



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ Υ/Α & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

**Παροπλισμός υπεράκτιων εγκαταστάσεων παραγωγής  
υδρογονανθράκων**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Άλκηστις Βεκρή**

Επιβλέπουσα: Σοφία Σταματάκη  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021







ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ Υ/Α & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

**Παροπλισμός υπεράκτιων εγκαταστάσεων παραγωγής  
υδρογονανθράκων**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Άλκηστις Βεκρή**

Επιβλέπουσα: Σοφία Σταματάκη,  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις .....

Σοφία Σταματάκη, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π., ..... (Υπογραφή)

Βασίλειος Γαγάνης, Επίκ. Καθηγητής Ε.Μ.Π., ..... (Υπογραφή)

Μενεγάκη Μαρία, Αναπλ. Καθηγ. Ε.Μ.Π. .... (Υπογραφή)

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021

**Copyright © Άλκηστις Βεκρή, 2021**

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2020-2021, με θέμα τον παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων παραγωγής υδρογονανθράκων, υπό την επίβλεψη της κυρίας Σοφίας Σταματάκη, Καθηγήτριας Ε.Μ.Π..

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κυρία Σοφία Σταματάκη για την πολύτιμη καθοδήγηση, υποστήριξη και βοήθεια που προσέφερε σε κάθε στάδιο εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου.

Επίσης, οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς την κυρία Ειρήνη Δημητρέλλου, Ειδικό Τεχνικό Εργαστηριακό Προσωπικό του Τομέα Μεταλλευτικής Ε.Μ.Π., για την ανεκτίμητη συμβολή της, για το χρήσιμο βοηθητικό υλικό που προσέφερε καθώς και για τις ουσιώδεις συμβουλές που παρείχε, συνεισφέροντας στην ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου καθώς και τους κοντινούς μου ανθρώπους για τη στήριξη που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας μου.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό την κατά το δυνατό σφαιρική εξέταση των ζητημάτων που αφορούν στον παροπλισμό μιας υπεράκτιας εγκατάστασης έρευνας & παραγωγής Υ/Α, με αναφορά στις διαδικασίες, τις μεθόδους και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο για τον σκοπό αυτό. Στην παρούσα εργασία επισημαίνεται η ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για παροπλισμό τέτοιων εγκαταστάσεων σε όλο τον κόσμο και εξετάζονται οι παράγοντες κόστους, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το θεσμικό πλαίσιο που διέπει τέτοιες ενέργειες.

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας βασίστηκε στην επισκόπηση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας ώστε να καλύψει τα βασικά ζητήματα του παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων που αφορούν στην τρέχουσα τεχνολογία, το κόστος, την περιβαλλοντική συμβατότητα και το θεσμικό πλαίσιο που διέπει αυτά τα έργα. Πιο συγκεκριμένα, στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά:

- Στις κατηγορίες των υπεράκτιων εγκαταστάσεων έρευνας & παραγωγής Υ/Α (είδη υπεράκτιων εξεδρών και υποθαλάσσια συστήματα).
- Στη διεθνή δραστηριότητα υπεράκτιων εκμεταλλεύσεων Υ/Α σε περιοχές μεγάλου ενδιαφέροντος, όπως ο Κόλπος του Μεξικού και η Βόρεια Θάλασσα.
- Στα δεδομένα παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α καθώς και στις μελλοντικές εκτιμήσεις σχετικά με αυτή τη δραστηριότητα σε διεθνές επίπεδο.
- Στη διαδικασία σφράγισης και εγκατάλειψης μίας υπεράκτιας γεώτρησης που περιλαμβάνει όλα τα στάδια και τις σχετικές τεχνικές.
- Στον παροπλισμό των υπεράκτιων εξεδρών και την απομάκρυνση του συναφούς εξοπλισμού.
- Στην αξιολόγηση του κόστους της διαδικασίας παροπλισμού και την υπολογιστική προσέγγισή του.
- Στα περιβαλλοντικά ζητήματα που αφορούν τη διαδικασία παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων παραγωγής Υ/Α καθώς και στο θεσμικό-νομικό πλαίσιο που την διέπει.

## *Abstract*

This dissertation is dedicated to the comprehensive examination of the issues related to the decommissioning of an offshore oil & gas facility with reference to the processes, methods and technologies used around the world for this purpose. It also highlights the ever growing demand for the decommissioning of offshore oil & gas structures around the world, and examines the cost factors, the environmental impact and the regulatory & legal framework governing such operations.

The elaboration of the dissertation was based on the review of the available literature to cover the key issues of offshore decommissioning related to the current technology, the associated costs, the environmental compatibility and the relevant legal framework. More specifically, within this dissertation reference is made to:

- The types of offshore hydrocarbon production facilities (types of offshore platforms and subsea production systems).
- The international operation of offshore hydrocarbon production facilities in areas of great interest, such as the Gulf of Mexico and the North Sea.
- The decommissioning activities of offshore production that have taken place so far, as well as future demand for offshore decommissioning worldwide.
- The process of P&A (Plug and Abandonment) of an offshore well, including all stages and techniques involved.
- The decommissioning of offshore platforms and the removal of all related equipment.
- The economic evaluation of the decommissioning process and the estimation of associated costs.
- The environmental issues concerning the process of decommissioning of offshore hydrocarbon facilities, as well as the legal framework valid.

## Περιεχόμενα

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Σκοπός και στόχοι της εργασίας .....	1
1.2. Μεθοδολογία .....	1
1.3. Δομή της εργασίας .....	2
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ .....</b>	<b>4</b>
2.1. Τύποι υπεράκτιων εγκαταστάσεων .....	4
2.1.1. Επί του πυθμένα εδραζόμενες εξέδρες (fixed platforms) .....	6
2.1.2. Πλωτές εξέδρες (floating systems) .....	10
2.1.3. Υποθαλάσσια συστήματα παραγωγής (subsea systems) .....	14
2.1.4. Επεξεργασία παραγόμενων Υ/Α.....	15
2.2. Διεθνής δραστηριότητα σε υπεράκτιες εξορύξεις υδρογονανθράκων.....	18
2.2.1. Διεθνής εικόνα .....	18
2.2.2. Υπεράκτια δραστηριότητα στην Καλιφόρνια.....	20
2.2.3. Υπεράκτια δραστηριότητα στον Κόλπο του Μεξικού.....	22
2.2.4. Υπεράκτια δραστηριότητα στη Βόρεια Θάλασσα.....	23
2.2.5. Υπεράκτια δραστηριότητα στον υπόλοιπο κόσμο.....	24
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΙΚΟΝΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....</b>	<b>26</b>
3.1. Διεθνής εικόνα .....	26
3.1.1. Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής .....	26
3.1.2. Βόρεια Θάλασσα.....	28
3.1.3. Στον υπόλοιπο κόσμο .....	31
3.2. Εκτιμώμενες απαιτήσεις για παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων.....	32

3.2.1.	Διεθνώς .....	32
3.2.2.	Βόρεια Θάλασσα.....	34
3.3.	Κόστος παροπλισμού σε ορισμένες χώρες – Εκτιμήσεις για το μέλλον.....	38
3.3.1.	Βόρεια Θάλασσα.....	40
3.3.2.	Αμερική.....	47
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΦΡΑΓΙΣΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΛΕΙΨΗ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ.....</b>		<b>48</b>
4.1.	Σφράγιση και εγκατάλειψη γεώτρησης (well plugging & abandonment - P&A) – Γενικά .....	48
4.2.	Ακεραιότητα της γεώτρησης (well integrity) – Φραγμοί (barriers) – Πώματα (plugs).....	50
4.2.1.	Αρχή του διπλού φραγμού .....	52
4.2.2.	Πώματα (plugs).....	55
4.2.3.	Πώμα περιβαλλοντικής προστασίας (environmental plug).....	56
4.3.	Μόνιμοι φραγμοί σφράγισης της γεώτρησης (permanent well barriers).....	57
4.3.1.	Βάθος έδρασης (θέση) μόνιμων φραγμών σφράγισης μιας γεώτρησης ....	59
4.3.2.	Διαστάσεις (μήκος) μόνιμων φραγμών σφράγισης μιας γεώτρησης.....	60
4.4.	Στάδια σφράγισης μιας γεώτρησης.....	65
4.4.1.	1η φάση: Σφράγιση & εγκατάλειψη του ταμιευτήρα (reservoir abandonment).....	68
4.4.2.	2η φάση: Ενδιάμεση σφράγιση/εγκατάλειψη (intermediate abandonment) .....	69
4.4.3.	3η φάση: Αφαίρεση της κεφαλής της γεώτρησης και της σωλήνωσης επαφής (wellhead and conductor removal) .....	70
4.4.4.	4η φάση: Αφαίρεση Christmas tree και τοποθέτηση αντιακρηκτικού μηχανισμού ασφάλειας (BOP) .....	71
4.5.	Τεχνικές & επιφανειακός εξοπλισμός σφράγισης και εγκατάλειψης γεωτρήσεων .....	72

4.5.1.	Τεχνικές αποκοπής και απομάκρυνσης της σωλήνωσης .....	73
4.5.2.	Τεχνική διατρύπησης της σωλήνωσης, έκπλυσης και τσιμεντώσης (perforate, wash and cement – PWC).....	78
4.5.3.	Τεχνικές σφράγισης & εγκατάλειψης της γεώτρησης υπό έρευνα.....	81
4.5.4.	Επιφανειακός εξοπλισμός σφράγισης και εγκατάλειψης γεωτρήσεων .....	84
4.6.	Επαλήθευση μόνιμου φραγμού σφράγισης γεώτρησης (barrier verification) ..	94
4.6.1.	Επαλήθευση σφράγισης φραγμού στον δακτύλιο της γεώτρησης (annular verification) .....	95
4.6.2.	Επαλήθευση σφράγισης στο εσωτερικό της γεώτρησης (internal barrier verification) .....	99
4.7.	Τύποι & υλικά κατασκευής μόνιμων φραγμών (πωμάτων).....	99
4.7.1.	Πώματα από τσιμέντο Portland .....	100
4.7.2.	Χρήση in situ σχηματισμών ως μόνιμων φραγμών .....	102
4.7.3.	Ρευστοκονιάματα (grouts) που δεν πήζουν .....	102
4.7.4.	Θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή & σύνθετα υλικά (thermosetting polymers & composites) .....	104
4.7.5.	Μέταλλα.....	106
4.7.6.	Τροποποιημένοι in situ σχηματισμοί.....	107

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΥΡΣΗ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΕΞΕΔΡΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΑΦΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ 109**

5.1.	Διαδικασίες παροπλισμού μίας υπεράκτιας εγκατάστασης πετρελαίου & φυσικού αερίου (decommissioning process) .....	109
5.2.	Παροπλισμός εξέδρας & υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων .....	112
5.2.1.	Προετοιμασία & καθαρισμός εξέδρας.....	115
5.2.2.	Απομάκρυνση της σωλήνωσης επαφής (conductor severing & removal).....	116



5.2.3. Απομάκρυνση καταστρώματος & συναφούς εξοπλισμού (deck & modules removal) .....	117
5.2.4. Απομάκρυνση χωροδικτυώματος έδρασης (jacket) ή γάστρας (hull) σε πλωτές εξέδρες .....	119
5.2.5. Παροπλισμός υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων .....	123
5.2.6. Μέθοδοι κοπής χαλύβδινου εξοπλισμού .....	126
5.3. Παροπλισμός αγωγών .....	133
5.3.1. Απαραίτητες πληροφορίες για τον παροπλισμό αγωγών.....	133
5.3.2. Μέθοδοι παροπλισμού αγωγών .....	134
5.3.3. Ανακύκλωση αγωγών και επαναχρησιμοποίηση υλικών .....	137
5.3.4. Διαδικασία παροπλισμού αγωγών .....	138
5.4. Παροπλισμός σωρών θρυμμάτων όρυξης (drill cutting piles).....	138
5.4.1. Διατήρηση των σωρών θρυμμάτων στην αρχική τους θέση (leaving in place) .....	139
5.4.2. Απομάκρυνση των σωρών των θρυμμάτων από τον θαλάσσιο πυθμένα	140
5.5. Διάθεση (disposal) παροπλισμένων δομών και εξοπλισμού.....	141
5.6. Μεταφορικά σκάφη.....	142
5.7. Επαλήθευση εκκαθάρισης εργοταξίου και παρακολούθηση (site clearance & verification).....	144

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΟΠΛΙΣΜΟΥ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑΣ</b>	
<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Υ/Α .....</b>	<b>146</b>
6.1. Εισαγωγή.....	146
6.2. Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος παροπλισμού μιας υπεράκτιας εγκατάστασης .....	147
6.2.1. Σφράγιση & εγκατάλειψη γεώτρησης (well P&A).....	149
6.2.2. Παροπλισμός αγωγών (pipeline decommissioning) .....	149

6.2.3.	Απομάκρυνση σωλήνωσης επαφής (conductor removal).....	150
6.2.4.	Παροπλισμός εξέδρας (platform decommissioning) .....	151
6.2.5.	Εκκαθάριση & επιβεβαίωση εκκαθάρισης εργοταξίου (site clearance & verification) .....	153
6.2.6.	Διάθεση εξοπλισμού & υλικών που απομακρύνθηκαν (materials disposal) .....	154
6.3.	Υπολογιστική προσέγγιση κόστους παροπλισμού.....	155
6.3.1.	Συνολικός σχεδιασμός (engineering) και διαχείριση έργου (project management) .....	155
6.3.2.	Σφράγιση και εγκατάλειψη γεωτρήσεων (well plugging and abandonment) .....	156
6.3.3.	Παροπλισμός αγωγών (pipeline decommissioning) .....	166
6.3.4.	Απομάκρυνση σωλήνωσης επαφής (conductor removal).....	169
6.3.5.	Παροπλισμός εξέδρας (platform decommissioning) .....	171
6.3.6.	Λοιπά κόστη.....	179
6.3.7.	Σύνοψη υπολογιστικής προσέγγισης κόστους παροπλισμού υπεράκτιας εξέδρας .....	180

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.</b>	<b>ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ – ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΠΑΡΟΠΛΙΣΜΟ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Υ/Α.....</b>	<b>182</b>
7.1.	Εισαγωγή.....	182
7.2.	Περιβαλλοντικά ζητήματα .....	182
7.2.1.	Ποιοτική αξιολόγηση κινδύνων και επιπτώσεων .....	182
7.2.2.	Κίνδυνοι και επιπτώσεις κατά τον παροπλισμό και την εγκατάλειψη υπεράκτιων εγκαταστάσεων έρευνας & παραγωγής Υ/Α.....	188

7.2.3. Εξέταση των σημαντικότερων περιβαλλοντικών ζητημάτων που σχετίζονται με τον παροπλισμό των υπεράκτιων εγκαταστάσεων έρευνας & παραγωγής Υ/Α.....	201
7.3. Νομικό πλαίσιο σε διεθνές, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο .....	208
7.3.1. Γενικά.....	208
7.3.2. Διεθνές θεσμικό πλαίσιο.....	209
7.3.3. Περιφερειακές συμβάσεις.....	216
7.3.4. Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο .....	218
7.3.5. Εθνικό νομικό πλαίσιο .....	226
7.3.6. Εθνικό νομικό πλαίσιο σε μεγάλες πετρελαιοπαραγωγές χώρες.....	231
7.3.7. Σύγκριση εθνικών νομικών πλαισίων.....	236
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>238</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>244</b>

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2-1. Υπεράκτιες εξέδρες σε ομοσπονδιακά χωρικά ύδατα στην περιοχή της Καλιφόρνιας (State of California - State Lands Commission, 2018).....	21
Πίνακας 2-2. Υπεράκτιες εξέδρες σε πολιτειακά χωρικά ύδατα στην περιοχή της Καλιφόρνιας (State of California - State Lands Commission, 2018).....	22
Πίνακας 3-1. Συνολικές εκτιμήσεις παροπλισμού καταστροφμάτων και εξάλων τμημάτων (topsides) υπεράκτιων εξεδρών στη Βόρεια Θάλασσα για το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019).....	38
Πίνακας 3-2. Συνολικές εκτιμήσεις παροπλισμού υποθαλάσσιων συστημάτων στη Βόρεια Θάλασσα για το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019).....	38
Πίνακας 3-3. Ταξινόμηση εκτιμώμενου κόστους κατά AACE (Oil & Gas Authority, 2020) .....	42
Πίνακας 4-1. Παραδείγματα φραγμών καθ' όλη τη διάρκεια ζωής μιας γεώτρησης (Khalifeh & Saasen, 2020) .....	54
Πίνακας 4-2. Απαιτήσεις μήκους κύριων μόνιμων φραγμών σφράγισης γεωτρήσεων υδρογονανθράκων (Vieira do Paço Hallak, 2017) .....	60
Πίνακας 4-3. Φάσεις σφράγισης & εγκατάλειψης μιας τυπικής γεώτρησης με κατακόρυφο Christmas tree (Vrålstad, et al., 2019).....	67
Πίνακας 4-4. Πλεονεκτήματα και δυνητικά όρια εφαρμογής της τεχνικής φρεζαρίσματος με χρήση δέσμης πλάσματος (plasma milling) (Khalifeh & Saasen, 2020).....	84
Πίνακας 4-5. Υλικά κατασκευής μόνιμων φραγμών για τη σφράγιση και εγκατάλειψη των γεωτρήσεων Y/A (Khalifeh & Saasen, 2020) .....	100
Πίνακας 4-6. Πλεονεκτήματα και δυνητικά όρια χρήσης ρευστοκονιαμάτων που δεν πήζουν ως μόνιμοι φραγμοί σφράγισης και εγκατάλειψης γεωτρήσεων (Khalifeh & Saasen, 2020).....	103
Πίνακας 4-7. Πλεονεκτήματα και δυνητικά όρια χρήσης μεταλλικών κραμάτων ως μόνιμοι φραγμοί για τη σφράγιση και εγκατάλειψη γεωτρήσεων (Khalifeh & Saasen, 2020).....	106

Πίνακας 4-8. Πλεονεκτήματα και δυνητικά όρια χρήσης των τροποποιημένων in situ σχηματισμών & στοιχείων της γεώτρησης ως μόνιμων φραγμών (Khalifeh & Saasen, 2020).....	108
Πίνακας 5-1. Επισκόπηση και συνοπτική περιγραφή των επιλογών παροπλισμού για την αποσυναρμολόγηση μιας υπεράκτιας εξέδρας (Pors, Verbeeck, Wurpel, & Briët, 2011) .....	114
Πίνακας 5-2. Εργασίες προετοιμασίας & καθαρισμού της εξέδρας κατά το πρώτο στάδιο παροπλισμού της (Grismala, 2015) .....	116
Πίνακας 5-3. Μέθοδοι αποκοπής και απομάκρυνσης σωληνώσεων επαφής (Grismala, 2015).....	116
Πίνακας 5-4. Στάδια παροπλισμού υποθαλάσσιου εξοπλισμού (Cragar, 2015).....	126
Πίνακας 5-5. Απαραίτητες πληροφορίες για τους αγωγούς προς παροπλισμό (Grismala, 2015).....	134
Πίνακας 5-6. Βασικές κατηγορίες σκαφών παροπλισμού (Pors, Verbeeck, Wurpel, & Briët, 2011).....	143
Πίνακας 6-1. Υπολογισμός άμεσου κόστους σφράγισης & εγκατάλειψης γεωτρήσεων με κεφαλή ευρισκόμενη πάνω στην εξέδρα (dry tree wells) (Grismala, 2015) .....	159
Πίνακας 6-2. Υπολογισμός κόστους προσωρινής εγκατάλειψης (T&A) γεωτρήσεων με κεφαλή ευρισκόμενη πάνω στην εξέδρα (dry tree wells) σε βάθος θάλασσας >400 ft (60 γεωτρήσεις ανά εξέδρα) (Grismala, 2015).....	161
Πίνακας 6-3. Κόστος παροπλισμού αγωγών (Grismala, 2015).....	170
Πίνακας 6-4. Σύγκριση κόστους κοπής με χρήση εκρηκτικών και λειαντική κοπή (Grismala, 2015).....	171
Πίνακας 6-5. Εκτιμώμενο κόστος παροπλισμού αντιπροσωπευτικών σταθερών εξεδρών (Grismala, 2015).....	172
Πίνακας 6-6. Κόστος προετοιμασίας παροπλισμού εξέδρας τύπου Spar (Grismala, 2015) .....	173

Πίνακας 6-7. Κόστος απομάκρυνσης καταστρώματος εξέδρας Spar με χρήση σκάφους βαρέων μεταφορών (heavy lift vessel-HLV) ανυψωτικής ικανότητας $\leq 5000$ st (Grismala, 2015).....	174
Πίνακας 6-8. Κόστος απομάκρυνσης καταστρώματος εξέδρας Spar με χρήση σκάφους βαρέων μεταφορών (heavy lift vessel-HLV) ανυψωτικής ικανότητας $> 5000$ st (Grismala, 2015).....	174
Πίνακας 6-9. Κόστος αποσύνδεσης & απομάκρυνσης γάστρας εξέδρας τύπου Spar (Grismala, 2015).....	175
Πίνακας 6-10. Κόστος απομάκρυνσης γραμμών πρόσδεσης εξέδρας τύπου Spar (Grismala, 2015).....	176
Πίνακας 6-11. Κόστος προετοιμασίας παροπλισμού εξέδρας τύπου TLP (Grismala, 2015) .....	176
Πίνακας 6-12. Κόστος απομάκρυνσης εξέδρας και συστήματος πρόσδεσης εξέδρας τύπου TLP (Grismala, 2015).....	177
Πίνακας 6-13. Κόστος απομάκρυνσης ημιβυθιζόμενης εξέδρας (Grismala, 2015).....	178
Πίνακας 6-14. Κόστος απομάκρυνσης συστήματος πρόσδεσης ημιβυθιζόμενης εξέδρας (Grismala, 2015).....	179
Πίνακας 6-15. Κόστος επαλήθευσης εκκαθάρισης εργοταξίου (Grismala, 2015).....	180
Πίνακας 6-16. Σύνοψη κόστους παροπλισμού υπεράκτιας εξέδρας (Grismala, 2015).....	181
Πίνακας 7-1. Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας (συμβάντος) ανάλογα με την πιθανότητα να συμβεί και τη σοβαρότητα της επίπτωσης που μπορεί να προκαλέσει (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016).....	183
Πίνακας 7-2. Περιβαλλοντική επικινδυνότητα διαδικασιών/τεχνολογιών παύσης λειτουργίας και κλεισίματος υπεράκτιας εγκατάστασης έρευνας & παραγωγής Y/A (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016) .....	190
Πίνακας 7-3. Επιπτώσεις, επικινδυνότητα και μέτρα περιορισμού τους κατά τη σφράγιση και εγκατάλειψη μίας γεώτρησης (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016).....	192
Πίνακας 7-4. Επιπτώσεις & μέτρα περιορισμού των κινδύνων κατά τη διαχείριση των σωρών των θρυμμάτων όρυξης (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016) .....	193

Πίνακας 7-5. Περιβαλλοντική επικινδυνότητα διαδικασιών/τεχνολογιών παροπλισμού & οριστικής εγκατάλειψης υπεράκτιας εγκατάστασης έρευνας & παραγωγής Υ/Α (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016).....	195
Πίνακας 7-6. Επιπτώσεις & μέτρα περιορισμού των κινδύνων κατά τον παροπλισμό & την οριστική εγκατάλειψη υπεράκτιων εγκαταστάσεων (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016).....	199
Πίνακας 7-7. Νομικά ζητήματα προς αντιμετώπιση κατά τον παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α (Martin, 2004) .....	209
Πίνακας 7-8. Κύρια σημεία των Κατευθυντήριων Οδηγιών του IMO σχετικά με την απομάκρυνση υπεράκτιων εγκαταστάσεων (Martin, 2004).....	214
Πίνακας 7-9. Ρυθμιστικές αρχές για τις υπεράκτιες εγκαταστάσεις Υ/Α σε ΗΠΑ, Ηνωμένο Βασίλειο και Νορβηγία (Σουρλίγκας, 2018).....	232
Πίνακας 7-10. Περιβαλλοντικοί νόμοι στις ΗΠΑ που διέπουν και τη λειτουργία των υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α (Cameron & Matthews, 2016).....	234
Πίνακας 7-11, Βασικοί νόμοι στο Ηνωμένο Βασίλειο που διέπουν τον παροπλισμό των υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α στη Βόρεια Θάλασσα (Martin, 2004; Ekins, Vanner, & Firebrace, 2005).....	235

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2-1. Τύποι υπεράκτιων εγκαταστάσεων για την παραγωγή υδρογονανθράκων (Yew, Ismail, Abd Rahman Sabri, & Abdul Rahim, 2014) .....	4
Σχήμα 2-2. Τυπικό διάγραμμα επεξεργασίας παραγόμενων υδρογονανθράκων επί της εξέδρας (Piping Engineering-Knowledge base, 2020).....	16
Σχήμα 2-3. Κάθετος διαχωριστής (Σταματάκη & Αυλωνίτης, 2004) .....	17
Σχήμα 2-4. Διαχωριστής free-water knockout (Σταματάκη & Αυλωνίτης, 2004).....	18
Σχήμα 2-5. Διαχωριστής ενδιάμεσης πολυπλοκότητας (Σταματάκη & Αυλωνίτης, 2004)	18
Σχήμα 2-6. Κατανομή υπεράκτιων εξεδρών παγκοσμίως (Statista, 2018) .....	19
Σχήμα 3-1. Χρονική αναπαράσταση εγκατάστασης (μπλε γραμμή) και παροπλισμού (πορτοκαλί γραμμή) υπεράκτιων εξεδρών σε μικρό βάθος θάλασσας (Kaiser & Narra, 2018).....	27
Σχήμα 3-2. Αριθμός υπεράκτιων εγκαταστάσεων που παροπλίστηκαν κατά τη χρονική περίοδο 2000-2016 – Εκτιμήσεις για το μέλλον 2017-2030 και 2031-2040 (IEA, 2019) .....	33
Σχήμα 3-3. Αριθμός και είδος υπεράκτιων εγκαταστάσεων που παροπλίστηκαν κατά τη χρονική περίοδο 2000-2016 – Εκτιμήσεις για το μέλλον 2017-2030 και 2031-2040 (IEA, 2019).....	33
Σχήμα 3-4. Εκτίμηση αριθμού γεωτρήσεων προς σφράγιση στη Βόρεια Θάλασσα για το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019) .....	35
Σχήμα 3-5. Αριθμός γεωτρήσεων στη Νορβηγία προς σφράγιση για το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019).....	36
Σχήμα 3-6. Γεωτρήσεις προς σφράγιση στην Ολλανδία για το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019).....	36
Σχήμα 3-7. Εκτίμηση αριθμού καταστροφμάτων και εξάλων τμημάτων (topsides) υπεράκτιων εξεδρών προς παροπλισμό στη Βόρεια Θάλασσα για το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019).....	37



Σχήμα 3-8. Εκτίμηση αριθμού υποθαλάσσιων συστημάτων προς παροπλισμό στη Βόρεια Θάλασσα για το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019).....	37
Σχήμα 3-9. Βασικές χώρες που επωμίζονται το κόστος παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων παραγωγής υδρογονανθράκων της επόμενης δεκαετίας (Jia, Yun, Ming, Kai, & Jiexin, 2019).....	39
Σχήμα 3-10. Εκτιμώμενη κατανομή δαπανών παροπλισμού στο Ηνωμένο Βασίλειο κατά το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019).....	40
Σχήμα 3-11. Κατανομή εκτιμώμενου κόστους παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων στο Ηνωμένο Βασίλειο για το έτος 2020 (βάσει τιμών 2019 (Oil & Gas Authority, 2020).....	45
Σχήμα 3-12. Ετήσια Κατανομή Κόστους Παροπλισμού Ανά Κατηγορία Δαπάνης – Εκτίμηση για τα έτη 2019-2028 (Nextstep, 2019) .....	46
Σχήμα 3-13. Ποσοστιαία κατανομή δαπανών παροπλισμού ανά κατηγορία (Nextstep, 2019).....	47
Σχήμα 5-1. Γενικό σχηματικό διάγραμμα των σταδίων και των επιλογών κατά τη διαδικασία παροπλισμού μιας υπεράκτιας εξέδρας. Οι σωροί των θρυμμάτων και οι αγωγοί δεν περιλαμβάνονται (Pors, Verbeeck, Wurpel, & Briët, 2011).....	111
Σχήμα 5-2. Σχηματικό διάγραμμα βασικών επιλογών παροπλισμού μιας υπεράκτιας εξέδρας (Ahiaga-Dagbui, Love, Whyte, & Boateng, 2017).....	113
Σχήμα 5-3. Τυπική διάταξη υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων παραγωγής υδρογονανθράκων (Gourvenec & White, In situ decommissioning of subsea infrastructure, 2017) .....	124
Σχήμα 5-4. Χρήση καλύμματος από σκυρόδεμα (Culwell & McCarthy, 1997).....	137
Σχήμα 5-5. Επιλογές απομάκρυνσης/διάθεσης παροπλισμένων δομών & εξοπλισμών υπεράκτιας εξέδρας (Prasthofer, 1997) .....	141
Σχήμα 6-1. Κόστος προσωρινής εγκατάλειψης γεώτρησης (T&A) ανά πόδι βάθους θάλασσας ανάλογα με τον αριθμό των γεωτρήσεων ανά εξέδρα (Grismala, 2015) ..	160

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2-1. Παράδειγμα κλίμακας υπεράκτιων κατασκευών (Gourvenec, Shaping the offshore decommissioning agenda and next generation design of offshore infrastructure, 2018) .....	5
Εικόνα 2-2. Εξέδρα τύπου jacket (2B1st Consulting, 2012).....	6
Εικόνα 2-3. Η εξέδρα βαρύτητας Berkut (Withers, 2018) .....	7
Εικόνα 2-4. Αυτοανυψούμενη εξέδρα (jack-up) (Offshore Fleet Journal, 2020) .....	8
Εικόνα 2-5. Αναπαράσταση εξέδρας τύπου compliant towers (Bryant, 2017).....	9
Εικόνα 2-6. Αναπαράσταση εξέδρας τύπου sea star (Bright Hub Engineering, 2009).....	10
Εικόνα 2-7. Πλωτή ημιβυθιζόμενη εξέδρα (Wikipedia, 2020) .....	11
Εικόνα 2-8. Τυπικές δομές εξέδρας τύπου spar (Bright Hub Engineering, 2009) .....	12
Εικόνα 2-9. Εξέδρα τύπου TLP (2B1st Consulting, 2014) .....	13
Εικόνα 2-10. Γεωτρητικό σκάφος (Maritime Connector, 2020) .....	14
Εικόνα 2-11. Τυπική διάταξη ενός υποθαλάσσιου συστήματος παραγωγής (TechSci Research, 2019) .....	15
Εικόνα 2-12. Υποθαλάσσιο christmas tree (wet tree) ( <a href="https://subseapipelineblog.wordpress.com/2016/02/17/horizontal-and-vertical-christmas-tree/">https://subseapipelineblog.wordpress.com/2016/02/17/horizontal-and-vertical-christmas-tree/</a> ) .....	16
Εικόνα 2-13. Υπεράκτιες εξέδρες στην Καλιφόρνια (Smith, 2018) .....	20
Εικόνα 2-14. Κατανομή υπεράκτιων εξεδρών στον Κόλπο του Μεξικού (Rowe, 2019) ...	23
Εικόνα 2-15. Υπεράκτιες εξέδρες στη Βόρεια Θάλασσα (OSPAR ODIMS, 2017) .....	24
Εικόνα 3-1. Η εξέδρα Statfjord A στη Βόρεια Θάλασσα (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019) .....	29
Εικόνα 3-2. Η εξέδρα Ninian στη Βόρεια Θάλασσα (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019) .....	30

Εικόνα 3-3. Η εξέδρα Brent Spar στη Βόρεια Θάλασσα (Fisheries Research Services, 2004).....	31
Εικόνα 4-1. Διάκριση δακτυλίων σε μια ολοκληρωμένη γεώτρηση (completed well) (NORSOK Standard D-010, 2013).....	51
Εικόνα 4-2. Φιλοσοφία του διπλού φραγμού, όπου ο δευτερεύων φραγμός (κόκκινη γραμμή) λειτουργεί ως εφεδρεία του κύριου φραγμού (μπλε γραμμή) (Khalifeh & Saasen, 2020).....	52
Εικόνα 4-3. Συστήματα διπλού φραγμού κατά τα στάδια εξέλιξης μιας γεώτρησης (Khalifeh & Saasen, 2020) .....	53
Εικόνα 4-4. Σχηματικό διάγραμμα συστήματος φραγμών για την οριστική σφράγιση και εγκατάλειψη μιας θαλάσσιας γεώτρησης (Khalifeh & Saasen, 2020).....	55
Εικόνα 4-5. Λειτουργίες του πώματος περιβαλλοντικής προστασίας (εδώ με πράσινο χρώμα) (Khalifeh & Saasen, 2020) .....	57
Εικόνα 4-6. Ένας μόνιμος φραγμός σφράγισης της γεώτρησης απομονώνει τόσο κατακόρυφα όσο και οριζόντια την πλήρη διατομή της γεώτρησης (NORSOK D-010, 2012).....	58
Εικόνα 4-7. Θέσεις τοποθέτησης κύριων και δευτερευόντων μόνιμων φραγμών σφράγισης (Vieira do Paço Hallak, 2017) .....	60
Εικόνα 4-8. Διάταξη μόνιμων φραγμών (κύριου & δευτερεύοντος) για μη σωληνωμένο τμήμα γεώτρησης με μια περατή ζώνη (ζώνη Α) (Vieira do Paço Hallak, 2017).....	61
Εικόνα 4-9. Διάταξη μόνιμων φραγμών για μη σωληνωμένο τμήμα γεώτρησης με δύο περατές ζώνες (ζώνες Α & Β) (Vieira do Paço Hallak, 2017) .....	62
Εικόνα 4-10. Σφράγιση με εγκατάλειψη γεώτρησης με μη σωληνωμένο το κατώτερο τμήμα της (Vieira do Paço Hallak, 2017).....	63
Εικόνα 4-11. Σφράγιση με εγκατάλειψη γεώτρησης με σωληνωμένο το κατώτερο τμήμα (Vieira do Paço Hallak, 2017) .....	64
Εικόνα 4-12. Σχηματικό διάγραμμα μιας τυπικής γεώτρησης πριν & μετά τη σφράγιση & εγκατάλειψή της (Vrålstad, et al., 2019) .....	68

- Εικόνα 4-13. Σχηματικό διάγραμμα γεώτρησης μετά την ολοκλήρωση της 1ης φάσης σφράγισης της που αφορά στη σφράγιση & εγκατάλειψη του ταμιευτήρα με πλήρωση της γεώτρησης με τσιμέντο στη ζώνη του ταμιευτήρα (Khalifeh & Saasen, 2020) .... 70
- Εικόνα 4-14. Τυπική διαδικασία φρεζαρίσματος σωλήνωσης κατά τμήματα (section milling) (Vieira do Paço Hallak, 2017) ..... 76
- Εικόνα 4-15. Τα βασικά μέρη μιας διάταξης κατώτερης συνδεσμολογίας για εκτέλεση φρεζαρίσματος προς τα άνω (χωρίς μεταφορά των αποβλήτων κοπής στην επιφάνεια): (1) πολλαπλασιαστής (intensifier), (2) σπειροειδής σταθεροποιητής (spiral stabilizer), (3) στελέχη εφοδιασμένα με ελατήρια επαναφοράς (spring loaded pads), (4) διάταξη απομόνωσης ροπής στρέψης (torque isolator), (5) αντίβαρα (drill collars), (6) αριστερόστροφα ενδογεωτρητικός κινητήρας (left-hand mud motor), (7) στέλεχος εκροής ρευστού (jet sub), (8) διάταξη αποσύνδεσης (disconnect), (9) φρέζα (section mill), (10) στελέχη με σπειροειδείς αυλακώσεις (auger section), και (11) κωνικός μύλος (taper mill) (Khalifeh & Saasen, 2020) ..... 77
- Εικόνα 4-16. Τα πρώτα βήματα εκτέλεσης της τεχνικής PWC: a διατρύπηση της σωλήνωσης, b το εργαλείο έκπλυσης καθελκύεται εντός της γεώτρησης και εκπλένει τον δακτύλιο πίσω από το διάτρητο τμήμα της σωλήνωσης, με φορά από πάνω προς τα κάτω, c η κατώτερη συνδεσμολογία καθελκύεται κάτω από το διάτρητο τμήμα, d ενδιάμεσο ρευστό (spacer) εισπίζεται και η κατώτερη συνδεσμολογία σταδιακά ανελκύεται, e το ενδιάμεσο ρευστό πληρώνει τον χώρο μέχρι λίγο πάνω από το διάτρητο τμήμα (Khalifeh & Saasen, 2020)..... 79
- Εικόνα 4-17. Τα τελευταία βήματα εκτέλεσης της τεχνικής PWC: a η κατώτερη συνδεσμολογία τοποθετείται κάτω από το διάτρητο τμήμα και αντλείται ορισμένες όγκος τσιμέντου, b ενώ συνεχίζεται η εισπίεση του τσιμέντου η κατώτερη συνδεσμολογία ανελκύεται κατά στάδια (pump-and-pull while cementing), c η εισπίεση του τσιμέντου συνεχίζεται μέχρι η κατώτερη συνδεσμολογία και το τσιμέντο να φτάσουν ως την επιφάνεια, στη συνέχεια η κατώτερη συνδεσμολογία ανελκύεται περαιτέρω (θα πρέπει να φτάσει σε βάθος τουλάχιστον δύο στελέχη πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του τσιμέντου (Khalifeh & Saasen, 2020)..... 80

Εικόνα 4-18. Εφαρμογή της τεχνικής φρεζαρίσματος με χρήση δέσμης πλάσματος (plasma based milling) για την απομάκρυνση του σωλήνα παραγωγής και της εξωτερικής αυτού σωλήνωσης και τσιμεντώσης (Khalifeh & Saasen, 2020).....	83
Εικόνα 4-19. Κάτοψη τυπικής διάταξης εξοπλισμού σφράγισης & εγκατάλειψης γεωτρήσεων χωρίς τη χρήση γεωτρυπάνου (rigless deck) (Grismala, 2015).....	87
Εικόνα 4-20. Αντλία υψηλής πίεσης (Grismala, 2015).....	87
Εικόνα 4-21. Δεξαμενή επιστροφής λάσπης (Grismala, 2015).....	88
Εικόνα 4-22. Δοχείο ανάδευσης τσιμεντοπολφού (cement blender) (Grismala, 2015).....	88
Εικόνα 4-23. Μονάδες συρματόσχοινου (wireline units) (Grismala, 2015).....	89
Εικόνα 4-24. Τυπική διάταξη snubbing unit (Rigzone, 2020) .....	90
Εικόνα 4-25. Μονάδα coiled tubing σε υπεράκτια εξέδρα (Schlumberger, 2020) .....	91
Εικόνα 4-26. Μονάδα υδραυλικής συντήρησης (hydraulic workover unit) (Grismala, 2015) .....	92
Εικόνα 4-27. Εικόνα 4-27 Το σκάφος Q4000 παρέμβασης γεωτρήσεων (well intervention vessel) (Grismala, 2015).....	93
Εικόνα 4-28. Το υποθαλάσσιο σύστημα AX-S της εταιρείας Expro Group για την εκτέλεση εργασιών παρέμβασης σε γεωτρήσεις (subsea well intervention system) (Grismala, 2015).....	94
Εικόνα 4-29. Μέθοδος ακουστικών διαγραφιών (acoustic logging) (Khalifeh & Saasen, 2020).....	96
Εικόνα 4-30. Δοκιμή υδραυλικής πίεσης για τον έλεγχο του μόνιμου φραγμού στον δακτύλιο πίσω από τη δεύτερη σωλήνωση (Khalifeh & Saasen, 2020) .....	98
Εικόνα 4-31. Πώματα τσιμέντου μέσα στη γεώτρηση: α πώμα εντός σωληνωμένου τμήματος με κατάλληλο φραγμό τσιμέντου πίσω από τη σωλήνωση, β πώμα σε μη σωληνωμένο τμήμα της γεώτρησης που εκτείνεται ως το άνωθεν σωληνωμένο τμήμα, γ πώμα εξ ολοκλήρου εντός μη σωληνωμένου τμήματος (Khalifeh & Saasen, 2020)	99

Εικόνα 4-32. Ο in situ σχηματισμός διογκώνεται συμπιέζοντας τη σωλήνωση πάνω στα τοιχώματα της γεώτρησης και δημιουργεί έναν στεγανό φραγμό (Khalifeh & Saasen, 2020).....	102
Εικόνα 4-33. Χρήση πολφού άμμου ως εναλλακτικό υλικό πώματος γεώτρησης (Khalifeh & Saasen, 2020).....	103
Εικόνα 4-34. Υφή και χρώμα θερμοσκληρυνόμενης ρητίνης (Khalifeh & Saasen, 2020)	105
Εικόνα 4-35. Γεώτρηση από την οποία διαφεύγουν φυσαλίδες αερίου μετά τη σφράγιση και εγκατάλειψή της (Grismala, 2015).....	105
Εικόνα 4-36. Αναπαράσταση της διαδικασίας τροποποίησης του in situ σχηματισμού και των στοιχείων της γεώτρησης για τη διαμόρφωση μόνιμου φραγμού (Khalifeh & Saasen, 2020).....	107
Εικόνα 5-1. Τμήμα της επιφανειακής σωλήνωσης που έχει απομακρυνθεί από την αρχική του θέση και έχει φορτωθεί σε φορτηγίδα για να μεταφερθεί για διάθεση στην ξηρά (Mactech Offshore Solutions, 2020) .....	117
Εικόνα 5-2. Απομάκρυνση των εξάλων της εξέδρας Odin, βάρους 7.700 τόνων σε δομοστοιχεία (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011) .....	118
Εικόνα 5-3. Διαχωρισμός καταστρώματος σε τμήματα για την απομάκρυνσή του (Grismala, 2015).....	119
Εικόνα 5-4. Κοπή με εκτόξευση διαβρωτικής δέσμης νερού (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011).....	121
Εικόνα 5-5. Διατάξεις σταθεροποίησης υποθαλάσσιου εξοπλισμού in situ μετά τον παροπλισμό του (Gourvenec, 2018).....	126
Εικόνα 5-6. Απομάκρυνση υποθαλάσσια βάσης (template) με χρήση εκρηκτικών (Grismala, 2015).....	127
Εικόνα 5-7. Γομώσεις χύδην εκρηκτικών (bulk charges) (Grismala, 2015).....	128
Εικόνα 5-8. Κοίλες γομώσεις εκρηκτικών (shaped charges) (Grismala, 2015).....	129
Εικόνα 5-9. Σύστημα συρματοκοπής με αδαμαντοφόρο σύρμα (diamond wire cutting system) (Grismala, 2015) .....	130

Εικόνα 5-10. Μηχανή κοπής τύπου γκιλοτίνας (guillotine saw) (Grismala, 2015) .....	130
Εικόνα 5-11. Κοπή με εκτόξευση διαβρωτικής δέσμης νερού (water abrasive cutting) (Grismala, 2015).....	131
Εικόνα 5-12. Υδραυλικό ψαλίδι μετάλλων (hydraulic mechanical shear) (Grismala, 2015) .....	131
Εικόνα 5-13. Αποκοπή πολλαπλών στηλών σωλήνωσης κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας με χρήση υδραυλικού ψαλιδιού μετάλλων (Grismala, 2015) .....	132
Εικόνα 5-14. Σύστημα απομάκρυνσης υπεράκτιων αγωγών (Laytrix Limited, 2019) .....	138
Εικόνα 5-15. Επιλογές διάθεσης παροπλισμένων τμημάτων στη θάλασσα (Sommer, et al., 2019).....	142
Εικόνα 5-16. Καθέλκυση ROV για την πλήρη εκκαθάριση του πυθμένα μετά τον παροπλισμό και απομάκρυνση υπεράκτιας εξέδρας (English, 2019) .....	144
Εικόνα 6-1. Κύριοι παράγοντες κόστους ενός έργου παροπλισμού υπεράκτιας εγκατάστασης (Byrd, Miller, & Wiese, 2014) .....	148
Εικόνα 6-2. Χώρος ανακύκλωσης παροπλισμένων τμημάτων εξεδρών στην πόλη Μόργκαν, Λουϊζιάνα (Grismala, 2015).....	154
Εικόνα 7-1. Βιοποικιλότητα που έχει αναπτυχθεί σε υπεράκτιες εξέδρες παραγωγής Υ/Α (Roos, 2019) .....	202

## *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή*

### **1.1. Σκοπός και στόχοι της εργασίας**

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Παροπλισμός υπεράκτιων εγκαταστάσεων έρευνας και παραγωγής Υ/Α – Offshore Oil and Gas Decommissioning» έχει ως σκοπό την εις βάθος και κατά το δυνατό σφαιρική εξέταση των ζητημάτων που αφορούν στον παροπλισμό μιας υπεράκτιας εκμετάλλευσης Υ/Α. Πέρα από τις διαδικασίες, τις μεθόδους και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο για τον παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων σε όλο τον κόσμο, η εργασία αποσκοπεί και στην εξέταση των παραγόντων κόστους, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και του θεσμικού πλαισίου που τις διέπει.

Στους στόχους της εργασίας περιλαμβάνεται η επισκόπηση των έργων υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι και σήμερα ,της τρέχουσας κατάστασης τέτοιων έργων, όσο και των αυξανόμενων ολοένα αναγκών παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α σε όλο τον κόσμο.

Εξετάζονται αναλυτικά όλες οι διαδικασίες και τεχνολογίες παροπλισμού που ακολουθούνται και εφαρμόζονται σε όλες τις φάσεις εξέλιξης των εργασιών, από τη σφράγιση και εγκατάλειψη μίας γεώτρησης μέχρι την αποξήλωση και απομάκρυνση της εξέδρας, των αγωγών και του λοιπού εξοπλισμού. Διερευνάται, επίσης, η οικονομική διάσταση ενός έργου παροπλισμού και ποιοι είναι οι βασικοί παράγοντες κόστους και ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος τέτοιων έργων παροπλισμού και των μέτρων που λαμβάνονται για την πρόληψη και την αντιμετώπισή του. Τέλος, εξετάζεται το θεσμικό πλαίσιο που διέπει αυτές τις δραστηριότητες διεθνώς, στην Ευρώπη και την Ελλάδα.

### **1.2. Μεθοδολογία**

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε βασίστηκε στην επισκόπηση της βιβλιογραφία, ανατρέχοντας σε ποικίλες βιβλιογραφικές πηγές: βιβλία, εκθέσεις διεθνών και εθνικών οργανισμών & φορέων, επιστημονικά άρθρα σε συνέδρια και



περιοδικά και αξιόπιστες πηγές στο διαδίκτυο. Η βιβλιογραφία αξιοποιήθηκε κατάλληλα, ώστε να καλύψει τα βασικά ζητήματα του παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων που αφορούν στην τρέχουσα τεχνολογία, το κόστος, την περιβαλλοντική συμβατότητα και το θεσμικό πλαίσιο που διέπει αυτά τα έργα.

### 1.3. Δομή της εργασίας

Η δομή της διπλωματικής εργασίας έχει ως εξής:

- Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή
- Κεφάλαιο 2. Υπεράκτιες εγκαταστάσεις έρευνας και παραγωγής υδρογονανθράκων: Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύονται οι τύποι υπεράκτιων εξεδρών που υπάρχουν σήμερα στον κόσμο και χρησιμοποιούνται για την έρευνα και παραγωγή Υ/Α, ενώ παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη και η τρέχουσα έκταση αυτών των δραστηριοτήτων σε διεθνές επίπεδο (Καλιφόρνια, Κόλπος του Μεξικού, Βόρεια Θάλασσα και υπόλοιπος κόσμος).
- Κεφάλαιο 3. Διεθνής εικόνα και προοπτικές: Παρουσιάζεται πιο αναλυτικά η διεθνής εικόνα των έργων παροπλισμού υπεράκτιων εκμεταλλεύσεων Υ/Α σε σημαντικές πετρελαιοπαραγωγές χώρες και περιοχές, όπως στις Η.Π.Α. και τη Βόρεια Θάλασσα καθώς στον υπόλοιπο κόσμο, ενώ συνοψίζονται και οι εκτιμώμενες απαιτήσεις για την εξέλιξη των έργων παροπλισμού τα επόμενα χρόνια σε όλο τον κόσμο.
- Κεφάλαιο 4. Σφράγιση και εγκατάλειψη γεωτρήσεων: Στο κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά στα στάδια σφράγισης και εγκατάλειψης μίας υπεράκτιας γεώτρησης, καθώς και στις τεχνικές που εφαρμόζονται κατά τη συγκεκριμένη διαδικασία. Αναφέρεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται, καθώς και το είδος των πωμάτων και των φραγμών που τοποθετούνται στη γεώτρηση. Τέλος, γίνεται αναφορά στους τρόπους επαλήθευσης των μόνιμων φραγμών που έχουν τοποθετηθεί.
- Κεφάλαιο 5. Παροπλισμός και απόσυρση υπεράκτιων εξεδρών πετρελαίου και φυσικού αερίου και συναφούς εξοπλισμού: Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύονται οι διαδικασίες παροπλισμού για τις εξέδρες, το χωροδικτύωμα (jacket) ή τη γάστρα

(hull) τους, τις υποθαλάσσιες εγκαταστάσεις, τους αγωγούς καθώς και τους σωρούς των θρυμμάτων της όρυξης. Γίνεται, επίσης, αναφορά στα σκάφη που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των παροπλισμένων τμημάτων, στους τρόποι διάθεσης εκείνων, καθώς και στην επαλήθευση εκκαθάρισης του εργοταξίου και την παρακολούθησή του, ως το τελικό στάδιο του παροπλισμού.

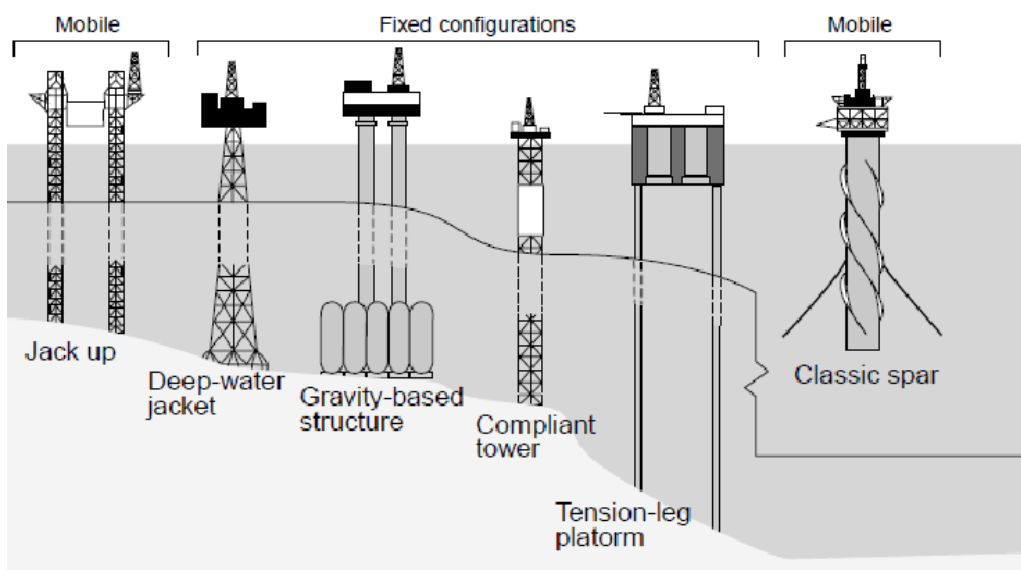
- Κεφάλαιο 6. Κόστος παροπλισμού υπεράκτιας εξέδρας: Στο κεφάλαιο 6 διερευνώνται οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος παροπλισμού και η ντετερμινιστική (υπολογιστική μέθοδος) και στοχαστική (πιθανολογική μέθοδος) μέθοδος προσδιορισμού εκείνου. Τέλος, αναφέρονται ενδεικτικά τα κόστη παροπλισμού σε χώρες μεγάλου ενδιαφέροντος (Ηνωμένο Βασίλειο, Ολλανδία, Δανία, Αμερική).
- Κεφάλαιο 7. Περιβαλλοντικά ζητήματα – Θεσμικό πλαίσιο: Παρουσιάζεται η μεθοδολογία αξιολόγησης των περιβαλλοντικών κινδύνων και των επιπτώσεων που εκείνοι έχουν, ενώ καταγράφονται και οι τρόποι πρόληψης και αντιμετώπισης των κινδύνων που δύναται να προκύψουν κατά την υλοποίηση των εργασιών παροπλισμού. Εξετάζεται, τέλος, το θεσμικό πλαίσιο που διέπει τα έργα παροπλισμού σε διεθνές, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο.
- Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Υπεράκτιες εγκαταστάσεις έρευνας και παραγωγής υδρογονανθράκων

### 2.1. Τύποι υπεράκτιων εγκαταστάσεων

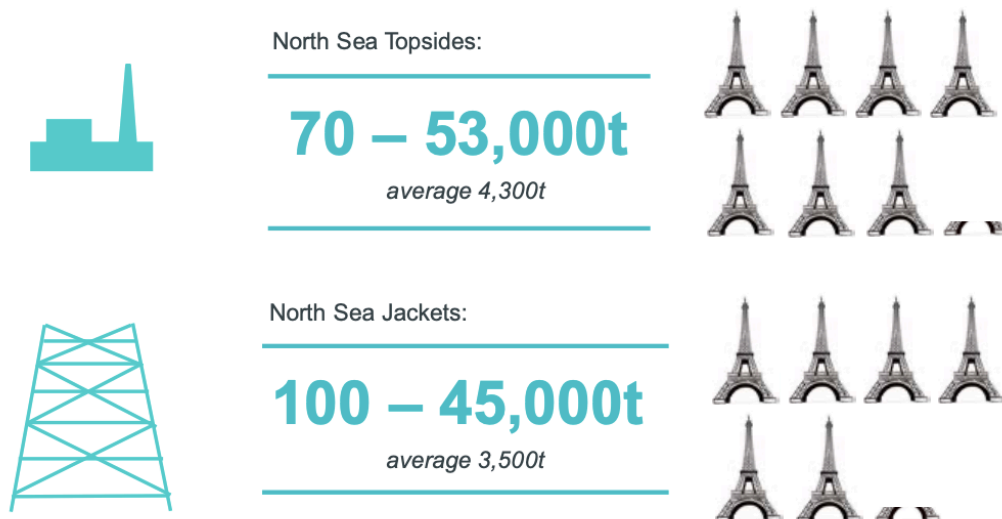
Οι διαφορετικοί τύποι υπεράκτιων εξεδρών παραγωγής υδρογονανθράκων σχετίζονται με παράγοντες όπως: το βάθος της θάλασσας που πρόκειται να εγκατασταθούν, ο αριθμός και το βάθος των γεωτρήσεων που θα υποστηρίζουν, ο εξοπλισμός που θα εγκατασταθεί επί αυτών, η ευκολία μεταφοράς τους και το κόστος τους. Πολλές φορές συνεκτιμάται και το κόστος απεγκατάστασης και παροπλισμού, ανάλογα με την εκτιμώμενη διάρκεια της παραγωγής στο πεδίο που τοποθετούνται.

Κατασκευάζονται από χάλυβα διαφόρων τύπων, αλλά και από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ, είναι μέγιστης σημασίας οι εγκαταστάσεις αυτές να είναι αυτόνομες σε σχέση με θέματα ενέργειας, παροχής πόσιμου νερού και εξυπηρέτησης προσωπικού. Διακρίνονται σε κατασκευές εδραζόμενες επί του πυθμένα της θάλασσας (fixed platforms) και σε πλωτές κατασκευές (floating systems) (Σχήμα 2-1), με τις πρώτες να αναφέρονται σε εκείνες που δε μπορούν να μετακινηθούν, σε αντίθεση με τις πλωτές εξέδρες που μετακινούνται σε όποιο μέρος του κόσμου χρειαστεί.



