum malaria”, Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, Vol. 95, pp.637-650, 2001.

[62] Evangelos Kontopantelis, David Reeves, “A Meta-analysis Add-In for Microsoft Excel”, Journal of Statistical Software, April 2009, Volume 30, Issue 7.

[63] Evangelos Kontopantelis, “NPCRDC-MetaEasy v.1.0.4.”, Available at: <http://www.jstatsoft.org>.

[64] Oilindustryinsight.com, Global distribution of oil reserves 2018

[65] RIGZONE: “How do spars work?”. Available at <http://www.rigzone.com> (accessed at 24/4/2012)

[66] International Regulators Forum (IRF) Annual offshore statistics and regulatory activity report 2008-2018

[68] International Association of Oil & Gas Producers (IOGP) Fatal incident reports 1991-2015 & High potential events reports 2000-2018

[69] Bureau of Safety and Environmental Performance (BSEE) Offshore incident statistics report 2007-2018

[70] Oil & Gas UK (OGUK) Accident Statistics for Offshore Units on the UKCS 1990-2007

[71] Health and Safety Executive UK (HSE) Annual offshore statistics and regulatory reports database 2012-2018 & Offshore Injury, Ill, Health and Incident Statistics database 2004-2011

[72] International association of oil and gas producers (OGP) Risk Assessment Data Directory 2010

[73] SINTEF Offshore Blowout Database 1955-2016

[74] HeliOffshore Helicopter Offshore Safety performance, 2018

[75] BP Statistical Review of World Energy 68th edition 2019

[76] Shell safety performance data 2018

- [77] Lessons learned from offshore oil and gas incidents in the Arctic and other ice-prone seas Amos Necci, Stefano Tarantola, Bogdan Vamanu, Elisabeth Krausmann, Luca Ponte 2019
- [79] Blowout Accident Impact Analysis Method for the Siting of Offshore Floating Nuclear Power Plant in Offshore Oil Fields, CNOOC Research Institute, Beijing, Zhigang Lan 2019
- [80] Accident rate analysis on the offshore oil and gas production installations and platforms Fattakhova E.Z., Barakhnina V. B
- [81] Learning from failures: Accidents of marine structures on Norwegian continental shelf over 40 years time period Michaela Ibriona, Nicola Paltriniera, Amir R. Nejad. 2020
- [83] The spatiotemporal characteristics of environmental hazards caused by offshore oil and gas operations in the Gulf of Mexico Qingmin Meng, 2016
- [84] A practical approach to fire hazard analysis for offshore structures Joel Krueger, Duncan Smith, 2003
- [85] In search of causes behind offshore incidents: Fire in offshore oil and gas Facilities S. Zohra Halim, Sunder Janardanan, Tatiana Flechas, M. Sam Mannan, 2018
- [86] The impact of water depths safety and environmental performance in offshore oil and gas production Lucija Muehlenbachs a,n, Mark A. Cohen a,b, Todd Gerarden, 2018
- [87] A Bayesian network to manage risks of maritime piracy against offshore oil fields Amal Bouejla , Xavier Chaze , Franck Guarnieri , Aldo Napoli, 2014
- [88] Probability analysis of offshore fire by incorporating human and organizational factor Yan Fu Wang, Min Xie, Kien Min, Mohamed Salahuddin Habibullah, 2013
- [89] Probabilistic risk assessment of oil spill from offshore oil wells in Persian Gulf Payam Amir-Heidari, Mohammad Raie, 2018
- [90] EU offshore authorities group Offshore landmark incidents
- [91] Offshore helicopter safety Andrew Haylen Fintan Codd, 2019
- [92] Helicopter Safety Performance 2013-2018 HeliOffshore
- [93] Safety of offshore oil and gas operations Lessons from past accident analysis European Commission JRC scientific and political reports Michalis Christou, Myrto Konstantinidou, 2012
- [94] Accidents on fixed offshore units in the UK continental shelf 1980-2003 DNV

Consulting, Det Norske Veritas 2003

[95] Μελέτη ατυχημάτων σύγκρουσης και blowout υπεράκτιων πλατφορμών εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου με χρήση μετά-ανάλυσης και δικτύων πίστωσης
Γραμματικάκη Αικατερίνη, 2013