Σχήμα 2-1. Τύποι υπεράκτιων εγκαταστάσεων για την παραγωγή υδρογονανθράκων (Yew, Ismail, Abd Rahman Sabri, & Abdul Rahim, 2014)

Όσον αναφορά το μέγεθος των συγκεκριμένων κατασκευών, ισχύει ότι τμήματα τους δύναται να είναι εκατοντάδες μέτρα σε μήκος ή ύψος. Για παράδειγμα, γίνεται εύκολα αντιληπτή η κλίμακα αυτών των τμημάτων, μέσω σύγκρισης με μια, γνωστή σε πολλούς, κατασκευή όπως ο πύργος του Άιφελ (Εικόνα 2-1). Για παράδειγμα, οι υπεράκτιες εξέδρες στη Νορβηγία διαθέτουν έξαλα μέρη (topsides) που μπορεί να ζυγίζουν από 70 έως 53000 τόνους, με μια μέση τιμή να είναι στους 4300 τόνους, και βάσεις (jackets) να ζυγίζουν μεταξύ 100 και 45000 τόνων, με μια μέση τιμή στους 3500 τόνους (Gourvenec, Shaping the offshore decommissioning agenda and next generation design of offshore infrastructure, 2018).



Εικόνα 2-1. Παράδειγμα κλίμακας υπεράκτιων κατασκευών (Gourvenec, Shaping the offshore decommissioning agenda and next generation design of offshore infrastructure, 2018)

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου υπεράκτιας εξέδρας για την εκμετάλλευση κοιτάσματος υδρογονανθράκων, εξαρτάται από μια σειρά παράγοντες. Το βάθος τοποθέτησης (βάθος θάλασσας) είναι ο κυριότερος παράγοντας, αφού, η τιμή του καθορίζει εάν η εξέδρα θα είναι είτε εδραζόμενη επί του πυθμένα, στις περιπτώσεις μικρών βαθών, είτε πλωτή, στις περιπτώσεις μεγάλων βαθών. Εκτός από το βάθος θάλασσας, η επιλογή του κατάλληλου τύπου εξέδρας καθορίζεται και από τις κλιματολογικές συνθήκες (ταχύτητα του ανέμου, ύψος των κυμάτων, θαλάσσια ρεύματα) που επικρατούν στην περιοχή όπου αυτές επιχειρούν και μάλιστα υπό τις πλέον δυσμενείς εκτιμήσεις. Τέλος, το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής όπου προγραμματίζεται η εκμετάλλευση υδρογονανθράκων, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή του τύπου της υπεράκτιας εξέδρας, καθώς και στο είδος της θεμελίωσης που θα χρησιμοποιηθεί.

### 2.1.1. Επί του πυθμένα εδραζόμενες εξέδρες (fixed platforms)

Οι σταθερές υπεράκτιες εξέδρες έχουν ως κύριο πλεονέκτημα τη σταθερότητα, αφού υπάρχει ελάχιστη έκθεση σε κινδύνους κινητικότητας λόγω καιρικών συνθηκών. Χρησιμοποιούνται κυρίως στην όρυξη παραγωγικών γεωτρήσεων σε σχετικά μικρά βάθη θάλασσας και στην υποδοχή όλου του εξοπλισμού παραγωγής και επεξεργασίας προϊόντων στη συνέχεια. Παρόλα αυτά, δε δύναται να χρησιμοποιηθούν σε πολύ βαθιά ύδατα, διότι είναι αντιοικονομική η κατασκευή τόσο μεγάλων πασσάλων στήριξης (Sadeghi, 2007).

Στις εξέδρες αυτές περιλαμβάνονται οι ακόλουθοι κύριοι τύποι:

- Εξέδρες τύπου χωροδικτύωματος (jacket): Οι εξέδρες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται ευρέως για την όρυξη γεωτρήσεων και την επακόλουθη παραγωγή υδρογονανθράκων. Το κατάστρωμα (deck) υποστηρίζεται από ένα μεταλλικό χωροδικτύωμα (jacket) (Εικόνα 2-2), που μπορεί να διεισδύσει στον πυθμένα έως και 328 πόδια, εξασφαλίζοντας, έτσι, τη σταθερότητα όλης της κατασκευής. Το χωροδικτύωμα αποτελείται από χαλύβδινους σωλήνες, στηρίζεται στον πυθμένα με τη βοήθεια πασσάλων και είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να αντέχει το βάρος του καταστρώματος, μαζί με όλα τα επιμέρους τμήματά του (π.χ. γεννήτριες, ξενώνες, δεξαμενές ρευστών), τα κύματα, την πίεση του αέρα στο άνω τμήμα (topside), τη ροή του νερού και των κυμάτων, τη διάβρωση και γενικά να είναι σε θέση να ανταπεξέλθει στον παραγωγικό κύκλο ζωής του (2B1st Consulting, 2012).



Εικόνα 2-2. Εξέδρα τύπου jacket (2B1st Consulting, 2012)

- Εξέδρες βαρύτητας (gravity rigs): Οι εξέδρες αυτού του τύπου αποτελούνται από πυλώνες και θεμελίωση, κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Όπως υποδεικνύει και το ονόματος τους, γίνεται φανερό ότι χάρη στις μεγάλες διαστάσεις τους, αλλά και λόγω του βάρους τους, παραμένουν στη θέση τους λόγω βαρύτητας. Προορίζονται για χρήση σε βάθη στήλης νερού μέχρι και 1640 πόδια, ενώ, πριν την εγκατάσταση είναι απαραίτητη η μελέτη του υποβάθρου, έτσι ώστε να αποφευχθούν αστοχίες με την πάροδο του χρόνου λόγω του βάρους της κατασκευής.

Για παράδειγμα, η εξέδρα Berkut που φαίνεται στην Εικόνα 2-3 αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες εξέδρες βαρύτητας για την παραγωγή πετρελαίου στη Ρωσία, ζυγίζει πάνω από 200.000 τόνους και η παραγωγική ζωής της ξεκίνησε στις αρχές του 2015. Είναι κατασκευασμένη έτσι ώστε να αντέχει στις αντίξοες καιρικές συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής, όπως, σεισμικά κύματα, θαλάσσια κύματα ύψους μέχρι 52ft (16m) καθώς και πάγο πάχους 6.5ft (2m). Έχει αυτόνομη μονάδα παροχής ενέργειας και η λειτουργία της συνεχίζεται και σε θερμοκρασίες μέχρι και στους -44 οC. Είναι εδραιωμένη σε μία κατασκευή σκυροδέματος η οποία βρίσκεται σε βάθος στήλης νερού περίπου 115ft (35m), ενώ, η κατασκευή της απαιτήσε 52.000 m<sup>3</sup> σκυροδέματος καθώς και 27.000 τόνους από ατσάλι. Τα έξαλα μέρη της (topside) είναι 344ft (105m) σε μήκος, περίπου 197ft (60m) σε πλάτος και 472ft (144m) σε ύψος. Ζυγίζει πάνω από 42.780 μετρικούς τόνους, γεγονός που απαιτήσε καινοτόμες μεθόδους κατά τη μεταφορά και εγκατάστασή της το 2014 (Withers, 2018).



Εικόνα 2-3. Η εξέδρα βαρύτητας Berkut (Withers, 2018)

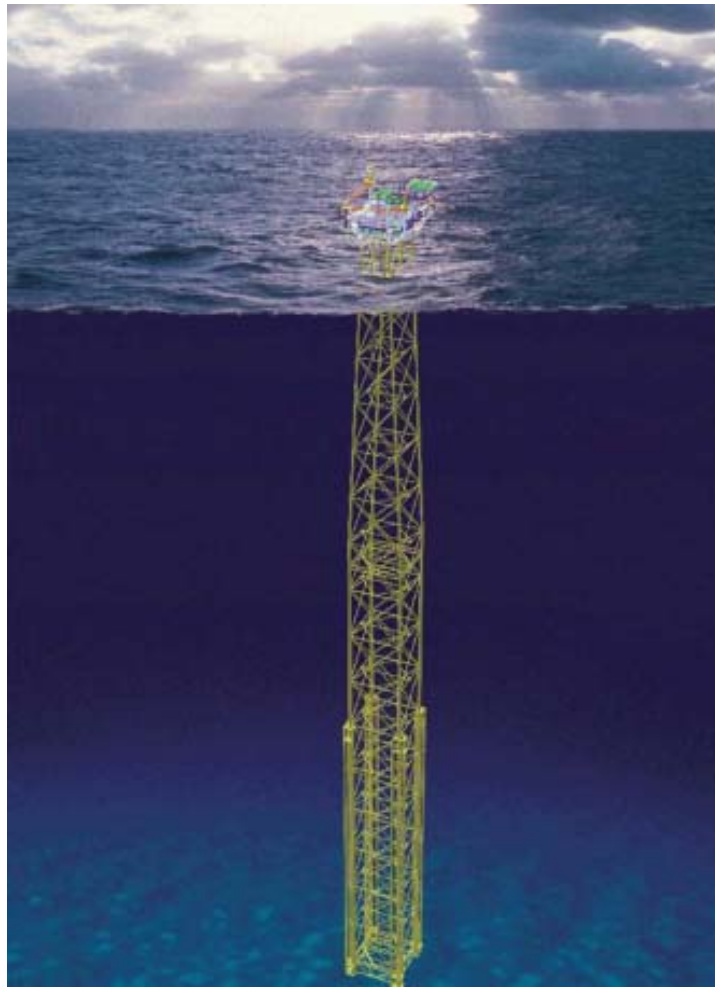


- Αυτοανυψούμενες εξέδρες (jack-up): Χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε σχετικά ρηγά νερά, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να φτάσουν και τα 500 πόδια. Αποτελούν μια κινητή εξέδρα που περιλαμβάνει μια κατασκευή τύπου φορτηγίδας (πλωτό μέρος) και τρεις ή τέσσερις πυλώνες (πόδια) οι οποίοι όταν εκτείνονται στηρίζουν το πλωτό μέρος. Κατά τη διάρκεια ενός υπεράκτιου έργου, η εξέδρα μεταφέρεται στο κατάλληλο σημείο με ανυψωμένους τους πυλώνες, οι οποίοι στη συνέχεια κατέρχονται, εξασφαλίζοντας την έδραση της εξέδρας στον πυθμένα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-4. Ύστερα από το πέρας της διάτρησης, οι πυλώνες ανυψώνονται και η εξέδρα ρυμουλκείται σε καινούργια θέση (Sadeghi, 2007).



Εικόνα 2-4. Αυτοανυψούμενη εξέδρα (jack-up) (Offshore Fleet Journal, 2020)

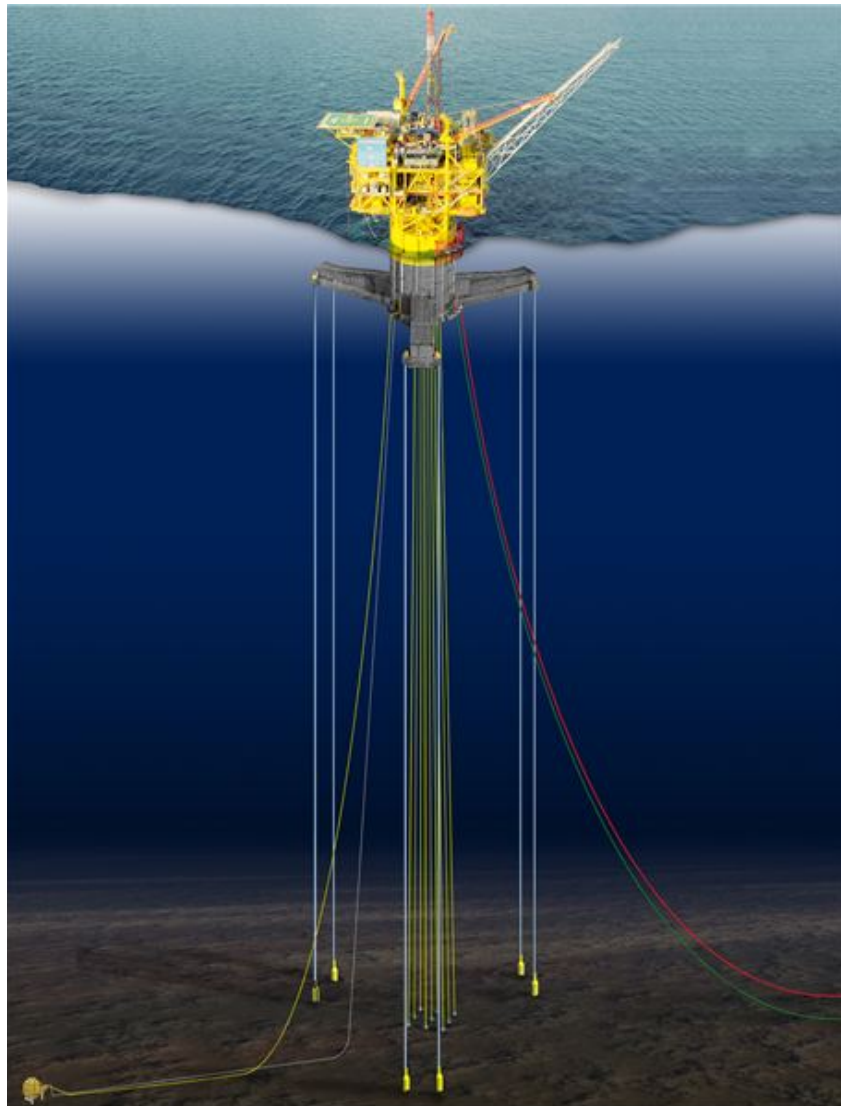
- Εξέδρες τύπου compliant towers: Έχει παρόμοια δομή με τις εξέδρες τύπου jacket, αφού αποτελείται από χωροδικτύωμα χαλύβδινων σωλήνων το οποίο εδράζεται σε πασσάλους, ενώ, στο πάνω μέρος του διαθέτει ειδικές βάσεις υποδοχής του καταστρώματος (Εικόνα 2-5). Είναι σχεδιασμένες, έτσι ώστε να αντέχουν τις πλευρικές εκτροπές, γεγονός που τους επιτρέπει τη δραστηριοποίηση σε τοποθεσίες με έντονα καιρικά φαινόμενα, ενώ χρησιμοποιούνται σε βάθη στήλης νερού από 1210 έως 2990 πόδια (Wikipedia, 2020).



Εικόνα 2-5. Αναπαράσταση εξέδρας τύπου compliant towers (Bryant, 2017)

- Εξέδρες τύπου sea star: Αυτού του είδους οι εξέδρες αποτελούνται από ένα πλωτό περίβλημα και από tension legs, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-6. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά τις καθιστούν ανθεκτικές τόσο στον άνεμο, όσο και στα θαλάσσια κύματα. Όσον αφορά τα tension legs, πρόκειται για μεγάλου μήκους, κοίλα στηρίγματα που εκτείνονται από τον πυθμένα μέχρι και το πλωτό μέρος της εξέδρας. Βρίσκονται υπό συνεχή άσκηση τάσης, η οποία είναι τόση ώστε να μην επιτρέπεται η ανοδική και καθοδική κίνηση της εξέδρας, αλλά να προάγεται η πλευρική κίνηση αυτής, χωρίς να αποκόπτονται τα tension legs. Γενικά, χρησιμοποιούνται όταν υπάρχουν κοιτάσματα μικρότερης έκτασης σε μεγάλο βάθος και όταν η κατασκευή μιας μεγαλύτερης εξέδρας θεωρείται μη οικονομική καθώς λειτουργούν σε μεγάλα βάθη της τάξεως των 3500 ποδιών (Bright Hub Engineering, 2009).





Εικόνα 2-6. Αναπαράσταση εξέδρας τύπου sea star (Bright Hub Engineering, 2009)

### 2.1.2. Πλωτές εξέδρες (floating systems)

Σε αντίθεση με τις εδραζόμενες επί του πυθμένα, οι πλωτές εξέδρες μετακινούνται εύκολα, ενώ έχουν την ικανότητα να σταθεροποιούνται στην εκάστοτε απαιτούμενη γεωτρητική θέση, μέσω συστημάτων αγκύρωσης, συρματόσχοινων, συστημάτων δυναμικής σταθεροποίησης ή συνδυασμό των παραπάνω. Λειτουργούν σε βάθος θάλασσας μέχρι 6000 πόδια (Sadeghi, 2007).

Στις πλωτές κατασκευές περιλαμβάνονται οι ακόλουθοι τύποι:

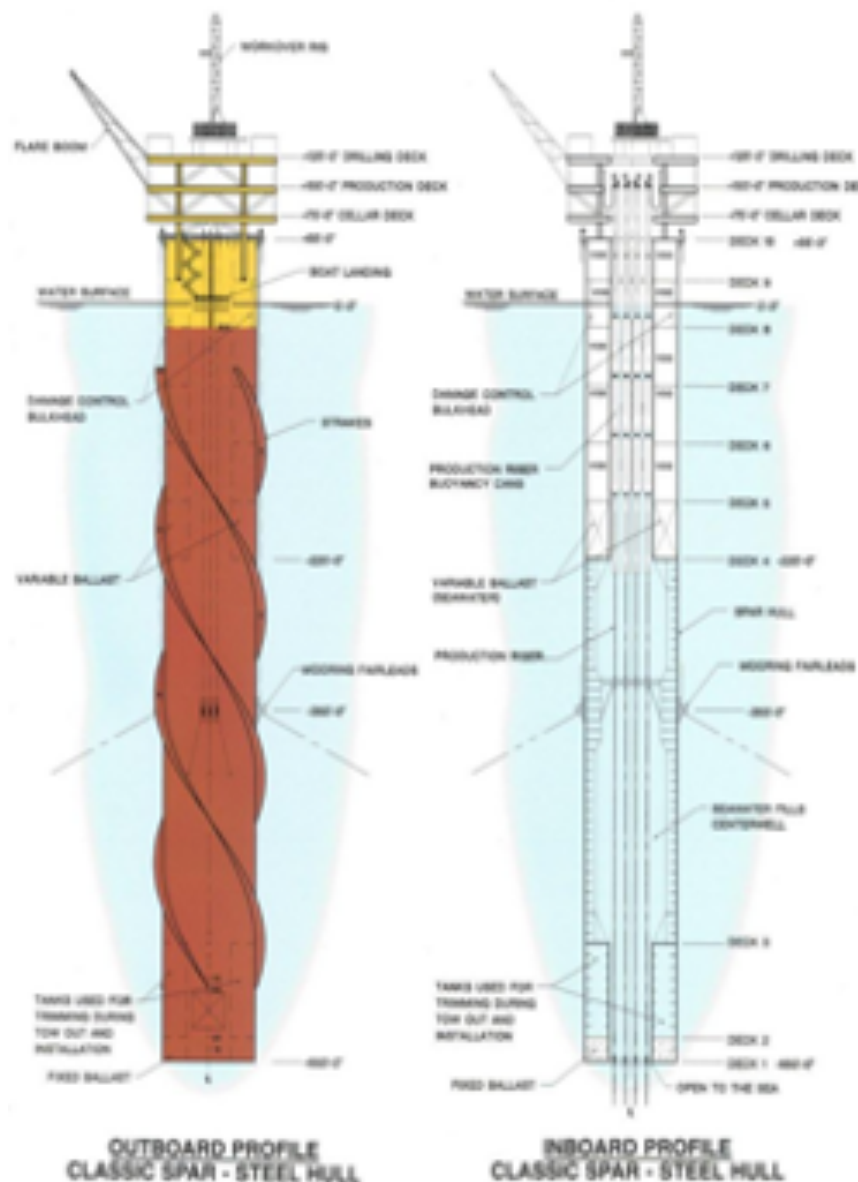
- Πλωτές ημιβυθιζόμενες εξέδρες (semi-submersible platforms): Το συγκεκριμένο είδος πλατφόρμας είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο στις υπεράκτιες εκμεταλλεύσεις. Το κατάστρωμα εδράζεται πάνω σε μεταλλικούς πυλώνες, οι οποίοι βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια του νερού και συνδέονται παράλληλα με μια βυθισμένη γάστρα (hull) με πλωτήρες (Εικόνα 2-7). Η γάστρα επιτρέπει στην εξέδρα να επιπλέει και εξασφαλίζει την παραμονή της πάνω από τη θέση της γεώτρησης. Γίνεται χρήση τους τόσο στην όρυξη γεωτρήσεων, όσο και στην παραγωγή και διακρίνονται σε γενιές, με την 6η να φτάνει σε βάθη νερού μέχρι και 10.000 πόδια (Wikipedia, 2020).



Εικόνα 2-7. Πλωτή ημιβυθιζόμενη εξέδρα (Wikipedia, 2020)

- Εξέδρες τύπου spar: Ανήκουν στις μεγαλύτερες υπεράκτιες εξέδρες που χρησιμοποιούνται σήμερα. Αποτελούνται από κυλίνδρους που ο κατώτερος ερματίζεται με ρευστό υψηλότερης πυκνότητας του νερού, με αποτέλεσμα το κέντρο βάρους της εξέδρας να είναι χαμηλά, χαμηλότερα από το κέντρο άντωσης, ώστε να διασφαλίζεται μεγαλύτερη ευστάθεια (μεγάλη μάζα, μικρή επιφάνεια). Αυτές οι εξέδρες είναι μόνιμα αγκυρωμένες με κλασικά αγκυροβόλια στον πυθμένα, γεγονός που αντιμετωπίζει το πρόβλημα της άνωσης. Επιπρόσθετα, η γάστρα του σκάφους περικυκλώνεται από ελικοειδείς πλάκες για να αμβλύνουν τα αποτελέσματα της κίνησης που προκαλείται από στροβιλισμό. Διάφορες παραλλαγές αυτού του τύπου εξέδρες προκύπτουν ανάλογα με τον τύπο και τη διάταξη των κυλινδρικών μερών. Για

παράδειγμα, η πλατφόρμα Perdido στον Κόλπο του Μεξικού αποτελεί την πιο βαθιά εδραζόμενη εξέδρα τύπου spar, αφού φτάνει σε βάθος 8000 ποδιών (Wikipedia, 2019). Ο μεγαλύτερος αριθμός εξεδρών αυτού του τύπου βρίσκεται στη Βόρεια Θάλασσα και στον Κόλπο του Μεξικού.



Εικόνα 2-8. Τυπικές δομές εξέδρας τύπου spar (Bright Hub Engineering, 2009)

- Εξέδρες τύπου TLP: Είναι μια κατακόρυφη πλωτή κατασκευή που συνήθως χρησιμοποιείται για την παραγωγή πετρελαίου ή φυσικού αερίου στην ανοικτή θάλασσα και είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για βάθη νερού μεγαλύτερα από 300 μέτρα (περίπου 1000 πόδια) και μικρότερα από 1500 μέτρα (περίπου 4900 πόδια). Έχει πολύ

μικρότερο βάρος (το υποθαλάσσιο τμήμα της εξέδρας είναι κενό και όχι συμπαγές) ώστε η άνωση που δέχεται να είναι πολύ μεγάλη (περίσσεια άνωσης) (Εικόνα 2-9). Με τον κατακόρυφο τρόπο αγκύρωσης, πρακτικά η κατασκευή είναι μονίμως σε κατακόρυφη τάση. Η χρήση εξεδρών TLP έχει επίσης προταθεί για υπεράκτιες ανεμογεννήτριες. Η πλατφόρμα είναι αγκυροβολημένη μόνιμα μέσω ιμάντων ή με τένοντες ομαδοποιημένους σε κάθε μία από τις γωνίες της δομής. Μια ομάδα ιμάντων ονομάζεται πόδι έλξης (tension leg). Ένα χαρακτηριστικό του σχεδιασμού των ιμάντων είναι ότι έχουν σχετικά υψηλή αξονική ακαμψία (χαμηλή ελαστικότητα), έτσι ώστε να εξαλείφεται ουσιαστικά όλη η κατακόρυφη κίνηση της εξέδρας. Αυτό επιτρέπει στην πλατφόρμα να φέρει επί του καταστρώματος όλα τα απαραίτητα συστήματα παραγωγής, συνδεδεμένα απευθείας με τα επιθυμητά συστήματα των γεωτρήσεων, μέσω άκαμπτων risers.



Εικόνα 2-9. Εξέδρα τύπου TLP (2B1st Consulting, 2014)



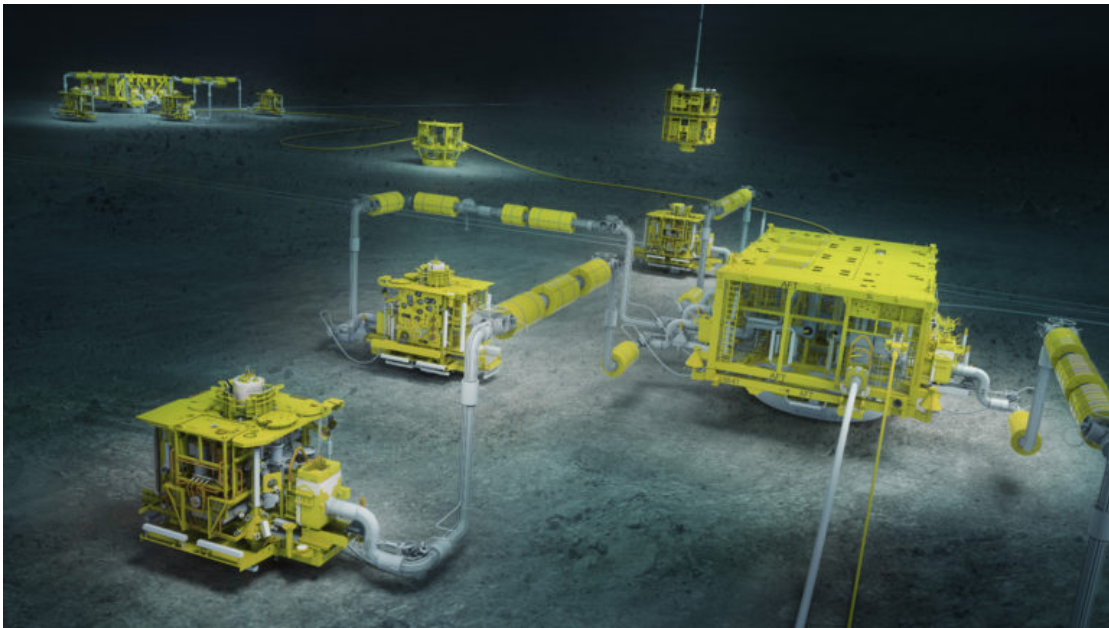
- Γεωτρητικά σκάφη (drill ships): Πρόκειται για πλοία στα οποία έχει εγκατασταθεί ο κατάλληλος γεωτρητικός εξοπλισμός, ώστε να εκτελούνται οι διαδικασίες όρυξης γεωτρήσεων. Βασική διαφορά σε σχέση με τις προαναφερόμενες πλωτές κατασκευές είναι ότι τα γεωτρητικά σκάφη έχουν τη δομή ενός συμβατικού πλοίου (Εικόνα 2-10) και μπορούν να επιχειρούν σε βάθη μέχρι και 12.000 πόδια μέσω χρήσης δυναμικών συστημάτων σταθεροποίησης που εξασφαλίζουν τη διατήρηση της θέσης τους πάνω από τη γεώτρηση (Maritime Connector, 2020).



Εικόνα 2-10. Γεωτρητικό σκάφος (Maritime Connector, 2020)

### 2.1.3. Υποθαλάσσια συστήματα παραγωγής (subsea systems)

Στις περιπτώσεις κοιτασμάτων υδρογονανθράκων που εντοπίζονται σε μεγάλα βάθη θάλασσας, είναι μακριά από υφιστάμενες υπεράκτιες εξέδρες παραγωγής και κρίνεται αντικοινομική η εκμετάλλευσή τους κάνοντας χρήση των επιφανειακών εγκαταστάσεων, η παραγωγή κρίνεται ιδιαίτερα απαιτητική. Στην προσπάθεια κάλυψης αυτής της ανάγκης προέκυψαν τα υποθαλάσσια συστήματα παραγωγής (Εικόνα 2-11), τα οποία τοποθετούνται επί του πυθμένα της θάλασσας. Η κύρια λειτουργία αυτών των συστημάτων είναι ο έλεγχος της παραγωγής και η μεταφορά των Υ/Α, μέσω riser, σε υπεράκτιες εξέδρες ή ακόμη και στη στεριά.

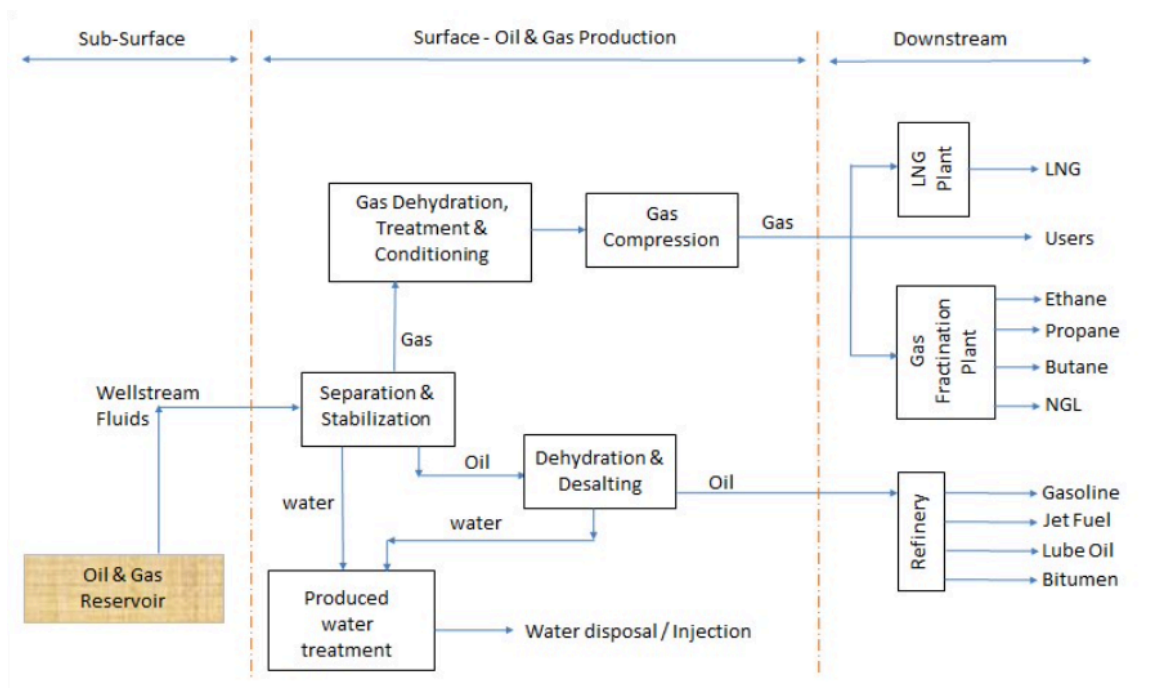


Εικόνα 2-11. Τυπική διάταξη ενός υποθαλάσσιου συστήματος παραγωγής (TechSci Research, 2019)

#### 2.1.4. Επεξεργασία παραγόμενων Υ/Α

Ύστερα από την παραγωγή των Υ/Α σε μια υπεράκτια εξέδρα ακολουθεί ένα εξίσου σημαντικό στάδιο, αυτό της επεξεργασίας. Το παραγόμενο ρεύμα αποτελείται από πετρέλαιο, αέριο και νερό, γεγονός που δεν επιτρέπει την άμεση προώθησή του σε αγωγούς ή δεξαμενόπλοια, απαιτώντας, έτσι, τον διαχωρισμό του σε επιμέρους προϊόντα και φάσεις επί της εξέδρας παραγωγής. Η επεξεργασία στοχεύει στον διαχωρισμό του ρεύματος που αναφέρθηκε σε επιμέρους φάσεις, αλλά και στην απομάκρυνση ανεπιθύμητων ουσιών από εκείνες. Ένα τυπικό διάγραμμα της επεξεργασίας Υ/Α φαίνεται στο Σχήμα 2-2.

Κατά τη διέλευση των ρευστών από το christmas tree (Εικόνα 2-12) ξεκινάει και η επεξεργασία τους. Μέσω σωλήνων ή γραμμής ροής (flowline) μεταφέρονται προς μια βαλβίδα στραγγαλισμού (choke valve) που ρυθμίζει την ταχύτητα ροής και μειώνει την πίεση των ρευστών που διέρχονται. Οι γραμμές ροής της κάθε γεώτρησης συγκεντρώνονται σε ένα σύστημα σωλήνων πολλαπλής εισαγωγής (intel manifold) και έπειτα οδηγούνται προς τους διαχωριστές (separators), όπου λαμβάνει χώρα ένας αρχικός διαχωρισμός των τριών φάσεων.



Σχήμα 2-2. Τυπικό διάγραμμα επεξεργασίας παραγόμενων υδρογονανθράκων επί της εξέδρας (Piping Engineering-Knowledge base, 2020)

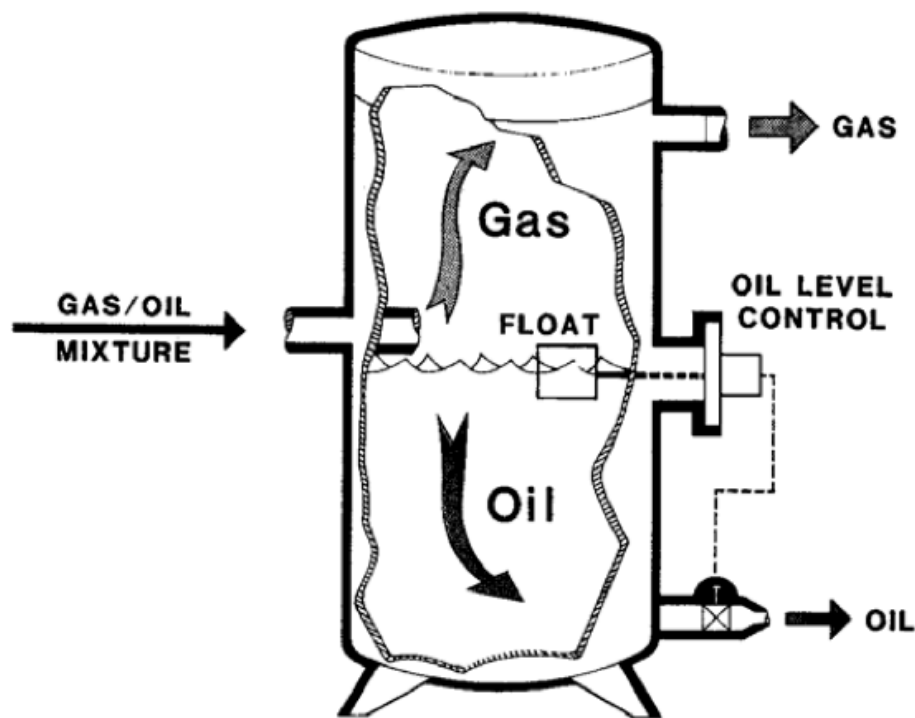


Εικόνα 2-12. Υποθαλάσσιο christmas tree (wet tree)  
(<https://subseapipelineblog.wordpress.com/2016/02/17/horizontal-and-vertical-christmas-tree/>)

Η διαδικασία διαχωρισμού πρέπει να πραγματοποιεί τους παρακάτω στόχους προκειμένου να είναι επιτυχής (Σταματάκη & Αυλωνίτης, 2004):

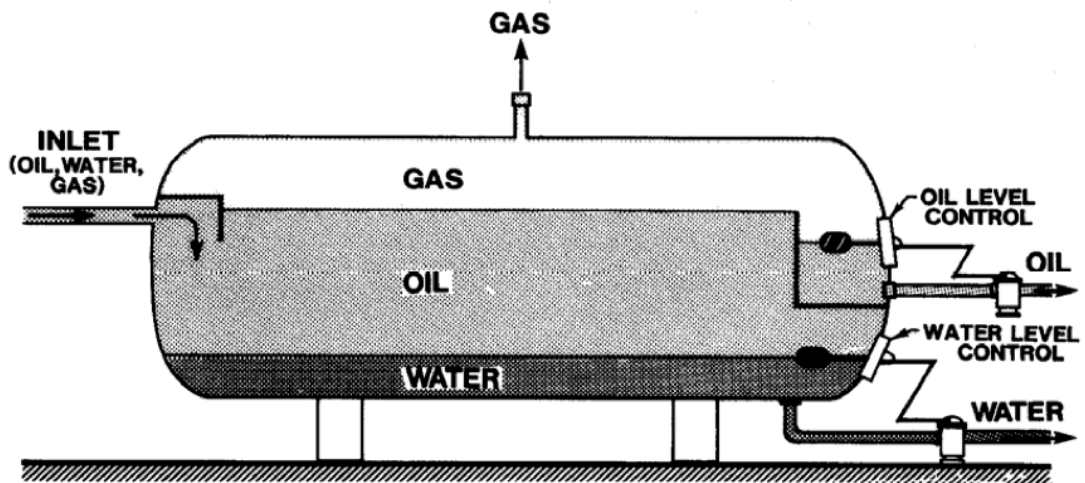
- Ικανοποίηση των προϋποθέσεων για τη μεταφορά ή την πώληση των υδρογονανθράκων.
- Μεγιστοποίηση της οικονομικής αξίας των παραγόμενων υδρογονανθράκων.
- Τήρηση και εκπλήρωση όλων των υποχρεώσεων που πηγάζουν από τη σχετική νομοθεσία και αφορούν στην απόρριψη σε ξηρά ή σε θάλασσα οποιουδήποτε τμήματος της παραγωγής.
- Ικανοποίηση των προϋποθέσεων για την εισπίεση ρευστών στον ταμιευτήρα.

Οι διαχωριστές αποτελούν σχετικά απλές διατάξεις μέσα στις οποίες πραγματοποιείται ο διαχωρισμός φάσεων, κυρίως μέσω της βαρύτητας. Η πολυπλοκότητα σχεδιασμού ενός διαχωριστή εξαρτάται άμεσα από τη δυσκολία διαχωρισμού των φάσεων. Διαχωρίζονται σε διαχωριστή κάθετης διάταξης (Σχήμα 2-3), διαχωριστή free-water knockout, που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του «ελεύθερου» παραγόμενου νερού (Σχήμα 2-4) και διαχωριστή ενδιάμεσης πολυπλοκότητας (Σχήμα 2-5). Σημαντικοί παράγοντες για τον επιτυχή διαχωρισμό θεωρούνται ο χρόνος παραμονής, που πρέπει να είναι μεταξύ 3 έως 5 λεπτών, αλλά και η μέγιστη ταχύτητα του αερίου (Σταματάκη & Αυλωνίτης, 2004).

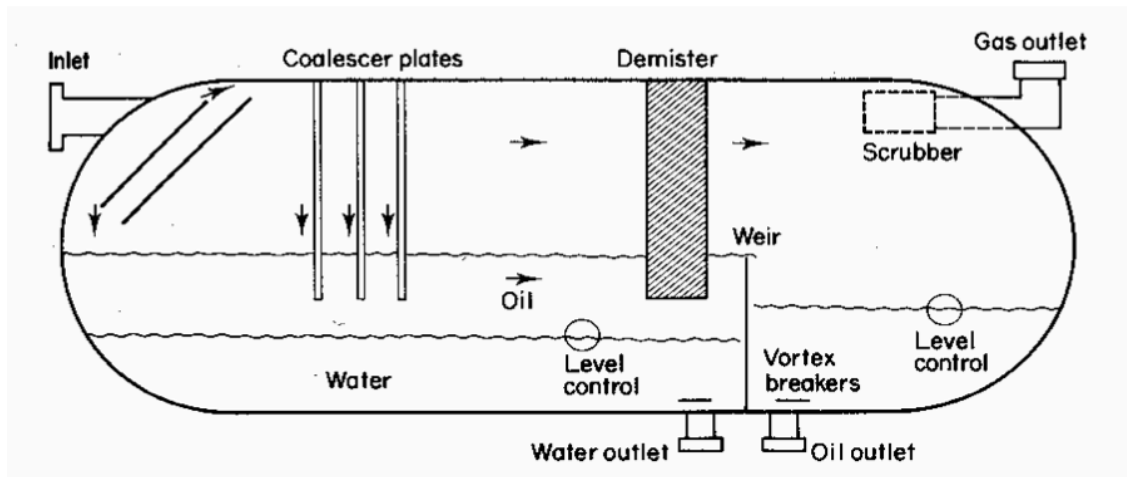


Σχήμα 2-3. Κάθετος διαχωριστής (Σταματάκη & Αυλωνίτης, 2004)





Σχήμα 2-4. Διαχωριστής free-water knockout (Σταματάκη & Αυλωνίτης, 2004)



Σχήμα 2-5. Διαχωριστής ενδιάμεσης πολυπλοκότητας (Σταματάκη & Αυλωνίτης, 2004)

## 2.2. Διεθνής δραστηριότητα σε υπεράκτιες εξορύξεις υδρογονανθράκων

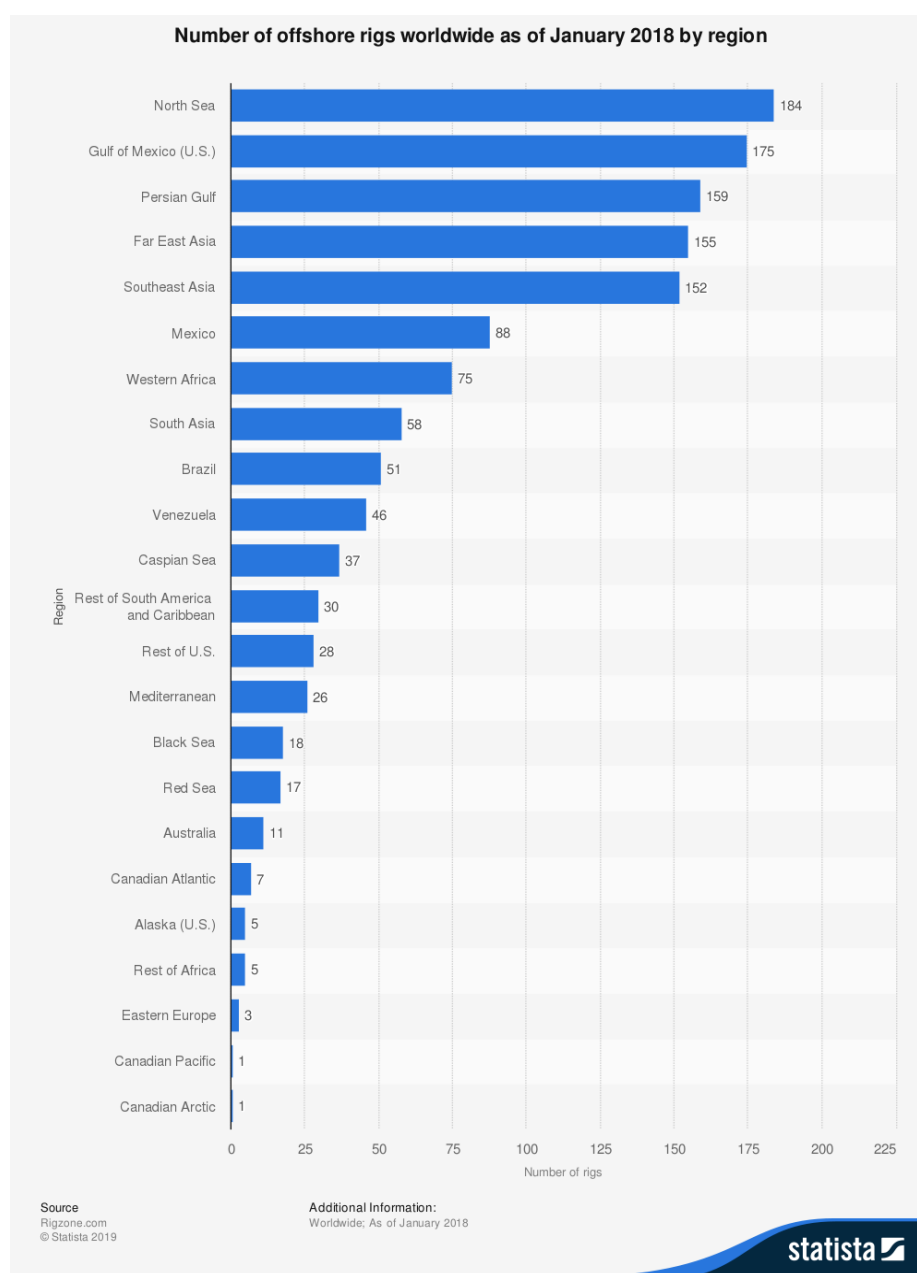
### 2.2.1. Διεθνής εικόνα

Η πρώτη υπεράκτια εξέδρα παραγωγής υδρογονανθράκων εγκαταστάθηκε το 1947 στον Κόλπο του Μεξικού, ενώ από τις αρχές της δεκαετίας του '70 ανάλογη δραστηριότητα προέκυψε και στον ευρωπαϊκό χώρο στην περιοχή της Βόρειας Θάλασσας.

Σήμερα, σε παγκόσμιο επίπεδο λειτουργούν περισσότερες από 6000 υπεράκτιες εξέδρες που παράγουν υδρογονάνθρακες, βρίσκονται σε βάθος θάλασσας από 30 έως 7200 πόδια

και σε απόσταση από 1 έως 120 μίλια από την (Schroeder & Love, 2004). Αυτές οι εγκαταστάσεις κατανέμονται σε 53 χώρες παγκοσμίως, από τις οποίες οι 40 παράγουν σημαντικές ποσότητες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ενεργές εξέδρες υπάρχουν στα παράλια της Ασίας, της Μέσης Ανατολής, στη Μεσόγειο, στην Αφρική, στη Βόρεια και Δυτική Ευρώπη, στη Βόρεια Αμερική, στην Αυστραλία, στη Νέα Ζηλανδία, στη Νότια Αμερική, στο Μεξικό, καθώς και στον Καναδά.

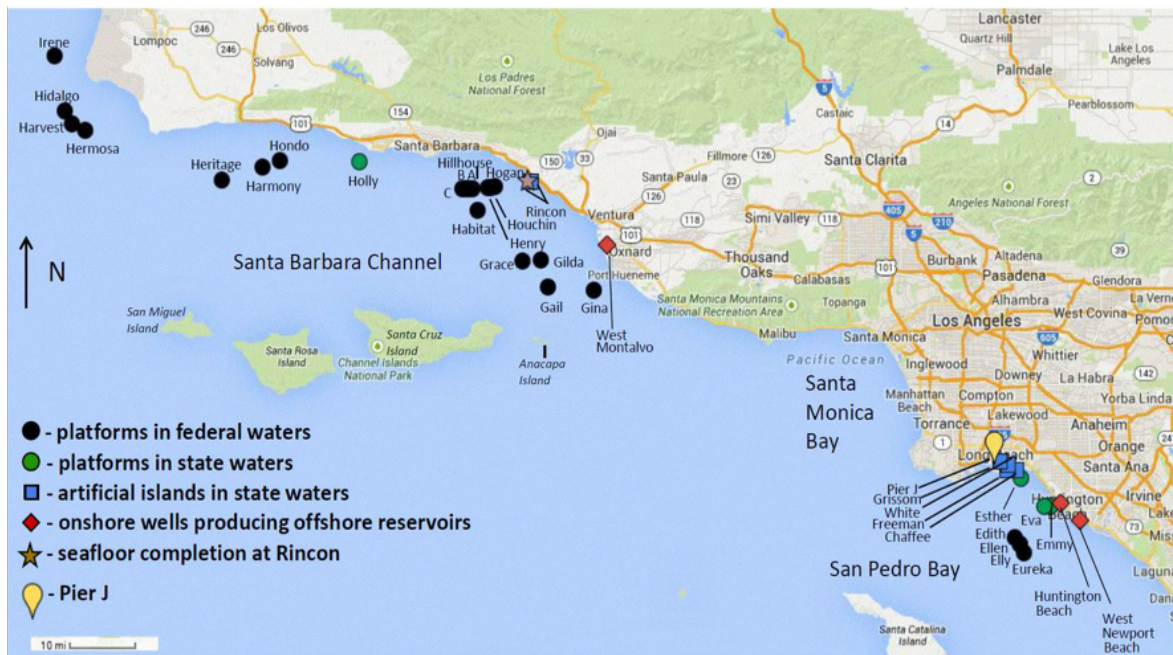
Στο Σχήμα 2-6 παρουσιάζεται η κατανομή των ενεργών υπεράκτιων εξεδρών ανά περιοχή, όπως αυτές καταμετρήθηκαν και καταχωρήθηκαν τον Ιανουάριο του 2018.



Σχήμα 2-6. Κατανομή υπεράκτιων εξεδρών παγκοσμίως (Statista, 2018)

### 2.2.2. Υπεράκτια δραστηριότητα στην Καλιφόρνια

Ειδικότερα, το σύνολο των υπεράκτιων εγκαταστάσεων στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής φτάνουν τις 664, με εκείνες για την παραγωγή πετρελαίου να είναι 562 ενώ, για παραγωγή φυσικού αερίου περίπου 100. Στον Καναδά, συνολικά υπάρχουν 41 υπεράκτιες εξέδρες, εκ των οποίων οι 9 είναι για παραγωγή πετρελαίου και οι 32 για την παραγωγή φυσικού αερίου (Leric, 2020). Στην περιοχή της Καλιφόρνια υπάρχουν αρκετές υπεράκτιες εξέδρες παραγωγής υδρογονανθράκων, αλλά και αντίστοιχων τεχνητών νησιών. Στην Εικόνα 2-13 απεικονίζεται ο χάρτης της συγκεκριμένης περιοχής και αξίζει να δοθεί προσοχή στις εξέδρες που βρίσκονται σε ομοσπονδιακά και πολιτειακά χωρικά ύδατα, καθώς και στα τεχνητά νησιά.



Εικόνα 2-13. Υπεράκτιες εξέδρες στην Καλιφόρνια (Smith, 2018)

Σε ομοσπονδιακά ύδατα υπάρχουν 23 υπεράκτιες εξέδρες, όλες σταθερές και κατασκευασμένες από χάλυβα. Από αυτές, 14 είναι σε διαδικασία παραγωγής, 9 είναι εκτός λειτουργίας, ενώ 5 πλησιάζουν στην περίοδο παροπλισμού τους. Έχουν ένα προσδόκιμο παραγωγικής ζωής 28 έως 50 χρόνια, ενώ τα βάθη στα οποία δραστηριοποιούνται κυμαίνονται από 95 έως 1198 πόδια (State of California - State Lands Commission, 2018). Επιπλέον, στον Πίνακα 2-1 δίδονται όλα τα στοιχεία για τις εν λόγω εξέδρες (έτος εγκατάστασης, ηλικία, βάθος έδρασης, συνολικό βάρος, καθώς και ο αριθμός των γεωτρήσεων που κάθε μία φέρει).

Πίνακας 2-1. Υπεράκτιες εξέδρες σε ομοσπονδιακά χωρικά ύδατα στην περιοχή της Καλιφόρνιας (State of California - State Lands Commission, 2018)

Platform	Year Installed and Age (years)		Operating Status Sept. 2018	Water Depth (feet)	Total Weight (s. tons)	Wells
<b>San Pedro Bay – Los Angeles and Orange County</b>						
Eureka	1984	33	Producing	700	33,377	50
Elly <sup>2</sup>	1980	37	Active	255	9,400	0
Ellen	1980	37	Producing	265	11,665	63
Edith	1983	34	Producing	161	8,556	18
<b>Eastern Santa Barbara Channel – Ventura and Santa Barbara County</b>						
Hogan	1967	50	Producing	154	5,098	39
Houchin	1968	49	Producing	163	5,615	35
A	1968	49	Producing	188	4,896	52
B	1968	49	Producing	190	4,959	57
C	1977	33	Producing	192	5,718	38
Henry	1979	38	Producing	173	4,006	23
Hillhouse	1969	48	Producing	190	5,834	47
Gina	1980	37	Producing	95	1,380	12
Gilda	1981	36	Producing	205	11,293	63
Habitat <sup>3</sup>	1981	36	Shut-in	290	9,611	20
Gail	1987	30	Shut-in	739	37,057	27
Grace	1979	38	Shut-in	318	13,074	28
<b>Western Santa Barbara Channel – Santa Barbara County</b>						
Hondo <sup>3</sup>	1976	41	Shut-in	842	29,478	28
Harmony <sup>3</sup>	1989	28	Shut-in	1,198	86,513	34
Heritage <sup>3</sup>	1989	28	Shut-in	1,075	69,192	48
<b>Santa Maria Basin – Santa Barbara County</b>						
Harvest <sup>3</sup>	1985	32	Shut-in	675	35,150	19
Hermosa <sup>3</sup>	1985	32	Shut-in	603	30,868	13
Hidalgo <sup>3</sup>	1986	31	Shut-in	430	23,384	14
Irene	1985	32	Producing	242	8,762	26

Όσον αφορά, τα πολιτειακά χωρικά ύδατα, υπάρχουν 4 σταθερές εξέδρες από χάλυβα και 5 τεχνητά νησιά παραγωγής υδρογονανθράκων. Έχουν ένα προσδόκιμο ζωής από 32 έως 59 χρόνια και το βάθος έδρασης τους κυμαίνεται από 22 έως 57 πόδια, με εξαίρεση την πλατφόρμα Holly που εδράζει στα 211 πόδια. Μέχρι το 2018, 7 από αυτές βρισκόντουσαν σε παραγωγική διαδικασία, ενώ, στις θέσεις Holly και το νησί Rincon έχει ξεκινήσει ο παροπλισμός τους (State of California - State Lands Commission, 2018). Όμοια με πριν, στον Πίνακα 2-2, δίδονται όλα τα στοιχεία για τις εν λόγω εξέδρες (έτος εγκατάστασης, ηλικία, βάθος έδρασης, συνολικό βάρος, καθώς και ο αριθμός των γεωτρήσεων που κάθε μία φέρει).

Πίνακας 2-2. Υπεράκτιες εξέδρες σε πολιτειακά χωρικά ύδατα στην περιοχή της Καλιφόρνιας (State of California - State Lands Commission, 2018)

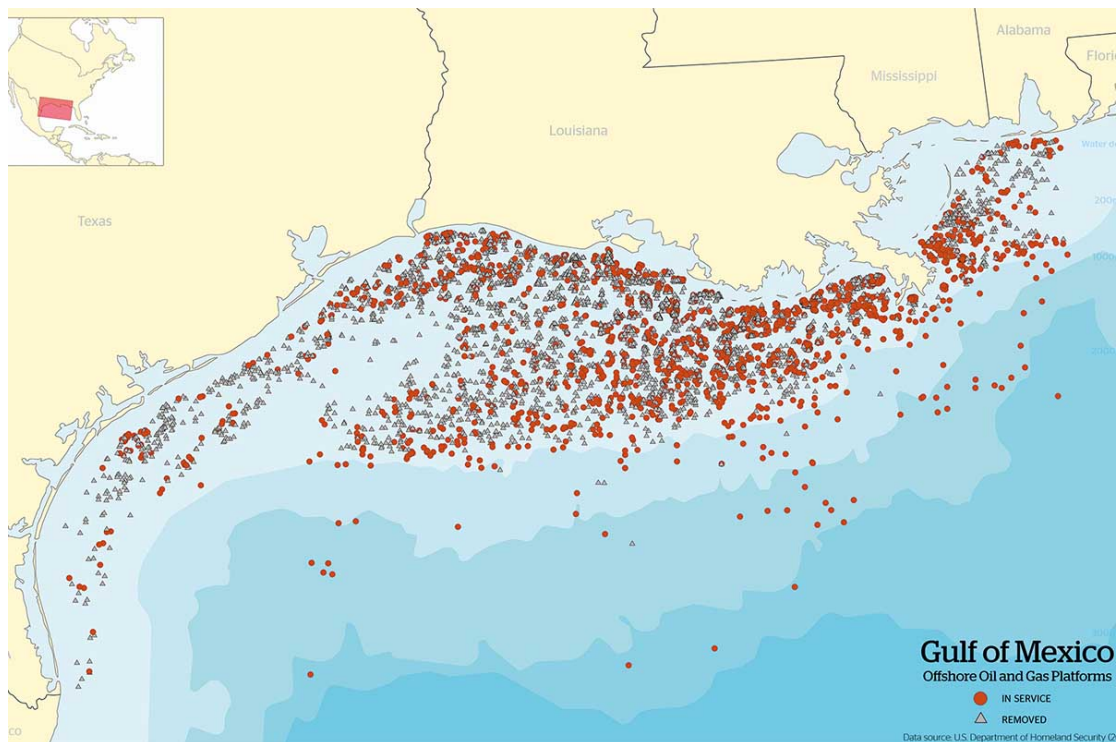
Platforms	Year Installed and Age (years)		Water Depth (feet)	Location	Current Status	Well Slots
	Year Installed	Age (years)				
Emmy	1963	54	47	Huntington Beach, Orange County	Producing	64
Eva	1964	53	57	Huntington Beach, Orange County	Producing	44
Esther	1985	32	22	Seal Beach, Los Angeles County	Producing	64
Holly	1966	51	211	Goleta, Santa Barbara County	Shut-in	30
<b>Artificial Islands</b>						
Chaffee	1966	51	40	Long Beach, Los Angeles County	Producing	387
Freeman	1966	51	40	Long Beach, Los Angeles County	Producing	357
White	1966	51	40	Long Beach, Los Angeles County	Producing	338
Grissom	1966	51	40	Long Beach, Los Angeles County	Producing	394
Rincon <sup>1</sup>	1958	59	44	Ventura County	Shut-in	69

### 2.2.3. Υπεράκτια δραστηριότητα στον Κόλπο του Μεξικού

Στον Κόλπο του Μεξικού υπήρχαν 3674 υπεράκτιες εξέδρες παραγωγής υδρογονανθράκων διαφόρων τύπων, από το 1947 έως σήμερα. Ο αριθμός αυτός έχει μειωθεί σημαντικά δεδομένου ότι οι παλιότερες έχουν αφαιρεθεί και σήμερα λειτουργούν 1862 πλατφόρμες, σύμφωνα με καταγραφή που έγινε τον Απρίλιο του 2019 (BSEE, 2019).

Το 60% των εγκαταστάσεων στον Κόλπο του Μεξικού είναι σταθερές υπεράκτιες εξέδρες, οι οποίες εδράζουν σε βάθη μικρότερα από 1312 πόδια και το 2018 εκτιμήθηκε ότι μέχρι τότε τους είχαν απομείνει περίπου 17 χρόνια παραγωγικής δραστηριότητας (BSEE, 2018)). Στην Εικόνα 2-14 απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα, οι υπεράκτιες εξέδρες που συνεχίζουν να λειτουργούν και με γκρι χρώμα εκείνες που είναι εκτός λειτουργίας.





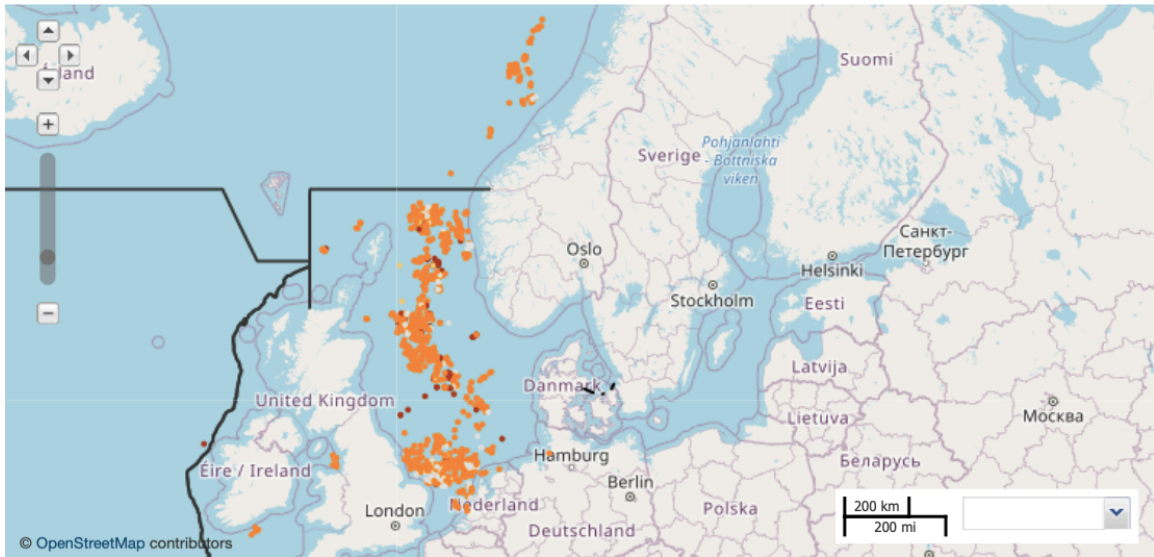
Εικόνα 2-14. Κατανομή υπεράκτιων εξεδρών στον Κόλπο του Μεξικού (Rowe, 2019)

#### 2.2.4. Υπεράκτια δραστηριότητα στη Βόρεια Θάλασσα

Οι υπεράκτιες κατασκευές που υπάρχουν στη Βόρεια Θάλασσα είναι ποικίλων τύπων. Στην πλειονότητά τους αποτελούνται από σταθερές εξέδρες βαρύτητας με σκυρόδεμα ή τύπου jacket. Επίσης, υπάρχουν πλωτές κατασκευές.

Έως το 2015, υπήρχαν 1357 υπεράκτιες εξέδρες στη Βόρεια Θάλασσα, εκ των οποίων 22 είναι εξέδρες βαρύτητας (gravity rigs) με 3 αυτού του τύπου να έχουν παροπλιστεί. Επιπλέον, 156 υπεράκτιες εγκαταστάσεις παραγωγής Υ/Α στη Βόρεια Θάλασσα είχαν παροπλιστεί μέχρι και το 2015, με 50 από αυτές να είναι υποθαλάσσιες από ατσάλι (subsea steel), οι 68 σταθερές επί του πυθμένα από ατσάλι και οι 28 ήταν πλωτές εξέδρες από το ίδιο υλικό (OSPAR Commission, 2015).

Στην Εικόνα 2-15 παρουσιάζεται ο χάρτης της Βόρειας Θάλασσας, όπου με πορτοκαλί χρώμα συμβολίζονται οι υπεράκτιες εξέδρες με βάση τα στοιχεία του 2017.



Εικόνα 2-15. Υπεράκτιες εξέδρες στη Βόρεια Θάλασσα (OSPAR ODIMS, 2017)

### 2.2.5. Υπεράκτια δραστηριότητα στον υπόλοιπο κόσμο

Αξίζει να αναφερθούν και κάποιες άλλες περιοχές όπου υπάρχουν αντίστοιχες εγκαταστάσεις, όπως είναι η περιοχή της Ασίας - Ειρηνικού Ωκεανού, η Βραζιλία, η Αφρική και η Ανατολική Μεσόγειος. Στην περιοχή της Ασίας - Ειρηνικού Ωκεανού, υπάρχουν διάφορες χώρες όπου πραγματοποιείται εκμετάλλευση υπεράκτιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων, με το συνολικό αριθμό των αντίστοιχων εγκαταστάσεων να φτάνει τις 2600 περίπου. Για παράδειγμα, η Μαλαισία, το Βιετνάμ, η Ταϊλάνδη και η Ινδονησία έχουν συνολικά 1500 υπεράκτιες κατασκευές. Στον Κόλπο της Ταϊλάνδης καθώς και στην Ινδία υπάρχουν 300 ανάλογες εγκαταστάσεις (Rowe, 2019).

Στη Βραζιλία, μέχρι και το 2003 λειτουργούσαν πάνω από 105 υπεράκτιες εξέδρες σε ποικίλα βάθη, εκ των οποίων περίπου το 50% είχαν εγκατασταθεί σε βάθη θάλασσας μεγαλύτερα από 1312 πόδια.

Στην Αφρική, δύο χώρες συμβάλλουν σημαντικά στην πετρελαιοβιομηχανία. Η Νιγηρία, όπου ο συγκεκριμένος τομέας συνάντησε άνθιση τις τελευταίες δεκαετίες, με σημαντικές ανακαλύψεις από το 1960. Εκεί εντοπίζονται 170 υπεράκτιες κατασκευές, κυρίως στο Δέλτα του ποταμού Νίγηρα, με τα 2/3 αυτών να επιχειρούν σε ρηχά ύδατα, ενώ, στα μέσα του 1990, εντοπίστηκαν κοιτάσματα σε βάθος στήλης νερού 6562 πόδια. Η μεγαλύτερη παραγωγή λαμβάνει χώρα στην Αγκόλα, όπου από το 1990 είναι ευρέως γνωστή για την

εξόρυξη σε μεγάλα βάθη, από 984 έως και άνω των 3937 ποδιών στήλης νερού (Leric, 2020).

Τέλος, στην Ανατολική Μεσόγειο αναπτύσσεται έντονη δραστηριότητα παραγωγής υδρογονανθράκων. Έως το 2012 υπήρχαν πάνω από 200 ενεργές υπεράκτιες εξέδρες στην περιοχή της Μεσογείου, κυρίως στα χωρικά ύδατα της Αιγύπτου (European Commission, 2012).



## *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Διεθνής εικόνα και προοπτικές*

Ο παροπλισμός αποτελεί, ουσιαστικά, μια διαδικασία κατά την οποία τερματίζονται οι λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα σε μια υπεράκτια εξέδρα. Αυτό συμβαίνει όταν η εγκατάσταση έχει υπερβεί το προσδόκιμο της παραγωγικής ζωής της και ελλοχεύει τυχόν κίνδυνος κατάρρευσης αυτής, καθώς και όταν παύει η εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος, λόγω αντιοικονομικής συνέχισης της παραγωγής.

Γενικά, αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία, τόσο για τις πετρελαϊκές εταιρίες, όσο και για το κράτος που φιλοξενεί τέτοιες εγκαταστάσεις, αφού είναι ιδιαίτερα σύνθετη η επιλογή του χρόνου και η εκτίμηση του κόστους ενός τέτοιου έργου.

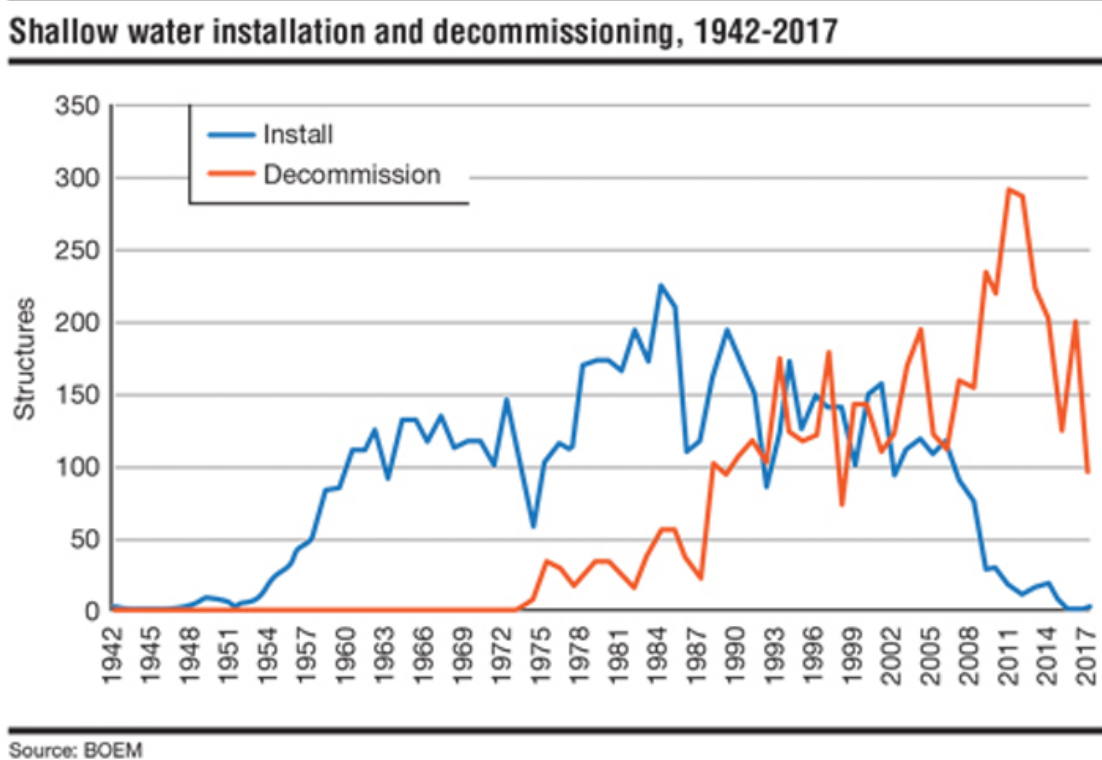
### **3.1. Διεθνής εικόνα**

Η λήξη της παραγωγικής λειτουργίας πολλών υπεράκτιων εγκαταστάσεων αποτελεί γεγονός, που έχει οδηγήσει στον παροπλισμό αυτών σε πολλά μέρη ανά τον κόσμο. Είναι φανερό ότι η εμπειρία πάνω σε αυτόν τον τομέα είναι αρκετή, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι δεν επιδέχεται βελτίωση. Αν και οι πρώτες υπεράκτιες εξέδρες έκαναν την εμφάνισή τους στις αρχές της δεκαετίας του 1920, οι πρώτες ενέργειες παροπλισμού τέτοιων κατασκευών ξεκίνησαν κατά το τελευταίο τέταρτο του 20ού αιώνα. Ωστόσο, ο παροπλισμός πιο σύνθετων και πολύπλοκων σύγχρονων υπεράκτιων εξεδρών δεν ξεκίνησε παρά στα μέσα της δεκαετίας του 1990 (Athanassopoulos, Dalton, & Fisher, 1999).

#### **3.1.1. Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής**

Σε μια χώρα, όπου από παλιά έχουν λάβει χώρα δραστηριότητες παροπλισμού, είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και συγκεκριμένα στον Κόλπο του Μεξικού και στην Καλιφόρνια. Στην πρώτη περιοχή, κατά την περίοδο από το 1942 έως το 2017, έχει καταγραφεί μείωση στην εγκατάσταση υπεράκτιων εξεδρών σε ρηγά νερά, ενώ οι διαδικασίες παροπλισμού έχουν αυξηθεί κατά πολύ, όπως υποδεικνύει και το Σχήμα 3-1. Αναφέρεται ότι περισσότερο από το 40% των εργασιών παροπλισμού που αφορούσαν

εξέδρες σε ρηχά νερά έλαβε χώρα κατά την περίοδο από το 2007 έως το 2016, με περίπου 208 εγκαταστάσεις να παροπλίζονται κάθε χρόνο. Σημειώνεται ότι, το 2016 παροπλίστηκαν 197 ποικίλες υπεράκτιες εγκαταστάσεις, συμπεριλαμβάνοντας 127 σταθερές υπεράκτιες εξέδρες, ενώ, αντίστοιχα νέες εγκαταστάσεις δεν υπήρξαν (Kaiser & Narra, 2018).



Σχήμα 3-1. Χρονική αναπαράσταση εγκατάστασης (μπλε γραμμή) και παροπλισμού (πορτοκαλί γραμμή) υπεράκτιων εξεδρών σε μικρό βάθος θάλασσας (Kaiser & Narra, 2018)

Στην Καλιφόρνια έχουν λάβει χώρα παρόμοιες ενέργειες παροπλισμού σύνθετων υπεράκτιων εγκαταστάσεων. Πιο συγκεκριμένα, οι τρεις από τις μεγαλύτερες και παλαιότερες πλατφόρμες, Harry, Helen και Herman, παροπλίστηκαν με επιτυχία. Η εξέδρα Harry, η οποία ξεκίνησε τη λειτουργία το 1961, σε βάθος θάλασσας 100 ποδιών παροπλίστηκε το έτος 1974. Όσον αφορά τις σταθερές υπεράκτιες πλατφόρμες Helen και Herman, οι οποίες εγκαταστάθηκαν στα τέλη του 1950, σε βάθος νερού 100 και 85 ποδιών, αντίστοιχα, μετά την παύση της παραγωγής σε αυτές και τη σφράγιση των σχετικών γεωτρήσεων το 1973, αρκετά χρόνια αργότερα ακολούθησε και ο παροπλισμός τους, το 1988. Οι εξέδρες αυτές τελικά μεταφέρθηκαν στο Long Beach και αποτέλεσαν τις πρώτες μεγάλες κατασκευές που παροπλίστηκαν με επιτυχία με τη χρήση όχι μόνο μηχανικών, αλλά και εκρηκτικών μέσων (Culwell A. , 1997).

Στην ίδια περιοχή, το τεχνητό νησί Belmont αποτελούσε το πρώτο του είδους του με σκοπό την παραγωγή πετρελαίου. Επρόκειτο για μία ιδιαίτερα πολύπλοκη κατασκευή που βρισκόνταν σε απόσταση 1.5 μιλίων από την ακτή της νότιας Καλιφόρνια και παρέμεινε σε λειτουργία για περίπου 50 χρόνια, μέχρι το 1994, οπότε έλαβε χώρα η σφράγιση και εγκατάλειψη των παραγωγικών γεωτρήσεων, λόγω μείωσης της παραγωγής Υ/Α. Ύστερα από περίπου 5 χρόνια προσπάθειας απόκτησης της κατάλληλης άδειας για την απομάκρυνση του, η διαδικασία ολοκληρώθηκε το 2002 με επιτυχία, ενώ δε σημειώθηκαν εργατικά ή περιβαλλοντικά ατυχήματα. Όλα τα τμήματα του τεχνητού νησιού αφαιρέθηκαν με εξαίρεση εκείνα που βρισκόνταν θαμμένα κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας (Ahuja, McGuffee, & Poulter, 2002).

Τέλος, ένα ακόμη παράδειγμα παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων αφορά τις πλατφόρμες Hope, Heidi, Hilda και Hazel, οι οποίες εγκαταστάθηκαν στην περιοχή Carpinteria της Καλιφόρνια κατά την περίοδο από το 1958 έως το 1965. Ύστερα από τη σφράγιση των γεωτρήσεων, παροπλίστηκαν, απομακρύνθηκαν από την αρχική τους θέση και αποσυναρμολογήθηκαν στη στεριά το 1996, με εξαίρεση ένα τμήμα της εξέδρας Hazel το οποίο παρέμεινε ανέπαφο στην αρχική του θέση (Culwell A. , 1997).

### **3.1.2. Βόρεια Θάλασσα**

Η Βόρεια Θάλασσα αποτελεί μια περιοχή όπου η παραγωγή υδρογονανθράκων που άνθισε τη δεκαετία του '70 συνεχίζει ακόμα και σήμερα και έχει συνδράμει θετικά στις οικονομίες των γειτονικών χωρών που εκμεταλλεύονται τα συγκεκριμένα κοιτάσματα. Πολλές από τις υπεράκτιες εγκαταστάσεις που υπάρχουν εκεί έχουν φτάσει στο πέρας της παραγωγικής τους λειτουργίας και είναι πλέον απαραίτητος ο παροπλισμός τους. Μέχρι και το 2013 είχε παροπλιστεί το 7% των υφιστάμενων υπεράκτιων εγκαταστάσεων της Βόρειας Θάλασσας, συμπεριλαμβανομένων 3 σταθερών εξεδρών τύπου jacket μεγάλου μεγέθους, 19 εγκαταστάσεων τύπου jacket μικρότερου δυναμικού, 8 πλωτών εγκαταστάσεων παραγωγής, 6 υποθαλάσσιων συστημάτων παραγωγής, 19 αγωγών, καθώς και άλλων 11 διαφόρων εγκαταστάσεων. Μέχρι το 2013 υπήρχαν 18 ενεργά προγράμματα παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων, ενώ άλλα 20 ήταν υπό επεξεργασία (Royal Academy Of Engineering, 2013).

Το πεδίο Eider στη Βόρεια Θάλασσα αποτελεί ένα σχετικά πρόσφατο παράδειγμα παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων. Το 2017, μετά από συνολική παραγωγή 127 εκατομμυρίων βαρελιών υδρογονανθράκων, το πεδίο αυτό κρίθηκε ως αντικοινομικό για περαιτέρω εκμετάλλευση και το 2018 πραγματοποιήθηκε η σφράγιση και εγκατάλειψη των παραγωγικών του γεωτρήσεων.

Το κοίτασμα Statfjord ανακαλύφθηκε το 1974 σε βάθος θάλασσας περίπου 489 ποδιών στη Βόρεια Θάλασσα και το κοίτασμα αξιοποιήθηκε μέσω των υπεράκτιων εξεδρών Statfjord A, B και C, οι οποίες εδράζουν σε τσιμεντένια βάση. Μετά από 43 χρόνια παραγωγικής ζωής η εξέδρα Statfjord A, που στην Εικόνα 3-1, προγραμματίζεται να παροπλιστεί το 2022, μέσω της αφαίρεσης του μέρους που υπέρκειται της επιφάνειας της θάλασσας (topside) και της μεταφοράς του στη στεριά.



Εικόνα 3-1. Η εξέδρα Statfjord A στη Βόρεια Θάλασσα (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019)

Το 2014 στην περιοχή μεταξύ Αγγλίας και Ολλανδίας τέθηκε σε λειτουργία το μεγαλύτερο σχέδιο παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων που περιλαμβάνει 140 γεωτρήσεις, 1650 χιλιόμετρα αγωγών, 38 εξέδρες, καθώς και υποθαλάσσιες εγκαταστάσεις συνολικού βάρους 140.000 τόνων (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019). Μέχρι σήμερα έχουν σφραγιστεί και εγκαταλειφθεί 93 γεωτρήσεις, ενώ έχουν παροπλιστεί 5 υπεράκτιες εξέδρες,



όλοι οι αγωγοί έχουν καθαριστεί και 26 υπεράκτιες εξέδρες είναι έτοιμες για την απομάκρυνσή τους (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019).

Στην εξέδρα Ninian της Βόρειας Θάλασσας, που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-2, η παραγωγή διακόπηκε τον Μάιο του 2017 και εγκαταλείφθηκε μονίμως τον Απρίλιο του 2018. Τα επιμέρους τμήματά της προγραμματίζεται να αφαιρεθούν το 2020 και το 2021, ενώ μέχρι σήμερα έχουν σφραγιστεί και εγκαταλειφθεί με επιτυχία 24 γεωτρήσεις που συνδέονταν με τη συγκεκριμένη εξέδρα.



Εικόνα 3-2. Η εξέδρα Ninian στη Βόρεια Θάλασσα (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019)

Αξίζει να αναφερθεί ότι έχουν περάσει 20 χρόνια από τον παροπλισμό της πλωτής εξέδρας Brent Spar, που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-3, η οποία αποτελούσε μεγάλη αποθήκη και δεξαμενή φόρτωσης πετρελαίου. Αρχικά υπήρξε πρόταση να παραμείνει στη θέση της ως τεχνητός ύφαλος, γεγονός που προξένησε έντονες αρνητικές αντιδράσεις από μη κυβερνητικές περιβαλλοντικές οργανώσεις, παρά το γεγονός ότι είχαν εκδοθεί όλες οι σχετικές άδειες. Τελικά, η εταιρεία που ήταν υπεύθυνη για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση αποφάσισε την εναλλακτική χρήση της και έτσι μεταφέρθηκε μέσω ρυμούλκησης στη Νορβηγία, όπου και αποσυναρμολογήθηκε, ενώ, ένα μεγάλο τμήμα της βάσης της επαναχρησιμοποιήθηκε ως προέκταση ενός λιμανιού στο Σταβάνγκερ, στη Νορβηγία.



Εικόνα 3-3. Η εξέδρα Brent Spar στη Βόρεια Θάλασσα (Fisheries Research Services, 2004)

### 3.1.3. Στον υπόλοιπο κόσμο

Ανάλογες δραστηριότητες παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων έχουν λάβει χώρα και στον υπόλοιπο κόσμο, όπως στην Ασία και την Αυστραλία. Κοινό χαρακτηριστικό αποτελεί η έλλειψη εμπειρίας σε θέματα παροπλισμού εξεδρών, δεδομένου ότι ο κλάδος της πετρελαιοβιομηχανίας στις συγκεκριμένες περιοχές έχει ανθίσει σχετικά πρόσφατα, καθώς και η ύπαρξη κενών στο νομοθετικό και κανονιστικό πλαίσιο που διέπει τις εργασίες αυτές.

Για παράδειγμα, στην Ασία, ο παροπλισμός υπεράκτιων εγκαταστάσεων έχει ξεκινήσει σε μικρή κλίμακα, κυρίως στην Ταϊλάνδη, και περιλαμβάνει την απομάκρυνση εξεδρών σε ρηγά ύδατα. Εκτιμάται όμως ότι στο μέλλον οι εργασίες παροπλισμού θα εκτελεστούν σε πιο σύνθετες κατασκευές καθώς και σε μεγαλύτερο βάθος θάλασσας. Στην Αυστραλία έχουν πραγματοποιηθεί με επιτυχία διαδικασίες παροπλισμού σχετικά απλών υπεράκτιων

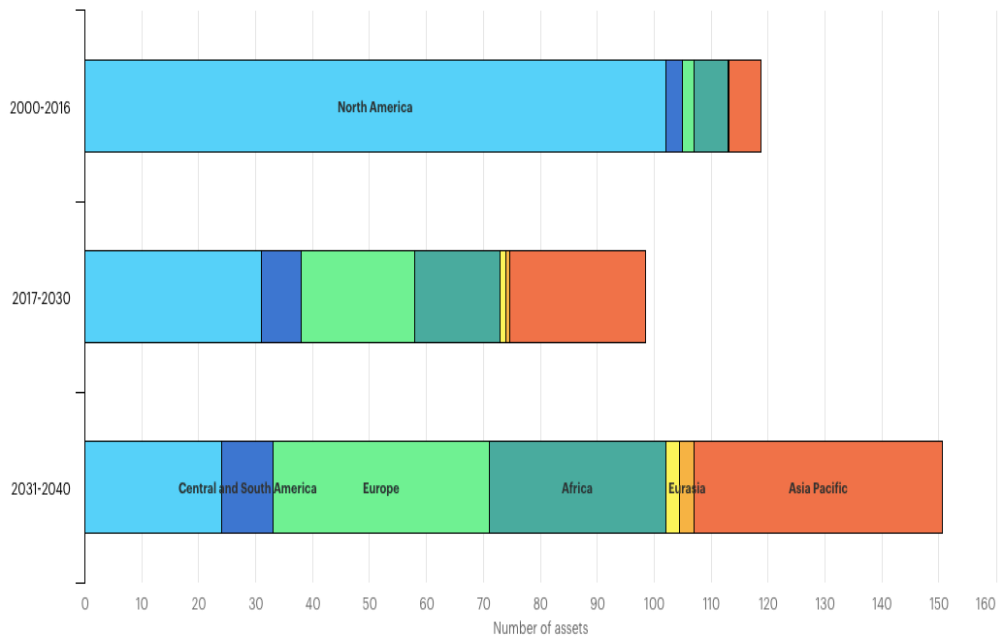
εγκαταστάσεων, δημιουργώντας ταυτόχρονα τεχνογνωσία και κανονιστικό πλαίσιο για τον παροπλισμό και πιο σύνθετων μελλοντικά, αφού και εκεί ο πετρελαϊκός τομέας αναπτύχθηκε πιο πρόσφατα σε σχέση με τον υπόλοιπο κόσμο.

## **3.2. Εκτιμώμενες απαιτήσεις για παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων**

### **3.2.1. Διεθνώς**

Η αναγκαιότητα του παροπλισμού γερασμένων υπεράκτιων εγκαταστάσεων είναι μεγάλη και θα εντείνεται με την πάροδο του χρόνου, σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες. Στο Σχήμα 3-2 απεικονίζεται ο αριθμός των υπεράκτιων εγκαταστάσεων που έχουν παροπλιστεί από το 2000 έως σήμερα, καθώς και ο αριθμός εκείνων που προβλέπεται να παροπλιστούν τα επόμενα χρόνια έως το 2040. Παρατηρείται ότι το διάστημα μεταξύ 2000 και 2016 είχαν παροπλιστεί 118 υπεράκτιες εγκαταστάσεις διεθνώς, ενώ έως το 2030 εκτιμάται ότι θα πρέπει να έχουν παροπλιστεί 98 και έως το 2040 θα απαιτηθεί ο παροπλισμός 151 επιπλέον εγκαταστάσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι, ενώ αρχικά οι εργασίες παροπλισμού ήταν κυρίως επικεντρωμένες στις ΗΠΑ, αναμένεται, βάσει των εκτιμήσεων, να βρεθούν στο επίκεντρο η Ευρώπη και η Ασία και στη συνέχεια η Αφρική.

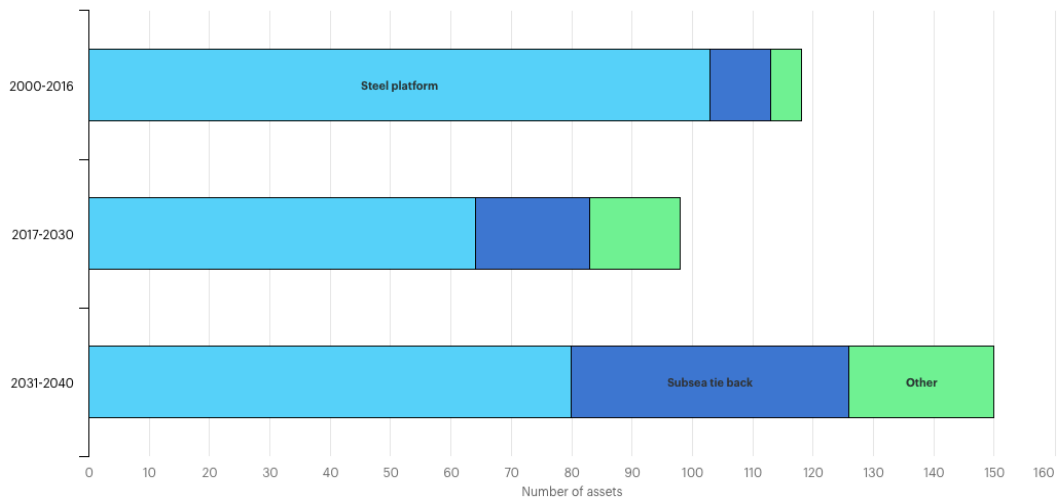
Στο Σχήμα 3-3 παρουσιάζεται ο αριθμός των παροπλισμένων εξεδρών ανάλογα με το είδος τους, για τη χρονική περίοδο 2000 έως 2016. Στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, η πλειοψηφία των υπεράκτιων εγκαταστάσεων που οδηγήθηκαν προς παροπλισμό ήταν χαλύβδινης κατασκευής. Ακόμα, γίνεται αναφορά στον αριθμό και το είδος των υπεράκτιων εγκαταστάσεων που εκτιμάται ότι θα παροπλιστούν στις χρονικές περιόδους 2017 έως 2030 και 2031 έως 2040, όπου γίνεται φανερό ότι θα προκύψει η ανάγκη παροπλισμού εγκαταστάσεων που συνδέονται με υποθαλάσσια συστήματα παραγωγής (subsea systems).



IEA. All Rights Reserved

● North America ● Central and South America ● Europe ● Africa ● Middle East ● Eurasia ● Asia Pacific

Σχήμα 3-2. Αριθμός υπεράκτιων εγκαταστάσεων που παροπλίστηκαν κατά τη χρονική περίοδο 2000-2016 – Εκτιμήσεις για το μέλλον 2017-2030 και 2031-2040 (IEA, 2019)



IEA. All Rights Reserved

● Steel platform ● Subsea tie back ● Other

Σχήμα 3-3. Αριθμός και είδος υπεράκτιων εγκαταστάσεων που παροπλίστηκαν κατά τη χρονική περίοδο 2000-2016 – Εκτιμήσεις για το μέλλον 2017-2030 και 2031-2040 (IEA, 2019)



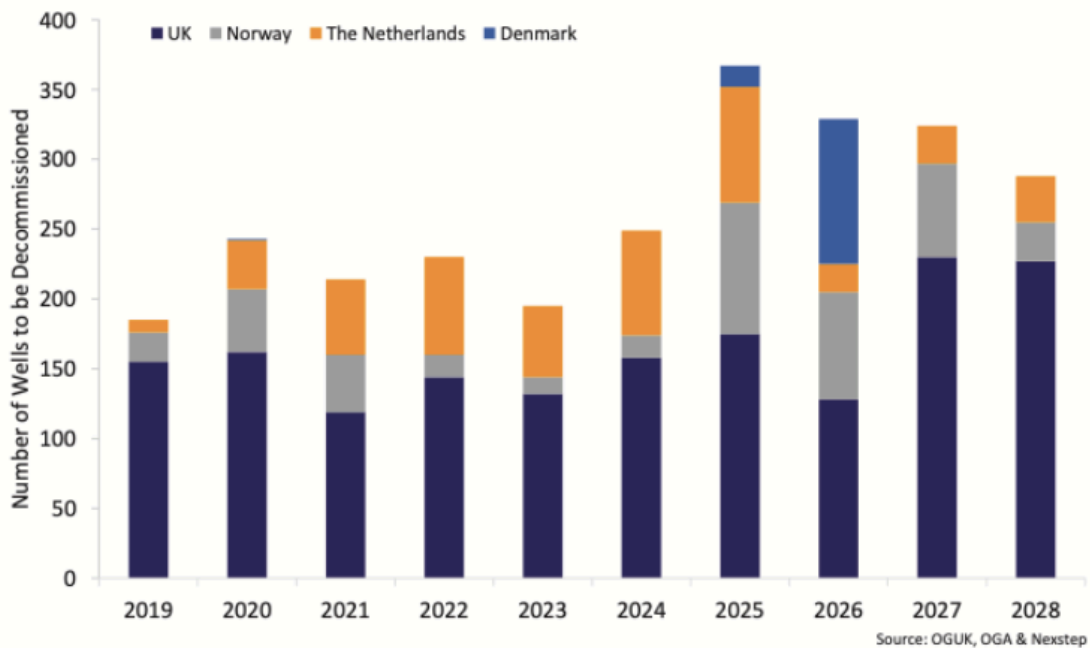
Σε όλες τις περιοχές του κόσμου όπου η εκμετάλλευση υδρογονανθράκων έχει ξεκινήσει εδώ και πολλές δεκαετίες, όπως στη Βόρεια Θάλασσα, την Ασία, και συγκεκριμένα την περιοχή του Ειρηνικού Ωκεανού, καθώς και στον Κόλπο του Μεξικού, οι υπεράκτιες εξέδρες υδρογονανθράκων έχουν υπερβεί το προσδόκιμο της παραγωγικής τους λειτουργίας. Στην περιοχή της Ασίας – Ειρηνικού Ωκεανού το 20% των παραγωγικών υπεράκτιων εγκαταστάσεων της έχουν πάνω από 20 χρόνια λειτουργίας, χρόνος που υπερβαίνει αυτόν που προβλέπεται για τις συγκεκριμένες εγκαταστάσεις.

### 3.2.2. Βόρεια Θάλασσα

Ο παροπλισμός υπεράκτιων εγκαταστάσεων στη Βόρεια Θάλασσα αποτελεί μια συχνή και ευρέως διαδεδομένη διαδικασία για την οποία έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες. Αυτές οι έρευνες εστιάζουν στον αριθμό και τον τύπο των εγκαταστάσεων που θα παροπλιστούν στις χώρες που εκμεταλλεύονται τους υδρογονάνθρακες, όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, η Νορβηγία, η Ολλανδία και η Δανία.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-4, προβλέπεται ότι στο Ηνωμένο Βασίλειο θα πρέπει να σφραγιστούν και να εγκαταλειφθούν 1630 γεωτρήσεις κατά το διάστημα από το 2019 έως το 2028. Ο αριθμός αυτός αποτελεί ποσοστό 62% επί των συνολικών σφραγίσεων που απαιτούνται στην περιοχή.

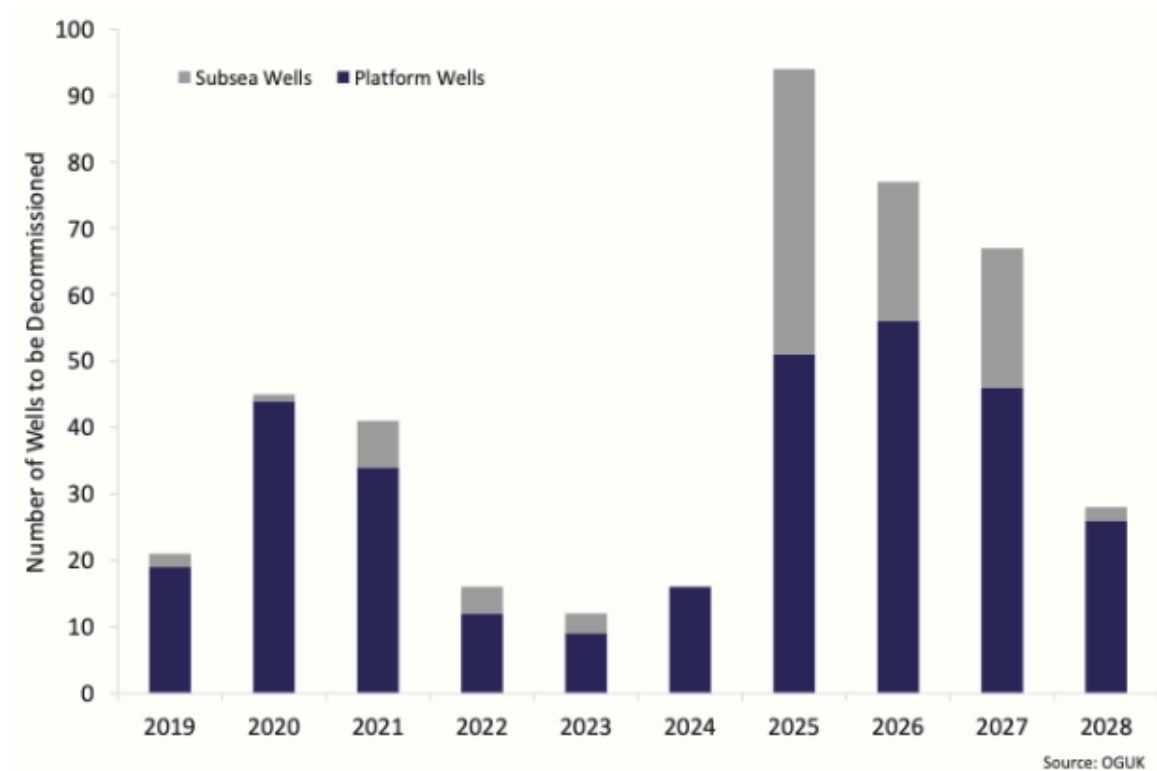
Στη Νορβηγία και την Ολλανδία εκτιμάται ότι 417 και 457 γεωτρήσεις, αντίστοιχα, πιθανά θα απαιτήσουν σφράγιση και εγκατάλειψη στο μέλλον, αποτελώντας ποσοστό 16% και 17%, αντίστοιχα επί του συνόλου των γεωτρήσεων που θα πρέπει να σφραγιστούν. Τέλος, στη Δανία προβλέπεται ότι μέχρι το 2028 θα έχουν σφραγιστεί 120 υπεράκτιες γεωτρήσεις, που αποτελούν ποσοστό μόλις 5% επί του συνόλου των γεωτρήσεων που θα πρέπει να σφραγιστούν στο μέλλον. Έτσι, το συνολικό άθροισμα των υπεράκτιων γεωτρήσεων που εκτιμάται ότι θα σφραγιστούν στη Βόρεια Θάλασσα την επόμενη δεκαετία ανέρχεται σε 2624.



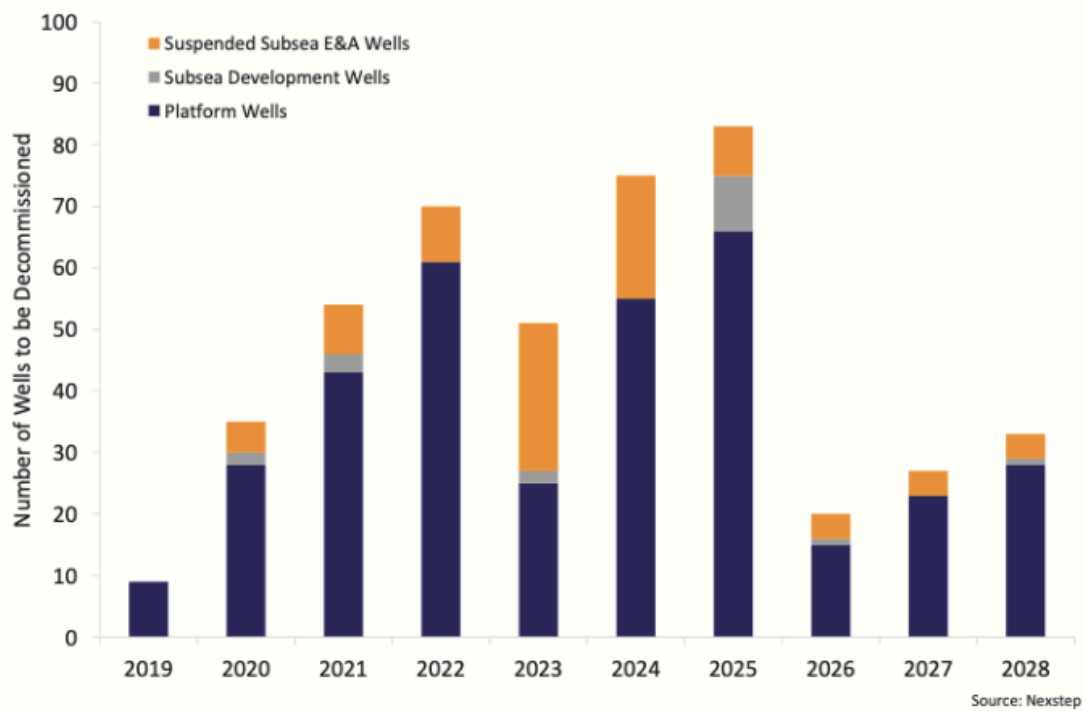
Σχήμα 3-4. Εκτίμηση αριθμού γεωτρήσεων προς σφράγιση στη Βόρεια Θάλασσα για το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019)

Πιο αναλυτικά, στη Νορβηγία, σύμφωνα με το Σχήμα 3-5, εκτιμάται ότι από το συνολικό αριθμό σφραγίσεων υπεράκτιων γεωτρήσεων, οι 313 θα αφορούν γεωτρήσεις που συνδέονται με υπεράκτιες εξέδρες, ενώ οι υπόλοιπες 104 συνδέονται με υποθαλάσσια συστήματα παραγωγής Υ/Α. Αναμένεται να σφραγίζονται περίπου 25 γεωτρήσεις κάθε χρόνο μέχρι και το 2024, ενώ από το 2025 και μετά θα υπάρξει αύξηση στις 94 το χρόνο, με το 2028 να μειώνονται σημαντικά οι ενέργειες σφράγισης.

Στο Σχήμα 3-6 παρουσιάζεται το είδος των υπεράκτιων γεωτρήσεων που εκτιμάται ότι θα σφραγιστούν μέσα στην επόμενη δεκαετία στην Ολλανδία. Σύμφωνα με το σχήμα αυτό εκτιμάται ότι η δραστηριότητα σφράγισης και εγκατάλειψης υπεράκτιων γεωτρήσεων θα αυξηθεί κατά πολύ από το 2019 μέχρι και το 2020, καθώς και ότι από το 2020 μέχρι το 2025 θα λάβουν χώρα σφραγίσεις 30 γεωτρήσεων ανά χρόνο περίπου. Εν τέλει, από το 2026 και μετά προβλέπεται μείωση των ετήσιων σφραγίσεων υπεράκτιων γεωτρήσεων.

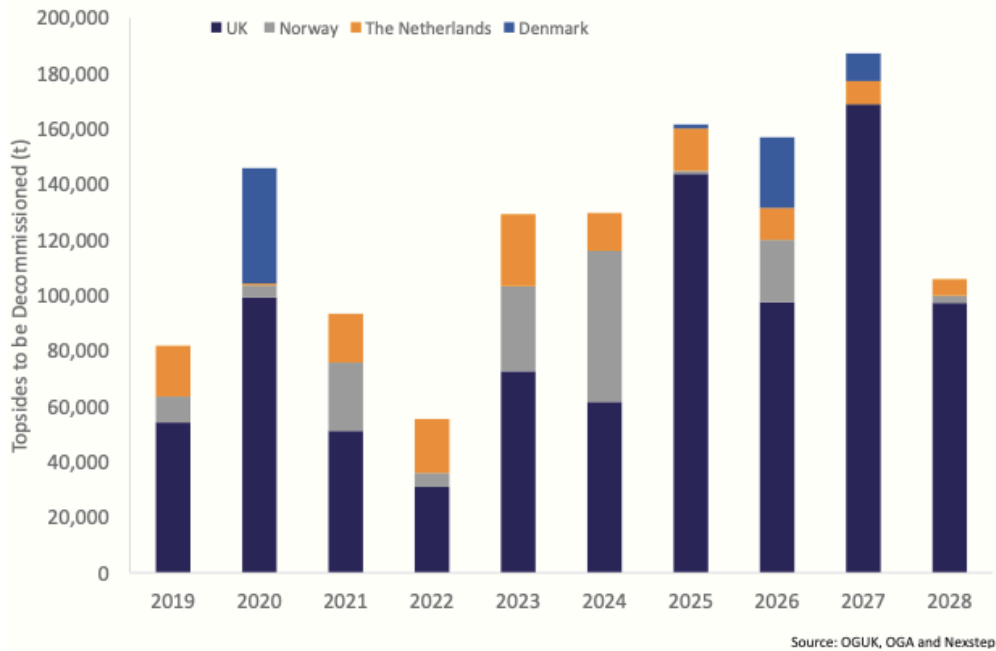


Σχήμα 3-5. Αριθμός γεωτρήσεων στη Νορβηγία προς σφράγιση για το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019)

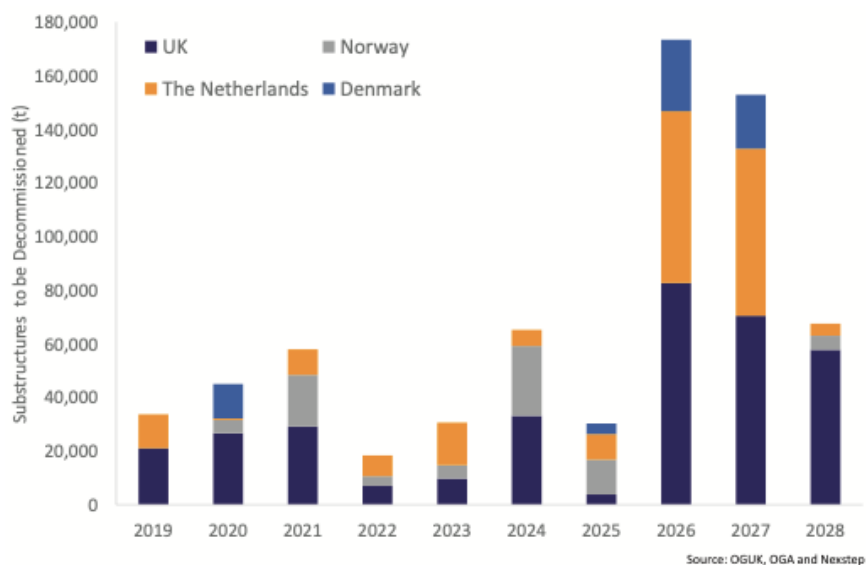


Σχήμα 3-6. Γεωτρήσεις προς σφράγιση στην Ολλανδία για το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019)

Τέλος, οι συνολικές εκτιμήσεις παροπλισμού καταστρωμάτων και εξάλων τμημάτων (topsides) υπεράκτιων εξεδρών και υποθαλάσσιων συστημάτων, για το διάστημα 2019-2028, στη Βόρεια Θάλασσα, παρουσιάζονται στα γραφήματα των Σχημάτων 3-7 και 3-8, αντίστοιχα, ενώ στους Πίνακες 3-1 και 3-2 παρουσιάζονται, αντίστοιχα, τα σχετικά στοιχεία.



Σχήμα 3-7. Εκτίμηση αριθμού καταστρωμάτων και εξάλων τμημάτων (topsides) υπεράκτιων εξεδρών προς παροπλισμό στη Βόρεια Θάλασσα για το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019)



Σχήμα 3-8. Εκτίμηση αριθμού υποθαλάσσιων συστημάτων προς παροπλισμό στη Βόρεια Θάλασσα για το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019)

Πίνακας 3-1. Συνολικές εκτιμήσεις παροπλισμού καταστροφωμάτων και εξάλων τμημάτων (topsides) υπεράκτιων εξεδρών στη Βόρεια Θάλασσα για το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019)

Χώρα	Υποσύνολα	Ποσοστό
Ηνωμένο Βασίλειο	879,011	70%
Ολλανδία	136,516	11%
Νορβηγία	154,598	12%
Δανία	78,480	6%
<b>Σύνολο</b>	<b>1,248,605</b>	<b>100%</b>

Πίνακας 3-2. Συνολικές εκτιμήσεις παροπλισμού υποθαλάσσιων συστημάτων στη Βόρεια Θάλασσα για το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019)

Χώρα	Υποσύνολα	Ποσοστό
Ηνωμένο Βασίλειο	341,548	52%
Νορβηγία	77,129	12%
Ολλανδία	192,655	29%
Δανία	50,648	8%
<b>Σύνολο</b>	<b>622,016</b>	<b>100%</b>

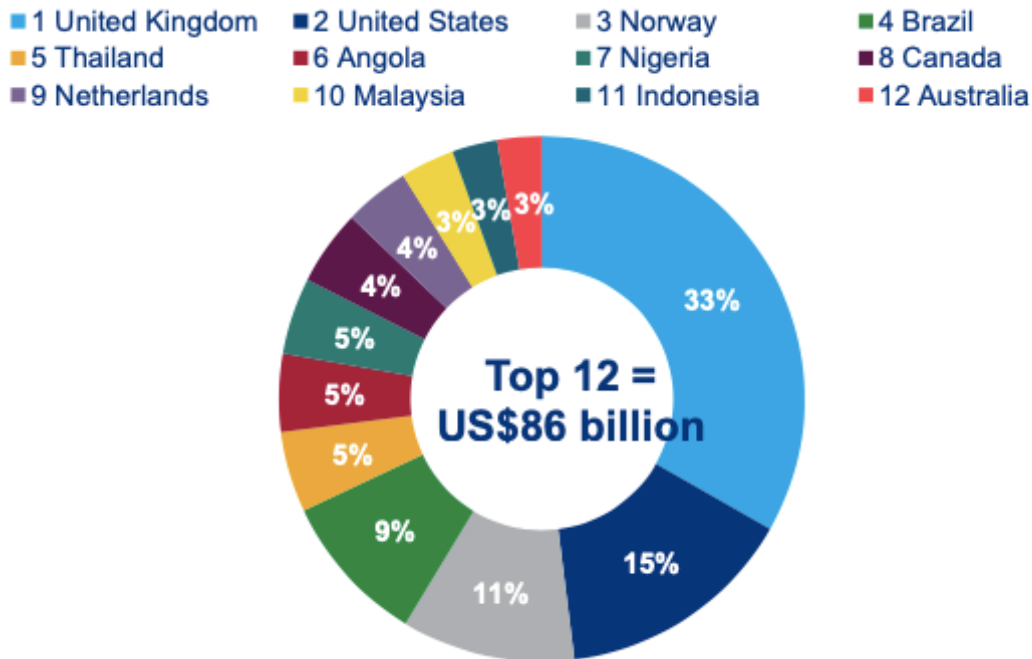
### 3.3. Κόστος παροπλισμού σε ορισμένες χώρες – Εκτιμήσεις για το μέλλον

Η διαδικασία παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων, λόγω της σύνθετης και απαιτητικής εργασίας που περιλαμβάνουν, μπορεί να αποτελέσει πηγή τεχνικών και οικονομικών προκλήσεων. Οι προκλήσεις αυτές είναι απαραίτητο να αξιολογούνται και να εντοπίζεται η πλέον κατάλληλη λύση, η οποία αρμόζει για τη διεξαγωγή της σωστής και αποδοτικής εκτέλεσης της εκάστοτε διαδικασίας παροπλισμού. Ορισμένες από τις πιο σημαντικές προκλήσεις αναλύονται στη συνέχεια.

Αποτελεί γενική παραδοχή το γεγονός ότι το κόστος της διαδικασίας παροπλισμού θα πρέπει να υπολογίζεται στην πρώιμη φάση της παραγωγής, ώστε σταδιακά να εξασφαλίζεται ένα απόθεμα πόρων για το μελλοντικό παροπλισμό της εγκατάστασης. Παρόλα αυτά, η πρώιμη εκτίμηση του κόστους παροπλισμού και η μέριμνα για τη διασφάλιση των αναγκαίων πόρων συμβαίνει ελάχιστες φορές κατά τη διαδικασία ανάπτυξης και λειτουργίας ενός κοιτάσματος.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, την επόμενη δεκαετία ένας σημαντικός αριθμός υπεράκτιων εγκαταστάσεων θα χρειαστεί να παροπλιστούν και να απομακρυνθούν. Το γεγονός αυτό δημιουργεί σοβαρές ανησυχίες για την οικονομική επιβάρυνση που θα προκύψει.

Εκτιμάται ότι στα επόμενα 10 χρόνια οι 12 μεγαλύτερες σε παραγωγή υδρογονανθράκων χώρες θα ξοδέψουν συγκεντρωτικά 86 δισεκατομμύρια δολάρια για τις ενέργειες παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων στην περίοδο από το 2018 έως και το 2022 (Jia, Yun, Ming, Kai, & Jiexin, 2019). Η ποσοστιαία κατανομή του ποσού αυτού ανά χώρα παρουσιάζεται στο Σχήμα 3-9.



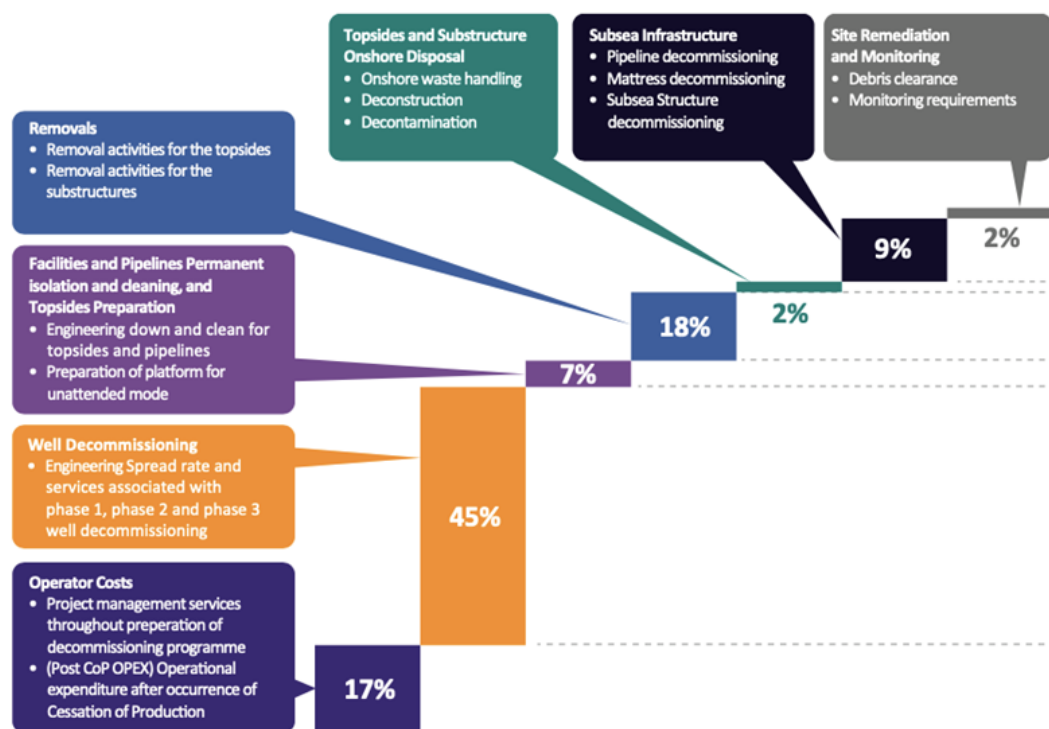
Σχήμα 3-9. Βασικές χώρες που επωμίζονται το κόστος παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων παραγωγής υδρογονανθράκων της επόμενης δεκαετίας (Jia, Yun, Ming, Kai, & Jiexin, 2019)

Από το 2022 και μετά εκτιμάται ότι το παγκόσμιο κόστος παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων θα αγγίξει τα 340 δισεκατομμύρια δολάρια (Jia, Yun, Ming, Kai, & Jiexin, 2019). Το Ηνωμένο Βασίλειο θα επιβαρυνθεί περισσότερο, λόγω της πτώσης της παραγωγής πετρελαίου στη Βόρεια Θάλασσα και της παλαιότητας των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, ενώ ακολουθούν οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Νορβηγία. Τέλος, χώρες που μπήκαν αργότερα στην αγορά υδρογονανθράκων επωμίζονται, όπως είναι αναμενόμενο, μικρότερο μελλοντικό κόστος.

### 3.3.1. Βόρεια Θάλασσα

#### 3.3.1.1. Ηνωμένο Βασίλειο

Εκτιμάται ότι το ετήσιο κόστος παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων στο Ηνωμένο Βασίλειο ανέρχεται στα 1,88 δισεκατομμύρια δολάρια και ότι μέσα στην επόμενη δεκαετία, για παρόμοιες ενέργειες, θα χρειαστούν, περίπου, 19 δισεκατομμύρια δολάρια (Royal Academy Of Engineering, 2013). Στο Σχήμα 3-10 που παρουσιάζεται μία εκτίμηση για την κατανομή των δαπανών παροπλισμού για το διάστημα 2019 έως το 2028.



Σχήμα 3-10. Εκτιμώμενη κατανομή δαπανών παροπλισμού στο Ηνωμένο Βασίλειο κατά το διάστημα 2019-2028 (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019)

Σύμφωνα με το παραπάνω γράφημα, το μεγαλύτερο ποσοστό δαπανών, 45%, αφορά στη σφράγιση και εγκατάλειψη υπεράκτιων γεωτρήσεων (well abandonment), καθώς για τη συγκεκριμένη διαδικασία αναμένεται να δαπανηθούν 6,8 δισεκατομμύρια αγγλικές λίρες μέσα στην επόμενη δεκαετία (2019-2028), για τον παροπλισμό 1630 υπεράκτιων γεωτρήσεων. Η εκτίμηση αυτή είναι χαμηλότερη από την αντίστοιχη εκτίμηση του 2018 που ανερχόταν σε 7.5 δισεκατομμύρια αγγλικές λίρες (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019), όταν εκτιμιούνταν ότι ο αριθμός των γεωτρήσεων που θα παροπλιστούν δεν θα ξεπερνούσε τις 1465. Ως εκ τούτου, το κόστος σφράγισης και εγκατάλειψης υπεράκτιων

γεωτρήσεων φαίνεται να μειώνεται, γεγονός που καταδεικνύει ότι η συγκεκριμένη διαδικασία γίνεται ολοένα και με πιο αποτελεσματικό τρόπο (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019).

Στη συνέχεια ακολουθεί με ποσοστό 18% επί των συνολικών δαπανών, η διαδικασία απομάκρυνσης των εξάλων τμημάτων των εξεδρών (topsides) και των χωροδικτυωμάτων έδρασης τους (jackets). Για την επόμενη δεκαετία η συγκεκριμένη δαπάνη εκτιμάται ότι θα αγγίξει τις 2,7 δισεκατομμύρια αγγλικές λίρες, σημειώνοντας σημαντική αύξηση από την αντίστοιχη πρόβλεψη του 2018 που ανερχόταν σε 2 δισεκατομμύρια αγγλικές λίρες.

Με ποσοστό 17% επί των συνολικών δαπανών ακολουθούν τα έξοδα διαχείρισης της συνολικής διαδικασίας (operator costs). Το κόστος αυτό περιλαμβάνει επίσης και τις δαπάνες λειτουργίας της εξέδρας μετά την οριστική παύση της παραγωγής. Το κόστος αυτό εκτιμάται ότι θα ανέλθει σε 2,5 δισεκατομμύρια αγγλικές λίρες κατά την επόμενη δεκαετία, τιμή που ταυτίζεται με την αντίστοιχη πρόβλεψη του 2018.

Σημαντική κατηγορία δαπάνης στη διαδικασία παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων αποτελεί, με ποσοστό 9%, και ο παροπλισμός υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων (αγωγών & λοιπών κατασκευών), που εκτιμάται ότι θα στοιχίσει 1,6 δισεκατομμύρια αγγλικές λίρες στην επόμενη δεκαετία. Η εκτίμηση αυτή παρουσιάζεται ελαφρά μειωμένη σε σχέση με την αντίστοιχη πρόβλεψη του 2018, η οποία ανερχόταν σε 1,7 δισεκατομμύρια αγγλικές λίρες.

Αυτοί οι τέσσερις παράγοντες είναι και οι πιο σημαντικοί που εν τέλει καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το συνολικό κόστος μιας διαδικασίας παροπλισμού (UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019). Τέλος, με ποσοστό 7% και 2% επί των συνολικών δαπανών, συμμετέχουν οι διαδικασίες που αφορούν στην προετοιμασία των εγκαταστάσεων πριν τις εργασίες παροπλισμού (οριστική αποσύνδεση και καθαρισμός αγωγών & λοιπού εξοπλισμού στα έξαλα τμήματα των εξεδρών) (7%) και στη διάθεση των τμημάτων που θα απομακρυνθούν από την αρχική τους θέση σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους (2%), καθώς και στην εκκαθάριση του εκάστοτε εργοταξίου (2%).

Το 2019 διεξήχθη στο Ηνωμένο Βασίλειο μια έρευνα μεταξύ των διαχειριστών έργων παροπλισμού στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα της χώρας, σχετικά με το κόστος παροπλισμού των υπεράκτιων εγκαταστάσεων υδρογονανθράκων (2019 UKCS Stewardship Survey) (Oil & Gas Authority, 2020). Από α αποτελέσματα της έρευνας διαμορφώθηκε μια βάση δεδομένων κόστους παροπλισμού για όλα τα υφιστάμενα και



προγραμματιζόμενα έργα παροπλισμού υπεράκτιων εξεδρών, συστημάτων αγωγών, γεωτρήσεων ανάπτυξης, ερευνητικών γεωτρήσεων και γεωτρήσεων αποτίμησης που έχουν τερματιστεί, και χερσαίων τερματικών σταθμών. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν χρησιμοποιώντας το οργανόγραμμα εργασιών (Work Breakdown Structure - WBS) της αρμόδιας αρχής της Βρετανίας, Oil and Gas Authority (OGA).

Η προσέγγιση της OGA παραμένει αμετάβλητη τα τελευταία χρόνια και αφορά στην ανάπτυξη μίας στοχαστικής εκτίμησης του κόστους που λαμβάνει υπόψη ένα ευρύ φάσμα αβεβαιοτήτων στο εκτιμώμενο κόστος που υποβλήθηκε από τους διαχειριστές.

Προκειμένου να συμπεριληφθεί το επίπεδο αβεβαιότητας στα εκτιμώμενα κόστη, ζητήθηκε από τους διαχειριστές να ακολουθήσουν το σύστημα ταξινόμησης εκτιμώμενου κόστους (cost estimate classification system) σύμφωνα με την «Συνιστώμενη Πρακτική» με αριθμό 18R-97 της Ένωσης για την Προώθηση της Μηχανικής Κόστους (Association for the Advancement of Cost Engineering-AACE Recommended Practice N. 18R-97) και τις οδηγίες της AACE σχετικά με την επιλογή τιμών από τα διαθέσιμα εύρη (Πίνακας 3-3) (Oil & Gas Authority, 2020).

Το εκτιμώμενο κόστος αποτελείται από διάφορα στοιχεία που δεν ταξινομούνται όλα στην ίδια κλάση. Η ταξινόμηση του εκτιμώμενου κόστους ζητήθηκε να γίνει από τους διαχειριστές που έλαβαν μέρος έρευνας, ενώ δεν έγιναν προσαρμογές στις αξιολογήσεις που υπέβαλαν.

Πίνακας 3-3. Ταξινόμηση εκτιμώμενου κόστους κατά AACE (Oil & Gas Authority, 2020)

	Κύριο χαρακτηριστικό	Δευτερεύον χαρακτηριστικό
Κλάση εκτιμώμενου κόστους (estimate class)	Βαθμός «ωρίμανσης» των παραδοτέων σχεδιασμού του έργου (% ολοκλήρωσης του σχεδιασμού)	Αναμενόμενο εύρος ακρίβειας Τυπική διακύμανση σε χαμηλά και υψηλά εύρη για διάστημα εμπιστοσύνης 80%
Κλάση 5	0% έως 2%	X: -20% έως -50% Y: +30% έως +100%
Κλάση 4	1% έως 15%	X: -15% έως -30% Y: +20% έως +50%
Κλάση 3	10% έως 40%	X: -10% έως -20% Y: +10% έως +30%
Κλάση 2	30% έως 75%	X: -5% έως -15% Y: +5% έως +20%
Κλάση 1	65% έως 100%	X: -3% έως -10% Y: +3% έως +15%

Οι τιμές στο «Αναμενόμενο εύρος ακρίβειας» που χρησιμοποιήθηκαν στις στοχαστικές κατανομές επιλέχθηκαν στην υψηλότερη τιμή του χαμηλού εύρους (X) και στην υψηλότερη τιμή του υψηλού εύρους (Y) που φαίνεται στον Πίνακα 3-3. Για παράδειγμα, στα εκτιμώμενα κόστη της Κλάσης 5 δόθηκε ένα αναμενόμενο εύρος ακρίβειας από -20% έως +100%. Αυτό έγινε για να αντιμετωπιστεί η περίπτωση αισιόδοξων εκτιμήσεων από τους διαχειριστές. Θεωρήθηκε ότι υπάρχει αυξημένη πιθανότητα αισιόδοξων εκτιμήσεων για τους ακόλουθους λόγους (Oil & Gas Authority, 2020):

- Τα εκτιμώμενα κόστη μπορεί να επηρεαστούν από ζητήματα όπως η εκτιμητική μεροληψία (estimating bias).
- Χαμηλός βαθμός εμπειρίας και τεχνογνωσίας σε θέματα υπεράκτιου παροπλισμού πολλών διαχειριστών.
- Έλλειψη εμπειρίας στην πετρελαϊκή βιομηχανία γενικά σχετικά με θέματα παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων.

Το πεδίο εφαρμογής της έρευνας αφορούσε στα έργα παροπλισμού όλων των υπεράκτιων υποδομών στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα του ΗΒ, συμπεριλαμβανομένων (Oil & Gas Authority, 2020):

- Εγκαταστάσεων και γεωτρήσεων ανάπτυξης που βρίσκονται ακόμα σε λειτουργία και αναμένεται ο παροπλισμός τους.
- Όλων των υποδομών και των γεωτρήσεων ανάπτυξης που βρίσκονται υπό παροπλισμό, με εξαίρεση τις εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί πριν το 2017.
- Όλων των εγκεκριμένων εγκαταστάσεων και γεωτρήσεων που δεν έχουν ακόμα τεθεί σε λειτουργία.
- Των προτεινόμενων σχεδίων έργων, που δεν έχουν ακόμα εγκριθεί ή κατασκευαστεί, σταθμίζοντας την πιθανότητα να τεθούν σε εφαρμογή/να εκτελεστούν.
- Όλων τα αγωγών εντός ενός πεδίου και των αγωγών εξαγωγής.
- Των ερευνητικών γεωτρήσεων στην ανοιχτή θάλασσα και των γεωτρήσεων αποτίμησης που έχουν ανασταλεί.
- Των χερσαίων τερματικών σταθμών.

Τα πρωτογενή δεδομένα εκτιμούμενου κόστους που συλλέχθηκαν ακολούθησαν το οργανόγραμμα εργασιών (WBS) της OGA UK, το οποίο περιλαμβάνει στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Διαχείριση έργου (project management)
- Κόστος λειτουργίας μετά τη διαδικασία την παύση της λειτουργίας της εγκατάστασης (post-CoP running costs)
- Παροπλισμός γεωτρήσεων (well decommissioning)
- Μόνιμη απομόνωση και καθαρισμός εγκαταστάσεων/αγωγών
- Προετοιμασία εξάλων τμημάτων (topsides preparation)
- Απομάκρυνση εξάλων τμημάτων (topsides removal)
- Απομάκρυνση υποκατασκευής (substructure removal)
- Χερσαία διάθεση εξάλων τμημάτων και υποκατασκευών
- Υποθαλάσσιες βοηθητικές εγκαταστάσεις (subsea infrastructure) (συμπεριλαμβανομένων υποθαλάσσιων κατασκευών, αγωγών, στρωμάτων, κ.λπ.)
- Αποκατάσταση περιοχής (site remediation)
- Παρακολούθηση μετά τον παροπλισμό (post-decommissioning monitoring)

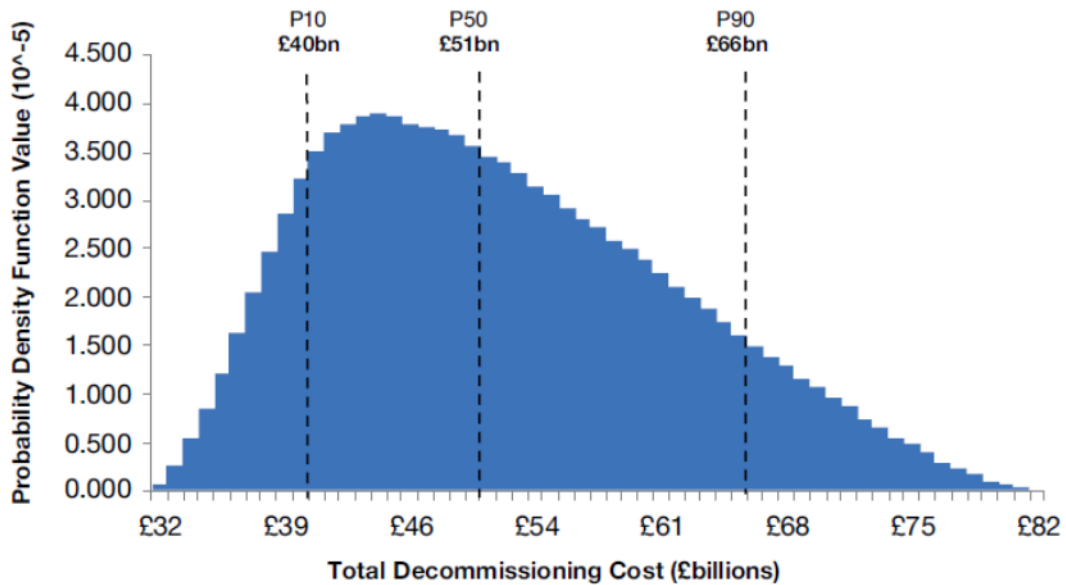
Όπου απαιτείται, ελήφθησαν υπόψη παράγοντες αποπληθωρισμού όπως αυτοί δίνονται στην «Έκθεση αποπληθωριστικών συντελεστών του ΑΕΠ σε τιμές αγοράς και σε τρέχουσες τιμές», που δημοσιεύεται από το Υπουργείο Οικονομικών του ΗΒ βάσει στοιχείων της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (Office for National Statistics-ONS) και του Γραφείου Προϋπολογισμού (Office for Budget Responsibility-OBR). Οι τιμές λαμβάνονται από τις εαρινές εκθέσεις κάθε επόμενου έτους. Έτσι, θεωρήθηκαν οι ακόλουθοι αποπληθωριστικοί συντελεστές:

2016-2017: 1,97%

2017-2018: 1,85%

2018-2019: 1,86%

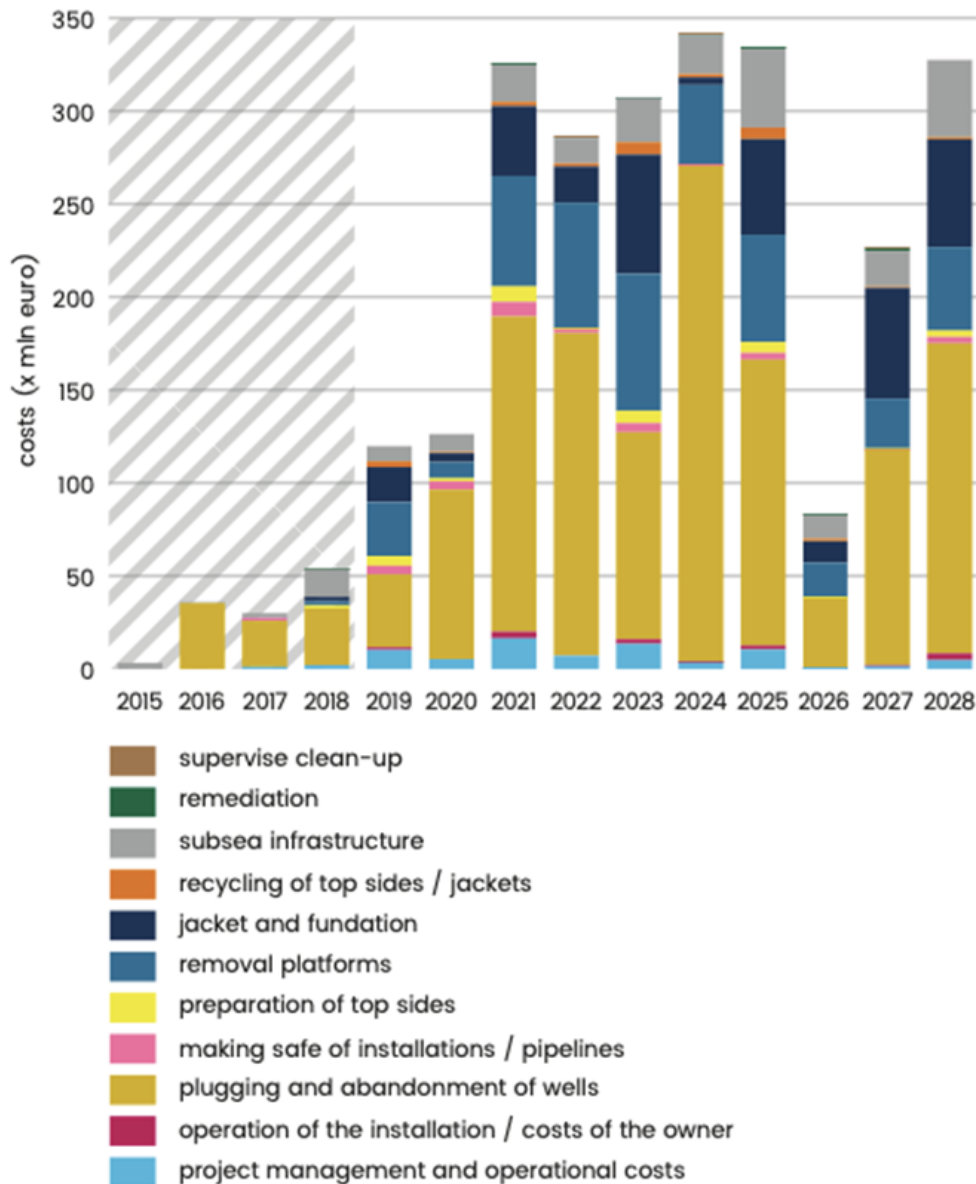
Έτσι, με βάση τα παραπάνω, η κατανομή πιθανότητας του εκτιμούμενου κόστους παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων στο ΗΒ για το έτος 2020, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3-11, με βάση τις τιμές του 2019 (Oil & Gas Authority, 2020).



Σχήμα 3-11. Κατανομή εκτιμούμενου κόστους παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων στο Ηνωμένο Βασίλειο για το έτος 2020 (βάσει τιμών 2019 (Oil & Gas Authority, 2020)

### 3.3.1.2. Ολλανδία και Δανία

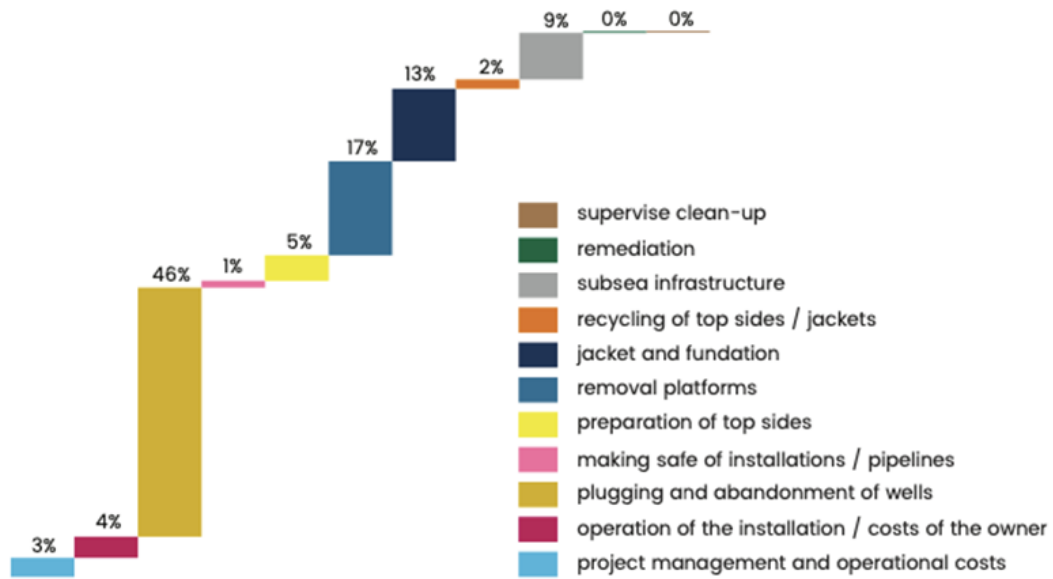
Με βάση μία πρόσφατη μελέτη από τη Nextstep το κόστος παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων για την περίοδο 2019 έως 2028 για την Ολλανδία, εκτιμάται σε 2.5 δισεκατομμύρια ευρώ, και κατανέμεται στις επιμέρους κατηγορίες σύμφωνα με το Σχήμα 6-3 (Nextstep, 2019). Στο γράφημα του Σχήματος 3-12 γίνεται παράθεση του ετήσιου κόστους παροπλισμού, επιμερισμένο ανά κατηγορία δαπάνης και αθροιστικά. Είναι φανερό ότι σε κάθε έτος το μεγαλύτερο ποσοστό κόστους καταλαμβάνει η διαδικασία σφράγισης και εγκατάλειψης των γεωτρήσεων, ενώ μετά ακολουθεί η απομάκρυνση των εξεδρών. Ο παροπλισμός του χωροδικτύωματος των εξεδρών και των υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων αποτελούν τις διαδικασίες που αποτελούν τις επόμενες δαπάνες με σημαντικό ποσοστό επί του συνολικού κόστους.



Σχήμα 3-12. Ετήσια Κατανομή Κόστους Παροπλισμού Ανά Κατηγορία Δαπάνης – Εκτίμηση για τα έτη 2019-2028 (Nextstep, 2019)

Στο Σχήμα 3-13 παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή των δαπανών παροπλισμού ανά κατηγορία δαπάνης. Είναι σαφές ότι ο παροπλισμός των υπεράκτιων γεωτρήσεων, των εξεδρών και των jackets καταλαμβάνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά, 46%, 17% και 13%, αντίστοιχα (Nextstep, 2019).

Τέλος, και στη Δανία, ο τομέας παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων είναι σχετικά καινούργιος και αναμένεται να υπάρξει έντονη δραστηριοποίηση του στα επόμενα 10 χρόνια, με το κόστος του να εκτιμάται στα 3,5 δισεκατομμύρια δολάρια (Nextstep, 2019).



Σχήμα 3-13. Ποσοστιαία κατανομή δαπανών παροπλισμού ανά κατηγορία (Nextstep, 2019)

### 3.3.2. Αμερική

Σύμφωνα με έρευνα που διεξήχθη το 2014 στον Κόλπο του Μεξικού, υπολογίστηκε ότι το μέσο κόστος παροπλισμού υπεράκτιων εξεδρών παραγωγής Υ/Α ήταν γύρω στα 46 εκατομμύρια δολάρια για την κάθε μία. Επιπλέον, οι διαδικασίες σφράγισης και εγκατάλειψης γεωτρήσεων, καθώς και οι διαδικασίες απομάκρυνσης του παροπλισμένου εξοπλισμού αποτελούσαν το 80% του συνολικού κόστους παροπλισμού, με 19 και 18 εκατομμύρια δολάρια, αντίστοιχα (Kaiser & Liu, 2014).

Η διαδικασία παροπλισμού αγωγών και των σωληνώσεων επαφής (conductors) αποτελούσαν το 19% του συνολικού μέσου κόστους παροπλισμού, αφού απαιτούσαν 4.7 και 4.4 εκατομμύρια δολάρια, αντίστοιχα για αυτές τις ενέργειες (Kaiser & Liu, 2014). Τέλος, το κόστος για την απομάκρυνση του riser και του λοιπού εξοπλισμού διακίνησης των παραγόμενων Υ/Α αποτελούσαν μόλις στο 1% επί του συνολικού κόστους παροπλισμού, με περίπου 1 εκατομμύριο δολάρια (Kaiser & Liu, 2014).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Σφράγιση και εγκατάλειψη γεωτρήσεων

### 4.1. Σφράγιση και εγκατάλειψη γεώτρησης (well plugging & abandonment - P&A) – Γενικά

Η σφράγιση και εγκατάλειψη αποτελεί το τελικό στάδιο του κύκλου ζωής μίας γεώτρησης. Είτε πρόκειται για ερευνητική γεώτρηση, η οποία δεν εντόπισε οικονομικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα υδρογονανθράκων, είτε – κυρίως – πρόκειται για γεώτρηση παραγωγής, στην οποία είναι πλέον αντικοινωνική η συνέχιση της παραγωγής. Το παρόν κεφάλαιο αφορά στην οριστική σφράγιση και εγκατάλειψη γεωτρήσεων παραγωγής μετά το τέλος της ζωής τους για τις οποίες κρίνεται απαραίτητη η σφράγισή τους, προς αποφυγή διαρροής υδρογονανθράκων από τον ταμιευτήρα προς ανώτερους ορίζοντες με την πάροδο του χρόνου, που δύναται να μολύνουν άλλους σχηματισμούς, υδροφόρους ορίζοντες ή και το θαλάσσιο περιβάλλον. Οι ρυθμιστικές αρχές σε κάθε χώρα θέτουν τις δικές τους απαιτήσεις ως προς τη σφράγιση και εγκατάλειψη των γεωτρήσεων παραγωγής Υ/Α. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται η τοποθέτηση μιας σειράς τσιμεντένιων πωμάτων (cement plugs) εντός της γεώτρησης, και η εκτέλεση δοκιμών εισροής ή ακεραιότητας (inflow or integrity tests) σε κάθε στάδιο εγκατάστασης πώματος για την επιβεβαίωση ότι επιτυγχάνει υδραυλική απομόνωση (hydraulic isolation) (Schlumberger, 2020). Οι διαδικασίες σφράγισης γεωτρήσεων σε βαθιές θάλασσες εγείρουν ιδιαίτερες προκλήσεις, ειδικά στην περίπτωση που η κεφαλή της γεώτρησης βρίσκεται στον πυθμένα (subsea wet trees) (Grismala, 2015).

Η σφράγιση και εγκατάλειψη ενίοτε εφαρμόζεται και σε γεωτρήσεις με προβλήματα που τις καθιστούν ακατάλληλες για τη συνέχιση της παραγωγής Υ/Α. Τα προβλήματα αυτά μπορεί να οφείλονται στους παρακάτω παράγοντες (Grismala, Decommissioning Methodology and Cost Evaluation, 2015):

- Ακατάλληλη τσιμεντώση της σωλήνωσης, δηλαδή του κενού χώρου ανάμεσα σε εκείνη και στα τοιχώματα της γεώτρησης, που οδηγούν στη δημιουργία φυσαλίδων ή στη διαρροή ρευστών.

- Σωλήνωση (casing) και σωλήνες παραγωγής (tubing) που έχουν καταστραφεί ή καταρρεύσει.
- Εμπόδια στους σωλήνες παραγωγής (tubing), όπως εγκλωβισμένα πώματα ή χαμένα εργαλεία από προηγούμενες εργασίες, που απαιτούν διαδικασίες ανάκτησης (fishing operations).
- Ανάπτυξη και διατήρηση πολύ υψηλής πίεσης εντός της σωλήνωσης (sustained casing pressure – SCP)<sup>1</sup> που επιβάλλει τη χρήση δαπανηρών μεθόδων παρέμβασης (intervention methods), όπως snubbing<sup>2</sup> ή υδραυλική συντήρηση (hydraulic workover)<sup>3</sup>.
- Επικαθήσεις παραφινών ή άμμου μέσα στους σωλήνες παραγωγής (tubing), που απαιτούν παρέμβαση με μονάδα περιελιγμένου σωλήνα (coiled tubing interventions) για τον καθαρισμό του φρέατος.
- Βαλβίδες στο φρέαρ που έχουν «κολλήσει».
- Παρουσία εκλυόμενου CO<sub>2</sub> ή H<sub>2</sub>S.
- Ανάγκη εκτόπισης του πολφού διάτρησης που περιέχει πολλά στερεά από καθαρό πολφό, ειδικά σε γεωτρήσεις σε μεγάλο βάθος θάλασσας.
- Γεωτρήσεις υψηλής παρέκκλισης (heavily deviated wells) που απαιτούν ειδικά εργαλεία για τη διατήρηση της παραγωγής.

Κάθε γεώτρηση είναι μοναδική και παρουσιάζει διαφορετικές δυσκολίες ως προς τη σφράγιση και εγκατάλειψή της. Εκτός από τα προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι τεχνικές δυσκολίες για τη σφράγιση μιας γεώτρησης μπορούν να σχετίζονται με υψηλές θερμοκρασίες, μη συνεκτικούς σχηματισμούς (unconsolidated formations), αλλαγές στην

---

<sup>1</sup> SCP: Η διατήρηση πολύ υψηλής πίεσης εντός της σωλήνωσης, ακόμα και μετά από διαδικασίες μείωσής της (pressure bleed-down) οφείλεται στη μετανάστευση αερίου (gas migration) εντός της γεώτρησης από έναν σχηματισμό όπου επικρατεί πολύ υψηλή πίεση, μέσω ρωγμών που μπορεί να έχουν δημιουργηθεί στο περιβλήμα του τσιμέντου. Μπορεί επίσης να προκληθεί από ελαττωματικούς συνδέσμους (που παρουσιάζουν διαρροή) στους σωλήνες παραγωγής ή σε άλλον ενδογεωτρητικό εξοπλισμό (Pegasus Vertex, Inc., 2019).

<sup>2</sup> Snubbing: Διαδικασία τοποθέτησης και απομάκρυνσης σωλήνων παραγωγής, διατρητικών στελεχών ή σωλήνωσης, ενώ στην κεφαλή της γεώτρησης διατηρείται η επιφανειακή πίεση (surface pressure) (πίεση στην κορυφή της στήλης παραγωγής) (live well) (Pegasus Vertex, Inc., 2019).

<sup>3</sup> Σε αντίθεση με τις εργασίες snubbing, οι εργασίες υδραυλικής συντήρησης γίνονται υπό συνθήκες κατά τις οποίες η επιφανειακή πίεση στην κεφαλή της γεώτρησης είναι μηδέν (dead well).



αντοχή των σχηματισμών ως αποτέλεσμα της εξάντλησης των ρευστών του ταμειυτήρα, αβέβαιη μέγιστη τιμή πίεσης του ταμειυτήρα, τιμή τελικής πίεσης του ταμειυτήρα (ultimate reservoir pressure) μετά την εγκατάλειψή του, διαπερατότητα των σχηματισμών, τεκτονικές τάσεις που ασκούνται από τους σχηματισμούς (π.χ. διατμητική τάση και καθίζηση - subsidence), έλλειψη δεδομένων από παλαιότερες γεωτρήσεις, δυσκολία επαλήθευσης της ποιότητας τσιμέντωσης σε επαλληλία σωληνώσεων (Khalifeh & Saasen, 2020).

Συμπερασματικά, η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής σφράγισης είναι απόρροια διάφορων παραγόντων, όπως η συλλογή δεδομένων σχετικά με τη γεώτρηση, η αρχική επιθεώρηση και η υποβολή αίτησης για το έργο προς έγκριση από τους κατάλληλους φορείς. Με τη διακοπή της παραγωγής ξεκινούν οι διαδικασίες σφράγισης και εγκατάλειψης των γεωτρήσεων, με τον εξοπλισμό και τις διεργασίες να ρυθμίζονται αναλόγως με τις συνθήκες που επικρατούν, ενώ, γενική παραδοχή αποτελεί το γεγονός ότι όλες οι προαναφερόμενες διαδικασίες είναι απαραίτητο να είναι σύμφωνες με τους κανόνες που τις διέπουν και να λαμβάνουν χώρα με σεβασμό προς το περιβάλλον και τους ανθρώπους.

#### **4.2. Ακεραιότητα της γεώτρησης (well integrity) – Φραγμοί (barriers) – Πώματα (plugs)**

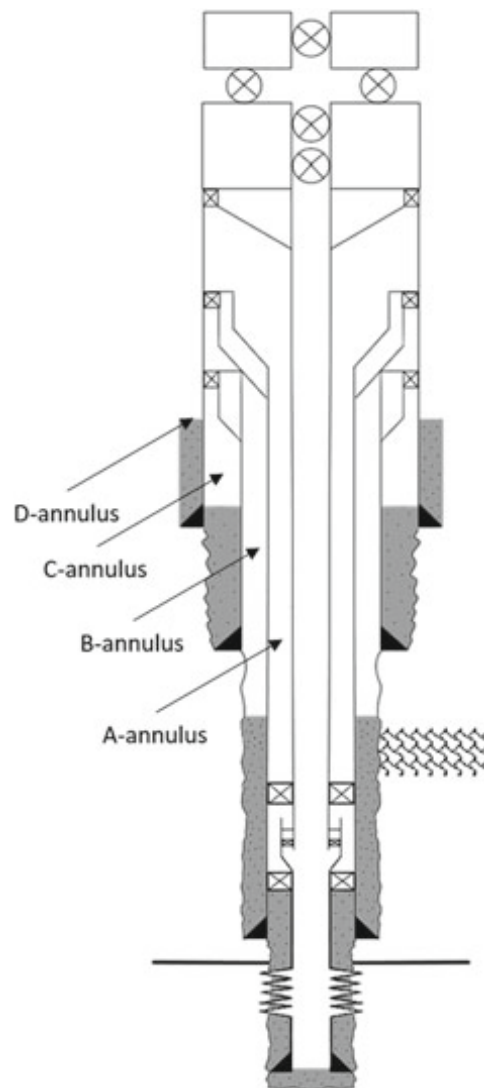
Η ακεραιότητα της γεώτρησης ορίζεται ως «η εφαρμογή τεχνικών, επιχειρησιακών και οργανωτικών λύσεων για τον περιορισμό του κινδύνου μη ελεγχόμενης απελευθέρωσης ρευστών των σχηματισμών και της γεώτρησης καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής της»<sup>4</sup>. Η ακεραιότητα μιας γεώτρησης επιτυγχάνεται κατά κύριο λόγο με τη διατήρηση του ελέγχου αυτής με χρήση επαρκών φραγμών.

Εντός της γεώτρησης οποιοδήποτε κενός χώρος μεταξύ της διατρητικής στήλης και της σωλήνωσης ή του σχηματισμού ή μεταξύ δύο διαδοχικών στηλών σωλήνωσης ή μεταξύ μιας στήλης σωλήνωσης και του σχηματισμού ονομάζεται δακτύλιος (annulus). Κατά την ολοκλήρωση της γεώτρησης, διακρίνονται διαφορετικοί δακτύλιοι. Ο δακτύλιος ανάμεσα στους σωλήνες παραγωγής (production tubing) και στην παραγωγική σωλήνωση (production casing) καλείται συνήθως δακτύλιος Α (A-annulus). Αντίστοιχα, ο δακτύλιος

---

<sup>4</sup> NORSOK Standard D-010. 2013. Well integrity in drilling and well operations. Standards Norway.

μεταξύ της παραγωγικής και της ενδιάμεσης σωλήνωσης (intermediate casing) καλείται δακτύλιος Β (B-annulus) κ.ο.κ. (Εικόνα 4-1). Γενικά, αυτοί οι δακτύλιοι πληρώνονται είτε με ρευστά διάτρησης, είτε με ρευστά ολοκλήρωσης για την προστασία του χαλύβδινου εξοπλισμού και την εξισορρόπηση των πιέσεων μέσα στη γεώτρηση για τη διατήρηση της ακεραιότητάς της.



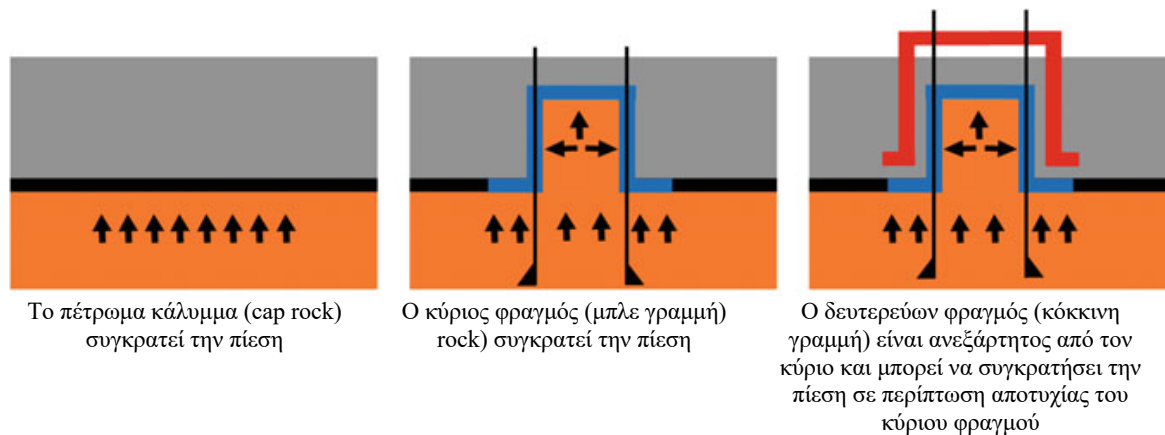
Εικόνα 4-1. Διάκριση δακτυλίων σε μια ολοκληρωμένη γεώτρηση (completed well) (NORSOK Standard D-010, 2013)

#### 4.2.1. Αρχή του διπλού φραγμού

Για τη διατήρηση του ελέγχου της γεώτρησης, σε κάθε στάδιο της ζωής της, απαιτούνται δύο ειδικά, ανεξάρτητα μεταξύ τους, συστήματα φραγμών. Η πετρελαϊκή βιομηχανία εφαρμόζει αυτή την αρχή του διπλού φραγμού ήδη από τη δεκαετία του 1920.

Σύμφωνα με αυτή, μια γεώτρηση (ήδη από τη φάση όρυξής της) πρέπει να διαθέτει επαρκείς σε αριθμό φραγμούς ώστε να αποφεύγεται η μη ελεγχόμενη ροή από οποιαδήποτε δυνητική πηγή. Επιπροσθέτως, μια και μόνη αστοχία ενός φραγμού δεν επιτρέπεται να οδηγεί σε μη αποδεκτές συνέπειες.

Με άλλα λόγια, η γεώτρηση θα πρέπει να είναι εξοπλισμένη με δύο ανεξάρτητους φραγμούς: έναν κύριο (primary) κι έναν δευτερεύοντα (secondary). Ο δευτερεύων φραγμός λειτουργεί ως εφεδρεία του κύριου φραγμού (Εικόνα 4-2).



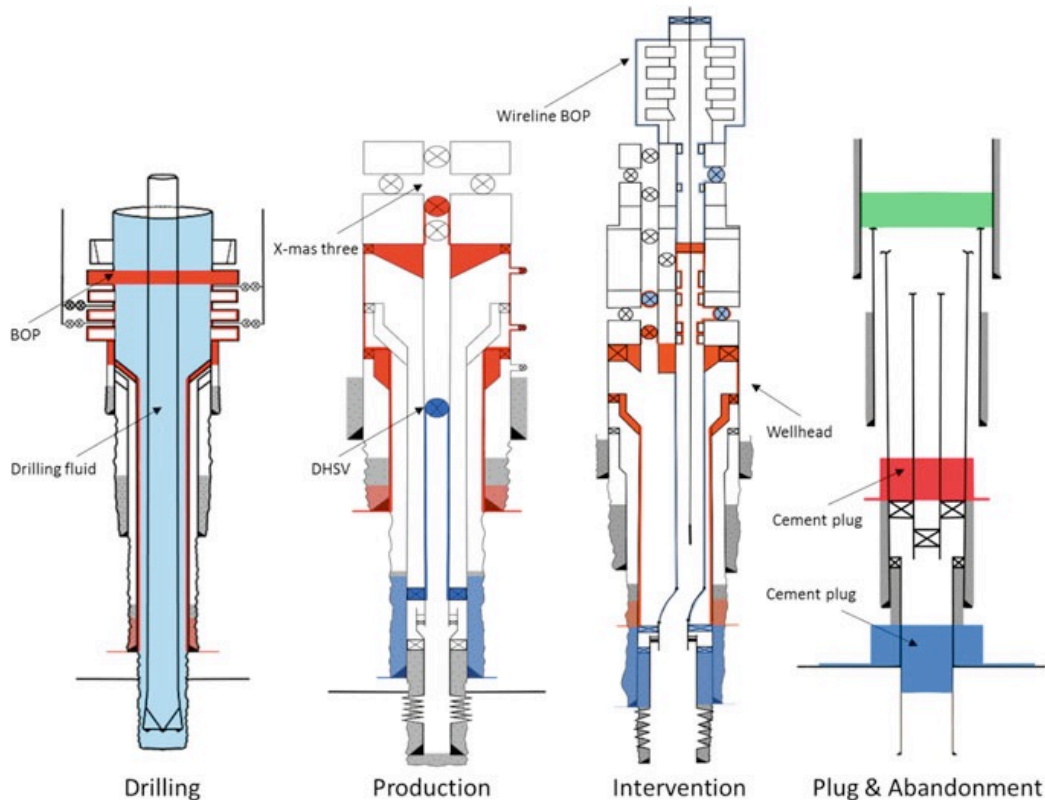
Εικόνα 4-2. Φιλοσοφία του διπλού φραγμού, όπου ο δευτερεύων φραγμός (κόκκινη γραμμή) λειτουργεί ως εφεδρεία του κύριου φραγμού (μπλε γραμμή) (Khalifeh & Saasen, 2020)

Κατά τη φάση όρυξης της γεώτρησης, η εξισορρόπηση των πιέσεων που επιτυγχάνεται από το ρευστό διάτρησης (overbalance) αποτελεί τον κύριο φραγμό και ο αντιεκρηκτικός μηχανισμός ασφάλειας (BOP) με τη στήλη σωλήνωσης να αποτελεί τον δευτερεύοντα φραγμό. Με την πάροδο των χρόνων, ωστόσο, καθώς οι γεωτρήσεις εξελίσσονται σε περισσότερο σύνθετα και πιο «δύσκολα» περιβάλλοντα, προκύπτει η ανάγκη αποσαφήνισης και τυποποίησης των φραγμών. Έτσι, στην πράξη τα συστήματα των φραγμών είναι τεχνικά και λειτουργικά περισσότερο πολύπλοκα.

Η λειτουργία των φραγμών μπορεί να διαφέρει λίγο κατά το χρονικό διάστημα που εκτελούνται οι εργασίες σφράγισης και εγκατάλειψης μιας γεώτρησης ή όταν μια γεώτρηση έχει πλέον σφραγιστεί και εγκαταλειφθεί οριστικά. Κατά τη διάρκεια των εργασιών

σφράγισης και εγκατάλειψης ορισμένους από τους φραγμούς που ήδη υπάρχουν σε μια γεώτρηση είναι πιθανό να απαιτηθεί να είναι ανοιχτοί, ώστε να υπάρχει πρόσβαση στο εσωτερικό της γεώτρησης και να εκτελεστούν οι απαραίτητες εργασίες. Είναι κρίσιμη σημασίας, ωστόσο, ότι αυτοί οι φραγμοί θα πρέπει να μπορούν να κλείσουν και πάλι σε περίπτωση προσωρινής παύσης των εργασιών. Επομένως, οι κύριοι και οι δευτερεύοντες φραγμοί μπορεί να αλλάζουν ρόλο ανάλογα με τη φάση εξέλιξης των εργασιών σφράγισης & εγκατάλειψης.

Στην Εικόνα 4-3 παρουσιάζεται το σύστημα του διπλού φραγμού κατά τα στάδια εξέλιξης μιας γεώτρησης και στον Πίνακα 4-1 παρουσιάζονται παραδείγματα φραγμών για όλο τον κύκλο ζωής μιας γεώτρησης.

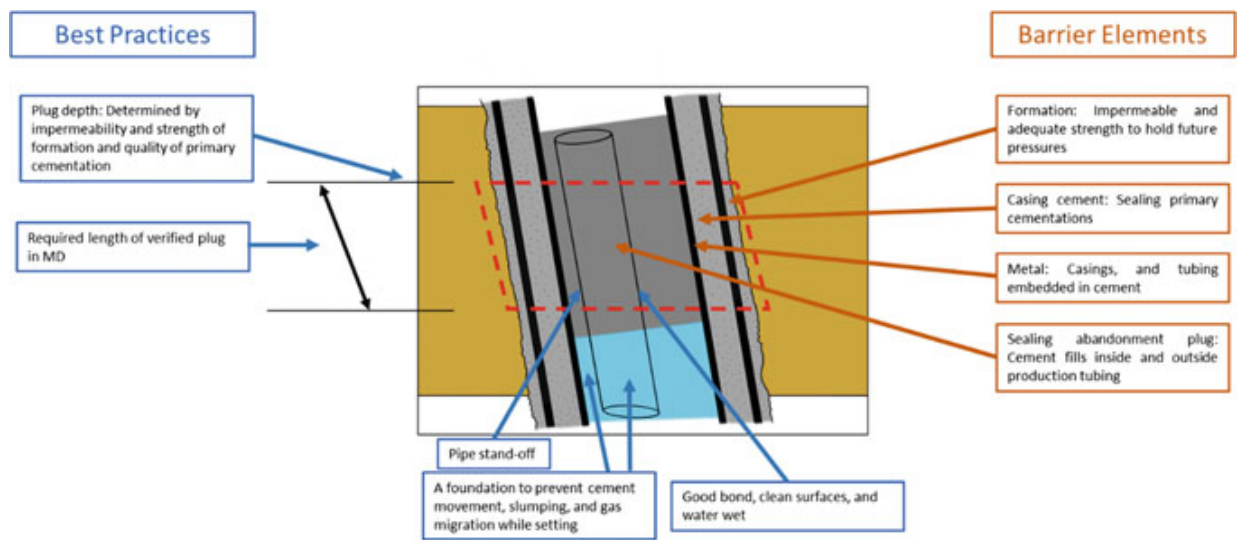


Εικόνα 4-3. Συστήματα διπλού φραγμού κατά τα στάδια εξέλιξης μιας γεώτρησης (Khalifeh & Saasen, 2020)

Πίνακας 4-1. Παραδείγματα φραγμών καθ' όλη τη διάρκεια ζωής μιας γεώτρησης (Khalifeh & Saasen, 2020)

Φάση παραγωγικής ζωής μιας γεώτρησης	Κύριος Φραγμός (Primary barrier)	Δευτερεύων Φραγμός (Secondary barrier)
Όρυξη	Διατήρηση υψηλότερης πίεσης στο εσωτερικό της γεώτρησης έναντι εκείνης των σχηματισμών με σχηματισμό πλακούντα διήθησης (filter cake) πάνω στα τοιχώματα της γεώτρησης	Σωλήνωση, τσιμέντωση σωλήνωσης, κεφαλή της γεώτρησης και αντιεκρηκτικός μηχανισμός ασφαλείας (BOP-Blowout preventer)
Παραγωγή	Τσιμέντωση σωλήνωσης, σωλήνωση, παρεμβύσματα (packers), σωλήνες παραγωγής και βαλβίδα ασφαλείας στον πυθμένα της γεώτρησης (downhole safety valve-DHSV)	Τσιμέντωση σωλήνωσης, σωλήνωση, κεφαλή της γεώτρησης, διάταξη ανάρτησης των σωλήνων παραγωγής (από την κεφαλή της γεώτρησης) και Χριστουγεννιάτικο δέντρο (Christmas tree)
Επέμβαση προς συντήρηση ή επιδιόρθωση	Τσιμέντωση σωλήνωσης, σωλήνωση, πόμα σε μεγάλο βάθος και διατήρηση ελαφρά υψηλότερης πίεσης λάσπης στο εσωτερικό της γεώτρησης έναντι της πίεσης των σχηματισμών	Τσιμέντωση σωλήνωσης, σωλήνωση, κεφαλή της γεώτρησης και αντιεκρηκτικός μηχανισμός ασφαλείας (BOP-Blowout preventer)
Σφράγιση και εγκατάλειψη	Τσιμέντωση σωλήνωσης, σωλήνωση και πόμα από τσιμέντο	Τσιμέντωση σωλήνωσης, σωλήνωση και πόμα από τσιμέντο

Ένα σύστημα φραγμών σε μια γεώτρηση (well barrier envelope) αποτελείται από διαφορετικά στοιχεία φραγής της γεώτρησης (well barrier elements-WBE). Κάθε στοιχείο φραγής της γεώτρησης είναι ένα φυσικό στοιχείο (physical element) το οποίο μπορεί ή δεν μπορεί από μόνο του να παρεμποδίζει τη ροή, αλλά σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία φραγής συνιστά έναν φραγμό της γεώτρησης (well barrier). Στην Εικόνα 4-4 παρουσιάζονται σχηματικά οι βέλτιστες πρακτικές και τα στοιχεία φραγής σε ένα σύστημα φραγμών μιας θαλάσσιας γεώτρησης που σφραγίζεται και εγκαταλείπεται οριστικά (Khalifeh & Saasen, 2020).



Εικόνα 4-4. Σχηματικό διάγραμμα συστήματος φραγμών για την οριστική σφράγιση και εγκατάλειψη μιας θαλάσσιας γεώτρησης (Khalifeh & Saasen, 2020)

#### 4.2.2. Πώματα (plugs)

Οποιοδήποτε αντικείμενο ή διάταξη το οποίο εγκαθίσταται στο εσωτερικό της γεώτρησης μπλοκάροντας τον δακτύλιο ή το εσωτερικό του φρέατος ονομάζεται πώμα (plug). Στο πλαίσιο της μηχανικής πετρελαίων, τα πώματα συνήθως διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα μη μηχανικά πώματα (non-mechanical plugs) και τα μηχανικά πώματα (mechanical or bridge plugs).

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4-1, κατά τη σφράγιση & εγκατάλειψη της γεώτρησης, για τη διατήρηση της ακεραιότητάς της, ως μόνιμοι φραγμοί σφράγισης της γεώτρησης χρησιμοποιούνται πώματα (plugs), τα οποία είναι είτε μηχανικά (mechanical plugs), είτε από τσιμέντο (cement plugs), και τα οποία τοποθετούνται στη γεώτρηση σε συγκεκριμένα μήκη και διαστήματα, ώστε να παρεμποδίζεται η ροή οποιουδήποτε ρευστού. Η διαδικασία σφράγισης μπορεί να έχει διάρκεια από 7 έως 10 ημέρες, ανάλογα με τον αριθμό των γεωτρήσεων προς σφράγιση που υπάρχουν στην εγκατάσταση, τυχόν προβλήματα της κάθε γεώτρησης, καθώς και την εταιρεία που έχει αναλάβει τις σχετικές εργασίες (Grismala, 2015).

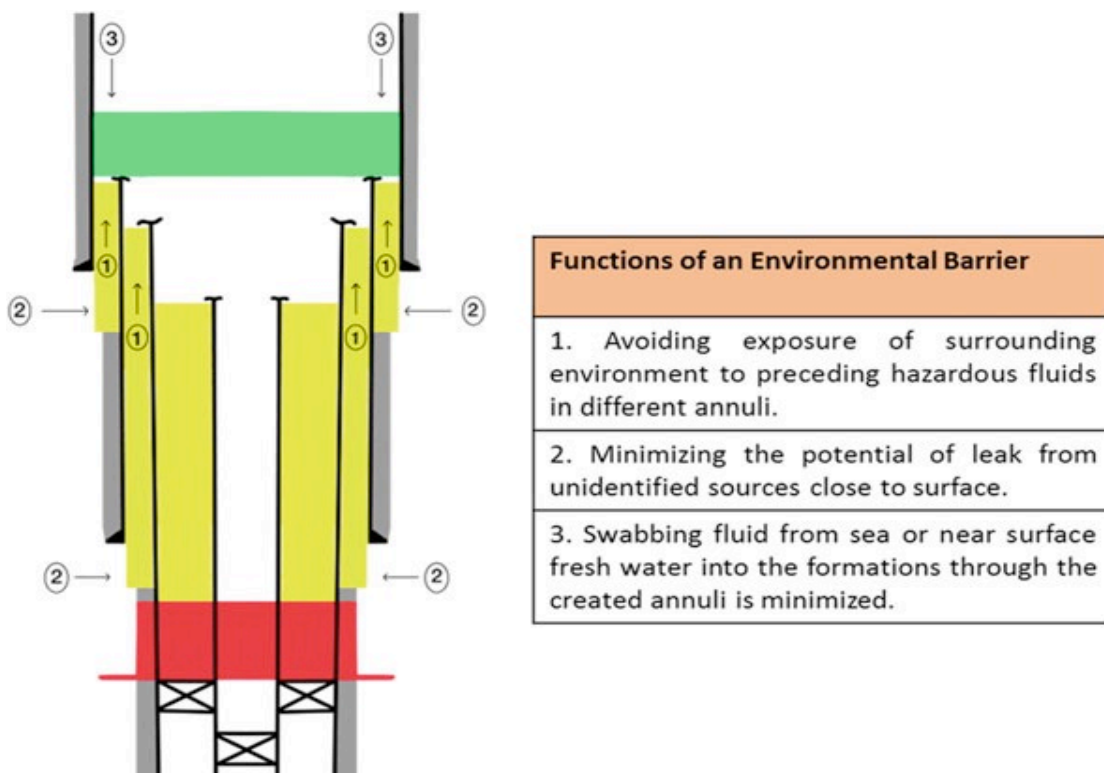
#### 4.2.3. Πώμα περιβαλλοντικής προστασίας (environmental plug)

Στη φάση οριστικής σφράγισης & εγκατάλειψης της γεώτρησης σημαντικό μόνιμο φραγμό αποτελεί και ένα ειδικό πώμα (plug) το οποίο τοποθετείται κοντά στην επιφάνεια. Αποτελεί τον πλησιέστερο στην επιφάνεια τεχνικό φραγμό, που απομονώνει το εσωτερικό της γεώτρησης από το εξωτερικό περιβάλλον και είναι γνωστό ως πώμα περιβαλλοντικής προστασίας (environmental plug). Στη βιβλιογραφία αποδίδονται στο πώμα αυτό και άλλες ονομασίες, όπως: επιφανειακό πώμα (surface plug), φραγμός γεώτρησης μεταξύ μη σωληνωμένου φρέατος και επιφάνειας (open hole to surface well barrier) και πώμα μη σωληνωμένου φρέατος (open hole plug). Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι το περιβαλλοντικό πώμα δεν συνιστά ένα πλήρες σύστημα διπλού φραγμού (well barrier envelope) καθώς ο σχηματισμός γύρω από αυτό δεν μπορεί να διαχειριστεί υψηλές πιέσεις και σε περίπτωση αστοχίας του πώματος είναι πιθανό να υπάρξει διαρροή ρευστών από τη γεώτρηση στο περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό ο όρος πώμα (και όχι φραγμός) περιγράφει καλύτερα τις λειτουργικές δυνατότητες αυτής της διάταξης.

Η κύρια λειτουργία του πώματος περιβαλλοντικής προστασίας είναι η πλήρης και μόνιμη απομόνωση του εσωτερικού της μη σωληνωμένης γεώτρησης από το εξωτερικό περιβάλλον. Αποτελεί συνήθη πρακτική κατά τη φάση σφράγισης της γεώτρησης η αποκοπή και απομάκρυνση από τη γεώτρηση της σωλήνωσης επαφής (conductor pipe) σε μικρό βάθος κάτω από τον πυθμένα τη θάλασσας. Το πώμα περιβαλλοντικής προστασίας επιτυγχάνει τρεις βασικούς στόχους (Εικόνα 4-5):

- Ελαχιστοποίηση της έκπλυσης (swabbing) των σχηματισμών κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας από θαλασσινό νερό, δια μέσω του φρέατος.
- Αποφυγή έκθεσης των σχηματισμών που περιβάλλουν τη γεώτρηση σε δυνητικά επικίνδυνα ρευστά (π.χ. ρευστό διάτρησης μεταξύ σωλήνωσης και τοιχωμάτων) της γεώτρησης.
- Σφράγιση δυνητικών διαδρομών διαρροής (conduits for leakage) από μη αναγνωρισμένες πηγές κοντά στην επιφάνεια (near surface unidentified sources).





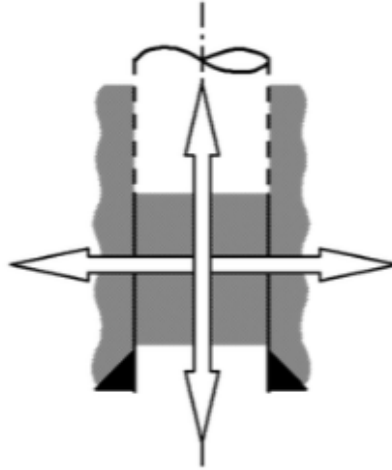
Εικόνα 4-5. Λειτουργίες του πώματος περιβαλλοντικής προστασίας (εδώ με πράσινο χρώμα) (Khalifeh & Saasen, 2020)

Σημειώνεται, ωστόσο, ότι η υποχρέωση εγκατάστασης του πώματος περιβαλλοντικής προστασίας βρίσκεται υπό συζήτηση, καθώς η κοπή και απομάκρυνση του ανώτερου τμήματος της σωλήνωσης επαφής προκαλεί δονήσεις και μετακινήσεις υλικών που μπορεί να προκαλέσουν πτώση των χαλαρών σχηματισμών κοντά στον πυθμένα της θάλασσας και πλήρωση της γεώτρησης.

### 4.3. Μόνιμοι φραγμοί σφράγισης της γεώτρησης (permanent well barriers)

Ένας μόνιμος φραγμός σφράγισης της γεώτρησης θα πρέπει να καλύπτει πλήρως την πλήρη διατομή της (full cross section of the well), και να απομονώνει επίσης πλήρως, τόσο κατακόρυφα όσο και οριζόντια, όλους τους επιμέρους δακτυλίους (Εικόνα 4-6). Εδράζεται σε κατάλληλο αδιαπέρατο σχηματισμό με επαρκή αντοχή για να συγκρατεί τη μέγιστη αναμενόμενη πίεση που μπορεί να αναπτυχθεί από οποιαδήποτε δυνητική πηγή εισροής. Ο μόνιμος φραγμός αυτού του τύπου αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως εγκάρσιος φραγμός

(cross-sectional barrier) ή ως φραγμός από σχηματισμό σε σχηματισμό (formation-to-formation barrier) (Khalifeh & Saasen, 2020).



Εικόνα 4-6. Ένας μόνιμος φραγμός σφράγισης της γεώτρησης απομονώνει τόσο κατακόρυφα όσο και οριζόντια την πλήρη διατομή της γεώτρησης (NORSOK D-010, 2012)

Ο αριθμός των μόνιμων φραγμών σφράγισης μιας γεώτρησης εξαρτάται από τις συνθήκες πίεσης των σχηματισμών. Ενδεικτικά, σύμφωνα με το πρότυπο NORSOK D-010, αν ο ταμιευτήρας δεν παρουσιάζει δυναμικό ροής (potential of flowing) ή αν υπάρχει ανεπιθύμητη εγκάρσια ροή (crossflow) μεταξύ διαφορετικών ζωνών του ταμιευτήρα τότε απαιτείται κατ' ελάχιστον ένας μόνιμος φραγμός σφράγισης. Αν, αντίθετα, υπάρχει κίνδυνος διαρροής υδρογονανθράκων από τον ταμιευτήρα ή τις ζώνες αυτού προς ανώτερους σχηματισμούς ή ζώνες υπερπίεσης (όπου η πίεση των πόρων υπερβαίνει την κανονική βαθμίδα πίεσης πόρων της περιοχής) (overpressured zones) που παρουσιάζουν δυνητικό κίνδυνο οποιασδήποτε διαρροής, απαιτούνται κατ' ελάχιστον δύο μόνιμοι φραγμοί σφράγισης (κύριος & δευτερεύων) (Vieira do Paço Hallak, 2017).

Οι μόνιμοι φραγμοί σφράγισης γεωτρήσεων είναι απαραίτητο να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά, προκειμένου να είναι αποτελεσματικοί κατά της διαφυγής Υ/Α (Vieira do Paço Hallak, 2017):

- Μακρόχρονη ακεραιότητα.
- Αδιαπερατότητα.
- Ικανότητα αντοχής σε μηχανικά φορτία.
- Συμβατότητα με τη σωλήνωση και τους περιβάλλοντες σχηματισμούς.
- Ανθεκτικότητα απέναντι σε χημικές ουσίες, όπως  $H_2S$ ,  $CO_2$  και Υ/Α.

- Να μην υπόκειται σε συρρίκνωση το υλικό του πώματος με την πάροδο του χρόνου, ώστε να διατηρεί τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά.
- Διαβρεκτικότητα για να διασφαλίζουν την πλήρη συναρμογή με τον χάλυβα της σωλήνωσης.
- Να μην είναι επιβλαβείς για τον χάλυβα της σωλήνωσης.

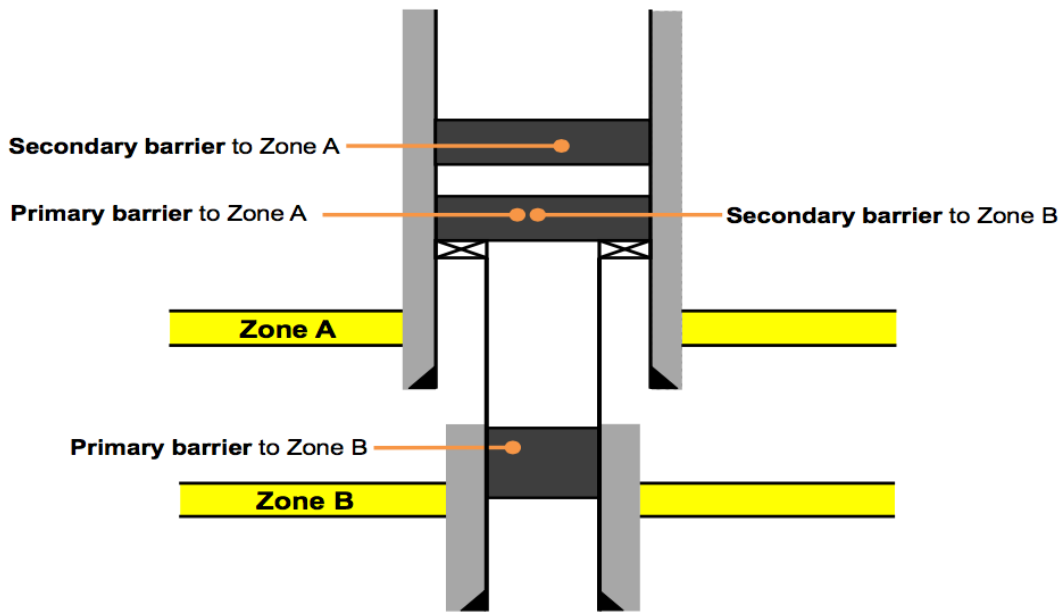
#### 4.3.1. Βάθος έδρασης (θέση) μόνιμων φραγμών σφράγισης μιας γεώτρησης

Η ακριβής θέση και το βάθος έδρασης των μόνιμων φραγμών σφράγισης εξαρτάται από τις συνθήκες πίεσης στο εσωτερικό της γεώτρησης και τον αριθμό των περατών ζωνών. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, σύμφωνα με ό,τι ισχύει στο Ηνωμένο Βασίλειο<sup>5</sup>, ο κύριος μόνιμος φραγμός σφράγισης τοποθετείται ακριβώς στο βάθος ή πάνω από το ανώτερο σημείο όπου μπορεί να υπάρξει δυνητικά εισροή και το οποίο εντοπίζεται είτε στην κορυφή της περατής ζώνης ή στο άνω άκρο της ζώνης διατρύπησης του σχηματισμού. Όταν τοποθετείται στο εσωτερικό μιας συμβατικής σωλήνωσης ή σωλήνωσης τύπου liner, το διάκενο πληρώνεται με τσιμέντο. Αν η βάση του φραγμού είναι αρκετά πάνω από το σημείο της δυνητικής εισροής, όπως, για παράδειγμα στην κορυφή του παρεμβύσματος παραγωγής (production packer), η πίεση ρωγμάτωσης του σχηματισμού στη βάση του φραγμού θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη αναμενόμενη πίεση που μπορεί δυνητικά να αναπτυχθεί στο εσωτερικό της γεώτρησης. Διαφορετικά, ο σχηματισμός μπορεί να ρωγματιστεί και να υπάρξουν οδοί διαρροής (leak paths).

Η ίδια θεώρηση ακολουθείται για τον δευτερεύοντα μόνιμο φραγμό σφράγισης. Πιο συγκεκριμένα, το βάθος έδρασης του είναι το κοντινότερο στην επιφάνεια σημείο όπου η πίεση ρωγμάτωσης του σχηματισμού είναι μεγαλύτερη από τη δυνητική πίεση στο εσωτερικό της γεώτρησης. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πιθανό σε δύο διαδοχικές περατές ζώνες ο δευτερεύων φραγμός της πρώτης να αποτελεί τον κύριο φραγμό της δεύτερης (Εικόνα 4-7) (Vieira do Paço Hallak, 2017).

---

<sup>5</sup> OIL & GAS UK, 2015, Guidelines for the abandonment of wells, 5 ed. London, Oil & Gas UK.



Εικόνα 4-7. Θέσεις τοποθέτησης κύριων και δευτερευόντων μόνιμων φραγμών σφράγισης (Vieira do Paço Hallak, 2017)

#### 4.3.2. Διαστάσεις (μήκος) μόνιμων φραγμών σφράγισης μιας γεώτρησης

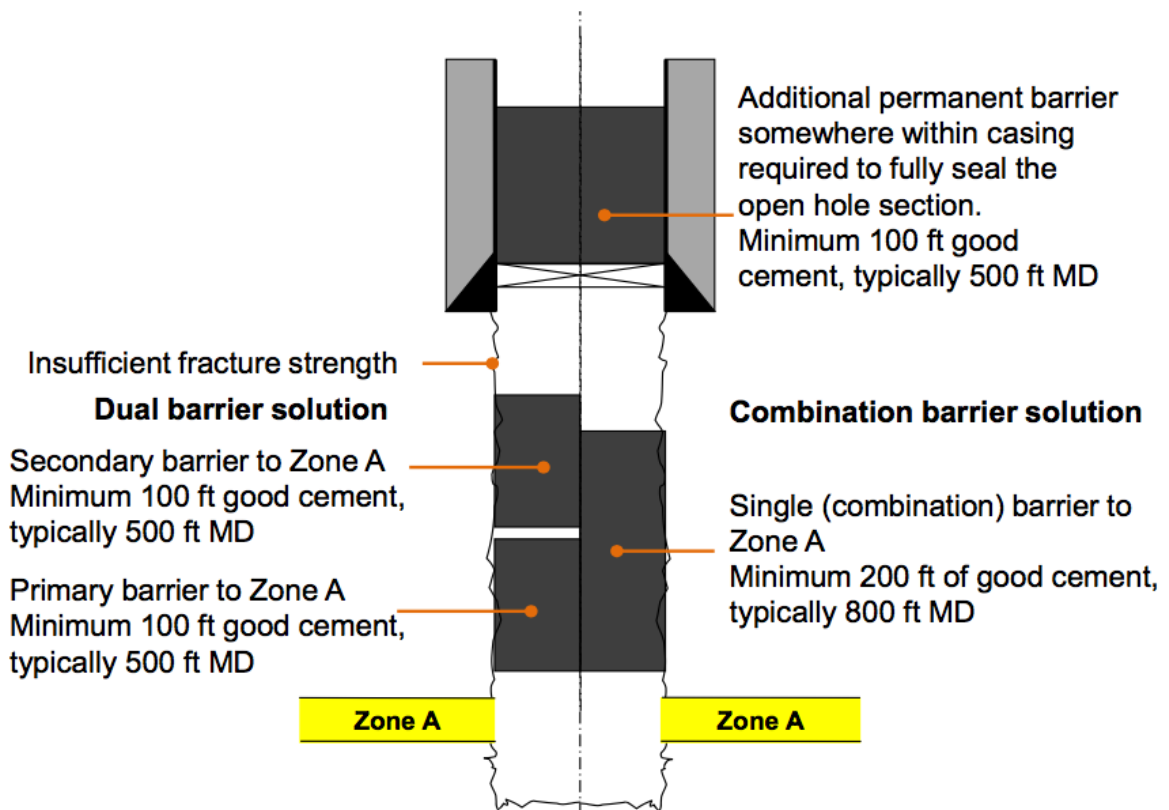
Γενικά ισχύουν διαφορετικοί κανονισμοί για τις διάφορες περιοχές του κόσμου, όσον αναφορά τις απαιτούμενες διαστάσεις των μόνιμων φραγμών. Για παράδειγμα, στο Ηνωμένο Βασίλειο, ακολουθούνται οι συστάσεις του προτύπου Norsok D-010 Rev.4 και οι κατευθυντήριες οδηγίες, σχετικά με το απαιτούμενο μήκος των κύριων μόνιμων φραγμών σφράγισης και εγκατάλειψης γεωτρήσεων υδρογονανθράκων (Πίνακας 4-2).

Πίνακας 4-2. Απαιτήσεις μήκους κύριων μόνιμων φραγμών σφράγισης γεωτρήσεων υδρογονανθράκων (Vieira do Paço Hallak, 2017)

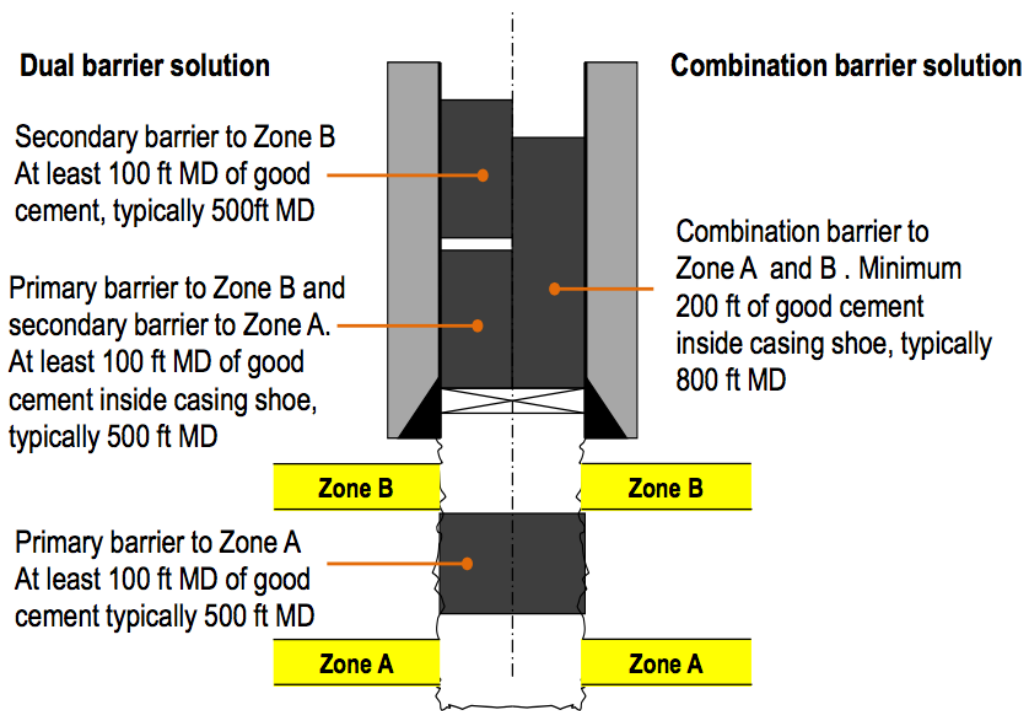
Τύπος γεώτρησης	Πρότυπο Norsok D-010	Κατευθυντήριες οδηγίες OIL & GAS UK
<b>Μη σωληνωμένο τμήμα γεώτρησης (open hole)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μήκος τουλάχιστον 100m (μετρούμενο βάθος – MD) σε απόσταση κατ' ελάχιστον 50m MD πάνω από οποιαδήποτε δυνητική πηγή εισροής/διαρροής.</li> <li>Αν το πόμα τοποθετηθεί στη ζώνη μετάβασης από μη σωληνωμένο τμήμα της γεώτρησης σε σωληνωμένο, θα πρέπει να εκτείνεται σε μήκος τουλάχιστον 50m MD κάτω από το πέλαμα της σωλήνωσης.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μήκος τουλάχιστον 30m (100ft).</li> <li>Ένας επιπλέον μόνιμος φραγμός πρέπει να τοποθετηθεί και στο σωληνωμένο τμήμα της γεώτρησης με ελάχιστο μήκος 30m για την πλήρη απομόνωση του μη σωληνωμένου τμήματος</li> </ul>

Τύπος γεώτρησης	Πρότυπο Norsok D-010	Κατευθυντήριες οδηγίες OIL & GAS UK
Σωληνωμένο τμήμα γεώτρησης (cased hole)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μήκος τουλάχιστον 50m MD αν τοποθετηθεί σε συνδυασμό με μηχανικό πώμα. Σε διαφορετική περίπτωση το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος είναι 100m MD.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αν επιβεβαιώνεται από τις διαγραφίες η καλή ποιότητα της υφιστάμενης τσιμέντωσης, το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος του μόνιμου φραγμού είναι 30m MD. Ο μόνιμος φραγμός θα πρέπει να επικαλύπτει την περιοχή της υφιστάμενης τσιμέντωσης τουλάχιστον κατά 30m MD.</li> </ul>

Στην περίπτωση μη σωληνωμένου τμήματος της γεώτρησης, οι περατές ζώνες με διαφορετικές συνθήκες πιέσεις θα πρέπει να διαχωρίζονται με ένα μόνιμο φραγμό, όπως για παράδειγμα ένα πώμα από τσιμέντο στο εσωτερικό της σωλήνωσης το οποίο θα επικαλύπτει την περιοχή της υφιστάμενης τσιμέντωσης καλής ποιότητας. Στις Εικόνες 4-8 και 4-9 παρουσιάζονται παραδείγματα μόνιμων φραγμών σφράγισης για μη σωληνωμένα τμήματα γεώτρησης με μια και δύο περατές ζώνες, αντίστοιχα.



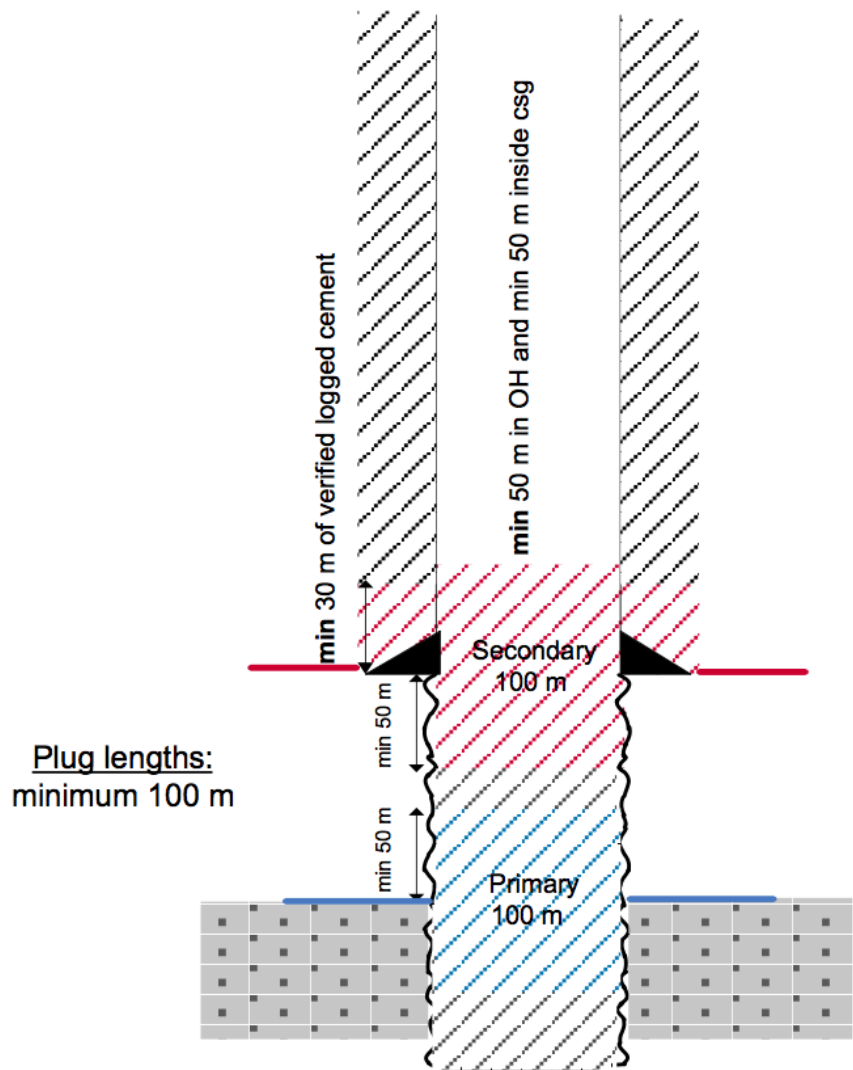
Εικόνα 4-8. Διάταξη μόνιμων φραγμών (κύριου & δευτερεύοντος) για μη σωληνωμένο τμήμα γεώτρησης με μια περατή ζώνη (ζώνη Α) (Vieira do Paço Hallak, 2017)



Εικόνα 4-9. Διάταξη μόνιμων φραγμών για μη σωληνωμένο τμήμα γεώτρησης με δύο περατές ζώνες (ζώνες A & B) (Vieira do Paço Hallak, 2017)

Στην Εικόνα 4-10 παρουσιάζεται το παράδειγμα σφράγισης για εγκατάλειψη γεώτρησης με μη σωληνωμένο το κατώτερο τμήμα της. Ο κύριος μόνιμος φραγμός είναι ένα πώμα από τσιμέντο σε βάθος κοντά στην κορυφή του ταμιευτήρα με μήκος τουλάχιστον 328 ft (100m), εκ των οποίων τα τουλάχιστον 164 ft (50m) εκτείνονται πάνω από την κορυφή του ταμιευτήρα. Ο δευτερεύων μόνιμος φραγμός είναι επίσης ένα πώμα από τσιμέντο κοντά στο πέλμα της τελευταίας σωλήνωσης, με μήκος τουλάχιστον 328 ft (100m), εκ των οποίων τα τουλάχιστον 164 ft (50m) εκτείνονται κάτω από το πέλμα της σωλήνωσης και τα υπόλοιπα τουλάχιστον 164 ft (50m) εκτείνονται στο εσωτερικό της σωλήνωσης. Στην περίπτωση αυτή θεωρείται ότι έχει επιβεβαιωθεί με διαγραφίες ότι η υφιστάμενη τσιμεντώση της τελευταίας σωλήνωσης έχει καλή ποιότητα σε μήκος τουλάχιστον 98 ft (30m) άνωθεν του πέλματος αυτής.

Στην περίπτωση των σωληνωμένων τμημάτων μιας γεώτρησης, αν και η τσιμεντώση της σωλήνωσης θεωρείται ως επαρκής φραγμός στην κατακόρυφη ροή (όταν έχει επιβεβαιωθεί με διαγραφίες η καλή της ποιότητα), μια τσιμεντωμένη σωλήνωση δεν θεωρείται από μόνη της ότι μπορεί να επιτελέσει το ρόλο του μόνιμου φραγμού σφράγισης μιας γεώτρησης ως προς την πλευρική ροή προς και από τον περιβάλλοντα σχηματισμό.



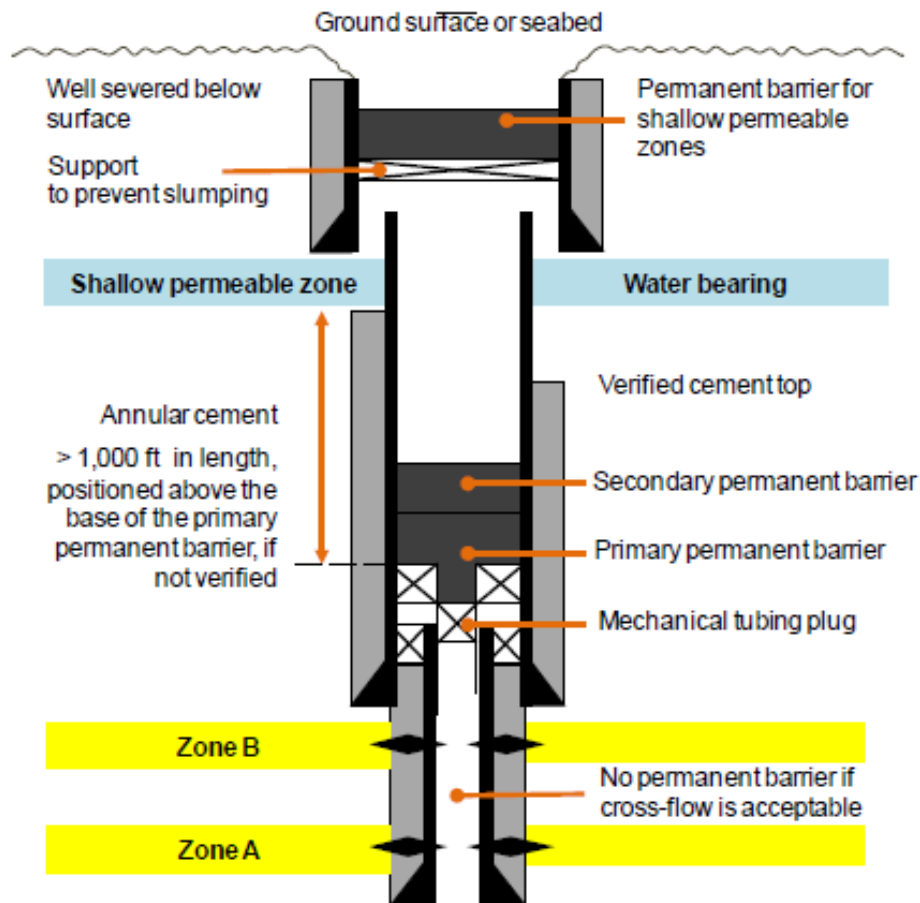
Εικόνα 4-10. Σφράγιση με εγκατάλειψη γεώτρησης με μη σωληνωμένο το κατώτερο τμήμα της (Vieira do Paço Hallak, 2017)

Αν η κορυφή της υφιστάμενης τσιμέντωσης (top of cement – TOC) θεωρείται ότι έχει προσδιοριστεί με επαρκή ακρίβεια, τότε τοποθετείται στο εσωτερικό της σωλήνωσης ο κύριος μόνιμος φραγμός στην κατάλληλη θέση. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι το διάκενο μεταξύ σωλήνωσης και σχηματισμού θα πρέπει να είναι πληρωμένο με τσιμέντο σε μήκος τουλάχιστον 984 ft (300m) πάνω από την κάτω επιφάνεια του κύριου μόνιμου εσωτερικού φραγμού. Το μήκος αυτό αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα με την αξιοπιστία εκτίμησης του TOC. Αν η υφιστάμενη τσιμέντωση δεν είναι επαρκής, απαιτείται να εκτελεστεί επιδιορθωτική τσιμέντωση (remedial cementing).

Στην Εικόνα 4-11 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα σφράγισης και εγκατάλειψης γεώτρησης με σωληνωμένο το κατώτερο τμήμα της με δύο περατές ζώνες μεταξύ των οποίων η



εγκάρσια ροή είναι αποδεκτή, οπότε δεν απαιτείται η τοποθέτηση φραγμού μεταξύ τους. Η σφράγιση ξεκινάει με την τοποθέτηση ενός μηχανικού πώματος εντός του σωλήνα παραγωγής (production tubing) και ενός κύριου μόνιμου φραγμού στο εσωτερικό της γεώτρησης πάνω από το παρέμβυσμα παραγωγής (production packer). Αν η ποιότητα της υφιστάμενης τσιμεντώσης, δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί, το διάκενο μεταξύ σωλήνωσης και σχηματισμού θα πρέπει να τσιμεντωθεί σε μήκος τουλάχιστον 984ft (300m) πάνω από τη βάση του εσωτερικού κύριου μόνιμου φραγμού. Ένας δευτερεύων εσωτερικός φραγμός τοποθετείται πάνω από τον κύριο και στο άνω τμήμα της γεώτρησης, στη σωλήνωση επαφής, τοποθετείται ένας ακόμα μόνιμος φραγμός που απομονώνει τις αβαθείς περατές ζώνες, πάνω από κατάλληλο στήριγμα που αποτρέπει την καθίζηση (support to prevent slumping).



Εικόνα 4-11. Σφράγιση με εγκατάλειψη γεώτρησης με σωληνωμένο το κατώτερο τμήμα (Vieira do Paço Hallak, 2017)

#### 4.4. Στάδια σφράγισης μιας γεώτρησης

Καθώς ο πρωταρχικός σκοπός της σφράγισης οποιασδήποτε γεώτρησης είναι η μόνιμη απομόνωση όλων των υπεδαφικών σχηματισμών μέσα σε εκείνη, θα πρέπει να σφραγιστούν κατάλληλα όλες οι παραγωγικές ζώνες και να προστατευτούν οι υδροφόροι ορίζοντες, να παρεμποδίζεται αποτελεσματικά οποιαδήποτε δυνητική διαρροή υδρογονανθράκων στη θάλασσα και να απομακρυνθούν τα τμήματα του εξοπλισμού που δεν είναι πια απαραίτητα. Όλες οι παραπάνω εργασίες θα πρέπει επιτελεστούν με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση του κόστους και των κινδύνων. Στην κατεύθυνση αυτή ο σχεδιασμός (planning) αποτελεί παράγοντα κλειδί για την επιτυχημένη και οικονομική σφράγιση μιας γεώτρησης.

Η φάση σχεδιασμού (planning phase) της σφράγισης μιας γεώτρησης περιλαμβάνει τα εξής (Petrowiki, 2019):

- Συλλογή δεδομένων (data collection) (γεωλογικές συνθήκες, βάθη υδροφόρων οριζόντων, σχεδιασμός της γεώτρησης).
- Προκαταρκτική επιθεώρηση/αυτοψία (preliminary inspection) για την αξιολόγηση της ακεραιότητας του επιφανειακού εξοπλισμού.
- Επιλογή των μεθόδων σφράγισης & εγκατάλειψης.

Για τον σωστό σχεδιασμό της σφράγισης, είναι απαραίτητη η πλήρης κατανόηση της τρέχουσας κατάστασης της γεώτρησης μέσα από την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των διαθέσιμων δεδομένων. Σύμφωνα με το πρότυπο NORSOK D-010, θα πρέπει να συλλεχθούν οι ακόλουθες πληροφορίες (Vieira do Paço Hallak, 2017):

- Διαμόρφωση γεώτρησης (well configuration) (αρχική και τρέχουσα) περιλαμβανομένου του βάθους και των χαρακτηριστικών κάθε περατού σχηματισμού που μπορεί να αποτελέσει πηγή εισροής, των στηλών σωλήνωσης, της κατάστασης της τσιμέντωσης πίσω από την κάθε στήλη σωλήνωσης, της κατάστασης του φρέατος (διατομή), της ύπαρξης πλευρικών γεωτρήσεων κ.λπ.
- Στρωματογραφική ακολουθία στη γεώτρηση όπου θα αποτυπώνεται η θέση του κάθε ταμιευτήρα και πληροφορίες σχετικά με το δυναμικό της τρέχουσας και μελλοντικής παραγωγής, τα ρευστά κάθε ταμιευτήρα και τις πιέσεις (αρχική, τρέχουσα και μακρόχρονη μελλοντική).

- Διαγραφίες και δεδομένα από τις εργασίες τσιμέντωσης.
- Σχηματισμοί που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά που τους καθιστούν επαρκείς ως φραγμούς της γεώτρησης (π.χ. αντοχή, αδιαπερατότητα, απουσία ρωγμών και ρηγμάτων).
- Ειδικές συνθήκες μέσα στη γεώτρηση, όπως συσσώρευση επικαθήσεων (scale build up), φθορά της σωλήνωσης, κατεστραμμένη σωλήνωση, πλήρωση διατομής (fill), παρουσία H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, υδριτών, βενζολίου ή άλλα συναφή θέματα.

Όταν το σχέδιο σφράγισης μίας γεώτρησης είναι έτοιμο, ο διαχειριστής του έργου το υποβάλλει στον αρμόδιο ρυθμιστικό φορέα, όπου, ελέγχεται και δύναται να υπάρξουν αλλαγές προς βελτίωση εκείνου. Με την έγκριση του σχεδίου, ο διαχειριστής μπορεί να εκκινήσει τη διαδικασία σφράγισης και εγκατάλειψης της γεώτρησης.

Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες του OIL & GAS, UK<sup>6</sup>, μία τέτοια διαδικασία ακολουθεί τρεις διακριτές φάσεις, ανεξάρτητα από την τοποθεσία της γεώτρησης, τον τύπο και την κατάστασή της:

- 1η φάση: Σφράγιση & εγκατάλειψη του ταμιευτήρα (reservoir abandonment).
- 2η φάση: Ενδιάμεση σφράγιση & εγκατάλειψη (intermediate abandonment).
- 3η φάση: Αφαίρεση της κεφαλής της γεώτρησης και της σωλήνωσης επαφής (wellhead and conductor removal).

Επιπροσθέτως των παραπάνω τριών φάσεων, οι Moeinikia et al. (2014)<sup>7</sup> πρότειναν να συμπεριληφθεί και μια 4η φάση, με τίτλο: *Φάση 0 “Προπαρασκευαστικές εργασίες”*, η οποία περιλαμβάνει εργασίες όπως αδρανοποίηση της γεώτρησης (killing the well) και εγκατάσταση μηχανικών πωμάτων μεγάλου βάθους (deep set mechanical plugs). Στον Πίνακα 4-3 παρουσιάζονται συνοπτικά οι φάσεις σφράγισης & εγκατάλειψης μιας γεώτρησης με κατακόρυφο christmas tree και οι αντίστοιχες εργασίες.

---

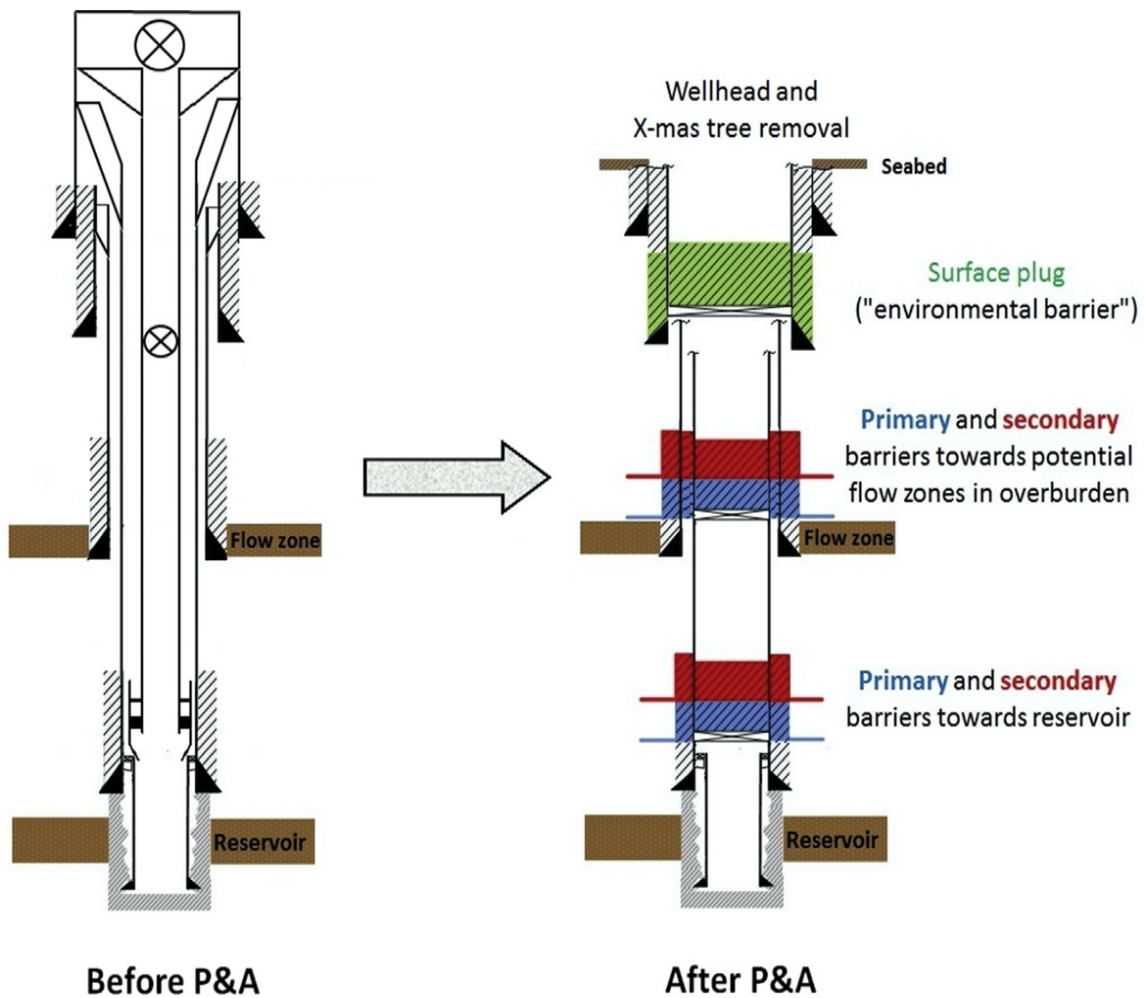
<sup>6</sup> Oil & Gas UK, 2015BBa. Guidelines on Well Abandonment Cost Estimation, Issue 2, July 2015.

<sup>7</sup> Moeinikia, F., Fjelde, K.K., Saasen, A., Vrålstad, T., 2014. An investigation of different approaches for probabilistic cost and time estimation of rigless P&A in subsea multiwall campaign. In: Paper Presented at the SPE Bergen One Day Seminar, Bergen, Norway, 2 April, SPE-169203-MS

Πίνακας 4-3. Φάσεις σφράγισης & εγκατάλειψης μιας τυπικής γεώτρησης με κατακόρυφο Christmas tree (Vrålstad, et al., 2019)

Φάση	Εργασίες
<b>Φάση 0: Προπαρασκευαστικές εργασίες</b>	Ανάκτηση των πωμάτων της διάταξης ανάρτησης των σωλήνων παραγωγής (tubing hanger plugs), αδρανοποίηση της γεώτρησης (kill well), εγκατάσταση μηχανικού πώματος μεγάλου βάθους (deep set mechanical plug), διατρύπηση του σωλήνα παραγωγή (punch/perforate tubing), καθαρισμός γεώτρησης με συνεχή κυκλοφορία λάσπης διάτρησης (circulate the well clean).
<b>Φάση 1: Σφράγιση &amp; εγκατάλειψη του ταμιευτήρα</b>	Εγκατάσταση προσωρινού αντiekρηκτικού μηχανισμού ασφάλειας (rig up BOP), απομάκρυνση των σωλήνων παραγωγής και των διατάξεων ανάρτησής τους, εγκατάσταση κύριου μόνιμου φραγμού (primary barrier) πάνω από τη ζώνη εισροής (influx zone) (ταμιευτήρας), εγκατάσταση δευτερεύοντα μόνιμου φραγμού (secondary barrier) που θα ανθίσταται σε δυνητικές μελλοντικές πιέσεις.
<b>Φάση 2: Ενδιάμεση σφράγιση &amp; εγκατάλειψη</b>	Απομάκρυνση στηλών σωλήνωσης (αν είναι απαραίτητο), εγκατάσταση κύριου και δευτερεύοντα μόνιμου φραγμού πάνω από ζώνες με δυνητική ροή προς τους υπερκείμενους σχηματισμούς, εγκατάσταση επιφανειακού (περιβαλλοντικού) πώματος (environmental plug).
<b>Φάση 3: Αφαίρεση της κεφαλής της γεώτρησης και της σωλήνωσης επαφής</b>	Αποκοπή σωλήνωσης επαφής (conductor) και στηλών σωλήνωσης κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας για την αποφυγή παρεμβολών στις θαλάσσιες δραστηριότητες.

Τέλος, στην Εικόνα 4-12 παρουσιάζονται συνοπτικά τα σχηματικά διαγράμματα μιας τυπικής γεώτρησης πριν και μετά τη σφράγιση και εγκατάλειψή της.



Εικόνα 4-12. Σχηματικό διάγραμμα μιας τυπικής γεώτρησης πριν & μετά τη σφράγιση & εγκατάλειψή της (Vrålstad, et al., 2019)

#### 4.4.1. 1η φάση: Σφράγιση & εγκατάλειψη του ταμιευτήρα (reservoir abandonment)

Η συγκεκριμένη φάση ξεκινάει με την επιθεώρηση της κεφαλής της γεώτρησης (inspecting the wellhead) και την εγκατάσταση στην εξέδρα, μονάδας συρματόσχοινου (rigging up a wireline unit). Η μονάδα συρματόσχοινου χρησιμοποιείται για την εκτέλεση διαγραφιών ελέγχου της διαμέτρου του εσωτερικού της γεώτρησης (caliper log), το οποίο διατρέχει κατά μήκος τη γεώτρηση ώστε να ελεγχθεί η προσβασιμότητα στον πυθμένα της καθώς και η κατάσταση των σωλήνων παραγωγής (production tubing). Στη φάση αυτή εγκαθίστανται και τα συστήματα διαχείρισης στερεών και υγρών αποβλήτων (waste handling systems) και ακολουθεί ο έλεγχος της ακεραιότητας της γεώτρησης.

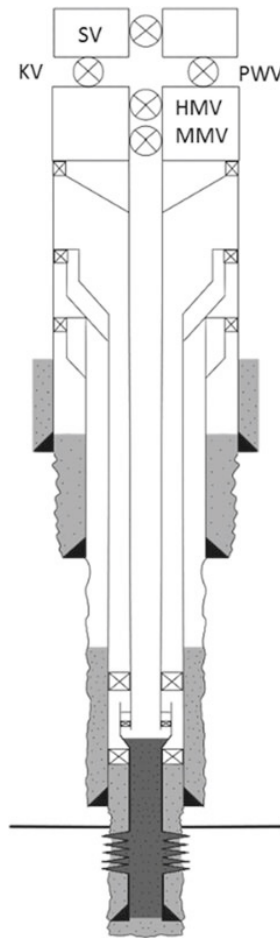
Στην περίπτωση όπου διαπιστώνεται η ακεραιότητα της γεώτρησης, εισπίζεται μέσα σε εκείνη γαλάκτωμα τσιμέντου για την απομόνωση του ταμιευτήρα. Μετά την πήξη του, έχοντας αποκτήσει επαρκή αντοχή, εξετάζεται η ποιότητα της τσιμεντώσης με την εφαρμογή συγκεκριμένων δοκιμών πίεσης (pressure testing). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι μέχρι αυτή τη στιγμή οι παραπάνω εργασίες μπορούν να επιτελεστούν χωρίς τη χρήση γεωτρύπανου (rigless operations).

Αντίθετα, εάν δεν διαπιστωθεί η ακεραιότητα της γεώτρησης, είναι απαραίτητο να γίνει χρήση γεωτρητικού εξοπλισμού καθώς και BOP (Blow-Out-Preventer) το οποίο συναρμολογείται πάνω στο σύστημα υποδοχής και έδρασης του γεωτρητικού εξοπλισμού.

Γενικά, η πρώτη φάση της σφράγισης μίας γεώτρησης ολοκληρώνεται εφόσον έχει εγκατασταθεί με επιτυχία ο κύριος και ο δευτερεύων φραγμός στον ταμιευτήρα. Οι σωλήνες παραγωγής δύναται να μην απομακρυνθούν πλήρως ή μερικώς και να παραμείνουν στη θέση τους αποτελώντας τμήμα του συστήματος φραγμών της γεώτρησης. Η 1η φάση σφράγισης της γεώτρησης ολοκληρώνεται όταν ο ταμιευτήρας έχει απομονωθεί πλήρως από την υπόλοιπη γεώτρηση (Khalifeh & Saasen, 2020). Στην Εικόνα 4-13 παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα της γεώτρησης στη φάση κατά την οποία το γαλάκτωμα τσιμέντου έχει εισχωρήσει στον ταμιευτήρα και θεωρείται ότι αποτελεί πλέον τον κύριο και τον δευτερεύοντα φραγμό αυτού.

#### **4.4.2. 2η φάση: Ενδιάμεση σφράγιση/εγκατάλειψη (intermediate abandonment)**

Στη δεύτερη φάση της σφράγισης μίας γεώτρησης περιλαμβάνεται το φρεζάρισμα (milling) και η ανάκτηση της σωλήνωσης, όπου είναι δυνατόν, η αφαίρεση των σωλήνων παραγωγής (production tubing) εάν δεν έχουν απομακρυνθεί κατά την προηγούμενη φάση, και η τοποθέτηση φραγμών (κύριων και δευτερευόντων), προκειμένου να απομονωθούν οι ενδιάμεσες περατές ζώνες παραγωγής Y/A ή ζώνες που φέρουν νερό. Στο τέλος αυτής της φάσης εγκαθίσταται και ο περιβαλλοντικός φραγμός. Η φάση αυτή φτάνει στο πέρας της εφόσον είναι επιτυχής η απομόνωση όλων των πιθανών πηγών διαρροής ρευστών στους σχηματισμούς που υπέρκεινται του ταμιευτήρα και δεν απαιτείται η εγκατάσταση άλλων μόνιμων φραγμών (Khalifeh & Saasen, 2020).



Εικόνα 4-13. Σχηματικό διάγραμμα γεώτρησης μετά την ολοκλήρωση της 1ης φάσης σφράγισης της που αφορά στη σφράγιση & εγκατάλειψη του ταμιευτήρα με πλήρωση της γεώτρησης με τσιμέντο στη ζώνη του ταμιευτήρα (Khalifeh & Saasen, 2020)

#### 4.4.3. 3η φάση: Αφαίρεση της κεφαλής της γεώτρησης και της σωλήνωσης επαφής (wellhead and conductor removal)

Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές (Oil & Gas UK in 2015<sup>8</sup>), για την σφράγιση και εγκατάλειψη υπεράκτιων γεωτρήσεων, προτείνεται ως καλύτερη λύση η ανάκτηση τουλάχιστον 10 ft (3 μέτρα) κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας όλης της στήλης σωλήνωσης (casing strings) προκειμένου να διευκολυνθούν οι αλιευτικές δραστηριότητες στην περιοχή. Η πιο πρόσφατη έκδοση του NORSOK D-010 του 2013, δεν περιλαμβάνει απαιτήσεις σχετικά με το βάθος κοπής της στήλης σωλήνωσης (casing strings), ενώ

---

<sup>8</sup> OIL & GAS UK, 2015, Guidelines for the abandonment of wells, 5 ed. London, Oil & Gas UK.

αναφέρει ότι για υπεράκτιες γεωτρήσεις σε μεγάλα βάθη θάλασσας (deepwater wells) είναι αποδεκτή η παραμονή ή κάλυψη της κεφαλής της γεώτρησης (Vieira do Paço Hallak, 2017).

Ανάλογα με το είδος της κεφαλής επιλέγεται η μέθοδος αποκοπής και αφαίρεσής της. Οι σχετικές μηχανικές μέθοδοι και εκείνες με χρήση εκρηκτικών παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με το BOEMRE<sup>9</sup>, όλα τα μέρη μίας υπεράκτιας εξέδρας στον Κόλπο του Μεξικού, συμπεριλαμβανομένου της σωλήνωσης επαφής (conductor), πρέπει να απομακρύνονται σε βάθος τουλάχιστον 15 ft κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας ή σε ένα βάθος αποδεκτό από την Αρμόδια Αρχή και λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο της κατασκευής, καθώς και τις συνθήκες που επικρατούν στον πυθμένα της θάλασσας. Για την αφαίρεση και απομάκρυνση της σωλήνωσης επαφής (conductor casing), δύναται να επιλεγθούν μία από τις τρεις διαδικασίες που ακολουθούν (Petrowiki, 2019):

- Αποκοπή με χρήση εκρηκτικών, μηχανικών ή λειαντικών μεθόδων κοπής.
- Ανέλκυση/ Διαχωρισμός (pulling/sectioning), με χρήση των casing jacks (συστήματα που παρέχουν πολύ υψηλό ελκτικό φορτίο), για την ανέλκυση της σωλήνωσης επαφής (conductor) που έχει αποσυναρμολογηθεί ή είναι κομμένη σε τμήματα μήκους 40 ft.
- Εκφόρτωση (offloading), όπου χρησιμοποιείται μισθωμένος γερανός προκειμένου να τοποθετήσει τα τμήματα της σωλήνωσης επαφής σε κατάλληλη εξέδρα, προς εκφόρτωση σε παραπλέοντα πλοία και γειτονικά λιμάνια. Από εκεί, τα τμήματα αυτά μεταφέρονται σε χερσαία μέρη απόθεσης.

#### **4.4.4. 4η φάση: Αφαίρεση Christmas tree και τοποθέτηση αντιεκρηκτικού μηχανισμού ασφάλειας (BOP)**

Η προσωρινή σφράγιση μίας υπεράκτιας γεώτρησης αποτελεί συνήθη πρακτική πριν την έναρξη της μόνιμης σφράγισης και εγκατάλειψης εκείνης ή μετά την 1η φάση της εγκατάλειψης (reservoir abandonment). Αυτό γίνεται προκειμένου να περιοριστεί ο κίνδυνος εισροής ρευστών (kick) ή ανεξέλεγκτης ροής ρευστών κατά την

---

<sup>9</sup> BOEMRE: Bureau of Ocean Energy, Management, Regulation, and Enforcement (US Department of Interior)



αποσυναρμολόγηση (nirpling down) του christmas tree και την τοποθέτηση (nirpling up) του αντiekρηκτικού μηχανισμού ασφάλειας (BOP).

Η αποσυναρμολόγηση (nirpling down) αφορά την αποσυναρμολόγηση του εξοπλισμού ελέγχου που βρίσκεται πάνω στην κεφαλή της γεώτρησης, ενώ ο όρος nirpling up αναφέρεται στη διαδικασία συναρμολόγησης του εξοπλισμού ελέγχου της γεώτρησης πάνω στην κεφαλή.

Καθώς είναι απαραίτητη η ύπαρξη δύο ξεχωριστών φραγμών στη γεώτρηση, σε κάθε στάδιο της ζωής της, με την αφαίρεση του christmas tree πρέπει να παραμένουν οι φραγμοί στη θέση τους. Για αυτό το λόγο είναι μέγιστης σημασίας η κατανόηση της λειτουργίας των συστημάτων στην κεφαλή της γεώτρησης και των συστημάτων του christmas tree για τη σωστή απομόνωση του ταμειυτήρα από το περιβάλλον, μέχρι την τοποθέτηση του BOP. Επιπρόσθετα, ένας κρίσιμος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι η πίεση που θα ασκείται από το BOP στην κεφαλή της γεώτρησης εν μέσω της διαδικασίας σφράγισης και εγκατάλειψης της γεώτρησης. Συμπερασματικά, για τους λόγους που αναφέρθηκαν είναι σημαντικό να εξετάζονται ενδελεχώς τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί των συστημάτων της κεφαλής μίας υπεράκτιας γεώτρησης, πριν τη σφράγιση και εγκατάλειψη εκείνης (Khalifeh & Saasen, 2020).

#### **4.5. Τεχνικές & επιφανειακός εξοπλισμός σφράγισης και εγκατάλειψης γεωτρήσεων**

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά σε τεχνικές που χρησιμοποιούνται στις επιμέρους φάσεις σφράγισης και εγκατάλειψης γεωτρήσεων και χρησιμοποιούνται ευρέως στην πετρελαϊκή βιομηχανία, καθώς και σε ορισμένες που βρίσκονται υπό ανάπτυξη.

Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τεχνικές για την προετοιμασία και την εκτέλεση της διαδικασίας εγκατάστασης ενός μόνιμου φραγμού μέσα στη γεώτρηση και αφορούν στην αποκοπή και απομάκρυνση της σωλήνωσης από την αρχική της θέση καθώς και στην επί τόπου διατρύπηση της σωλήνωσης, έκπλυση και εισπίεση τσιμέντου. Οι τεχνικές αποκοπής και απομάκρυνσης της κεφαλής της γεώτρησης και/ή της σωλήνωσης επαφής παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5.

#### 4.5.1. Τεχνικές αποκοπής και απομάκρυνσης της σωλήνωσης

Στη μόνιμη σφράγιση και εγκατάλειψη μίας γεώτρησης είναι υποχρεωτική η εγκαθίδρυση ενός εγκάρσιου φραγμού (rock-to-rock well barrier). Υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο φραγμός στον δακτύλιο της γεώτρησης (annular barrier) πίσω από τη σωλήνωση (casing) είτε δεν πληροί τις προϋποθέσεις, είτε δεν υφίσταται. Ως εκ τούτου, επιτυγχάνεται πλήρης πρόσβαση στον σχηματισμό.

##### 4.5.1.1. Αποκοπή και εξαγωγή/απόσπαση (cut and pull) της σωλήνωσης

Κατά την εκτέλεση αυτής της τεχνικής, αρχικά εντοπίζεται το σημείο πάνω στη σωλήνωση πίσω από το οποίο δεν υπάρχει τσιμέντωση. Ο εντοπισμός του σημείου αυτού μπορεί να γίνει με χρήση διαγραφιών (cement logs) ή δοκιμών διάτασης (stretch tests). Στη συνέχεια η σωλήνωση κόβεται περιφερειακά λίγο πάνω από αυτό το σημείο, το ανώτερο τμήμα αποσπάται από την αρχική του θέση, ανυψώνεται και αποκόπτεται.

Ιδανικά, η τεχνική αυτή εφαρμόζεται μία φορά σε μια στήλη σωλήνωσης. Όμως, εξαιτίας ορισμένων προβλημάτων δύναται να εφαρμοστεί πολλές φορές στην ίδια στήλη σωλήνωσης (αποκοπή κατά τμήματα). Τέτοια προβλήματα σχετίζονται με την καταβύθιση του βαρύτη στις περιπτώσεις που ο δακτύλιος μεταξύ σωλήνωσης και σχηματισμού είναι πληρωμένος με ρευστό διάτρησης, περιέχει επικαθίσεις αλάτων, είναι πληρωμένος με υλικά από τον κερματισμένο σχηματισμό ή δεν είναι εύκολο να διαπιστωθεί η καλή ποιότητα της τσιμέντωσης και η επαρκής πρόσφυσή της πάνω στον σχηματισμό. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται και η άσκηση μεγαλύτερης δύναμης για την απόσπαση του τμήματος της σωλήνωσης από την αρχική του θέση. Η κοπή της σωλήνωσης επαφής (conductor) λαμβάνει χώρα με χρήση εκρηκτικών ή μηχανικών μέσων, τα οποία αναλύονται στο Κεφάλαιο 5.

Επίσης, κατά τη διαδικασία εξαγωγής της σωλήνωσης (casing pulling), και συγκεκριμένα όταν η σωλήνωση κινείται ανοδικά, δύναται να καταπέσουν θραύσματα γύρω από το πέλμα της και να οδηγήσουν στην παγίδευσή της και, σε ορισμένες περιπτώσεις, ακόμα στον μόνιμο εγκλωβισμό της (χωρίς δυνατότητα ανάκτησης). Η επανάληψη αυτών των εργασιών εγείρει κινδύνους για το προσωπικό, ενώ ελλοχεύουν ζητήματα ασφάλειας και περιβάλλοντος. Τέλος, η ανακτώμενη σωλήνωση πρέπει να διαχειριστεί με ασφάλεια και να απορριφθεί με τον κατάλληλο τρόπο.

#### **4.5.1.2. Φρεζάρισμα σωλήνωσης (casing milling)**

Στη συγκεκριμένη διαδικασία η σωλήνωση φρεζάρεται όταν ένα τμήμα εκείνης πρέπει να αφαιρεθεί. Μια τέτοια περίπτωση αποτελεί και η όρυξη πλευρικής γεώτρησης (sidetracking). Η μέθοδος περιλαμβάνει το άνοιγμα ενός τμήματος με τη χρήση φρέζας (mill), ενώ έχει μελετηθεί και η εκτόξευση ρευστού απότριψης (abrasive fluid jet) για την εκτέλεση της ίδιας εργασίας. Στη σφράγιση και εγκατάλειψη μίας υπεράκτιας γεώτρησης το αφαιρούμενο μήκος είναι μεγαλύτερο από εκείνο που απαιτείται να αφαιρεθεί για την όρυξη πλευρικής γεώτρησης. Για αυτό τον λόγο λαμβάνει χώρα το τμηματικό φρεζάρισμα της σωλήνωσης (section casing milling) (Khalifeh & Saasen, 2020).

#### **4.5.1.3. Φρεζάρισμα σωλήνωσης κατά τμήματα (casing section milling)**

Αποτελεί την πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική για την απομάκρυνση της σωλήνωσης κατά τη σφράγιση και εγκατάλειψη μίας γεώτρησης. Όταν η αποκοπή και απόσπαση των επιμέρους τμημάτων της σωλήνωσης δεν είναι δυνατή για τεχνικούς λόγους, τότε χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη τεχνική. Βασίζεται στην απομάκρυνση μέσω άλεσης ενός τμήματος της σωλήνωσης, καθώς και της δυνητικά φτωχής τσιμέντωσης πίσω από το τμήμα αυτό και/ή του δυνητικά ρυπασμένου σχηματισμού, έτσι ώστε να εμφανιστεί καινούργιος, καθαρός σχηματισμός που θα αποτελέσει τη βάση για την τοποθέτηση του μόνιμου φραγμού.

Κατά την εφαρμογή αυτής της τεχνικής το τμήμα της σωλήνωσης που πρέπει να απομακρυνθεί αλέθεται με τη χρήση μιας φρέζας που είναι κατάλληλη για κοπή σωλήνων (section mill). Το εργαλείο προσαρμόζεται πάνω σε μια περιστροφική συνδεσμολογία (rotary assembly) η οποία καθελκύεται στο βάθος που βρίσκεται το τμήμα της σωλήνωσης που πρέπει να φρεζαριστεί. Η περιστροφική συνδεσμολογία μπορεί να περιλαμβάνει κανονικά διατρητικά στελέχη και αντίβαρα για την άσκηση βάρους επί του εργαλείου. Στο άκρο του εργαλείου υπάρχει ακροφύσιο εκροής ρευστού για τον καθαρισμό των κοπτικών ακμών του και την έκπλυση και απομάκρυνση των προϊόντων φρεζαρίσματος.

Το φρεζάρισμα επιτελείται από πολλαπλές λεπίδες που περιστρέφονται εκτεινόμενες έξω από το κύριο σώμα του εργαλείου, μέσω ενός υδραυλικά ενεργοποιούμενου κώνου. Μόλις το εργαλείο φτάσει στο επιθυμητό βάθος, το ρευστό που κυκλοφορεί ωθεί τον κώνο να ασκήσει την κατάλληλη δύναμη, ώστε να επεκταθούν οι λεπίδες. Μόλις οι λεπίδες

διαπεράσουν το τοίχωμα της σωλήνωσης, κλειδώνουν σε αυτή τη θέση και μέσω της περιστροφής τέμνουν την σωλήνωση. Στη συνέχεια, μέσω του βάρους που ασκείται στη φρέζα ολισθαίνει προς τα κάτω και αλέθει το τμήμα της σωλήνωσης που πρέπει να απομακρυνθεί.

Μετά την ολοκλήρωση του φρεζαρίσματος του τμήματος που πρέπει να απομακρυνθεί ή όταν φθαρούν πλήρως οι λεπίδες, γίνεται συνεχής κυκλοφορία ρευστών (milling fluids-ελαφρώς διαφοροποιημένων σχετικά με τα κλασσικά ρευστά διάτρησης)<sup>10</sup> μέχρι να απομακρυνθούν τα προϊόντα της κοπής. Τα ρευστά αυτά θα πρέπει να εξισορροπούν τις πιέσεις στο μη σωληνωμένο τμήμα της γεώτρησης (μετά την απομάκρυνση του τμήματος της σωλήνωσης), να ψύχουν την φρέζα, καθώς και να μεταφέρουν τα παραγόμενα θραύσματα στην επιφάνεια. Στη συνέχεια, μετά την απομάκρυνση του τμήματος της σωλήνωσης, πραγματοποιείται διεύρυνση (under-reaming) της διατομής του φρέατος ώστε να εμφανιστεί καινούργιος σχηματισμός που θα εξασφαλίσει καλή πρόσφυση με το μόνιμο φραγμό που τοποθετείται αμέσως μετά. Το κοπτικό διεύρυνσης (under-reamer) απομακρύνει τυχόν υφιστάμενη τσιμέντωση, πλακούντα διήθησης των ρευστών διάτρησης ή άλλες επικαθήσεις στα τοιχώματα της γεώτρησης.

Η συμβατική τεχνική του φρεζαρίσματος της σωλήνωσης κατά τμήματα απαιτεί να εκτελεστούν τουλάχιστον δύο διαδρομές του περιστροφικού εξοπλισμού μέσα στη γεώτρηση (trips): ένα για την άλεση του επιθυμητού τμήματος της σωλήνωσης και ένα για τη διεύρυνση του μη σωληνωμένου πλέον τμήματος της γεώτρησης. Αυτό είναι απαραίτητο γιατί για κάθε μια από τις παραπάνω εργασίες αποτελεί διαφορετική σύνθεση κατώτερης συνδεσμολογίας (bottom hole assembly – BHA) της διατρητικής στήλης (Εικόνα 4-14).

#### **4.5.1.1. Φρεζάρισμα προς τα άνω (upward milling)**

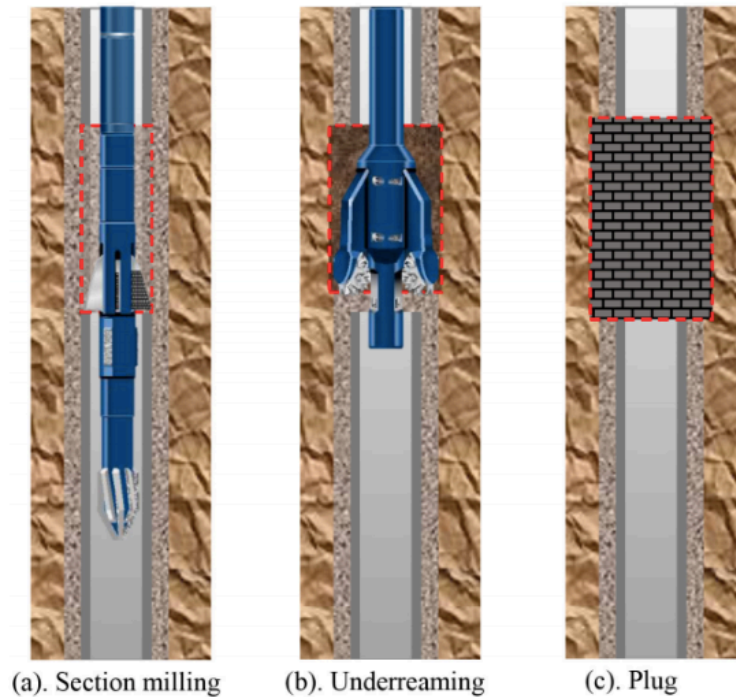
Το φρεζάρισμα σωλήνωσης ανά τμήματα αποτελεί μία αποδεδειγμένη διαδικασία που παρέχει πλήρη πρόσβαση στον αρχικό σχηματισμό για τη δημιουργία ενός εγκάρσιου φραγμού (rock-to-rock barrier). Παρόλα αυτά, η μεταφορά και η επιφανειακή επεξεργασία

---

<sup>10</sup> Υπάρχουν τρεις γενικοί τύποι ρευστών που χρησιμοποιούνται κατά το φρεζάρισμα της σωλήνωσης:

- 1) Ρευστά με μπεντονίτη & διτανθρακικό νάτριο (σε φρέσκο νερό)
- 2) Ρευστά με μπεντονίτη & MMH (mixed-metal hydroxide) (σε φρέσκο νερό)
- 3) Ρευστά με Xanthan gum & θαλασσινό νερό (ρευστά πολυμερών)

για τα απόβλητα κοπής, γρέζια και θραύσματα (swarf), αποτελούν χρονοβόρες και ακριβές διαδικασίες, ενώ εγείρουν κινδύνους όσον αφορά την υγεία, την ασφάλεια και το περιβάλλον. Εάν τα απόβλητα κοπής (swarf) μπορούσαν να αφηθούν εντός της γεώτρησης (wellbore), χωρίς να χρειάζεται να απομακρυνθούν στην επιφάνεια, τότε, το φρεζάρισμα της

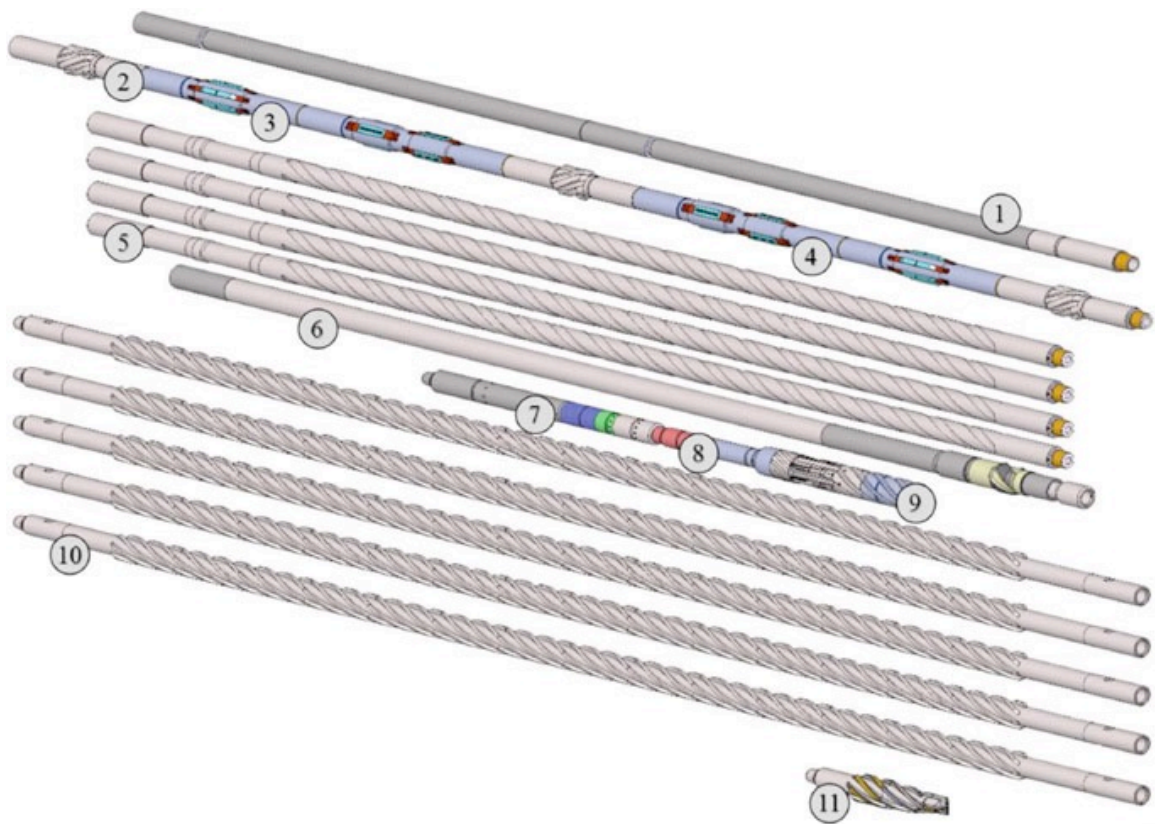


Εικόνα 4-14. Τυπική διαδικασία φρεζαρίσματος σωλήνωσης κατά τμήματα (section milling) (Vieira do Paço Hallak, 2017)

σωλήνωσης ανά τμήματα θα ήταν μία πιο αποτελεσματική τεχνική. Το φρεζάρισμα προς τα άνω (upward milling) είναι μία καινούργια μορφή της τεχνικής φρεζαρίσματος ανά τμήματα, όπου το φρεζάρισμα λαμβάνει χώρα κινούμενο προς τα άνω, κόβοντας τα απόβλητα κοπής, τα γρέζια και τα θραύσματα σε πολύ μικρά κομμάτια, τα οποία καταλήγουν χωρίς πρόβλημα στον πυθμένα της γεώτρησης (Khalifeh & Saasen, 2020).

Αυτό το σύστημα κοπής αποτελείται από έναν κωνικό μύλο (taper mill), ένα τμήμα από στελέχη με σπειροειδείς αυλακώσεις (auger section), μία φρέζα κοπής σωλήνων (section mill), μία διάταξη αποσύνδεσης έκτακτης ανάγκης (emergency release disconnect), ένα μικρό στέλεχος με ακροφύσια εκροής ρευστού (jet sub), έναν αριστερόστροφα περιστρεφόμενο ενδογεωτρητικό κινητήρα (left-hand rotating mud motor), αντίβαρα (drill collars), μία διάταξη απομόνωσης της ροπής στρέψης (torque isolation assembly), στελέχη

εφοδιασμένα με ελατήρια επαναφοράς (spring loaded pads), έναν σπειροειδή σταθεροποιητή (spiral stabilizer) και έναν πολλαπλασιαστή (intensifier). Η Εικόνα 4-15 παρουσιάζει τα κύρια εξαρτήματα της κατώτερης συνδεσμολογίας (bottom-hole assembly) της τεχνικής φρεζαρίσματος από πάνω (εξάρτημα 1) προς τα κάτω (εξάρτημα 11). Στον πυθμένα του τμήματος που πρόκειται να φρεζαριστεί, η διάταξη ανοίγει τις λεπίδες και πραγματοποιεί την κοπή στη σωλήνωση. Ύστερα, φρεζάρεται προς τα άνω μέχρι το επιθυμητό βάθος και στο τέλος οι λεπίδες ανασύρονται μόλις φτάσουν στο επιθυμητό βάθος (Khalifeh & Saasen, 2020).



Εικόνα 4-15. Τα βασικά μέρη μιας διάταξης κατώτερης συνδεσμολογίας για εκτέλεση φρεζαρίσματος προς τα άνω (χωρίς μεταφορά των αποβλήτων κοπής στην επιφάνεια): (1) πολλαπλασιαστής (intensifier), (2) σπειροειδής σταθεροποιητής (spiral stabilizer), (3) στελέχη εφοδιασμένα με ελατήρια επαναφοράς (spring loaded pads), (4) διάταξη απομόνωσης ροπής στρέψης (torque isolator), (5) αντίβαρα (drill collars), (6) αριστερόστροφα ενδογεωτρητικός κινητήρας (left-hand mud motor), (7) στέλεχος εκροής ρευστού (jet sub), (8) διάταξη αποσύνδεσης (disconnect), (9) φρέζα (section mill), (10) στελέχη με σπειροειδείς αυλακώσεις (auger section), και (11) κωνικός μύλος (taper mill) (Khalifeh & Saasen, 2020)

#### 4.5.2. Τεχνική διατρύπησης της σωλήνωσης, έκπλυσης και τσιμεντώσης (perforate, wash and cement – PWC)

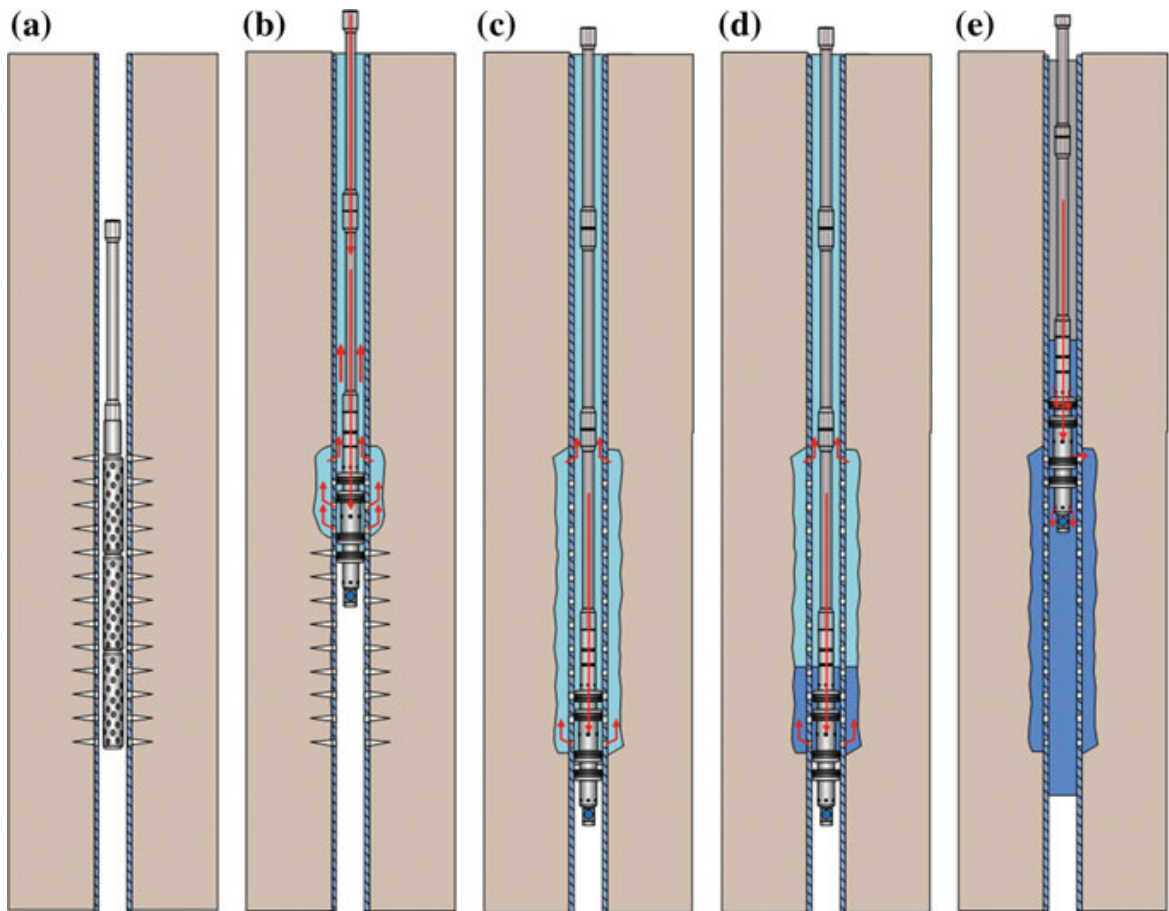
Η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του '70 έχοντας ως σκοπό την εγκατάσταση ενός μόνιμου φραγμού σε μία γεώτρηση με τη χρήση ενός συστήματος το οποίο διατρυπά ένα μη τσιμεντωμένο τμήμα της σωλήνωσης, εκπλένει και καθαρίζει τον δακτύλιο ανάμεσα στη σωλήνωση και τον σχηματισμό, καθώς και στη συνέχεια με μηχανικό τρόπο εισάγει τσιμέντο που πληρώνει τον καθαρό δακτύλιο και το εσωτερικό του φρέατος. Όλες αυτές οι εργασίες επιτελούνται σε μια μόνο διαδρομή της (single run).

Πριν εφαρμοστεί η τεχνική PWC, εκτελούνται διαγραφίες αξιολόγησης της κατάστασης της τσιμεντώσης και της στεγανοποιητικής ικανότητάς της (αν απομονώνει επαρκώς τη γεώτρηση από τους περιβάλλοντες σχηματισμούς). Μετά την ερμηνεία των διαγραφιών εντοπίζονται οι θέσεις που θα εγκατασταθούν τα πώματα. Το ελάχιστο βάθος έδρασης του κάθε πώματος εντοπίζεται όπου πίσω από την σωλήνωση δεν υπάρχει τσιμεντώση και ο σχηματισμός διατηρεί την ακεραιότητά του. Όπως και στην τεχνική του φρεζαρίσματος της σωλήνωσης κατά τμήματα, η πυκνότητα της λάσπης που θα κυκλοφορεί μέσα στη γεώτρηση θα πρέπει να είναι επαρκής για να εξισορροπεί τις πιέσεις των σχηματισμών στο μη σωληνωμένο τμήμα της γεώτρησης. Ωστόσο, στην τεχνική PWC δεν υπάρχει παραγωγή αποβλήτων κοπής κι έτσι δεν απαιτείται το ρευστό να έχει υψηλό ιξώδες ώστε να μπορεί να μεταφέρει τα απόβλητα κοπής στην επιφάνεια. Επιτυγχάνει επίσης σημαντική μείωση του κόστους σφράγισης και εγκατάλειψης, καθώς στην επιφάνεια δεν απαιτείται ειδικός εξοπλισμός για τη διαχείριση των αποβλήτων κοπής (Vieira do Paço Hallak, 2017).

Συνοπτικά, η τεχνική PWC περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα: αρχικά ένα πυροβόλο όπλο διάτρησης (perforation gun) καθελκύεται μέσα στη γεώτρηση, στο βάθος που θα εγκατασταθεί ο μόνιμος φραγμός (πίσω από τη σωλήνωση δεν υπάρχει τσιμεντώση ή είναι πολύ κακής ποιότητας). Το όπλο εκπυρσοκροτεί και η σωλήνωση διατρυπάται (Εικόνα 4-16a) και το όπλο είτε παραμένει στη θέση του, είτε ανελκύεται. Στο επόμενο βήμα ένα εργαλείο έκπλυσης καθελκύεται στο κατάλληλο βάθος, το οποίο εκπλένει και καθαρίζει τον δακτύλιο πίσω από τη διατρυπημένη σωλήνωση, απομακρύνοντας προς την επιφάνεια ανεπιθύμητα θραύσματα, τυχόν επικαθήσεις και πλάκες διήθησης της λάσπης διάτρησης (settled mud & mud film) (Εικόνα 4-16b). Η έκπλυση γίνεται από πάνω προς τα κάτω και



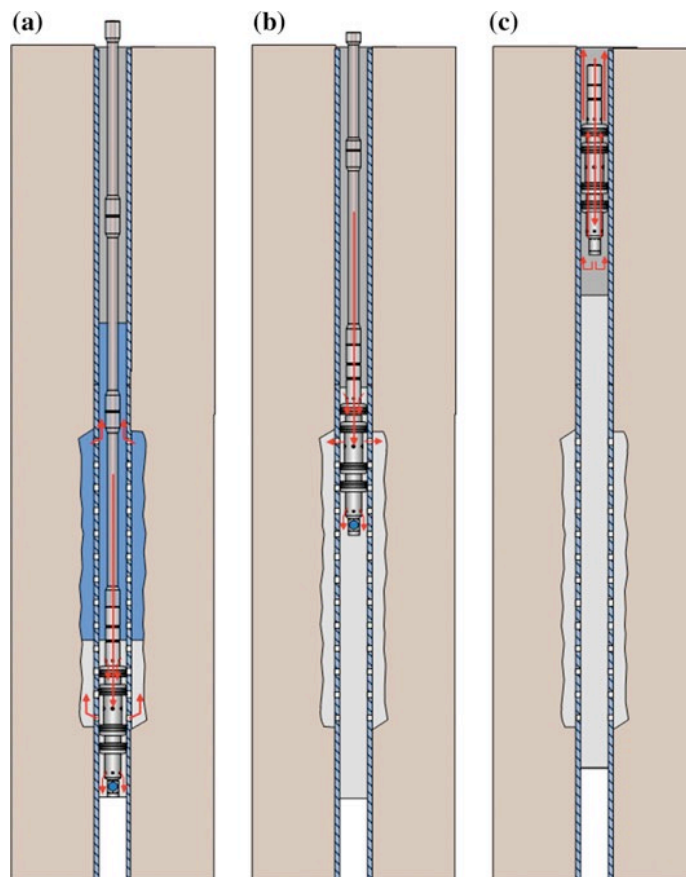
επαναλαμβάνεται αρκετές φορές μέχρι να καθαριστεί πλήρως ο σχηματισμός πίσω από τη σωλήνωση. Μετά την ολοκλήρωση του καθαρισμού, εκτελούνται δοκιμές ακεραιότητας του καθαρού πλέον σχηματισμού. Αν η δοκιμή είναι επιτυχής, το εργαλείο έκπλυσης είτε παραμένει εντός της γεώτρησης, κάτω από το κατώτερο βάθος που έχει διατρυπηθεί η σωλήνωση, λειτουργώντας ως μηχανικό αγκύριο (mechanical foundation) για το πόμα του τσιμέντου που θα φτιαχτεί στη συνέχεια, ή χρησιμοποιείται ως διάταξη κατώτερης συνδεσμολογίας (BHA) για το στάδιο της τσιμεντώσης (Εικόνα 4-16c). Ύστερα, μέσα από τις οπές της σωλήνωσης εισπνέζεται ενδιάμεσο ρευστό (spacer). Κατά την εισπνέση του ενδιάμεσου ρευστού, η κατώτερη συνδεσμολογία ανελκύεται (Εικόνα 4 16d), ώστε σταδιακά το ενδιάμεσο ρευστό να πληρώσει όλο τον χώρο του τμήματος της γεώτρησης που έχει διατρυπηθεί και σε μικρό ύψος εκατέρωθεν αυτού (Εικόνα 4-16e).



Εικόνα 4-16. Τα πρώτα βήματα εκτέλεσης της τεχνικής PWC: a διατρύπηση της σωλήνωσης, b το εργαλείο έκπλυσης καθελκύεται εντός της γεώτρησης και εκπλένει τον δακτύλιο πίσω από το διάτρητο τμήμα της σωλήνωσης, με φορά από πάνω προς τα κάτω, c η κατώτερη συνδεσμολογία καθελκύεται κάτω από το διάτρητο τμήμα, d ενδιάμεσο ρευστό (spacer) εισπνέζεται και η κατώτερη συνδεσμολογία σταδιακά ανελκύεται, e το ενδιάμεσο ρευστό πληρώνει τον χώρο μέχρι λίγο πάνω από το διάτρητο τμήμα (Khalifeh & Saasen, 2020)



Στο επόμενο βήμα η κατώτερη συνδεσμολογία (BHA) καθελκύεται κάτω από το διάτρητο τμήμα της σωλήνωσης και αρχίζει η εισπίεση του πολφού του τσιμέντου (Εικόνα 4-17a). Αφού εισπιαστεί ορισμένος όγκος τσιμεντοπολφού για την πλήρη απομάκρυνση του ενδιάμεσου ρευστού γύρω από την κατώτερη συνδεσμολογία, αυτή ανελκύεται κατά στάδια, ενώ η εισπίεση του τσιμέντου συνεχίζεται (Εικόνα 4-17b). Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα μέχρι τόσο η ελεύθερη επιφάνεια του τσιμέντου όσο και η κατώτερη συνδεσμολογία να βρεθούν σε βάθος άνω του διάτρητου τμήματος. Στη συνέχεια, η κατώτερη συνδεσμολογία ανελκύεται περαιτέρω, εκτός της περιοχής του πώματος από τσιμέντο, μέχρι βάθους τουλάχιστον δύο στελέχη πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του τσιμέντου (Εικόνα 4-17c). Τέλος, η γεώτρηση καθαρίζεται από οποιαδήποτε υλικά που δε θα πρέπει να παραμείνουν μέσα σε αυτή με κυκλοφορία καθαρού ρευστού.



Εικόνα 4-17. Τα τελευταία βήματα εκτέλεσης της τεχνικής PWC: α η κατώτερη συνδεσμολογία τοποθετείται κάτω από το διάτρητο τμήμα και αντλείται ορισμένος όγκος τσιμέντου, β ενώ συνεχίζεται η εισπίεση του τσιμέντου η κατώτερη συνδεσμολογία ανελκύεται κατά στάδια (pump-and-pull while cementing), γ η εισπίεση του τσιμέντου συνεχίζεται μέχρι η κατώτερη συνδεσμολογία και το τσιμέντο να φτάσουν ως την επιφάνεια, στη συνέχεια η κατώτερη συνδεσμολογία ανελκύεται περαιτέρω (θα πρέπει να φτάσει σε βάθος τουλάχιστον δύο στελέχη πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του τσιμέντου (Khalifeh & Saasen, 2020)

#### 4.5.3. Τεχνικές σφράγισης & εγκατάλειψης της γεώτρησης υπό έρευνα

##### 4.5.3.1. Χρήση εκρηκτικών για τη διόγκωση της σωλήνωσης

Στη διαδικασία σφράγισης και εγκατάλειψης μίας γεώτρησης η εγκατάσταση του μόνιμου φραγμού στον δακτύλιο μεταξύ σωλήνωσης και σχηματισμού αποτελεί μία από τις πιο δύσκολες προκλήσεις. Έτσι, έχει προταθεί η χρήση εκρηκτικών υλών για τη διόγκωση (expanding) της σωλήνωσης, ώστε να διαμορφώσει ένα στοιχείο στεγάνωσης (seal) ή θεμελίωσης (foundation) πάνω στο οποίο θα τοποθετηθεί ο μόνιμος φραγμός. Η πρόκληση αυτής της τεχνικής εντοπίζεται στην επιλογή της σωστής ποσότητας των εκρηκτικών που απαιτούνται, ώστε να προκληθεί διόγκωση της σωλήνωσης (ballooning) και όχι διάρρηξή της. Η δυσκολία επιλογής της κατάλληλης ποσότητας εκρηκτικών επιτείνεται και από την αβεβαιότητα κατά πόσο η σωλήνωση διατηρεί το αρχικό πάχος των τοιχωμάτων της, λόγω δυνητικής διάβρωσης που μπορεί να έχει υποστεί. Η τεχνική έχει εφαρμοστεί μόνο σε εργαστηριακή κλίμακα.

##### 4.5.3.2. Χρήση θερμότη για την τήξη του εξοπλισμού ολοκλήρωσης κοντά στον πυθμένα της γεώτρησης (melting downhole completion)

Μία πρόκληση που σχετίζεται με τη σφράγιση και εγκατάλειψη μίας υπεράκτιας γεώτρησης είναι η αφαίρεση του εξοπλισμού ολοκλήρωσης από τον πυθμένα της, για τη δημιουργία του εγκάρσιου μόνιμου φραγμού (rock-to-rock barrier or cross-sectional barrier). Η ανάκτηση αυτού του εξοπλισμού εκθέτει το προσωπικό σε κινδύνους υγείας & ασφάλειας, ενώ ελλοχεύουν κίνδυνοι και για το περιβάλλον, αυξάνει το χρόνο των εργασιών, ενώ επιφέρει πρόσθετο κόστος που σχετίζεται με την κατάλληλη διαχείριση και διάθεση των ανακτώμενων τμημάτων.

Για αυτό τον λόγο είναι αναγκαίο να παραμείνει όσο το δυνατόν περισσότερο μέταλλο στον πυθμένα της σωλήνωσης. Όμως, η παρουσία του εξοπλισμού ολοκλήρωσης στο επιθυμητό βάθος για την εγκατάσταση του φραγμού αποτελεί μία άλλη πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Μία μέθοδος που θα μπορούσε να επιλύσει το προηγούμενο ζήτημα είναι η τήξη του εξοπλισμού ολοκλήρωσης που θα οδηγούσε στη δημιουργία ενός εγκάρσιου μόνιμου φραγμού (rock-to-rock barrier). Σε αυτή τη μέθοδο, ο εξοπλισμός ολοκλήρωσης καθώς και ο γύρω σχηματισμός τήκονται με ελεγχόμενο τρόπο μέσω της

χρήσης θερμότης. Ο θερμότης είναι μια πυροτεχνική σύνθεση από μεταλλική σκόνη, καύσιμο και οξείδιο μετάλλου. Όταν αναφλέγεται από τη θερμότητα, ο θερμότης υφίσταται μια εξώθερμη αντίδραση οξειδοαναγωγής. Οι περισσότερες συνθέσεις δεν είναι εκρηκτικές, αλλά μπορούν να δημιουργήσουν σύντομες εκρήξεις υψηλής θερμοκρασίας σε μικρή επιφάνεια. Η μορφή της αντίδρασης είναι παρόμοια με αυτή άλλων μειγμάτων καυσίμου-οξειδωτικού, όπως η μαύρη πυρίτιδα. Σε μία αντίδραση θερμότης, αντιδρούν τα κράματα αλουμινίου και το οξείδιο του σιδήρου (σκουριασμένος χάλυβας) και παράγεται ακραία ποσότητα θερμότητας. Το οξείδιο του σιδήρου παρέχει το απαραίτητο οξυγόνο για την πραγματοποίηση αυτής της αντίδρασης.

Η χρήση θερμότης για την κοπή σωλήνων παραγωγής (tubing), διατρητικών στελεχών (drill pipe) και κατώτερων συνδεσμολογιών διατρητικής στήλης (bottom hole assemblies), έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε κλίμακα πεδίου. Ωστόσο, στην περίπτωση χρήσης θερμότης για την τήξη του εξοπλισμού ολοκλήρωσης στον πυθμένα της γεώτρησης με σκοπό τη δημιουργία ενός εγκάρσιου φραγμού, η επαλήθευση της ακεραιότητας εκείνου δύναται να αποτελέσει πρόκληση.

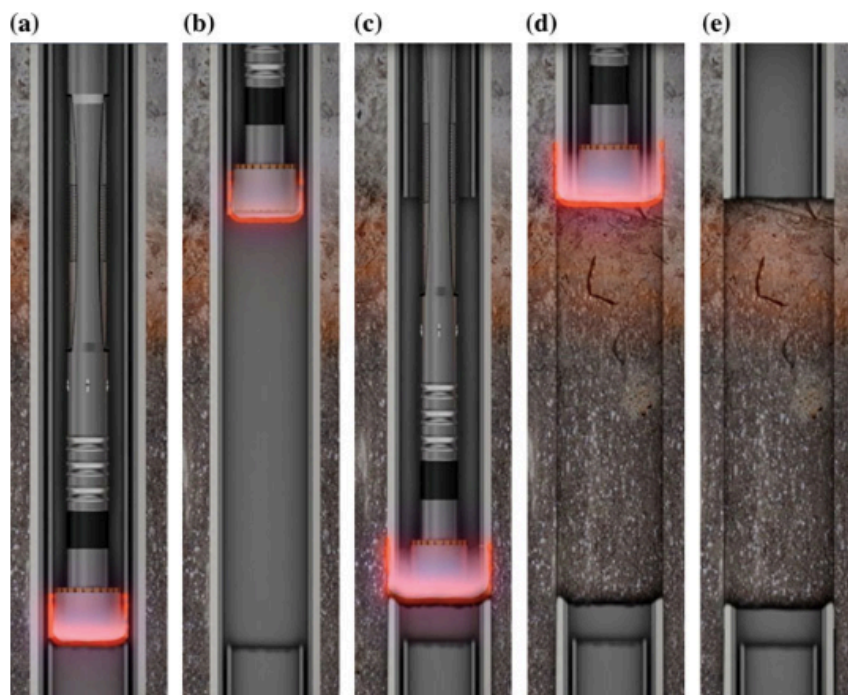
#### **4.5.3.3. Φρεζάρισμα με δέσμη πλάσματος (plasma based milling)**

Οι συμβατικές μέθοδοι σφράγισης και εγκατάλειψης γεωτρήσεων απαιτούν την ανάκτηση της σωλήνωσης, διαδικασία που είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα, με υψηλό κόστος και κινδύνους για τους εργαζομένους. Η κοπή της σωλήνωσης που προηγείται της ανάκτησής της προβάλλει δύο σημαντικά ζητήματα που αφορούν στην αποτελεσματική απομάκρυνσή της από την αρχική της θέση και, μετέπειτα, στη δυσκολία διαχείρισής της στην επιφάνεια.

Η χρήση δέσμης πλάσματος για το φρεζάρισμα της σωλήνωσης δύναται να αντιμετωπίσει ορισμένες από τις προκλήσεις που αναφέρθηκαν, καθώς η συγκεκριμένη τεχνολογία αποσκοπεί στην αποσύνθεση του χάλυβα σε μικρά κομμάτια που μεταφέρονται στην επιφάνεια και μπορεί να επιτελεστεί με καθέλκυση του κατάλληλου εργαλείου μέσα από τον σωλήνα παραγωγής (tubing) σε μια και μόνη διαδρομή.

Η δέσμη πλάσματος δημιουργείται τεχνητά μέσω της εισαγωγής αερίων, όπως ο αέρας, το αργό, το νάτριο, το υδρογόνο και το μονοξείδιο του άνθρακα, σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο ή μέσω της θέρμανσης αυτών.

Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής λαμβάνει χώρα ως εξής: Το εργαλείο καθελκύεται μέσα από τον σωλήνα παραγωγής (tubing) στο τμήμα-στόχο της γεώτρησης, όπου θα πρέπει να εγκατασταθεί ο μόνιμος φραγμός (Εικόνα 4-18a). Πυροδοτείται το ηλεκτρικό τόξο (electric arc) με αποτέλεσμα τη δημιουργία πλάσματος και το εργαλείο κινείται ανοδικά ενώ επιτελεί το φρεζάρισμα του σωλήνα παραγωγής (Εικόνα 4-18b). Όταν ολοκληρωθεί το φρεζάρισμα του σωλήνα παραγωγής, το εργαλείο κατεβαίνει ξανά στο αρχικό σημείο εκκίνησης του και εργαζόμενο κατά τον ίδιο τρόπο αυτή τη φορά απομακρύνει τη σωλήνωση και την τσιμέντωση πίσω από αυτή (Εικόνα 4-18c). Μετά και το πέρας αυτού του σταδίου αποσύρεται από τη γεώτρηση (Εικόνα 4-18d). Τότε το τμήμα αυτό της γεώτρησης είναι έτοιμο για την εγκατάσταση του μόνιμου φραγμού από τσιμέντο (Εικόνα 4-18e).



Εικόνα 4-18. Εφαρμογή της τεχνικής φρεζαρίσματος με χρήση δέσμης πλάσματος (plasma based milling) για την απομάκρυνση του σωλήνα παραγωγής και της εξωτερικής αυτού σωλήνωσης και τσιμέντωσης (Khalifeh & Saasen, 2020)

Στον Πίνακα 4-4 παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα δυνητικά όρια εφαρμογής της τεχνικής φρεζαρίσματος των σωλήνων εντός της γεώτρησης κατά τη φάση σφράγισης και εγκατάλειψής της.

Πίνακας 4-4. Πλεονεκτήματα και δυνητικά όρια εφαρμογής της τεχνικής φρεζαρίσματος με χρήση δέσμης πλάσματος (plasma milling) (Khalifeh & Saasen, 2020)

Πλεονεκτήματα	Δυνητικά όρια
Δεν απαιτείται χρήση γεωτρητικής μονάδας (rigless operation) καθώς η τεχνική εφαρμόζεται με χρήση μονάδας περιελιγμένου σωλήνα (coiled tubing).	Δεν έχει δοκιμαστεί στο πεδίο και ως εκ τούτου δεν διατίθεται για εμπορική χρήση.
Επιτυγχάνει υψηλό ρυθμό προχώρησης του φρεζαρίσματος και κατά συνέπεια μείωση κόστους.	Απαιτεί τη χρήση μονάδας περιελιγμένου σωλήνα με ειδικές προδιαγραφές για την τροφοδοσία του εργαλείου κοπής με δέσμη πλάσματος.
Δεν παράγονται απόβλητα κοπής.	Δυνατότητα μεταφοράς επαρκούς ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία του εργαλείου μέσω καλωδίων.
Λόγω μη επαφής του εργαλείου κοπής με το προς αποκοπή τμήμα βελτιώνεται η αξιοπιστία του και ελαχιστοποιούνται τα προβλήματα φθοράς και παγίδευσή του μέσα στη γεώτρηση.	
Πιο ασφαλής διαδικασία λόγω της πλήρους αυτοματοποίησής της με χρήση μονάδας περιελιγμένου σωλήνα.	
Δεν υπάρχει ανάγκη για απομάκρυνση του Christmas tree.	

#### 4.5.4. Επιφανειακός εξοπλισμός σφράγισης και εγκατάλειψης γεωτρήσεων

##### 4.5.4.1. Σφράγιση & εγκατάλειψη γεώτρησης με χρήση γεωτροπάνου έναντι μη χρήσης αυτού (rig vs. rigless well abandonment)

Η «συμβατική» προσέγγιση στη σφράγιση & εγκατάλειψη μιας γεώτρησης βασίζεται στη θεώρηση ότι αν για την ολοκλήρωσή της χρησιμοποιήθηκε γεωτρόπανο (rig), η σφράγιση & εγκατάλειψή της θα πρέπει να γίνει επίσης με χρήση γεωτροπάνου. Τα γεωτρόπανα είναι ογκώδεις και ακριβές κατασκευές που είναι όμως απαραίτητες για την όρυξη και ολοκλήρωση των γεωτρήσεων. Μέχρι και τις αρχές της δεκαετίας του 1980 τα γεωτρόπανα ήταν επίσης απαραίτητα για τη σφράγιση & εγκατάλειψη των γεωτρήσεων. Τότε οι πετρελαϊκές εταιρείες άρχισαν να αναζητούν μεθόδους λιγότερο δαπανηρές, καθώς το κόστος σφράγισης & εγκατάλειψης μιας γεώτρησης αυξανόταν διαρκώς. Αρχικά, βρήκαν τρόπους να περιορίσουν τη χρήση των γεωτροπάνων στη σφράγιση και εγκατάλειψη των γεωτρήσεων, και τελικά σταμάτησαν εντελώς να τα χρησιμοποιούν στις γεωτρήσεις από θαλάσσιες εξέδρες.

Η μέθοδος σφράγισης & εγκατάλειψης μιας θαλάσσιας γεώτρησης χωρίς τη χρήση γεωτροπάνου τελειοποιήθηκε μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Ένας σημαντικός

παράγοντας που επέφερε μείωση του χρόνου που απαιτείται για τη σφράγιση & εγκατάλειψη των γεωτρήσεων ήταν η τελειοποίηση των μεθόδων εισπίεσης του πολφού του τσιμέντου για τη δημιουργία των μόνιμων φραγμών μέσα στη γεώτρηση χωρίς τη χρήση κατάλληλης διατηρητικής στήλης για την εκτέλεση των εργασιών (work-string).

Η σφράγιση & εγκατάλειψη των γεωτρήσεων χωρίς τη χρήση γεωτρυπάνου έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής μεθόδου, ορισμένα από τα οποία είναι τα εξής:

- Μη χρήση ακριβών γεωτρυπάνων, αυξάνοντας τη διαθεσιμότητά τους προς χρήση στην όρυξη και ολοκλήρωση γεωτρήσεων
- Χαμηλότερο ημερήσιο κόστος ενοικίασης του απαραίτητου εξοπλισμού (30% ή λιγότερο έναντι του γεωτρυπάνου)
- Μεγαλύτερη διαθεσιμότητα του απαραίτητου εξοπλισμού σφράγισης & εγκατάλειψης έναντι των αντίστοιχων γεωτρυπάνων
- Ταχύτερη μεταφορά και εγκατάσταση
- Μειωμένος χρόνος εργασιών
- Ταχύτερη ανέλκυση & καθέλκυση εξοπλισμού μέσα στη γεώτρηση
- Δυνατότητα εκτέλεσης εργασιών σε πολλαπλές γεωτρήσεις ταυτόχρονα
- Μικρότερος αντικρηκτικός μηχανισμός ασφάλειας (BOP)
- Μικρότερος γερανός (crane)
- Μεγαλύτερη ευελιξία στην τοποθέτηση του καταστρώματος (deck positioning)
- Λιγότερα φορτία πάνω στο κατάστρωμα (deck loading)
- Λιγότερο απαιτούμενο προσωπικό
- Εξαλείφει μεγάλο μέρος της ανέλκυσης και περισυλλογής σωλήνων παραγωγής (tubing) και σωλήνωσης (casing) χαμηλής αξίας (αφήνοντας τους σωλήνες παραγωγής στη θέση τους μέσα στη γεώτρηση)

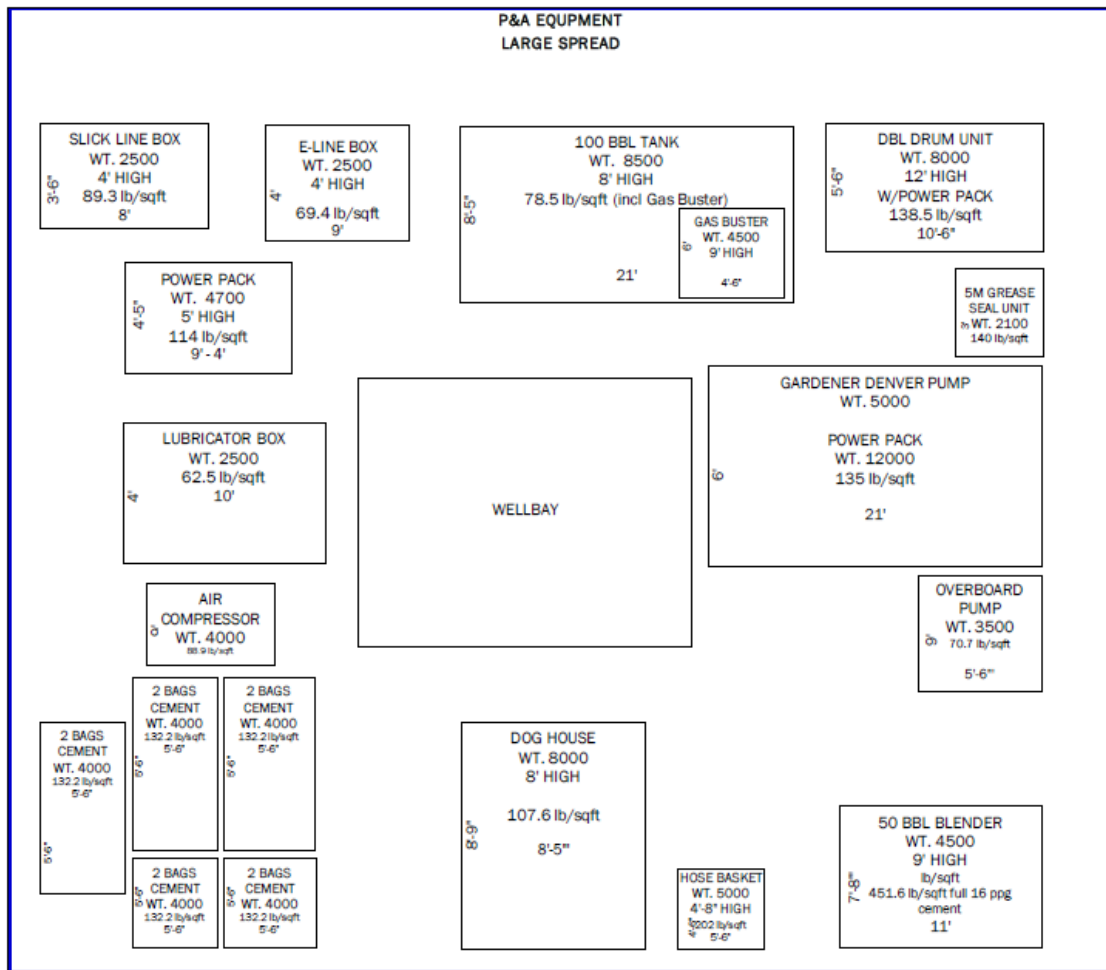
Παρόλα αυτά, μπορεί να υπάρξουν ορισμένες περίπλοκες καταστάσεις όπου απαιτείται η χρήση γεωτρυπάνου (drilling rig), όπως η ύπαρξη ελαττωματικής σωλήνωσης ή η συσσώρευση άμμου ή παραφίνης μέσα στη γεώτρηση.

Η σφράγιση και εγκατάλειψη μίας υπεράκτιας γεώτρησης δίχως τη χρήση γεωτροπάνου, συνήθως περιλαμβάνει το απαραίτητο προσωπικό, βοηθητικά σκάφη, γερανούς ή casing jacks, μονάδα συρματόσχοινου (wireline equipment), αντλία υψηλής πίεσης (high pressure pump), δεξαμενή διαχείρισης ρευστών, απλός διαχωριστής των ρευστών από το περιεχόμενο αέριο (gas buster), αναμίκτη τσιμεντοπολφού (cement blender), αναδευτήρα πολφού (mud mixer), εξοπλισμό κοπής και μονάδα περιελιγμένου σωλήνα (coil tubing). Ένα τυπικό συνεργείο 5 ατόμων που εργάζεται σε 12ωρη βάρδια, περιλαμβάνει, έναν επόπτη, έναν χειριστή αντλίας, έναν ηλεκτρολόγο (electric line operator), έναν χειριστή συρματόσχοινου (slick line operator) καθώς και έναν βοηθό. Η βάρδια 24 ωρών απαιτεί δύο συνεργεία όπως αυτό που αναφέρθηκε προηγουμένως καθώς και έναν συντονιστή. Συγκριτικά, το συνεργείο για τη σφράγιση και εγκατάλειψη μίας γεώτρησης με τη χρήση γεωτροπάνου συνήθως απαιτεί 13 εργάτες λόγω της ανάγκης για περισσότερους χειριστές του γεωτροπάνου και των αντλιών (Grismala, 2015).

#### **4.5.4.2. Επιφανειακός εξοπλισμός σφράγισης και εγκατάλειψης γεώτρησης χωρίς τη χρήση γεωτροπάνου (rigless P&A)**

Στην Εικόνα 4-19 παρουσιάζεται η κάτοψη ενός τυπικού καταστρώματος με τη διάταξη του απαραίτητου εξοπλισμού για τη σφράγιση & εγκατάλειψη γεωτρήσεων χωρίς τη χρήση γεωτροπάνου (rigless deck). Οι διαστάσεις, η σύνθεση και το βάρος του εξοπλισμού ποικίλουν ανάλογα με τις απαιτήσεις. Τα βάρη (WT) δίνονται σε λίβρες (pounds) (Grismala, 2015).

Ο κύριος επιφανειακός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη σφράγιση και εγκατάλειψη γεωτρήσεων χωρίς τη χρήση γεωτροπάνου (rigless P&A) περιλαμβάνει αντλία (pump), αναμίκτη τσιμεντοπολφού (cement blender), μονάδες συρματόσχοινου και ηλεκτρικής γραμμής (wireline/electric line unit), δεξαμενή λάσπης (mud tank) και συνήθως χρησιμοποιούμενα υλικά όπως τσιμέντο, μηχανικά πώματα (bridge plugs) και εξοπλισμό κοπής (cutting equipment). Ενδεικτικά παρουσιάζεται ο ακόλουθος εξοπλισμός (Grismala, 2015):



Εικόνα 4-19. Κάτοψη τυπικής διάταξης εξοπλισμού σφράγισης & εγκατάλειψης γεωτρήσεων χωρίς τη χρήση γεωτροπάνου (rigless deck) (Grismala, 2015)

- Αντλία υψηλής πίεσης (high pressure pump) (Εικόνα 4-20): Χρησιμοποιείται για την άντληση τσιμεντοπολφού ή άλλων ρευστών με πίεση που φτάνει μέχρι τα 15.000 psi και παροχή ως 6 bpm (βαρέλια ανά λεπτό).



Εικόνα 4-20. Αντλία υψηλής πίεσης (Grismala, 2015)



- Δεξαμενή επιστροφής λάσπης (return tank) (Εικόνα 4-21): Χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των ρευστών από τη γεώτρηση στα οποία περιλαμβάνονται ο πολφός διάτρησης, το θαλασσινό νερό ή και Υ/Α. Όλα τα παραπάνω επεξεργάζονται καταλλήλως με σκοπό την ασφαλή απόρριψή τους.



Εικόνα 4-21. Δεξαμενή επιστροφής λάσπης (Grismala, 2015)

- Δοχείο ανάδευσης τσιμεντοπολφού (cement blender) (Εικόνα 4-22): Χρησιμοποιείται για την προετοιμασία του πολφού του τσιμέντου από το οποίο κατασκευάζονται οι μόνιμοι φραγμοί κατά τη διαδικασία σφράγισης των γεωτρήσεων.



Εικόνα 4-22. Δοχείο ανάδευσης τσιμεντοπολφού (cement blender) (Grismala, 2015)

- Μονάδες συρματόσχοινου (wireline units): Χρησιμοποιούνται για την ανέλκυση και καθέλκυση εργαλείων, εξαρτημάτων, μετρητικών διατάξεων και άλλου εξοπλισμού μέσα και έξω από τη γεώτρηση. Οι δύο βασικοί τύποι είναι το μηχανικό σύρμα (slick line), που αποτελείται συνήθως από ένα μονόκλωνο καλώδιο (single strand) με διάμετρο μικρότερη από 1/8 in., και η ηλεκτρική γραμμή (electric line), η οποία αποτελείται από πολύκλωνο, οπλισμένο καλώδιο (multi-strand armored cable) που προστατεύει έναν μονωμένο ηλεκτρικό αγωγό (insulated electrical conductor). Μια μονάδα διπλού τυμπάνου παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-23, η οποία περιλαμβάνει και μηχανικό σύρμα και ηλεκτρική γραμμή σε μια διάταξη.



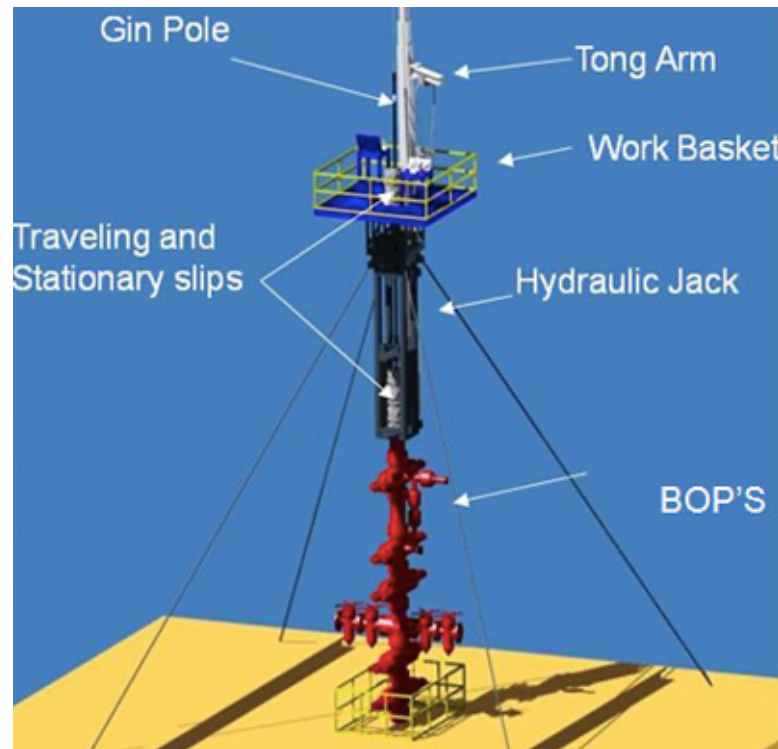
Εικόνα 4-23. Μονάδες συρματόσχοινου (wireline units) (Grismala, 2015)

#### **4.5.4.3. Επιφανειακός εξοπλισμός για σφράγιση & εγκατάλειψη προβληματικών γεωτρήσεων**

Στις περιπτώσεις γεωτρήσεων που παρουσιάζουν προβλήματα, γίνεται χρήση επιπρόσθετου ειδικού εξοπλισμού που θα εξασφαλίσει τη σωστή σφράγιση και εγκατάλειψή τους. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται οι μονάδες υδραυλικής συντήρησης όπως είναι οι μονάδες snubbing (snubbing units) και οι μονάδες περιελιγμένου σωλήνα (coiled tubing units), καθώς και μονάδες υδραυλικής παρέμβασης (hydraulic intervention units).

Οι εργασίες της μονάδας snubbing πραγματοποιούνται παρουσία των επιτόπου συνθηκών (πίεσης) που επικρατούν εντός της γεώτρησης (live well). Το snubbing ουσιαστικά περιλαμβάνει τη μεταφορά μιας στήλης σωλήνα σε μια γεώτρηση μέσω μιας εξέδρας υδραυλικής συντήρησης (hydraulic workover rig) (Εικόνα 4-24). Περιλαμβάνει έναν

υδραυλικό γρύλο (hydraulic jack) για να ασκήσει πάνω στους σωλήνες παραγωγής (tubing) δύναμη προς τα πάνω ή προς τα κάτω, ενώ, παράλληλα, αντισταθμίζει τυχόν ανεπιθύμητες κινήσεις που προκύπτουν λόγω ανισοροπιών μεταξύ του βάρους της στήλης των σωλήνων και της πίεσης του ρευστού (Grismala, 2015).



Εικόνα 4-24. Τυπική διάταξη snubbing unit (Rigzone, 2020)

Η μονάδα περιελιγμένου σωλήνα (coiled tubing unit) (Εικόνα 4-25) αποτελεί μία οικονομική και μη χρονοβόρα λύση για την αντιμετώπιση πολλών εκ των προβλημάτων σε μια παραγωγική γεώτρηση, όπως (Grismala, 2015):

- Εργασίες αλίευσης (fishing operations) παγιδευμένου εξοπλισμού.
- Απομάκρυνση άμμου από τους σωλήνες παραγωγής (cleaning up sand from the tubing).
- Καθαρισμός επικαθίσεων παραφινών μέσα στους σωλήνες παραγωγής (cleaning paraffin buildup in the tubing).
- Εισπίεση τσιμέντου στην περίπτωση κατάρρευσης σωλήνα παραγωγής ή σωλήνωσης.



Εικόνα 4-25. Μονάδα coiled tubing σε υπεράκτια εξέδρα (Schlumberger, 2020)

Η συγκεκριμένη μονάδα ποικίλει σε μέγεθος από 1 ¼ έως 3 ½ in σε διάμετρο και χρησιμοποιεί έναν εύκαμπτο σωλήνα από χάλυβα, διαμέτρου από 1 ¼ in. έως 3 ½ in., που είναι περιελιγμένος σε τύμπανο.

Όταν πρόκειται για γεωτρήσεις όπου η επιφανειακή πίεση είναι μηδενική (dead wells), είτε επειδή περιέχουν πυκνό ρευστό που εξισορροπεί τις πιέσεις στο εσωτερικό της γεώτρησης, είτε γιατί δε δύναται να διατηρήσουν τη φυσική ροή λόγω ανεπαρκούς διαφοράς πίεσης), γίνεται χρήση της μονάδας υδραυλικής συντήρησης (hydraulic workover unit) (Εικόνα 4-26). Η συγκεκριμένη μονάδα έχει τη δυνατότητα να τοποθετεί ή να αφαιρεί κάθε είδους σωλήνα στις γεωτρήσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως (Grismala, 2015).





Εικόνα 4-26. Μονάδα υδραυλικής συντήρησης (hydraulic workover unit) (Grismala, 2015)

Στις υπεράκτιες γεωτρήσεις, μετά το πέρας της παραγωγικής ζωής τους, εκτός των παραπάνω μονάδων υδραυλικής συντήρησης χρησιμοποιούνται και ειδικά σκάφη με τον απαραίτητο εξοπλισμό για την εκτέλεση οποιωνδήποτε εργασιών συντήρησης. Για παράδειγμα, το Q4000 (Εικόνα 4-27) της εταιρίας Helix Energy Solutions, αποτελεί ένα ειδικό πλοίο για την εκτέλεση εργασιών παρέμβασης (well intervention vessel) σε γεώτρηση στον Κόλπο του Μεξικού, σε βάθος θάλασσας 6.500 ft. Το σκάφος διαθέτει τηλεχειριζόμενο όχημα (ROV) που μπορεί να εργαστεί σε βάθος θάλασσας 10.000 ft. Αποτελεί μια σταθερή υπεράκτια εξέδρα από την οποία μπορούν να διεξαχθούν πολυάριθμες διαδικασίες, όπως: ο καθαρισμός με χρήση coiled tubing, η ολοκλήρωση και ο παροπλισμός υποθαλάσσιου εξοπλισμού ολοκλήρωσης της γεώτρησης (subsea completion) (Grismala, 2015).



Εικόνα 4-27. Εικόνα 4-27 Το σκάφος Q4000 παρέμβασης γεωτρήσεων (well intervention vessel) (Grismala, 2015)

Εκτός όπως από τα σκάφη για την εκτέλεση εργασιών παρέμβασης σε θαλάσσιες γεωτρήσεις, υπάρχουν και συστήματα που λειτουργούν υποθαλάσσια και εγκαθίστανται στον πυθμένα της θάλασσας. Ενδεικτικά αναφέρεται το σύστημα AX-S το οποίο αναπτύχθηκε από την εταιρεία Expro International Group (Εικόνα 4-28). Πρόκειται για μια ελαφριά υποθαλάσσια μονάδα συρματόσχοινου για την εκτέλεση εργασιών συντήρησης (subsea wireline intervention system). Το υποθαλάσσιο σύστημα AX-S κινητοποιείται από ένα σκάφος, μπορεί να λειτουργήσει σε βάθος θάλασσας ως 10.000 ft και μπορεί να μειώσει σημαντικά τον απαιτούμενο χρόνο για τις εργασίες παρέμβασης. Συγκριτικά, οι συμβατικές εργασίες παρέμβασης από θαλάσσια εξέδρα σε γεώτρηση μεγάλου βάθους μπορούν να διαρκέσουν 12-15 ημέρες. Με τη χρήση του υποθαλάσσιου συστήματος AX-S ο χρόνος αυτός μειώνεται στις 10 ημέρες. Το σύστημα αυτό μπορεί να διεξάγει και εργασίες σφράγισης & εγκατάλειψης της γεώτρησης (Grismala, 2015).



Εικόνα 4-28. Το υποθαλάσσιο σύστημα AX-S της εταιρείας Expro Group για την εκτέλεση εργασιών παρέμβασης σε γεωτρήσεις (subsea well intervention system) (Grismala, 2015)

#### **4.6. Επαλήθευση μόνιμου φραγμού σφράγισης γεώτρησης (barrier verification)**

Η εγκατάσταση των κατάλληλων μόνιμων φραγμών σε μια γεώτρηση κατά τη σφράγιση και εγκατάλειψή της αποβλέπει κυρίως στην αποκατάσταση της λειτουργικότητας του πετρώματος καλύμματος, ως μηχανισμού απομόνωσης των ρευστών του ταμιευτήρα από τους υπερκείμενους σχηματισμούς και την επιφάνεια. Έτσι, μετά την εγκατάσταση κάθε μόνιμου φραγμού κατά τη διαδικασία σφράγισης μίας γεώτρησης, ακολουθεί η επαλήθευση της σωστής λειτουργίας του.

Υπάρχουν διαφορετικές διαδικασίες πιστοποίησης/επαλήθευσης της ακεραιότητας του μόνιμου φραγμού. Ορισμένες αφορούν στην επαλήθευση του φραγμού στον δακτύλιο της γεώτρησης (annular barrier) (φραγμός μεταξύ της σωλήνωσης και του σχηματισμού), άλλες στην επαλήθευση του μόνιμου πώματος (permanent plug) στο εσωτερικό της σωλήνωσης και άλλες στην επαλήθευση των φραγμών σε μη σωληνωμένα τμήματα της γεώτρησης (open holes). Η βασική πρόκληση σε αυτές τις διαδικασίες επαλήθευσης είναι η απουσία άμεσης

συσχέτισης των αποτελεσμάτων των δοκιμών στο εργαστήριο και των επί τόπου δοκιμών στο πεδίο. Στις δοκιμές του τσιμέντου στο εργαστήριο αξιολογούνται οι ακόλουθες παράμετροι: μηχανικές ιδιότητες (π.χ. αντοχή σε θλίψη, αντοχή σε εφελκυσμό, μέτρο ελαστικότητας κ.λπ.), διατμητική αντοχή πρόσφυσης (shear bond strength), υδραυλική αντοχή πρόσφυσης (hydraulic bond strength) και εφελκυστική αντοχή πρόσφυσης (tensile bond strength), ανάλυση ροής μετανάστευσης (fluid migration analysis), ανάλυση static gel strength, κ.λπ.

Ωστόσο, δεν υπάρχει μια απλή μέθοδος για τη μέτρηση με ακρίβεια αυτών των παραμέτρων στο πεδίο, στις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό μίας γεώτρησης. Οι μόνες διαθέσιμες δοκιμές για την επαλήθευση της ακεραιότητας ενός πώματος από τσιμέντο μέσα στη γεώτρηση είναι: η δοκιμή υδραυλικής πίεσης (hydraulic pressure testing) και η δοκιμή βάρους (weight testing). Η ακεραιότητα του φραγμού στον δακτύλιο της γεώτρησης εξετάζεται εμμέσως με την εκτέλεση διαγραφιών.

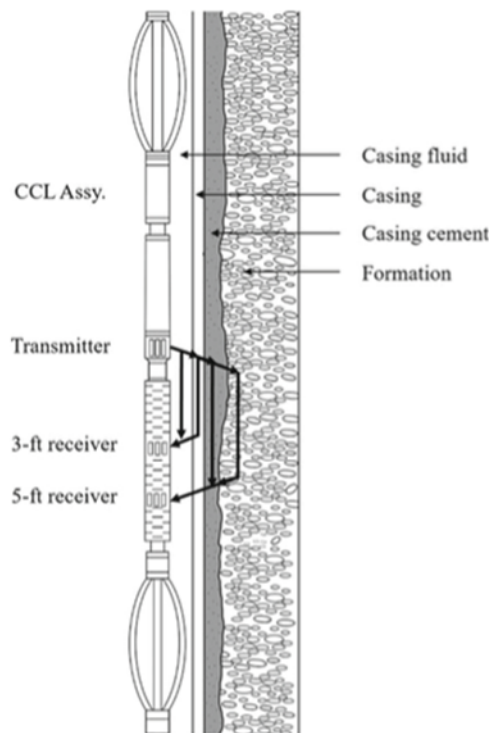
Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές από τις παραπάνω μεθόδους για την επαλήθευση της ακεραιότητας του μόνιμου φραγμού σε συνθήκες πεδίου.

#### **4.6.1. Επαλήθευση σφράγισης φραγμού στον δακτύλιο της γεώτρησης (annular verification)**

Για την επαλήθευση της σωστής λειτουργίας του φραγμού στον δακτύλιο πίσω από τη σωλήνωση χρησιμοποιούνται διαγραφίες όπως: ακουστικές διαγραφίες (acoustic logging), διαγραφίες ήχων διαρροών (noise logging), διαγραφίες θερμοκρασίας (temperature logging) καθώς και η δοκιμή υδραυλικής πίεσης (hydraulic pressure testing).

- Ακουστικές διαγραφίες (acoustic logging): Αποτελούν την κύρια μέθοδο επαλήθευσης της ακεραιότητας ενός μόνιμου φραγμού και χρησιμοποιούνται πιο συχνά από οποιαδήποτε άλλη στην πετρελαϊκή βιομηχανία. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου, ένα ακουστικό σήμα που εκπέμπεται από έναν πομπό, μεταφέρεται στη γεώτρηση και διαπερνάει τα ρευστά εντός αυτής, τη σωλήνωση, τον μόνιμο φραγμό και τους γύρω σχηματισμούς και έπειτα επιστρέφει πίσω σε δύο δέκτες (Εικόνα 4-29). Στη συνέχεια, οι μηχανικοί αναλύουν και ερμηνεύουν τα σήματα που λαμβάνουν οι δέκτες για να εξάγουν συμπεράσματα σχετικά με την ποιότητα του φραγμού.





Εικόνα 4-29. Μέθοδος ακουστικών διαγραφιών (acoustic logging) (Khalifeh & Saasen, 2020)

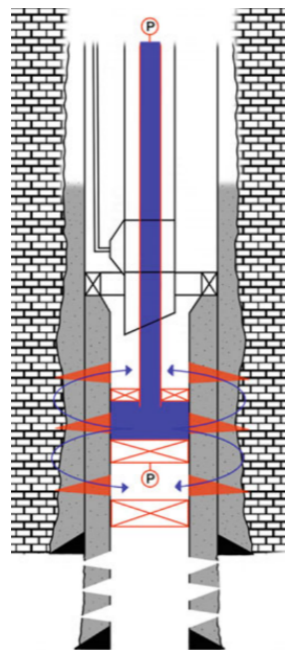
- Διαγραφίες ήχων διαρροών (noise logging): Με τη συγκεκριμένη μέθοδο εντοπίζονται και αναλύονται ορισμένοι θόρυβοι που δύναται να προκύψουν από διαρροές εντός της γεώτρησης, ως αποτέλεσμα της μη αποτελεσματικής λειτουργίας ενός μόνιμου φραγμού μέσα σε εκείνη. Όταν συμβαίνει μια διαρροή μέσα από κάποια ρωγμή του τσιμέντου, ο ήχος που παράγεται εξαρτάται από το μέγεθος και τη γεωμετρία της ρωγμής, τον ρυθμό διαρροής και τα υλικά γύρω από τη διαρροή. Αν ο παραγόμενος θόρυβος είναι πάνω από ένα ορισμένο όριο μπορεί να ανιχνευτεί και να αναλυθεί. Τέτοιου είδους θόρυβοι εντοπίζονται είτε με την τεχνική της παθητικής καταγραφής ήχων διαρροών (passive noise logging), είτε με την τεχνική της ενεργητικής καταγραφής (active noise logging). Οποιαδήποτε ροή ρευστού μέσα από μια οδό διαρροής παράγει θόρυβο με δύο μετρήσιμες παραμέτρους: την ένταση και τη συχνότητα. Ως ένταση του θορύβου (ακουστική ένταση - acoustic intensity) ορίζεται η ενέργεια που μεταφέρεται από το ηχητικό κύμα ανά μονάδα επιφάνειας. Στο πλαίσιο μιας διαρροής, η ένταση του ήχου εξαρτάται από την παροχή του ρευστού και τη διαφορική πίεση οδήγησης αυτού, ενώ η συχνότητα του θορύβου εξαρτάται από τη γεωμετρία της οδού διαρροής. Γενικά ισχύει ότι όταν ένα ρευστό ρέει με ευκολία μέσα από μία μεγάλη περιοχή, τότε παράγεται ένας ήχος χαμηλής συχνότητας, ενώ όπου

υπάρχει δυσκολία ροής του ρευστού, μέσα από στενούς χώρους παράγεται ένας ήχος υψηλής συχνότητας.

Κατά την παθητική καταγραφή ήχων διαρροών τοποθετούνται μέσα στη γεώτρηση εργαλεία που καταγράφουν τον θόρυβο που παράγεται από διαρροές σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων με υψηλή ανάλυση και υψηλή ευαισθησία. Κατά την ενεργητική καταγραφή των ήχων διαρροής, ένας πολύ μικρός ακουστικός παλμός αποστέλλεται στην υπό εξέταση περιοχή και στη συνέχεια καταγράφεται το ανακλώμενο σήμα. Έπειτα, η διαδικασία επαναλαμβάνεται και τα ανακλώμενα σήματα συγκρίνονται μεταξύ τους. Εάν δεν εντοπίζονται διαφορές μεταξύ τους, αυτό συνεπάγεται ότι δεν υπάρχουν αλλαγές στο υλικό πίσω από τη σωλήνωση. Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου έναντι της παθητικής καταγραφής ήχων διαρροής είναι ότι παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία σε ένα ευρύτερο φάσμα παροχών, παρέχει ποσοτική εκτίμηση της ταχύτητας της ροής, μπορεί να βοηθήσει στον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ των οδών διαρροής και στην ανίχνευση της μετανάστευσης αερίου μέσα από τη στήλη ρευστού που πληρώνει την οδό διαρροής.

- Διαγραφίες θερμοκρασίας (temperature logging): Η μέθοδος αυτή έχει ως στόχο τον εντοπισμό θερμοκρασιακών ανωμαλιών πίσω από τη σωλήνωση της γεώτρησης ως αποτέλεσμα της ενυδάτωσης του τσιμέντου (cement hydration) ή της διαρροής ρευστών. Οι πιο γνωστές μέθοδοι εκτέλεσης διαγραφιών θερμοκρασίας είναι: η ανίχνευση ενυδάτωσης του τσιμέντου (cement hydration detection), η καταγραφή της ακτινικώς διαφορικής θερμοκρασίας (radial differential temperature), η ενεργητική καταγραφή θερμοκρασίας (active temperature logging) και η ανίχνευση θερμοκρασιακών διαταραχών (disturbed temperature sensing) με χρήση οπτικών αισθητήρων (fiber-optic sensing).
- Δοκιμή υδραυλικής πίεσης (hydraulic pressure test): Όταν δεν είναι δυνατή η εκτέλεση ακουστικών διαγραφιών ή για την εκτέλεσή τους απαιτείται σημαντικός χρόνος, η δοκιμή υδραυλικής πίεσης αποτελεί μια εναλλακτική μέθοδο για την αποτίμηση της ακεραιότητας ενός μόνιμου φραγμού. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να είναι: η επαλήθευση της τσιμέντωσης πίσω από τη σωλήνωση όταν οι σωλήνες παραγωγής παραμένουν μέσα στη γεώτρηση, η επαλήθευση των φραγμών στον δακτύλιο πίσω από τη δεύτερη στήλη σωλήνωση ή όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος PWC (διατρύπησης της σωλήνωσης, έκπλυσης και τσιμέντωσης) για την κατασκευή τόσο

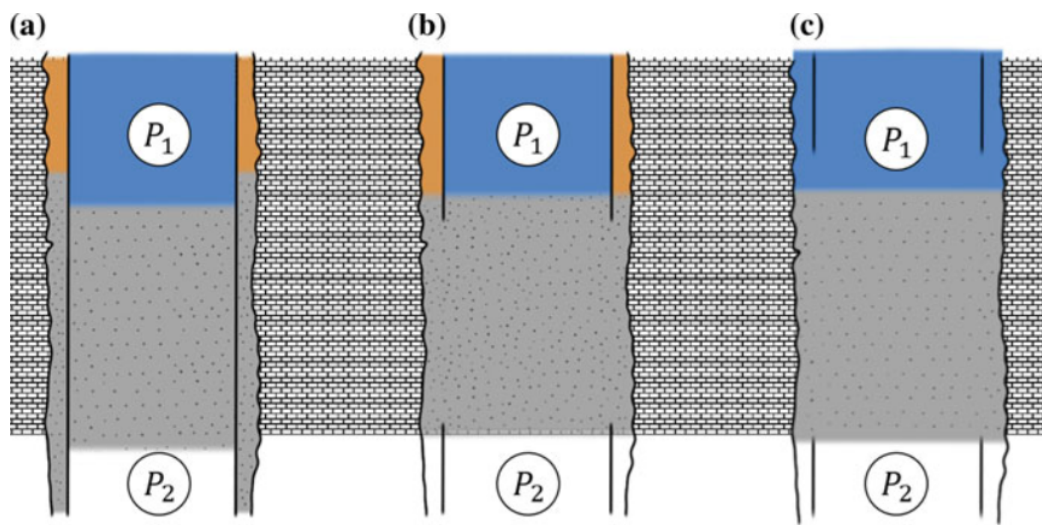
των εσωτερικών όσο και των εξωτερικών φραγμών. Κατά την εκτέλεση αυτής της δοκιμής τοποθετείται ένα μηχανικό πώμα (bridge plug) εκεί όπου εκτιμάται ότι βρίσκεται η βάση του μόνιμου φραγμού. Έπειτα, λαμβάνει χώρα ο έλεγχος στεγανότητας του πώματος (pressure test) και αν είναι επιτυχής διανοίγονται οπές σε ένα μικρό παράθυρο πάνω από το πώμα. Πολύ πάνω από τις διανοιχθείσες οπές τοποθετείται δεύτερο μηχανικό πώμα το οποίο είναι εξοπλισμένο με ασύρματο μανόμετρο (wireless pressure gauge). Και αυτό το πώμα υπόκειται σε έλεγχο στεγανότητας. Με τον επιτυχή έλεγχο και του δεύτερου πώματος, διανοίγονται επιπλέον οπές πάνω από το δεύτερο πώμα (Εικόνα 4-30). Μια στήλη εργασίας (work string) εξοπλισμένη με ένα παρέμβυσμα (packer) καθελκύεται μέσα στο γεώτρηση και το παρέμβυσμα τοποθετείται πάνω από τη δεύτερη περιοχή οπών. Μέσω της στήλης εργασίας εισπιέζεται ένα ρευστό και καταγράφονται οι αλλαγές στην πίεση. Αν δεν καταγραφούν αλλαγές στα μανόμετρα που βρίσκονται κάτω από το δεύτερο μηχανικό πώμα (downhole pressure gauge) και στην επιφάνεια (surface gauge), ο μόνιμος φραγμός πίσω από τη σωλήνωση (annular barrier) είναι επαρκής. Τα δεδομένα που προκύπτουν από την εκτέλεση αυτής της δοκιμής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαπίστωση της υδραυλικής επικοινωνίας μεταξύ των σχηματισμών (όπου διανοίχτηκαν οι οπές), αλλά και για τη συσχέτιση των δεδομένων πίεσης με την αναμενόμενη αντοχή των σχηματισμών (Khalifeh & Saasen, 2020).



Εικόνα 4-30. Δοκιμή υδραυλικής πίεσης για τον έλεγχο του μόνιμου φραγμού στον δακτύλιο πίσω από τη δεύτερη σωλήνωση (Khalifeh & Saasen, 2020)

#### 4.6.2. Επαλήθευση σφράγισης στο εσωτερικό της γεώτρησης (internal barrier verification)

Για τον έλεγχο της ακεραιότητας της σφράγισης στο εσωτερικό της γεώτρησης, είτε πρόκειται για σωληνωμένη, είτε για μη σωληνωμένη γεώτρηση εκτελείται κι εδώ η δοκιμή υδραυλικής πίεσης (hydraulic pressure testing). Η δοκιμή εκτελείται στα υπό εξέταση πώματα που έχουν εγκατασταθεί στο εσωτερικό της σωλήνωσης, στα πώματα σε μη σωληνωμένο τμήμα της γεώτρησης, είτε αυτά εκτείνονται ως το άνωθεν σωληνωμένο τμήμα, είτε όχι (Εικόνα 4-31).



Εικόνα 4-31. Πώματα τσιμέντου μέσα στη γεώτρηση: a πώμα εντός σωληνωμένου τμήματος με κατάλληλο φραγμό τσιμέντου πίσω από τη σωλήνωση, b πώμα σε μη σωληνωμένο τμήμα της γεώτρησης που εκτείνεται ως το άνωθεν σωληνωμένο τμήμα, c πώμα εξ ολοκλήρου εντός μη σωληνωμένου τμήματος (Khalifeh & Saasen, 2020)

#### 4.7. Τύποι & υλικά κατασκευής μόνιμων φραγμών (πωμάτων)

Για τη μόνιμη σφράγιση και απομόνωση των γεωτρήσεων τα πώματα από τσιμέντο Portland αποτελούν τον πιο διαδεδομένο τύπο και υλικό για τη συγκεκριμένη εργασία. Παρόλα αυτά, λόγω ορισμένων μειονεκτημάτων του συγκεκριμένου υλικού (ευθραυστότητα, συρρίκνωση, εξαλλοίωση λόγω έκθεσης σε ψηλές θερμοκρασίες και χημικές ουσίες), η έρευνα στον τομέα αυτόν εξετάζει εναλλακτικά υλικά, εκτός του τσιμέντου Portland, που δύναται να χρησιμοποιηθούν ως υλικά κατασκευής των μόνιμων φραγμών των γεωτρήσεων κατά τη σφράγιση και εγκατάλειψή τους. Στον Πίνακα 4-5

παρουσιάζονται συνοπτικά τα υλικά αυτά, κάποια από τα οποία χρησιμοποιούνται ήδη ως μόνιμοι φραγμοί στη διαδικασία σφράγισης γεωτρήσεων, ενώ κάποια άλλα βρίσκονται ακόμα υπό έρευνα. Τα κριτήρια επιλογής του κατάλληλου υλικού και οι προδιαγραφές του εξαρτώνται από την ισχύουσα νομοθεσία.

Πίνακας 4-5. Υλικά κατασκευής μόνιμων φραγμών για τη σφράγιση και εγκατάλειψη των γεωτρήσεων Y/A (Khalifeh & Saasen, 2020)

Τύπος	Υλικό	Παραδείγματα
1	Τσιμέντα (υλικό που πήζει)	Τσιμέντο Portland, τσιμέντο ποζολάνης, τσιμέντο με υψηλή περιεκτικότητα σε σκωρία υψικαμίνου (blast furnace slag-based cement), οξυφωσφορικό τσιμέντο (phosphate cements), γεωπολυμερή (geopolymers), κεραμικά ειδικής σκλήρυνσης (hardening ceramics)
2	In situ σχηματισμοί	Σχιστόλιθος, άλας, άργιλος
3	Ρευστοκονιάματα (grouts) (υλικά που δεν πήζουν)	Μη συνεκτικά μίγματα άμμου ή αργίλου (unconsolidated sand or clay mixtures), pellets μπεντονίτη, πώματα βαρύτη (barite plugs), ανθρακικό ασβέστιο (calcium carbonate)
4	Θερμοσκληρινόμενα πολυμερή & σύνθετα υλικά (thermosetting polymers & composites)	Ρητίνες, εποξεικά, πολυεστέρες, εστέρες βινυλίου, ενισχυμένα με ίνες υάλου, αφροί ουρεθάνης, φαινόλες
5	Θερμοπλαστικά πολυμερή & σύνθετα υλικά (thermoplastic polymers & composites)	Πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο, πολυαμίδιο, πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE), πολυαιθερική αιθερική κετόνη (PEEK), θειούχο παράγωγο του πολυφαινυλενίου (PPS), φθοριούχο πολυβινυλιδένιο (PVDF) και πολυανθρακικό, ενισχυμένο με ίνες υάλου
6	Μέταλλα	Χάλυβας, άλλα κράματα όπως το κράμα βισμούθιου
7	Τροποποιημένοι in situ σχηματισμοί	Το υλικό του φραγμού συντίθεται από την επί τόπου σωλήνωση και/ή τον σχηματισμό γύρω από αυτή μέσω θερμικής ή χημικής τροποποίησης
8	Ελαστομερή πολυμερή & σύνθετα υλικά (elastomeric polymers & composites)	Φυσικό καουτσούκ, νεοπρένιο, νιτρίλιο, μονομερές αιθυλοπροπυλενοδιενίου (EPDM), Fluoroelastomer (FKM), φθοριοελαστομερές (FFKM), καουτσούκ σιλκόνης, πολυουρεθάνη, καουτσούκ πολυουρεθάνης και διογκούμενο, ενισχυμένα με ίνες υάλου
9	Πηκτώματα (gel)	Πηκτώματα πολυμερών, πολυσακχαρίδια, κόλλες, πηκτώματα πυριτικής βάσης, πηκτώματα αργλικής βάσης, μίγματα ντίζελ/αργίλου
10	Γυαλί	

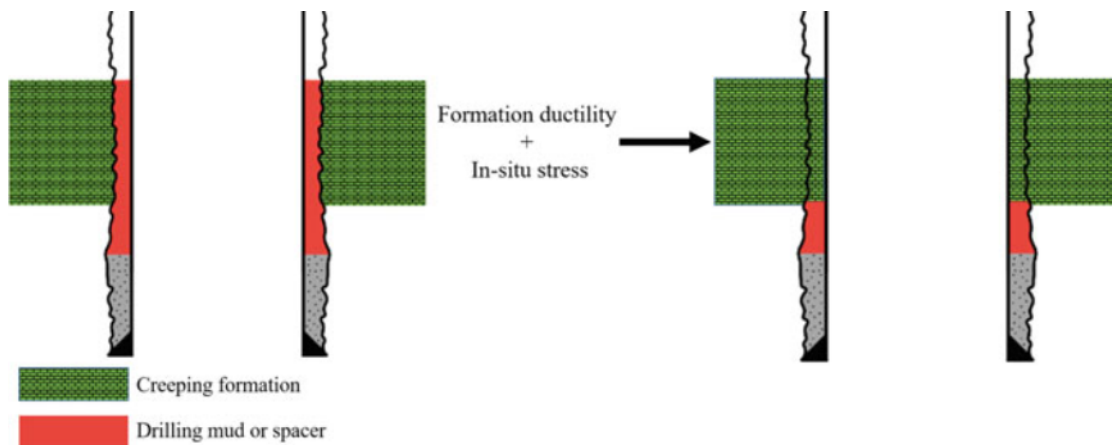
#### 4.7.1. Πώματα από τσιμέντο Portland

Σύμφωνα με το American Petroleum Institute (API) έχουν τυποποιηθεί 9 κατηγορίες τσιμέντου Portland για χρήση στις γεωτρήσεις Y/A, ως εξής:

- API Class A: Αποτελεί κοινό τύπο τσιμέντου Portland και είναι κατάλληλο προς χρήση από την επιφάνεια μέχρι βάθους 6000 ft. Δεν είναι ανθεκτικό στα θειικά άλατα και δύναται να χρησιμοποιηθεί όταν δεν απαιτούνται ειδικές ιδιότητες και οι συνθήκες της γεώτρησης το επιτρέπουν.
- API Class B: Παρόμοια με την προηγούμενη κατηγορία, είναι κατάλληλο προς χρήση από την επιφάνεια μέχρι βάθους 6000 ft. Διατίθεται με μέτρια και υψηλή αντοχή στα θειικά άλατα.
- API Class C: Είναι τσιμέντο υψηλής αρχικής αντοχής (high early strength cement) και χρησιμοποιείται όπου αυτό απαιτείται. Είναι κατάλληλο προς χρήση από την επιφάνεια μέχρι βάθους 6000 ft και διατίθεται με τυπική, μέτρια και υψηλή αντοχή σε θειικά άλατα.
- API Class D: Είναι τύπος τσιμέντου με καθυστέρηση πήξης (retarded cement) κατάλληλο προς χρήση σε βάθη από 6000 ft έως 10000 ft και σε συνθήκες μέτριας μέχρι υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης. Διατίθεται με μέτρια ή υψηλή αντοχή σε θειικά άλατα.
- API Class E: Είναι τύπος τσιμέντου με καθυστέρηση πήξης (retarded cement) και χρησιμοποιείται σε βάθη από 10000 ft έως 14000 ft και υπό συνθήκες πολύ υψηλών θερμοκρασιών και πίεσης. Διατίθεται με μέτρια ή υψηλή αντοχή σε θειικά άλατα.
- API Class F: Χρησιμοποιείται σε βάθη από 10000 ft έως 16000 ft και υπό συνθήκες πάρα πολύ υψηλών θερμοκρασιών και πίεσης. Διατίθεται με μέτρια ή υψηλή αντοχή σε θειικά άλατα.
- API Class G: Χρησιμοποιείται ως βασικό τσιμέντο από την επιφάνεια μέχρι βάθους 8000 ft. Κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε με προσθήκη συστατικών επίσπευσης ή καθυστέρησης της πήξης να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο εύρος βάθους και θερμοκρασίας. Διατίθεται με μέτρια ή υψηλή αντοχή σε θειικά άλατα.
- API Class H: Έχει τις ίδιες ιδιότητες με την προηγούμενη κατηγορία με μόνη διαφορά ότι διατίθεται μόνο με μέτρια αντοχή σε θειικά άλατα.
- API Class J: Αποτελεί μία κατηγορία που κατασκευάζεται μόνο κατόπιν παραγγελίας. Χρησιμοποιείται σε βάθη από 12000 ft μέχρι 16000 ft και είναι κατάλληλο για ακραία υψηλές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

#### 4.7.2. Χρήση in situ σχηματισμών ως μόνιμων φραγμών

Σε ορισμένες γεωτρήσεις Υ/Α, πολλές φορές οι διαγραφίες που εκτελούνται για τον έλεγχο της ποιότητας της τσιμέντωσης (sonic logs, ultrasonic azimuthal bond logs) παρέχουν πληροφορίες ότι υπάρχει πολύ καλή πρόσφυση του φραγμού με τον περιβάλλοντα σχηματισμό ακόμα και πάνω από τη θεωρητική κορυφή του τσιμέντου και/ή σε βάθη όπου δεν υπάρχει καθόλου τσιμέντωση ή έχει καταγραφεί τσιμέντωση κακής ποιότητας. Επιπροσθέτως, οι δοκιμές διαρροής που εκτελούνται (extended leak off –XLOT tests) δείχνουν επαρκή στεγανοποίηση. Η μόνη παράμετρος στην οποία μπορούν να αποδοθούν τα παραπάνω αποτελέσματα είναι οι in situ σχηματισμοί οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να κινούνται προς ή να διογκώνονται μέσα στο δακτύλιο πίσω από τη σωλήνωση, δημιουργώντας έτσι καλή στεγάνωση (Εικόνα 4-32).



Εικόνα 4-32. Ο in situ σχηματισμός διογκώνεται συμπιέζοντας τη σωλήνωση πάνω στα τοιχώματα της γεώτρησης και δημιουργεί έναν στεγανό φραγμό (Khalifeh & Saasen, 2020)

Σε αυτές τις περιπτώσεις αν ο in situ σχηματισμός διογκώνεται συμπιέζοντας τη σωλήνωση πάνω στα τοιχώματα της γεώτρησης και δημιουργεί καλή στεγάνωση με επαρκή αντοχή, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως κατάλληλος μόνιμος φυσικός φραγμός στον δακτύλιο πίσω από τη σωλήνωση. Παρόλα αυτά, δεν έχει λάβει χώρα περαιτέρω έρευνα σχετικά με την αντοχή των σχηματισμών που δύναται να δράσουν ως φυσικοί φραγμοί.

#### 4.7.3. Ρευστοκονιάματα (grouts) που δεν πήζουν

Προκειμένου να αποφευχθούν τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει το τσιμέντο Portland (κυρίως ευθρυπτότητα, συρρίκνωση, μετανάστευση αερίου πριν την πήξη του πολφού,



μακροπρόθεσμη υποβάθμιση της ποιότητάς του κατά την έκθεσή του σε υψηλές θερμοκρασίες και χημικές ουσίες), έχουν κατασκευαστεί ορισμένα εναλλακτικά υλικά. Πρόκειται για ρευστοκονιάματα που ωστόσο δεν πήζουν, όπως το τσιμέντο. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται οι πολφοί άμμου (Εικόνα 4-33), τα πέλετ μπετονίτη, τα πώματα ανθρακικού ασβεστίου και βαρύτη.



Εικόνα 4-33. Χρήση πολφού άμμου ως εναλλακτικό υλικό πώματος γεώτρησης (Khalifeh & Saasen, 2020)

Τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όσον αναφορά τη χρήση αυτού του τύπου των υλικών ως μόνιμων φραγμών κατά τη διαδικασία σφράγισης μίας γεώτρησης, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-6.

Πίνακας 4-6. Πλεονεκτήματα και δυνητικά όρια χρήσης ρευστοκονιαμάτων που δεν πήζουν ως μόνιμοι φραγμοί σφράγισης και εγκατάλειψης γεωτρήσεων (Khalifeh & Saasen, 2020)

Πλεονεκτήματα	Δυνητικά όρια χρήσης
Ευέλικτα υλικά	Όσο πιο υψηλό το όριο διαρροής τους τόσο μεγαλύτερες οι δυσκολίες όσον αφορά την αντλησιμότητά τους (rumpability)
Δεν διασπώνται	Χρειάζεται να τοποθετηθούν σε κατάλληλη μόνιμη θεμελίωση για να χρησιμοποιηθούν ως μόνιμος φραγμός
Δεν υπόκεινται σε συρρίκνωση	Δεν αναπτύσσουν ισχυρούς χημικούς δεσμούς με τους γύρω σχηματισμούς ή τη σωλήνωση
Μη τοξικά υλικά	Οι συμβατικές μέθοδοι επαλήθευσης των φραγμών ενδέχεται να μην είναι εφαρμόσιμες για



Πλεονεκτήματα	Δυνητικά όρια χρήσης
Φυσικώς αναγεννώμενα υλικά	τον προσδιορισμό της κορυφής του πώματος. Απαιτείται η εγκατάσταση περιοριστικών διατάξεων για να εξασφαλίζουν επαρκή στεγάνωση
Αεροστεγή υλικά	Η αναποτελεσματική εισπίεση του υλικού μπορεί να προκαλέσει τη μετατόπισή του
Δεν είναι απαραίτητη η αναμονή για την στερεοποίησή τους	

#### 4.7.4. Θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή & σύνθετα υλικά (thermosetting polymers & composites)

Τα συγκεκριμένα υλικά είναι οργανικές ενώσεις που χαρακτηρίζονται από την τρισδιάστατη δομή τους και το χαμηλό μοριακό τους βάρος (<10000 g/mol). Ο όρος πολυμερές περιγράφει ένα μακρομόριο που αποτελείται από πολλά μονομερή. Οι ρεολογικές και μηχανικές ιδιότητες των πολυμερών εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως: η μονάδα του μονομερούς, οι δεσμοί μεταξύ των μονομερών, οι ενδομοριακές και διαμοριακές δυνάμεις μεταξύ των μορίων των πολυμερών. Στα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή τα μακρομόριά τους διασυνδέονται ισχυρά μεταξύ τους και χάρη σε αυτή την ισχυρή διασύνδεση αναπτύσσουν μεγάλη αντοχή. Οι διασυνδέσεις μεταξύ των μορίων μπορούν να σπάσουν υπό την επίδραση της θερμοκρασίας ή χημικών ουσιών, αλλά μόνο υπό ακραίες συνθήκες.

Οι θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες σταθεροποιούνται υπό την παρουσία καταλυτών, υπό θέρμανση και πίεση ή συνδυασμό αυτών. Η σταθεροποίηση τέτοιων υλικών είναι μη αναστρέψιμη, γεγονός που υποδηλώνει ότι το υλικό δεν δύναται να αναθερμανθεί ή να αποκτήσει καινούργιο σχήμα μετά τη σταθεροποίησή του.

Τα θερμοπλαστικά πολυμερή είναι συνήθως σε υγρή φάση πριν τη σταθεροποίησή τους, όπως η ρητίνη που φαίνεται στην Εικόνα 4-34. Η χημική αντίδραση λαμβάνει χώρα κατά τη θέρμανση του πολυμερούς και έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό ισχυρών ομοιοπολικών δεσμών και διαμοριακών διασυνδέσεων. Η ανθεκτικότητα αυτών των υλικών εξαρτάται από την πυκνότητα των δεσμών που έχουν αναπτυχθεί. Τα θερμοπλαστικά πολυμερή συνήθως υφίστανται μόνιμη ή πλαστική παραμόρφωση υπό την επίδραση φορτίου.

Η χρήση των θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών στην πετρελαϊκή βιομηχανία ξεκίνησε ήδη από τη δεκαετία του 1960, όταν οι ρητίνες προτάθηκαν για την αντιμετώπιση της της

παραγωγής άμμου (sand control). Έκτοτε η χρήση τους εξαπλώθηκε στον έλεγχο των απωλειών πολφού διάτρησης, σε διορθωτικές εργασίες ειδικά στη σφράγιση μικρορωγμών, διαρροών στη σωλήνωση, κατά τη διατρύπηση και τις εργασίες τσιμέντωσης, και στην παραγωγή τσιμέντου με βάση τη ρητίνη.



Εικόνα 4-34. Υφή και χρώμα θερμοσκληρυνόμενης ρητίνης (Khalifeh & Saasen, 2020)

Σχετικά πρόσφατα η πετρελαϊκή βιομηχανία προχώρησε στην κατασκευή πωμάτων από ρητίνη σε αντικατάσταση των πωμάτων από τσιμέντο για την απομόνωση επιμέρους ζωνών της γεώτρησης και τη σφράγιση και εγκατάλειψή τους. Τα πώματα από ρητίνη εισήχθησαν για τον βελτιωμένο έλεγχο της μετανάστευσης αερίου (gas migration) που προσφέρουν, καθώς αποτρέπουν το σχηματισμό ενός μικρο-δακτυλίου (micro-annulus) διαρροής αερίου μεταξύ της σωλήνωσης και του πώματος (Εικόνα 4-35).



Εικόνα 4-35. Γεώτρηση από την οποία διαφεύγουν φυσαλίδες αερίου μετά τη σφράγιση και εγκατάλειψή της (Grismala, 2015)

Οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται στα πώματα των γεωτρήσεων είναι αδιαπέρατες από αέρια και άλλα ρευστά. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα κατά τη σταθεροποίησή τους είναι εξώθερμη και η ρητίνη διογκώνεται ελαφρά κατά τη σκλήρυνσή της συμπιέζοντας το πώμα ή πληρώνοντας τυχόν κενά. Ορισμένες ρητίνες μπορούν να συμπιεστούν εντός μικρο-κενών του τσιμέντου. Εκτός από τις ανώτερες ιδιότητες ροής, τα πώματα από τσιμέντο παρουσιάζουν επίσης πάνω από 200 φορές μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό έναντι των πωμάτων από τσιμέντο, και αντοχή σε συμπίεση μεγαλύτερη από 8.000 psi, ενώ η διατμητική αντοχή συγκόλλησής τους πάνω στη σωλήνωση (shear bond strength) ανέρχεται σε 1.650 psi. Όντας λιγότερο εύθραυστα από τα πώματα τσιμέντου, τα πώματα ρητίνης δεν θρυμματίζονται και δεν σπάνε όταν εκτίθενται σε κραδασμούς που προκαλούνται από φορτία εκρήξεων (explosive charges).

#### 4.7.5. Μέταλλα

Υπάρχουν ορισμένοι τύποι μετάλλων με χαμηλό σημείο τήξης που έχουν προταθεί για χρήση ως μόνιμοι φραγμοί στη σφράγιση μίας γεώτρησης, όπως, το βισμούθιο, το γάλλιο και το αντιμόνιο ή ευτηκτικά κράματα (Cerro alloy). Τα ευτηκτικά κράματα μετάλλων τήκονται και στερεοποιούνται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από το σημείο τήξης κάθε μετάλλου που περιέχεται στο κράμα ή οποιοδήποτε άλλο συνδυασμό τους. Στην πετρελαϊκή βιομηχανία το πιο γνωστό ευτηκτικό κράμα είναι το κράμα βισμούθιου.

Στον Πίνακα 4-7 παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα δυνητικά όρια χρήσης αυτών των μεταλλικών κραμάτων ως μόνιμοι φραγμοί. Καθώς το κράμα βισμούθιου δε δημιουργεί κανενός είδους φυσικό δεσμό με τη σωλήνωση, βασίζεται στη διόγκωση (expansion) προκειμένου να αναλάβει τα μηχανικά και υδραυλικά φορτία. Επιπροσθέτως, αν η δύναμη που ασκείται πάνω στη σωλήνωση, λόγω της διόγκωσης του κράματος, είναι πολύ μεγάλη τότε μπορεί να επέλθει παραμόρφωση της τσιμέντωσης πίσω από τη σωλήνωση η οποία θέτει σε κίνδυνο την ακεραιότητά της.

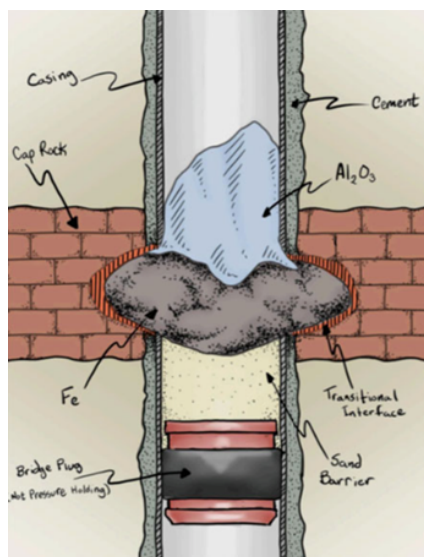
Πίνακας 4-7. Πλεονεκτήματα και δυνητικά όρια χρήσης μεταλλικών κραμάτων ως μόνιμοι φραγμοί για τη σφράγιση και εγκατάλειψη γεωτρήσεων (Khalifeh & Saasen, 2020)

Πλεονεκτήματα	Δυνητικά όρια χρήσης & μειονεκτήματα
Χαμηλή διαπερατότητα ή αδιαπέρατα	Δεν υπάρχουν δεδομένα όσον αναφορά τη μονωτική τους ικανότητα
Χρήση χωρίς γεωτρητική μονάδα (rigless operation)	Δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με την ανθεκτικότητά τους

Πλεονεκτήματα	Δυνητικά όρια χρήσης & μειονεκτήματα
Δεν εκρήγνυνται	Δε σχηματίζουν χημικούς δεσμούς με τους γύρω σχηματισμούς ή με τη σωλήνωση
Δεν υπόκεινται σε συρρίκνωση	Αβεβαιότητα σχετικά με τη δυνατότητα εκτόπισης των ρευστών μέσα στη γεώτρηση
	Δυσκολία ελέγχου διάδοσης της θερμότητας κατά την εγκατάσταση του πώματος στο περιβάλλον γύρω από αυτό
	Δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με την αντοχή του υδραυλικού δεσμού με τον σχηματισμό και τον χάλυβα της σωλήνωσης
	Σχετικά εύθραστο για μεταλλικό υλικό
	Δεν υπάρχει αξιόπιστη μέθοδος επαλήθευσης της στεγανότητας του φραγμού
	Το μέγιστο μήκος του φραγμού είναι περιορισμένο

#### 4.7.6. Τροποποιημένοι in situ σχηματισμοί

Σε ερευνητικό στάδιο βρίσκεται μία καινούργια και καινοτόμα διαδικασία για έναν νέο τύπο φραγμού για τη σφράγιση μίας γεώτρησης, χωρίς της χρήση γεωτρητικής εξέδρας (rigless) και με πολύ αποτελεσματικό τρόπο. Η συγκεκριμένη διαδικασία περιλαμβάνει την επιλογή ενός ενδιάμεσου σχηματισμού-στόχου μέσα στη γεώτρηση, την τήξη των επί τόπου στοιχείων αυτής (εξοπλισμός τσιμέντωση, περιβάλλον σχηματισμός) και, εν τέλει, τη δημιουργία ενός στερεοποιημένου φραγμού, μετά την ψύξη εκείνων, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-36. Για την τήξη όλων των in situ υλικών στη ζώνη-στόχο της γεώτρησης, χρησιμοποιείται θερμίτης (thermite) ως πηγή ενέργειας για την παραγωγή της απαιτούμενης ποσότητας θερμότητας που απαιτείται.



Εικόνα 4-36. Αναπαράσταση της διαδικασίας τροποποίησης του in situ σχηματισμού και των στοιχείων της γεώτρησης για τη διαμόρφωση μόνιμου φραγμού (Khalifeh & Saasen, 2020)

Στον Πίνακα 4-8 παρουσιάζονται ορισμένα πλεονεκτήματα και δυνητικοί περιορισμοί στη χρήση αυτού του τύπου φραγμού στη διαδικασία σφράγισης μίας γεώτρησης.

Πίνακας 4-8. Πλεονεκτήματα και δυνητικά όρια χρήσης των τροποποιημένων in situ σχηματισμών & στοιχείων της γεώτρησης ως μόνιμων φραγμών (Khalifeh & Saasen, 2020)

Πλεονεκτήματα	Δυνητικά όρια χρήσης
Διαδικασία χωρίς τη χρήση γεωτρητικής εξέδρας (rigless operation)	Ο φραγμός αποτελείται κυρίως από Fe, γεγονός που δημιουργεί προβληματισμό σχετικά με την μακροπρόθεσμη αντοχή του
Ασφαλής διαχείριση και περιορισμένες απαιτήσεις σε εξοπλισμό	Εάν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας υπάρχουν ρευστά στη γεώτρηση, μπορεί να δημιουργηθεί πρόβλημα στεγανοποίησης του φραγμού
	Το μέγιστο μήκος του φραγμού είναι περιορισμένο
	Η διάμετρος της γεώτρησης θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορεί να διέλθει ο απαραίτητος εξοπλισμός για τη διαμόρφωση του φραγμού
	Σε κεκλιμένα τμήματα της γεώτρησης, όταν ο φραγμός βρίσκεται ακόμα σε υγρή φάση δύναται να διαχωριστεί, λόγω διαφοράς βάρους των διαφορετικών συστατικών του
	Δημιουργία μικρορωγμών κατά τη διαδικασία της ψύξης και στερεοποίησης του φραγμού
	Δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα για τη διαδικασία
	Δεν έχει ακόμα εμπορική χρήση

## *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Παροπλισμός και απόσυρση υπεράκτιων εξεδρών πετρελαίου και φυσικού αερίου και συναφούς εξοπλισμού*

### **5.1. Διαδικασίες παροπλισμού μίας υπεράκτιας εγκατάστασης πετρελαίου & φυσικού αερίου (decommissioning process)**

Η διαδικασία παροπλισμού μιας υπεράκτιας εξέδρας πετρελαίου και φυσικού αερίου καθορίζεται από τον τύπο και το μέγεθος της εγκατάστασης (μικρή εξέδρα από χάλυβα, μεγάλη εξέδρα από χάλυβα, εξαιρετικά μεγάλη εξέδρα από χάλυβα ή με βάση από σκυρόδεμα) και από τη θέση της (ρηχά ή βαθιά νερά). Σε κάθε περίπτωση συνεξετάζονται και οι νόμοι και οι κανονισμοί που ισχύουν στην περιοχή και είναι δυνατό να εξαιρούν ορισμένες από τις επιλογές παροπλισμού (Pors, Verbeek, Wurple, & Briët, 2011).

Μια τυπική υπεράκτια εξέδρα μεγάλου μεγέθους από χάλυβα στη Βόρεια Θάλασσα περιλαμβάνει (Ekins, Vanner, & Firebrace, 2005):

- Τα έξαλα μέρη της εξέδρας ('topside') που βρίσκονται πάνω από τα ίσαλα, πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, όπου λαμβάνουν χώρα όλες οι επιφανειακές διεργασίες.
- Το χωροδικτύωμα έδρασης της εξέδρας ('jacket'), το οποίο στηρίζει το άνω μέρος και είναι μια κατασκευή αποτελούμενη κατά κύριο λόγο από χαλύβδινους σωλήνες, με ύψος και βάρος που μπορεί να φτάνει τα 460–525 ft και 12.000–30.000 t, αντίστοιχα.
- Τα πέλματα της εξέδρας ('footings'), που αποτελούν τα χαμηλότερα και βαρύτερα τμήματα του χωροδικτύωματος έδρασης και εξετάζονται ξεχωριστά για τους σκοπούς του παροπλισμού. Τα πέλματα περιλαμβάνουν τις ομάδες των πασσάλων ('pile clusters') για την πασσάλωση της κατασκευής στον πυθμένα της θάλασσας, και ένα πλαίσιο όρυξης (drilling template), μέσα από το οποίο διανοίγονται οι γεωτρήσεις. Τα πέλματα μπορεί να είναι είτε χαλύβδινα, είτε από σκυρόδεμα.
- Έναν σωρό θρυμμάτων διάτρησης (pile of 'drill cuttings'), με ύψος ίσως και πάνω από 16 ft, πάνω στον πυθμένα της θάλασσας, κάτω από την εξέδρα, που αποτελείται από

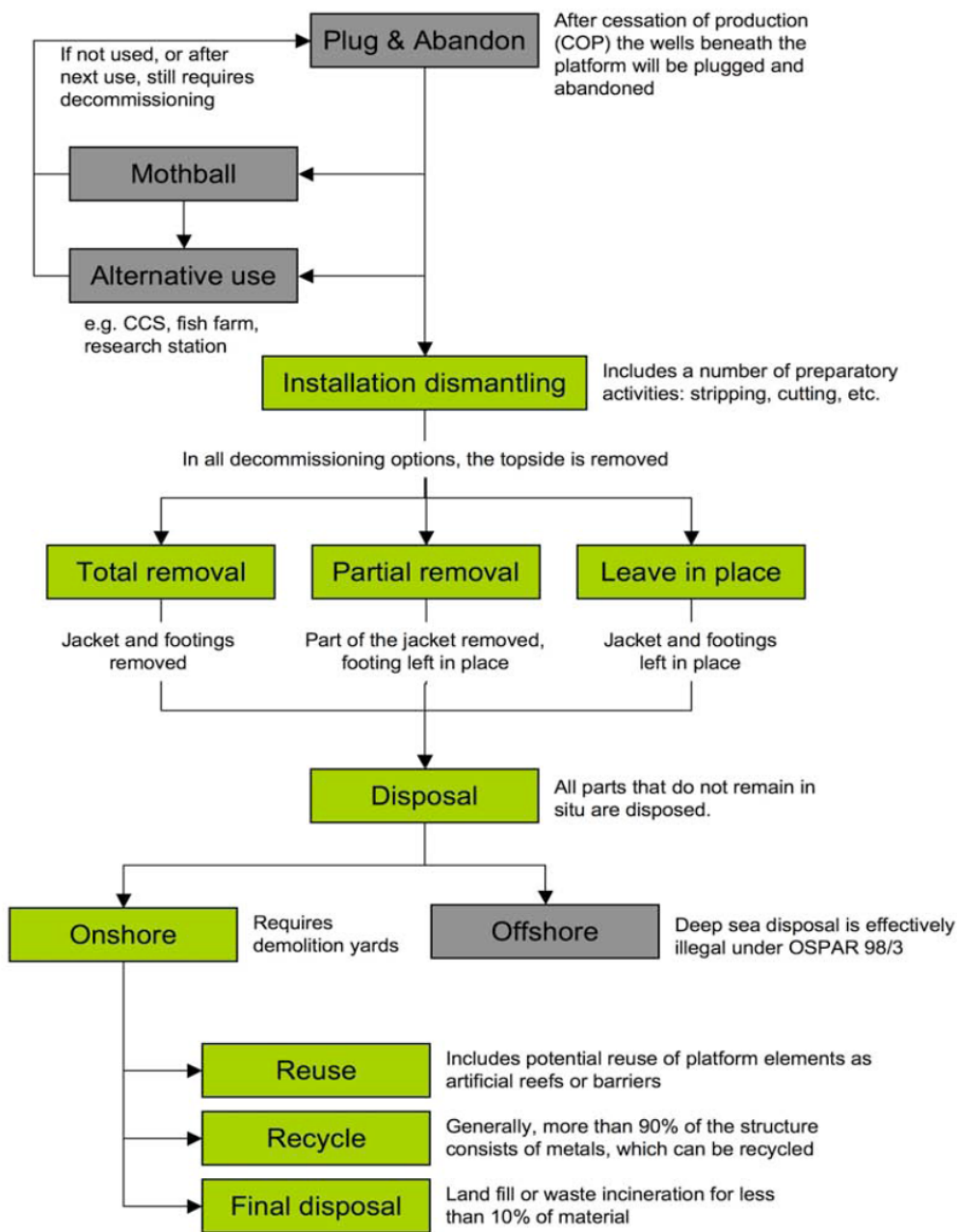
τα θρύμματα πετρωμάτων που απομακρύνθηκαν από την αρχική τους θέση κατά την όρυξη και ρευστά διάτρησης. Η πρακτική της απόρριψης των θρυμμάτων διάτρησης στη θάλασσα έπαυσε να εφαρμόζεται στη Βόρεια Θάλασσα, μόλις στις αρχές του 2000, όταν τέθηκε σε ισχύ σχετική απόφαση της Σύμβασης OSPAR που απαγόρευε την απόρριψη θρυμμάτων διάτρησης στη θάλασσα με περιεκτικότητα σε πετρέλαιο >1%.

- Συστήματα αγωγών (pipelines) για τη μεταφορά των παραγόμενων υδρογονανθράκων, τα οποία ενδεχομένως θα πρέπει επίσης να παροπλιστούν.

Στο Σχήμα 5-1 παρατίθεται ένα γενικό σχηματικό διάγραμμα των επιμέρους φάσεων παροπλισμού μιας υπεράκτιας εξέδρας και του συναφούς εξοπλισμού (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011). Όταν παύει η παραγωγή, η εξέδρα πετρελαίου ή φυσικού αερίου μπορεί να «αποσυρθεί προσωρινά» (mothballed), να προετοιμαστεί δηλαδή για τυχόν μελλοντική χρήση, και να παραμείνει σε αυτή την κατάσταση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτή η επιλογή προτιμάται όταν στο μέλλον αναμένονται καλύτερες συνθήκες για να συνεχιστεί η παραγωγή, π.χ. αύξηση της τιμής του πετρελαίου ή άλλες τεχνικές εξελίξεις. Εναλλακτικά, μια εγκατάσταση μπορεί να «αποσυρθεί προσωρινά» περιμένοντας να χρησιμοποιηθεί σε μια νέα λειτουργία, π.χ. ως σταθμός αποθήκευσης CO<sub>2</sub>, ως περιοχή αλιείας (fisheries), θαλάσσιας προστασίας (marine conservation), θαλάσσιων καλλιέργειών (maricultures), αναψυχής, υπεράκτιας ενέργειας και οργάνων παρακολούθησης των ωκεανών. Τέλος, μια εγκατάσταση μπορεί να «αποσυρθεί προσωρινά», επειδή ο απαραίτητος εξοπλισμός για την αποσυναρμολόγησή της δεν είναι διαθέσιμος. Ανεξάρτητα από τον τύπο παράτασης της διάρκειας ζωής της, κάποια στιγμή η εγκατάσταση θα πρέπει να παροπλιστεί.

Ανάλογα με την επιλογή παροπλισμού, μέρος της δομής ή ολόκληρη η δομή της εξέδρας αφαιρείται και απορρίπτεται. Όταν μέρος της δομής παραμένει επί τόπου, μπορεί είτε να παραμείνει όρθιο (standing), είτε να ανατραπεί (toppled). Ανάλογα με τα υλικά, τα υπολείμματα της δομής θα αποσυντεθούν σταδιακά σε μεγάλο χρονικό διάστημα (>100 χρόνια).





Σχήμα 5-1. Γενικό σχηματικό διάγραμμα των σταδίων και των επιλογών κατά τη διαδικασία παροπλισμού μιας υπεράκτιας εξέδρας. Οι σωροί των θρυμμάτων και οι αγωγοί δεν περιλαμβάνονται (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011)

Ως προς τις επιλογές διάθεσης του μέρους της δομής που απομακρύνεται, οι επιλογές είναι είτε να ρυμουλκηθεί στην ξηρά σε ναυπηγείο διάλυσης (demolition yard) για περαιτέρω επεξεργασία ή να ποντιστεί σε μια υπεράκτια τοποθεσία (offshore location). Κατά τη διάθεση στην ξηρά, τμήμα της δομής μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ή να ανακυκλωθεί, ενώ το υπόλοιπο διαχειρίζεται ως απόβλητο και είτε αποτεφρώνεται, είτε μεταφέρεται σε χώρο υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (landfill site). Η απόθεση σε θαλάσσια τοποθεσία,



η οποία απαγορεύεται επί του παρόντος βάσει των κανονισμών OSPAR, συνεπάγεται ρυμούλκηση τμημάτων της δομής σε μια επιλεγμένη περιοχή βαθέων υδάτων όπου θα διαλυθεί περαιτέρω.

Η εναλλακτική επαναχρησιμοποίηση δομών της εξέδρας περιλαμβάνει τη χρήση τους ως τεχνητών υφάλων ή φραγμών (artificial reefs or barriers). Σε αυτήν την περίπτωση η δομή ρυμουλκείται σε ρηγά νερά, όπου παρέχει το στερεό υπόβαθρο για έναν τεχνητό ύφαλο. Για τη μεταφορά δομών μιας εξέδρας για τη δημιουργία ενός τεχνητού υφάλου, είναι πιθανό οι δομές να ομαδοποιούνται για να μεγιστοποιήσουν τα οικολογικά οφέλη και να ελαχιστοποιήσουν το κόστος μεταφοράς. Η συγκέντρωση εξεδρών, όπως γίνεται στον Κόλπο του Μεξικού, επιτρέπει τη δημιουργία μεγάλων υφάλων και μπορεί να εφαρμοστεί για την προστασία των θαλάσσιων προστατευόμενων περιοχών από την παράνομη αλιεία (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011).

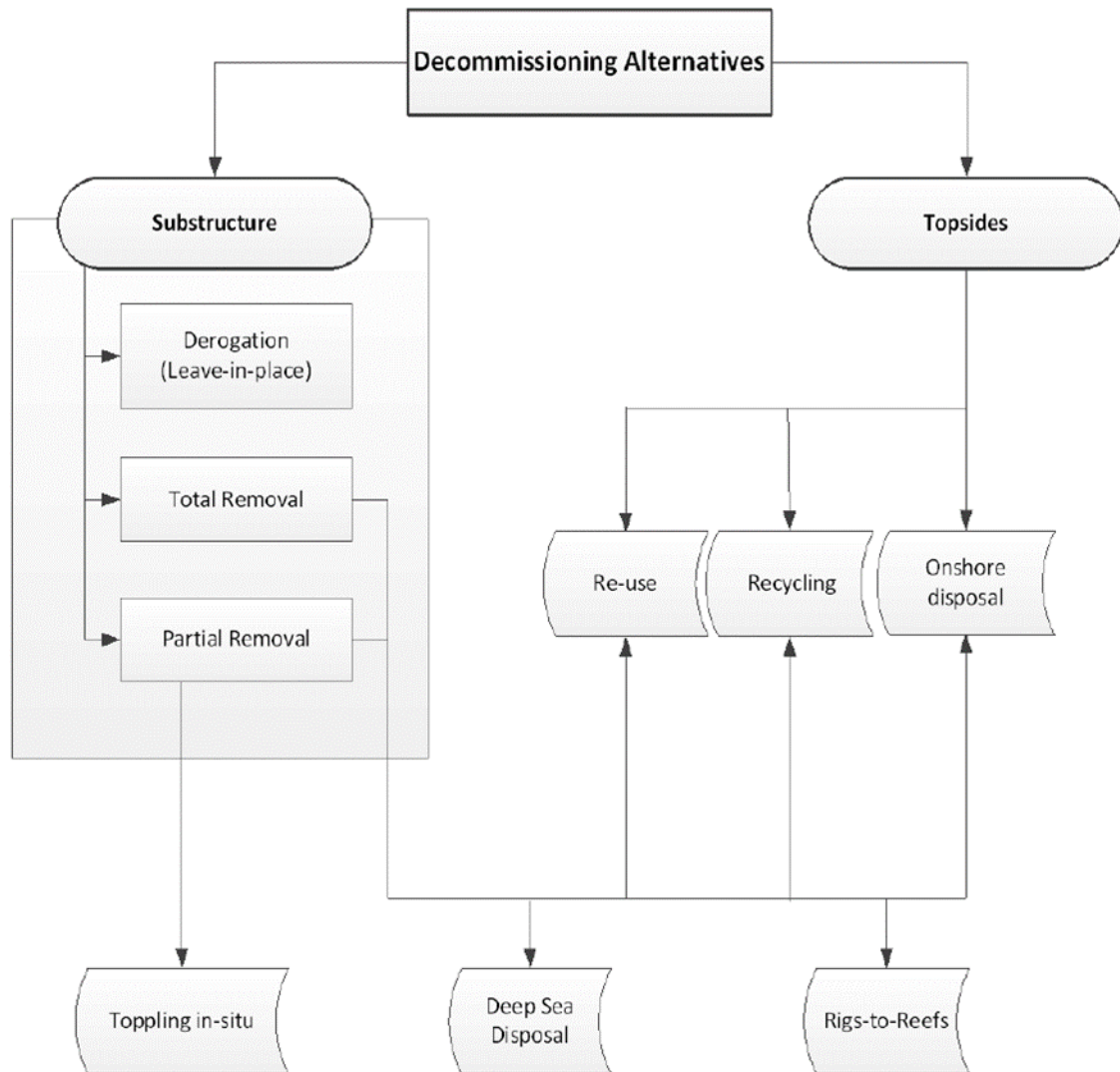
Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάζονται αρχικά οι συνήθεις εργασίες παροπλισμού της εξέδρας (έξαλα, jacket, πέλματα και συναφής εξοπλισμός). Σε αυτές περιλαμβάνονται και οι εργασίες της Φάσης 3 σφράγισης & εγκατάλειψης των γεωτρήσεων, που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4, και αφορούν στην αφαίρεση και απομάκρυνση της κεφαλής της γεώτρησης και της σωλήνωσης επαφής. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι εργασίες παροπλισμού των αγωγών και διαχείρισης των σωρών των θρυμμάτων διάτρησης, οι τρόποι διάθεσης των μερών της εξέδρας που απομακρύνονται και οι εργασίες επιβεβαίωσης του ασφαλούς παροπλισμού της εγκατάστασης και της μετέπειτα παρακολούθησής της.

## **5.2. Παροπλισμός εξέδρας & υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι επιλογές και οι διαδικασίες για την αποσυναρμολόγηση (dismantling) της υπεράκτιας εξέδρας αυτής καθ' αυτής που περιλαμβάνει τα επιμέρους τμήματά της: έξαλα (topside), χαλύβδινο χωροδικτύωμα έδρασης (steel jacket) και πέλματα (footing).

Αν και μπορεί να θεωρηθεί ως επιλογή η διατήρηση των εξάλων της εξέδρας στην αρχική τους θέση, σύμφωνα με τους Ekins et al. (Ekins, Vanner, & Firebrace, 2005) όλοι οι φορείς που εμπλέκονται στον παροπλισμό μιας υπεράκτιας εξέδρας συμφωνούν ότι η απομάκρυνση των εξάλων της και η μεταφορά τους στην ξηρά αποτελεί τη μόνη επιλογή. Επίσης, σε

ορισμένες περιπτώσεις σε ρηχή θάλασσα, η παραμονή τμημάτων μίας εξέδρας επιτρέπεται, κάτι που δε συμβαίνει στην περίπτωση βαθιάς θάλασσας. Στο Σχήμα 5-2 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα με τις επιλογές παροπλισμού μιας υπεράκτιας εξέδρας (Ahiaga-Dagbui, Love, Whyte, & Boateng, 2017).



Σχήμα 5-2. Σχηματικό διάγραμμα βασικών επιλογών παροπλισμού μιας υπεράκτιας εξέδρας (Ahiaga-Dagbui, Love, Whyte, & Boateng, 2017)

Στον Πίνακα 5-1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά στοιχεία για κάθε μια από τις τρεις βασικές επιλογές διαχείρισης της εξέδρας που παροπλίζεται: διατήρηση στην αρχική θέση (leave in place), μερική απομάκρυνση (partial removal) και ολική απομάκρυνση (total removal) (Pors, Verbeeck, Wurpel, & Briët, 2011).

Πίνακας 5-1. Επισκόπηση και συνοπτική περιγραφή των επιλογών παροπλισμού για την αποσυναρμολόγηση μιας υπεράκτιας εξέδρας (Pors, Verbeek, Wurplel, & Briët, 2011)

Επιλογή	Τύπος Εξέδρας*	Περιγραφή Επιλογής	Κατάληξη Επιλογής
Διατήρηση στην αρχική θέση	C,S	Ολόκληρη η εγκατάσταση χωρίς τα έξαλα παραμένει στη θέση της. Για αυτήν την επιλογή η ακεραιότητα της κατασκευής είναι σημαντικό θέμα. Η αποσάθρωση της κατασκευής βραχυπρόθεσμα (χάλυβας) ή μακροπρόθεσμα (σκυρόδεμα) είναι αναπόφευκτη. Η παρουσία ανοδιών μπορεί να επιμηκύνει τη διάρκεια ζωής, αλλά όχι να αποτρέψει την τελική κατάρρευση.	Παραμονή επί τόπου
Μερική απομάκρυνση	S-L	Εξετάζεται μόνο για χαλύβδινες κατασκευές, καθώς θεωρείται ως πολύ επικίνδυνη για κατασκευές από σκυρόδεμα, διότι εγείρει σοβαρούς κινδύνους για την ανθρώπινη ασφάλεια. Μετά την απομάκρυνση των εξάλων, το χωροδικτύωμα έδρασης αποκόπτεται σε ένα ορισμένο ύψος: είτε κοντά στο πέλμα, είτε σε ύψος που αφήνει τουλάχιστον 55 μέτρα ελεύθερη στήλη νερού. Το τελευταίο προκύπτει από τις Κατευθυντήριες Οδηγίες του IMO** που καθορίζουν τις απαιτήσεις για την ανεμπόδιστη διέλευση πλοίων.	Κάτω μέρος: παραμονή επί τόπου Έξαλα: διάθεση στην ξηρά με πιθανή υπεράκτια επανάχρηση (τεχνητός ύφαλος)
Ολική απομάκρυνση	C,S	Περιλαμβάνει την απομάκρυνση των εξάλων, του χωροδικτύωματος έδρασης, της σωλήνωσης επαφής και των πελμάτων της εξέδρας από τον θαλάσσιο πυθμένα. Τα μέρη της κατασκευής που βρίσκονται κάτω από τον βυθό και τα αγκύρια έδρασης από σκυρόδεμα (concrete anchor foundations) που δεν αποτελούν εμπόδια για την αλιεία δεν χρειάζεται να απομακρυνθούν. Οι κατασκευές από σκυρόδεμα επανεπιπλέουν (refloat) και ρυμουλκούνται στην ακτή.	Διάθεση στην ξηρά (όλα τα μέρη της εξέδρας) με πιθανή υπεράκτια επανάχρηση (τεχνητός ύφαλος)

\*C= από σκυρόδεμα, S=εξ ολοκλήρου από χάλυβα, S-L = μεγάλες και πολύ μεγάλες εξέδρες από χάλυβα

\*\* IMO: International Maritime Organization – Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός

Παρόλα αυτά, υπάρχει και η επιλογή ανατροπής της εξέδρας στην αρχική της θέση (toppling). Στη συγκεκριμένη επιλογή, τα έξαλα αφαιρούνται και απομακρύνονται στην ακτή και στη συνέχεια το χωροδικτύωμα έδρασης ανατρέπεται είτε κόβοντας τους πασσάλους πάνω στους οποίους εδράζεται (piles cutting), είτε με χρήση εκρηκτικών. Αυτή η επιλογή εξετάζεται μόνο για μεγαλύτερες χαλύβδινες κατασκευές που επιτρέπουν να παραμείνει ελεύθερη μια στήλη νερού 180ft (55 m) πάνω από την κατασκευή, μετά την ανατροπή της. Οι κανονισμοί του IMO απαιτούν μια ελεύθερη στήλη νερού 180 ft (55m) για την ανεμπόδιστη διέλευση των πλοίων (Pors, Verbeek, Wurplel, & Briët, 2011).

Η απομάκρυνση των εξάλων και του χωροδικτύωματος έδρασης (jacket) (μερική ή ολική) αποτελούν τον κεντρικό άξονα των εργασιών παροπλισμού σε μία υπεράκτια εγκατάσταση παραγωγής Υ/Α. Κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου σταδίου θα πρέπει να αντιμετωπιστούν ορισμένες προκλήσεις προερχόμενες από το βάθος στο οποίο εδράζονται οι εξέδρες, καθώς και από το βάρος των μεγάλων αυτών κατασκευών. Ακόμα, θεωρείται

απαραίτητο για τη σωστή διεκπεραίωση των εργασιών να επιλεγθεί ο πλέον κατάλληλος συνδυασμός μηχανικών πόρων και τεχνολογιών, ώστε η διαδικασία παροπλισμού που θα ακολουθηθεί να προάγει την ασφάλεια και την προστασία τόσο του περιβάλλοντος, όσο και του προσωπικού.

Όπως και με τη σφράγιση και εγκατάλειψη μίας γεώτρησης, έτσι και σε αυτό το στάδιο απαιτείται η συλλογή όλων των απαραίτητων πληροφοριών και η κατάλληλη αδειοδότηση για τη διεξαγωγή του έργου. Με τη χορήγηση της τελευταίας λαμβάνουν χώρα τα ακόλουθα στάδια παροπλισμού της υπεράκτιας εγκατάστασης, τα οποία παρουσιάζονται στις υποενότητες που ακολουθούν:

- Προετοιμασία & καθαρισμός εξέδρας
- Αποκοπή & απομάκρυνση της σωλήνωσης επαφής
- Απομάκρυνση του καταστρώματος (deck) και του συναφούς εξοπλισμού
- Απομάκρυνση του χωροδικτύωματος έδρασης ή της γάστρας (hull) για πλωτές εξέδρες

### **5.2.1. Προετοιμασία & καθαρισμός εξέδρας**

Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει εργασίες που σχετίζονται με την παύση της λειτουργίας και την προετοιμασία της εγκατάστασης για απομάκρυνση και έπονται της σφράγισης και εγκατάλειψης των γεωτρήσεων. Αρχικά, διεξάγονται επιφανειακές και υποθαλάσσιες επιθεωρήσεις, για την εξακρίβωση της κατάστασης των εγκαταστάσεων, καθώς και προς αποφυγή τυχόν προβλημάτων κατά τις διαδικασίες παροπλισμού. Οι υποθαλάσσιες επιθεωρήσεις είτε διεξάγονται από δύτες, σε βάθη θάλασσας έως 200 πόδια (~60 μέτρα), είτε από ειδικά τηλεχειριζόμενα οχήματα (ROV's) σε μεγαλύτερα βάθη, από 200 έως 1200 πόδια (~360 μέτρα). Μετά την ολοκλήρωση των επιθεωρήσεων, κατάλληλο πλήρωμα προετοιμάζει τη δομή για παροπλισμό. Στην επιφάνεια (στα έξαλα της εξέδρας) οι εργασίες που λαμβάνουν χώρα για την προετοιμασία και τον καθαρισμό της εξέδρας παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 5-2.

Πίνακας 5-2. Εργασίες προετοιμασίας & καθαρισμού της εξέδρας κατά το πρώτο στάδιο παροπλισμού της (Grismala, 2015)

<b>Δραστηριότητες Καθαρισμού Topside</b>
Έκπλυση/καθαρισμός & απαερίωση δεξαμενών, εξοπλισμού επεξεργασίας και σωληνώσεων (piping)
Κατάλληλη διάθεση των αποβλήτων που περιέχουν υπολείμματα υδρογονανθράκων
Απομάκρυνση του εξοπλισμού της εξέδρας
Αποκοπή σωληνώσεων & καλωδίων μεταξύ των επιμέρους μονάδων του καταστρώματος (deck modules)
Διαχωρισμός των μονάδων του καταστρώματος σε διακριτές ενότητες
Εγκατάσταση συγκεκριμένου εξαρτήματος (pad eyes) για την ανύψωση των μονάδων του καταστρώματος
Αφαίρεση τυχόν εμποδίων ως προς την ανύψωση (lifting)
Ενίσχυση της κατασκευής
Αποκοπή συνδέσεων μεταξύ του καταστρώματος και του χωροδικτύωματος έδρασης
Επιβεβαίωση αφαίρεσης τουλάχιστον ενός τμήματος από όλες τις σωληνώσεις μεταξύ καταστρώματος & χωροδικτύωματος έδρασης (αν αυτό δεν είναι εφικτό, αφαιρείται το τμήμα πάνω από το υψόμετρο +10)
Απομάκρυνση θαλάσσιων οργανισμών από το υποθαλάσσιο τμήμα της κατασκευής (όπου επιτρέπεται)

### 5.2.2. Απομάκρυνση της σωλήνωσης επαφής (conductor severing & removal)

Η σωλήνωση επαφής μπορεί να απομακρυνθεί είτε πριν την άφιξη του σκάφους ανύψωσης/μεταφοράς βαρέων φορτίων (Heavy Lift Vessel – HLV)<sup>11</sup>, είτε κατά τις εργασίες παροπλισμού της εξέδρας με χρήση σκάφους αυτού του τύπου. Όλες οι σωληνώσεις επαφής των γεωτρήσεων (conductors) αποκόπτονται και απομακρύνονται πλήρως τουλάχιστον 15 πόδια κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας (mudline) με τη βοήθεια του γερανού της εξέδρας. Οι εργασίες αυτές πραγματοποιούνται με μια από τις μεθόδους αποκοπής που φαίνονται στον Πίνακα 5-3, οι οποίες περιγράφονται πιο αναλυτικά στην ενότητα 5.2.6. Στον Πίνακα 5-3 παρουσιάζονται επίσης οι μέθοδοι ανύψωσης των αποκομμένων σωληνώσεων επαφής που εφαρμόζονται είτε κατά μόνας, είτε σε συνδυασμό.

Πίνακας 5-3. Μέθοδοι αποκοπής και απομάκρυνσης σωληνώσεων επαφής (Grismala, 2015)

<b>Μέθοδοι αποκοπής</b>	<b>Μέθοδοι ανύψωσης</b>
Με χρήση εκρηκτικών	Casing jacks
Λειαντική κοπή (abrasive cutting)	Γερανός εξέδρας (platform crane)
Κοπή με μηχανικά μέσα (mechanical cutting)	Γερανός πάνω σε πλοίο ανύψωσης/μεταφοράς βαρέων φορτίων (crane on a HLV)
Αδαμαντοκοπή τύπου σύρματος (diamond wire cutting)	Γεωτρητική μονάδα εξέδρας (drilling rig), εάν υπάρχει

<sup>11</sup> Το σκάφος HLV ανυψώνει το χωροδικτύωμα έδρασης μιας εξέδρας κατά τμήματα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, το προσδένει με ασφάλεια πάνω στο σκάφος και το μεταφέρει.

Ανεξάρτητα από τη μέθοδο ανύψωσης που χρησιμοποιείται, η διαδικασία απομάκρυνσης είναι η ίδια. Η σωλήνωση επαφής τραβιέται προς τα πάνω (ανυψώνεται) μέχρι ένα τμήμα μήκους 40 ποδιών να εξέλχει του θαλάσσιου πυθμένα. Η σωλήνωση είτε κόβεται με κάποια μέθοδο αποκοπής, είτε αποσυναρμολογείται αν είναι εφικτή η αποκοχλίωση των συνδέσμων. Το τμήμα που αποκόπτεται απομακρύνεται είτε με τη γεωτρητική μονάδα της εξέδρας, είτε με γερανό και τοποθετείται είτε σε παρακείμενο σκάφος εργασιών (workboat), είτε σε φορηγίδα (cargo barge), είτε στο κατάστρωμα της εξέδρας, μακριά από την περιοχή εργασίας (Εικόνα 5-1).



Εικόνα 5-1. Τμήμα της επιφανειακής σωλήνωσης που έχει απομακρυνθεί από την αρχική του θέση και έχει φορτωθεί σε φορηγίδα για να μεταφερθεί για διάθεση στην ξηρά (Mactech Offshore Solutions, 2020)

Αυτή η διαδικασία (ανύψωση, κοπή, απομάκρυνση) επαναλαμβάνεται μέχρι την πλήρη αφαίρεση της σωλήνωσης επαφής. Τα casing jacks της εξέδρας μπορεί να μην είναι σε θέση να ανυψώσουν το βάρος της σωλήνωσης επαφής εφόσον αυτή είναι τσιμεντωμένη. Σε αυτή την περίπτωση, χρειάζεται υποβοήθηση από γεωτρητική μονάδα ή γερανό.

### **5.2.3. Απομάκρυνση καταστρώματος & συναφούς εξοπλισμού (deck & modules removal)**

Η απομάκρυνση των εξάλων μιας εξέδρας ακολουθεί αντίστροφα τη διαδικασία της εγκατάστασής της. Σε ορισμένες περιπτώσεις, πριν από οποιαδήποτε ενέργεια απομάκρυνσης του καταστρώματος, είναι απαραίτητη η απομάκρυνση όλου του επιφανειακού εξοπλισμού, που έχει εγκατασταθεί στην εξέδρα, και η τοποθέτησή του σε



φορτηγίδα. Ο εξοπλισμός ασφαρίζεται κατάλληλα πάνω στο κατάστρωμα της φορτηγίδας και μεταφέρεται στην ξηρά.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η απομάκρυνση του καταστρώματος που μπορεί να γίνει με δύο κύριους τρόπους: είτε σε δομοστοιχεία (modular), είτε σε μικρά κομμάτια (piece small <sup>12</sup>) (Pors, Verbeeck, Wurpel, & Briët, 2011). Για την αποσυναρμολόγηση σε δομοστοιχεία, τα έξαλα διαχωρίζονται επί τόπου σε μεγάλες ενότητες που μπορούν να διαχειριστούν από έναν γερανό, συνήθως με σειρά αντίστροφη της εγκατάστασης. Η διαδικασία αυτή απαιτεί να εκτελεστούν εργασίες κοπής (cutting operations) και εργασίες πάνω σε σκάφος (vessel operations), ενώ, τα δομοστοιχεία απομακρύνονται με τη χρήση μεγάλης δυναμικότητας ημιβυθιζόμενων πλωτών γερανών (semi-submersible crane vessels-SSCVs) (Εικόνα 5-2).



Εικόνα 5-2. Απομάκρυνση των εξάλων της εξέδρας Odin, βάρους 7.700 τόνων σε δομοστοιχεία (Pors, Verbeeck, Wurpel, & Briët, 2011)

Αντίθετα, στην αποσυναρμολόγηση σε μικρά κομμάτια (piece small dismantling), τα έξαλα κόβονται σε κομμάτια αρκετά μικρά ώστε να διαχειρίζονται από τον γερανό της εξέδρας και να μεταφέρονται με τυπικά βοηθητικά σκάφη (standard supply vessels). Αποτελεί μία χρονοβόρα εργασία κοπής, που, όμως, ελαχιστοποιεί ή εξαλείφει την ανάγκη χρήσης μεγάλων πλωτών γερανών.

---

<sup>12</sup> Κατά την απομάκρυνση σε μικρά κομμάτια (piece small) το κατάστρωμα παροπλίζεται επί τόπου και μεταφέρεται με πλοία στην ξηρά για περαιτέρω επεξεργασία, διαχωρισμό των υλικών και κατάλληλη διαχείριση των αποβλήτων.



Σε πολλές περιπτώσεις, όταν πρόκειται για μικρότερου μεγέθους εξέδρες, μπορεί να γίνει διαχωρισμός του καταστρώματος σε μικρότερες υποενότητες, μέσω αποκοπής σε συγκεκριμένα σημεία μεταξύ του καταστρώματος και του χωροδικτύωματος έδρασης, με αποτέλεσμα την τμηματική αφαίρεση του καταστρώματος (Εικόνα 5-3).



Εικόνα 5-3. Διαχωρισμός καταστρώματος σε τμήματα για την απομάκρυνσή του (Grismala, 2015)

Η επιλογή της κατάλληλης κάθε φορά διαδικασίας εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες όπως ο υπολογισμός του μέγιστου βάρους που δύναται να ανελκύσει ο γερανός της εξέδρας, ο διαθέσιμος χώρος που υπάρχει στη φορτηγίδα που θα μεταφέρει τα προς απομάκρυνση τμήματα και, εάν θα χρειαστούν περαιτέρω διαχωρισμό έτσι ώστε να γίνει πιο εύκολη η ανύψωση και μεταφορά τους.

#### **5.2.4. Απομάκρυνση χωροδικτύωματος έδρασης (jacket) ή γάστρας (hull) σε πλωτές εξέδρες**

Τα χωροδικτύωματα έδρασης των σταθερών εξεδρών ή οι γάστρες των πλωτών εξεδρών μπορούν να παροπλιστούν με χρήση μιας εκ των ακόλουθων επιλογών (Grismala, 2015):

- Πλήρης απομάκρυνση (complete removal)
- Μερική απομάκρυνση (partial removal)
- Δημιουργία τεχνητού υφάλου (remote reefing)

Στην περίπτωση όπου μία υπεράκτια εξέδρα παραγωγής Υ/Α είναι σταθερή και εδράζεται σε μικρό βάθος, επιλέγεται συνήθως η ολική απομάκρυνση του χωροδικτύωματος, που αφήνει τον πυθμένα της θάλασσας στην πρότερη μορφή του.

Αντίθετα, οι εγκαταστάσεις σε μεγάλα βάθη θάλασσας παρουσιάζουν μεγάλες τεχνικές προκλήσεις όσον αναφορά την ολική αφαίρεση του χωροδικτύωματος, λόγω του μεγάλου βάρους της κατασκευής και του βάθους της θάλασσας, παράγοντες που καθιστούν απαραίτητη την ύπαρξη κατάλληλης δυναμικότητας, σύγχρονου εξοπλισμού. Σε αυτές τις περιπτώσεις συνήθως επιλέγεται μερική αφαίρεση του χωροδικτύωματος.

#### **5.2.4.1. Σταθερές εξέδρες εδραζόμενες επί του πυθμένα - Ολική απομάκρυνση χωροδικτύωματος**

Η απομάκρυνση του χωροδικτύωματος έδρασης μιας σταθερής εξέδρας περιλαμβάνει τον διαχωρισμό αυτής της κατασκευής από τα θεμέλιά της και τη μεταφορά της σε ένα ή περισσότερα κομμάτια σε διαλυτήριο πλοίων (scrap yard) όπου κόβεται και ανακυκλώνεται. Στην πλειοψηφία τους τα χωροδικτύωματα διαχωρίζονται από τα θεμέλιά τους με χρήση εκρηκτικών, αν και τα τελευταία χρόνια κερδίζουν έδαφος μέθοδοι μηχανικής κοπής.

Στην πρώτη μέθοδο, τα εκρηκτικά τοποθετούνται στους πασσάλους στήριξης του χωροδικτύωματος (κύριους και βοηθητικούς – main piles and skirt piles) σε βάθος τουλάχιστον 15 ft κάτω από τον θαλάσσιο πυθμένα (mudline) (Grismala, 2015) και η έκρηξη λαμβάνει χώρα τηρώντας όλους τους κανόνες ασφαλείας (απομάκρυνση θαλάσσιων θηλαστικών, εναέριοι έλεγχοι). Κάτω από το νερό, οι μέθοδοι μηχανικής κοπής του χάλυβα περιλαμβάνουν συρματοκοπή με αδαμαντοφόρο σύρμα (diamond wire cutting) (Εικόνα 5-4), κοπή με νερό υψηλής ταχύτητας (με παρουσία λειαντικών κόκκων) (abrasive water jetting) κ.ά.

Το χωροδικτύωμα (jacket) δύναται να αφαιρεθεί, είτε ολόκληρο, είτε χωρισμένο σε επιμέρους τμήματα, γεγονός που διευκολύνει τις διαδικασίες μεταφοράς και διάθεσης. Σε πολλές περιπτώσεις είναι αναγκαίο να μειωθεί με κάποιο τρόπο το βάρος του

χωροδικτυώματος όταν το σκάφος μεταφοράς HLV δεν διαθέτει επαρκή δυναμικότητα για να διαχειριστεί το μέγεθος και το βάρος του πρώτου. Στο παρελθόν, όταν οι διαστάσεις και το βάρος του χωροδικτυώματος υπερέβαιναν τις δυνατότητες της φορηγίδας, το χωροδικτύωμα ρυμουλκούνταν σε ρηχότερα νερά όπου και κοβόταν σε κομμάτια. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται “jacket hopping” και πλέον χρησιμοποιείται σπάνια.



Εικόνα 5-4. Κοπή με εκτόξευση διαβρωτικής δέσμης νερού (Pors, Verbeeck, Wurplel, & Briët, 2011)

#### **5.2.4.2. Εξέδρες εδραζόμενες επί του πυθμένα - Μερική απομάκρυνση χωροδικτυώματος**

Στις περιπτώσεις όπου λαμβάνει χώρα μερική απομάκρυνση, το κάτω μέρος του χωροδικτυώματος παραμένει στην αρχική του θέση, δημιουργώντας, με αυτό τον τρόπο, ένα τεχνητό ύφαλο που δε θα πρέπει να παρακωλύει με κανένα τρόπο τις θαλάσσιες δραστηριότητες. Αντίθετα, το άνω τμήμα του χωροδικτυώματος απομακρύνεται και είτε μεταφέρεται στην ξηρά προς κατάλληλη διάθεση, είτε μεταφέρεται σε παρακείμενη ή άλλη κατάλληλη θέση για την πόντισή του και τη μετατροπή του επίσης σε τεχνητό ύφαλο.

#### **5.2.4.3. Εξέδρες εδραζόμενες επί του πυθμένα - Δημιουργία τεχνητού υφάλου (reefing – toppling)**

Η μετατροπή μιας σταθερής εξέδρας σε τεχνητό ύφαλο μπορεί να λάβει χώρα με τους παρακάτω τρόπους:

- Με την πλήρη ή μερική απομάκρυνση του χωροδικτύωματος της.
- Με την παραμονή στην αρχική θέση ή τη μεταφορά σε άλλη εγκεκριμένη θέση.
- Με την πλήρη αποκοπή των θεμελίων του χωροδικτύωματος ή την αποκοπή εκείνων σε ορισμένο βάθος από την επιφάνεια της θάλασσας.

Σε κάθε περίπτωση, απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο υπολογισμός του βάρους της κατασκευής. Το χωροδικτύωμα προετοιμάζεται κατάλληλα ώστε να μπορεί ανατραπεί εξ ολοκλήρου ή κατά τμήματα (toppled whole or in sections) από ένα ρυμουλκό (tug), με όλες τις απαραίτητες τομές να γίνονται πριν την άφιξη εκείνου.

Αν το χωροδικτύωμα θα πρέπει να μεταφερθεί σε άλλη εγκεκριμένη θέση για την ανατροπή του και τη μετατροπή του σε τεχνητό ύφαλο, θα πρέπει να μεταφερθεί με σκάφος HLV ή κατάλληλο ρυμουλκό, ενώ θα πρέπει να έχει ληφθεί υπόψιν η επίδραση της πλευστότητας, καθώς και να έχει προηγηθεί έρευνα σχετικά με τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε περιβάλλοντος.

#### **5.2.4.4. Επιλογές για εξέδρες βαρύτητας (concrete gravity-based platforms)**

Οι πρώτες εξέδρες που εγκαταστάθηκαν στη δεκαετία του 1970 με βάση από σκυρόδεμα δεν είχαν σχεδιαστεί να μπορούν να απομακρυνθούν μετά τον παροπλισμό τους. Αν και αργότερα οι εξέδρες αυτού του τύπου λάμβαναν υπόψη στον σχεδιασμό τους τη μελλοντική τους απομάκρυνση, το μέγεθος των δυνητικών εμποδίων και των κινδύνων που μπορεί να ενσκήψουν κατά τις εργασίες παροπλισμού τους δεν είχαν εκτιμηθεί πλήρως κατά τον αρχικό τους σχεδιασμό.

Η πλήρης απομάκρυνση μιας εξέδρας βαρύτητας, περιλαμβανομένης της υποδομής από σκυρόδεμα, απαιτεί την απελευθέρωσή της από τον βυθό (freeing from the seabed), με θραύση της διάταξης έδρασης της εξέδρας στον βυθό (by breaking the suction caisson), και καθιστώντας την και πάλι πλευσίμη (refloating) μέσω αφερματισμού (deballasting) των δεξαμεμών αποθήκευσης. Οι θεωρητικοί υπολογισμοί έχουν δείξει ότι αυτό είναι δυνατό, αλλά δεν έχει δοκιμαστεί στην πράξη. Η μερική αφαίρεση μιας βάσης σκυροδέματος είναι θεωρητικά δυνατή, αλλά παρουσιάζει τόσες τεχνικές δυσκολίες και κινδύνους που μέχρι στιγμής δεν θεωρείται σοβαρή επιλογή (Pors, Verbeeck, Wurpel, & Briët, 2011).

#### 5.2.4.5. Απομάκρυνση πλωτών κατασκευών (floating systems)

Η απομάκρυνση πλωτών υπεράκτιων κατασκευών περιλαμβάνει την αποσύνδεση του συστήματος πρόσδεσης/αγκύρωσης (mooring system), καθώς και την απομάκρυνση του καταστρώματος (deck) και της βυθισμένης γάστρας (hull). Ο καθαρισμός των εξάλων δύναται να λάβει χώρα είτε υπεράκτια, είτε στη στεριά, με παρόμοιο τρόπο όπως στις εδραζόμενες επί του πυθμένα εξέδρες, με μόνη διαφορά το γεγονός ότι οι πλωτές κατασκευές έχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας των Υ/Α.

Πιο αναλυτικά, στις ημιβυθιζόμενες εξέδρες (semi-submersible platforms), το κατάστρωμα μπορεί να παραμείνει πάνω στη γάστρα που θα αφαιρεθεί, ενώ στη συνέχεια το σύστημα πρόσδεσης αποσυνδέεται από τη γάστρα και ολόκληρη η κατασκευή ρυμουλκείται σε κατάλληλη εγκατάσταση στη στεριά με σκοπό την ανακαίνιση ή την ανακύκλωσή της. Το σύστημα πρόσδεσης αποκόπτεται από τους πασσάλους πρόσδεσης στον βυθό και απομακρύνεται επίσης.

Για τις εξέδρες τύπου TLP, spar και οι ημιβυθιζόμενες, όπως και τα FPSOs δεν είναι δυνατή η μερική απομάκρυνση και απομακρύνονται πλήρως από την αρχική τους θέση. Στις εξέδρες τύπου spar αφαιρείται η βυθισμένη γάστρα (hull) και μεταφέρεται είτε σε κατάλληλο σημείο για τη μετατροπή της σε τεχνητό ύφαλο, είτε στη στεριά για ανακύκλωση των τμημάτων της. Η δυσκολία που παρουσιάζουν οι εξέδρες τύπου spar ως προς την ολική απομάκρυνσή τους είναι η διαχείριση του εγκατεστημένου έρματος, το οποίο είναι συχνά χάλυβας και μέταλλευμα το οποίο με την πάροδο του χρόνου μετατρέπεται σε ένα συμπαγές υλικό που προσιδιάζει σε σκυρόδεμα και δεν μπορεί να μετακινηθεί (Grismala, 2015).

#### 5.2.5. Παροπλισμός υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων

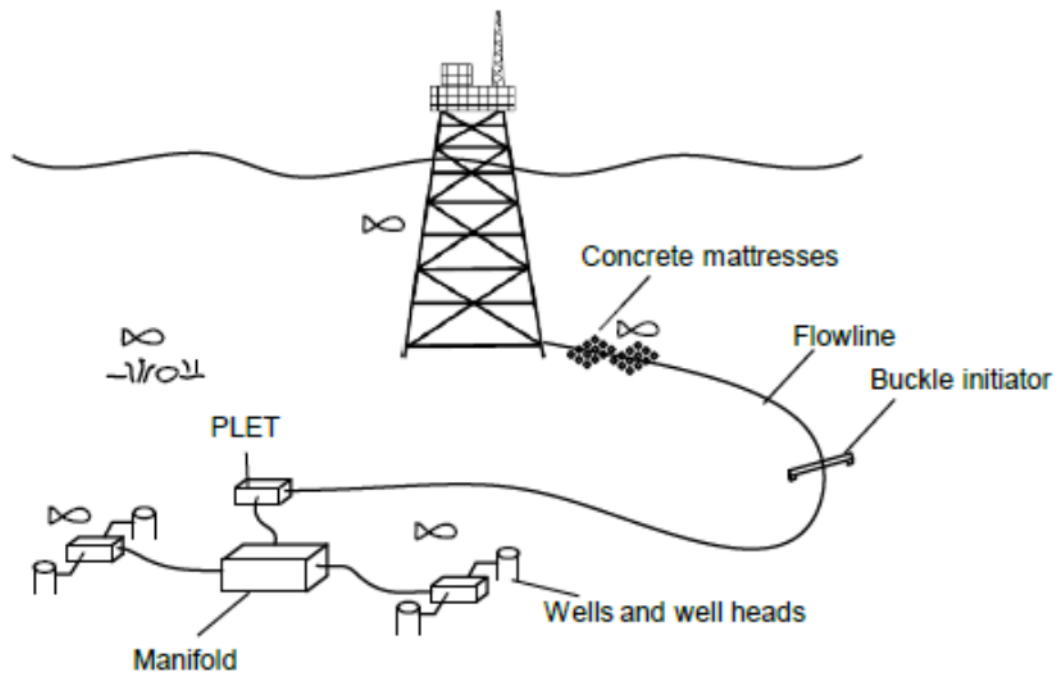
Στο Σχήμα 5-3 παρουσιάζεται μία τυπική διάταξη ενός υποθαλάσσιου συστήματος παραγωγής Υ/Α. Οι βασικές δομές από τις οποίες αποτελείται ένα τέτοιο σύστημα είναι οι εξής:

- Καθοδηγητικά πρότυπα διάτρησης (drilling templates)<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Το καθοδηγητικό πρότυπο διάτρησης (drilling template) είναι μια απλή επίπεδη χαλύβδινη κατασκευή κατασκευασμένη από σωλήνες με παχιά τοιχώματα και δοκού. Λειτουργεί ως «οδηγός» για την

- Συνδεσμολογίες παραγωγής (production manifolds)
- Christmas trees
- Κεφαλές γεωτρήσεων (wellheads)
- Προστατευτικές δομές (protective structures)
- Υποθαλάσσιες διατάξεις βαλβίδων (subsea valve structures)
- Συνδεσμολογίες βάσης riser (riser base manifolds)



Σχήμα 5-3. Τυπική διάταξη υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων παραγωγής υδρογονανθράκων (Gourvenec & White, In situ decommissioning of subsea infrastructure, 2017)

- Δομές διασταύρωσης αγωγών (pipeline crossing structures)
- Βάθρα αγκύρωσης (anchor blocks)
- Αλυσίδες αγκύρωσης (anchor chains)
- Risers

---

προκαθορισμένη θέση της γεώτρησης και για την τοποθέτηση του χωροδικτύωματος έδρασης της εξέδρας (jacket). Τοποθετείται είτε στον βυθό της θάλασσας, είτε γύρω από υφιστάμενη γεώτρηση. Χρησιμοποιούνταν ευρέως όταν η όρυξη της γεώτρησης προηγούνταν της εγκατάστασης της εξέδρας.

Ορισμένες από τις υποθαλάσσιες εγκαταστάσεις, όπως οι κεφαλές των γεωτρήσεων και οι συνδεσμολογίες παραγωγής μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν.

Οι ΗΠΑ στην Αμερική, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Νορβηγία στη Βόρεια Θάλασσα είναι οι μόνες χώρες που έχουν ορίσει σαφείς κανόνες για τον παροπλισμό του υποθαλάσσιου εξοπλισμού. Στις περισσότερες λοιπές χώρες διατυπώνεται απλά η γενική απαίτηση «επαναφοράς του θαλάσσιου πυθμένα στην αρχική του κατάσταση» (Cragger, 2015).

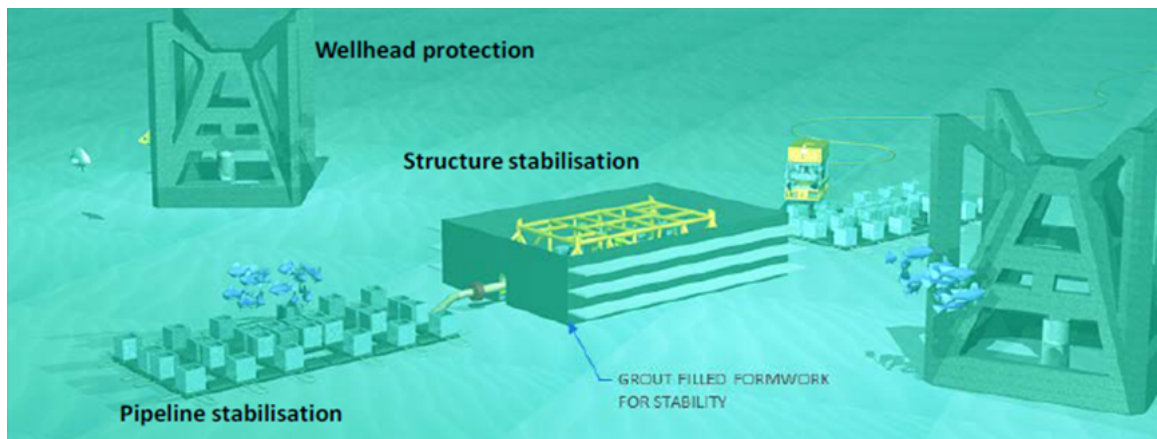
Κατά το παρελθόν, οι πετρελαϊκές εταιρείες υποχρεώνονταν να ανακτήσουν οποιονδήποτε εξοπλισμό που βρισκόταν πάνω από τον πυθμένα της θάλασσας (above the mudline) και να αφήσουν στη θέση του τυχόν εξοπλισμό που ήταν θαμμένος κάτω από αυτόν, όπως, για παράδειγμα, οι αγωγοί (pipelines). Αυτή η πρακτική, ωστόσο, επανεξετάζεται τα τελευταία χρόνια, διότι (Cragger, 2015):

- Η ανάκτηση του υποθαλάσσιου εξοπλισμού μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερη ζημιά από το αν παραμείνει στη θέση του.
- Η πρόσφατη εμπειρία δείχνει ότι είναι καλύτερο να διατηρηθούν στη θέση τους οι κεφαλές των γεωτρήσεων, οι υποθαλάσσιες συνδεσμολογίες παραγωγής και οι αγωγοί, αφού προηγουμένως καθαριστούν από υπολείμματα υδρογονανθράκων.
- Σε περίπτωση που ανακύψει στο μέλλον οποιοδήποτε πρόβλημα σχετικά με τη γεώτρηση, είναι ευκολότερες οι εργασίες παρέμβασης που δύναται να απαιτηθούν για την ανάταξή του, εφόσον η κεφαλή της γεώτρηση παραμένει στη θέση της.

Στη σημερινή εποχή επικρατεί η επιλογή παραμονής στην αρχική τους θέση αρκετών τμημάτων του υποθαλάσσιου εξοπλισμού, όπως κεφαλές γεωτρήσεων, αγωγοί και άλλος εξοπλισμός, αφού καθαριστούν από τα υπολείμματα των υδρογονανθράκων και προστατευτούν με κατάλληλες διατάξεις σταθεροποίησης (augmentation), όπως φαίνεται στην Εικόνα 5-5.

Με βάση τα παραπάνω οι σύγχρονες βέλτιστες πρακτικές για τον παροπλισμό του υποθαλάσσιου εξοπλισμού περιλαμβάνουν τα ακόλουθα στάδια που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-4.





Εικόνα 5-5. Διατάξεις σταθεροποίησης υποθαλάσσιου εξοπλισμού in situ μετά τον παροπλισμό του (Gourvenec, 2018)

Πίνακας 5-4. Στάδια παροπλισμού υποθαλάσσιου εξοπλισμού (Crager, 2015)

Στάδια παροπλισμού υποθαλάσσιου εξοπλισμού
Σύσταση κατάλληλης ομάδας για τον παροπλισμό των υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων.
Κατάρτιση σχεδίου παροπλισμού και επανέλεγχος του σχεδίου σε τακτική βάση.
Διεξαγωγή ερευνών εις βάθος σχετικά με την κατάσταση των υφιστάμενων υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων.
Καθορισμός των σκαφών που απαιτούνται για την εκτέλεση όλων των εργασιών παροπλισμού (στο φάση αυτή καθορίζεται και ο τρόπος σφράγισης & εγκατάλειψης των γεωτρήσεων με χρήση ή μη γεωτρητικής μονάδας).
Διασφάλιση ότι όλες οι υπηρεσίες υποστήριξης που μπορεί να απαιτηθούν θα είναι διαθέσιμες.
Επιβεβαίωση των μεθόδων δέσμευσης των υπολειμμάτων υδρογονανθράκων και της διαδικασίας διάθεσής τους για όλο τον υποθαλάσσιο εξοπλισμό.
Καθορισμός απαιτήσεων για τα σκάφη που θα απομακρύνουν τον υποθαλάσσιο εξοπλισμό από την αρχική του θέση πάνω στον πυθμένα της θάλασσας.
Προσδιορισμός της χερσαίας εγκατάστασης που θα υποδεχτεί και θα διαθέσει κατάλληλα τον υποθαλάσσιο εξοπλισμό που θα απομακρυνθεί.
Κατάλληλη αδειοδότηση και ενημέρωση της εποπτεύουσας Αρχής.

## 5.2.6. Μέθοδοι κοπής χαλύβδινου εξοπλισμού

### 5.2.6.1. Με χρήση εκρηκτικών

Η κοπή με χρήση εκρηκτικών, χρησιμοποιούνταν συχνά για τον παροπλισμό των υπεράκτιων εγκαταστάσεων στην Αμερική. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, στον Κόλπο του Μεξικού έγινε χρήση εκρηκτικών για την κοπή του 67% του συνολικού αριθμού υπεράκτιων εξεδρών που παροπλίστηκαν εκεί κατά το διάστημα από το 1995 έως το 2005 (Grismala, 2015). Στην Εικόνα 5-6 παρουσιάζεται μια υποθαλάσσια βάση (template) που αποκόπηκε από την αρχική της θέση με χρήση εκρηκτικών.



Εικόνα 5-6. Απομάκρυνση υποθαλάσσια βάσης (template) με χρήση εκρηκτικών (Grismala, 2015)

Η ασφάλεια, η αξιοπιστία, το χαμηλό κόστος, η εξοικονόμηση χρόνου, καθώς και η ελαχιστοποίηση της έκθεσης των δυτών σε κίνδυνο, συνέβαλαν καταλυτικά στη διάδοση της χρήσης των εκρηκτικών ως μεθόδου κοπής του υπεράκτιου χαλύβδινου εξοπλισμού κατά τον παροπλισμό του. Το σοβαρό μειονέκτημα που παρουσιάζουν είναι οι σημαντικές καθυστερήσεις που μπορεί να σημειωθούν κατά τη χρήση τους, με συνακόλουθο αυξημένο κόστος, λόγω της παρουσίας θαλάσσιων θηλαστικών ή χελωνών στην περιοχή, τα οποία θα πρέπει να απομακρυνθούν.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τύποι εκρηκτικών γομώνσεων (explosive charges) που χρησιμοποιούνται στον παροπλισμό των υπεράκτιων εγκαταστάσεων:

- Γόμωση χύδην (bulk charge): Αποτελεί μια συγκεντρωμένη μάζα γόμωσης (single mass), η οποία πυροδοτείται σε ένα μόνο σημείο. Διατίθεται σε κυλινδρική μορφή (Εικόνα 5-7), ενώ το μήκος και η διάμετρος του κυλίνδρου ποικίλουν ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σωλήνων προς παροπλισμό. Καθώς δεν είναι εύκολος ο έλεγχος της κατεύθυνσης του ωστικού κύματος κατά την πυροδότησή τους, πρακτικά η κοπή επιτυγχάνεται με θραύση και διάρρηξη του υλικού (shattering & tearing effect). Χρησιμοποιούνται κυρίως για την αποκοπή επιμέρους τμημάτων μίας εξέδρας, καθώς και των σωληνώσεων επαφής (conductors).



Εικόνα 5-7. Γομώσεις χύδην εκρηκτικών (bulk charges) (Grismala, 2015)

- Γόμωση χύδην διπλής πυροδότησης (double-detonation bulk charge): Το συγκεκριμένο είδος γόμωσης δημιουργεί μεγαλύτερη «ισχύ κοπής» (“cutting power”) ανά μονάδα βάρους εκρηκτικής ύλης, έναντι της συμβατικής γόμωσης χύδην. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση 2 μη ηλεκτρικών πυροκροτητών που τοποθετούνται και στα δύο άκρα της γόμωσης και πυροδοτούνται ταυτόχρονα. Έτσι η έκρηξη δημιουργεί συμβολή ενέργειας στο κέντρο της γόμωσης, η οποία διαχέεται ακτινικά προς τα έξω και σε διεύθυνση κάθετη προς το υλικό του στόχου, καθιστώντας αυτού του είδους τη γόμωση πολύ αποτελεσματική.
- Συσκευές ενίσχυσης ωστικού κύματος/συντονισμού έκρηξης (shock wave enhancement/centralizing devices): Η συσκευή ενίσχυσης του ωστικού κύματος συνδυάζει τα βέλτιστα χαρακτηριστικά των γομώσεων χύδην με το πρόσθετο πλεονέκτημα του καλύτερου ελέγχου του ωστικού κύματος. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση ενός πώματος από μέταλλο ή σκυρόδεμα πάνω από τη γόμωση ή/και κατάλληλης επιγόμωσης. Έτσι, διοχετεύεται περισσότερη ενέργεια προς το στόχο, καθιστώντας αυτόν τον τύπο ως την πιο αξιόπιστη γόμωση χύδην μέχρι και σήμερα.
- Κοίλη γόμωση (shaped charge): Παρουσιάζεται στην Εικόνα 5-8 και αποτελεί το πιο αποτελεσματικό μέσο κοπής με χρήση εκρηκτικών για την αποκοπή τμημάτων μίας υπεράκτιας εξέδρας. Η κοίλη γόμωση χρησιμοποιεί την ενέργεια που παράγεται κατά την πυροδότηση ώστε να οδηγήσει ένα περίβλημα (liner) με μεγάλη ταχύτητα προς το στόχο. Το περίβλημα πλήττει το τοίχωμα του στόχου με τόσο υψηλή ταχύτητα που

επιτυγχάνει την αποκοπή του. Το συγκεκριμένο είδος γόμωσης σχεδιάζεται και κατασκευάζεται με βάση τα χαρακτηριστικά του στόχου, οπότε δύναται να χρειαστούν αρκετές εβδομάδες για την κατασκευή τους και το κόστος τους είναι πενταπλάσιο έναντι της γόμωσης χύδην.



Εικόνα 5-8. Κοίλες γομώσεις εκρηκτικών (shaped charges) (Grismala, 2015)

#### 5.2.6.2. Με χρήση μηχανικών μέσων

- Σύστημα κοπής με αδαμαντοφόρο σύρμα (diamond wire cutting system): Η χρήση του συγκεκριμένου εργαλείου έχει ξεκινήσει από τις αρχές του 1990 στη Βόρεια Θάλασσα, στην Αδριατική και στην Ερυθρά Θάλασσα, για την κοπή και αφαίρεση τμημάτων των υπεράκτιων εξεδρών που έφταναν στο τέλος της παραγωγικής τους ζωής. Στην Εικόνα 5-9 παρουσιάζεται το συγκεκριμένο σύστημα κοπής και αξίζει να αναφερθεί ότι αποτελεί ένα εργαλείο εξωτερικής κοπής που δύναται να χρησιμοποιηθεί τόσο πάνω από τη στάθμη της θάλασσας, όσο και υποθαλάσσια. Αποτελείται από μία μονάδα σύσφιξης κατασκευασμένη από δομικό χάλυβα και ένα αδαμαντοφόρο σύρμα, το οποίο αποτελείται από ένα χαλύβδινο συρματόσχοινο πάνω στο οποίο έχουν τοποθετηθεί σε τακτές αποστάσεις δακτύλιοι από χάλυβα με ενσωματωμένα διαμάντια. Το σύστημα κοπής βασίζεται στην περιστροφή του συρματόσχοινου γύρω από την περίμετρο του πλαισίου που συσφίγγεται πάνω στον προς αποκοπή εξοπλισμό. Στα πλεονεκτήματα χρήσης του συγκεκριμένου εργαλείου συγκαταλέγεται ότι δεν υπάρχει περιορισμός στο μέγεθος της τομής ή στο υλικό του τμήματος προς κοπή αρκεί το κοπτικό εργαλείο να μπορεί και να συσφιχθεί με



ασφάλεια γύρω από το προς κοπή τμήμα. Τα παραπροϊόντα της κοπής είναι μόνο κάποια λεπτόκοκκα θρύμματα που περιορίζουν την επιβάρυνση του περιβάλλοντος.



Εικόνα 5-9. Σύστημα συρματοκοπής με αδαμαντοφόρο σύρμα (diamond wire cutting system) (Grismala, 2015)

- Μηχανή κοπής τύπου γκιλοτίνας (guillotine saw): Το συγκεκριμένο είδος πριονιού λειτουργεί είτε υδραυλικά, είτε ηλεκτρικά, είτε με τη χρήση αέρα (πνευματικά) (Εικόνα 5-10) και αποτελείται από μία μόνο λεπίδα που πραγματοποιεί διαμερή κοπή (side to side), όπως ένα συμβατικό χειροκίνητο σιδεροπρίονο. Παρουσιάζει ομοιότητα με το προηγούμενο σύστημα κοπής στο γεγονός ότι και αυτό μπορεί να λειτουργήσει σε μεγάλα βάθη θάλασσας. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του είναι το γεγονός ότι διαθέτει φθηνότερα ανταλλακτικά και αναλώσιμα μέρη έναντι της συρματοκοπής με αδαμαντοφόρο σύρμα.



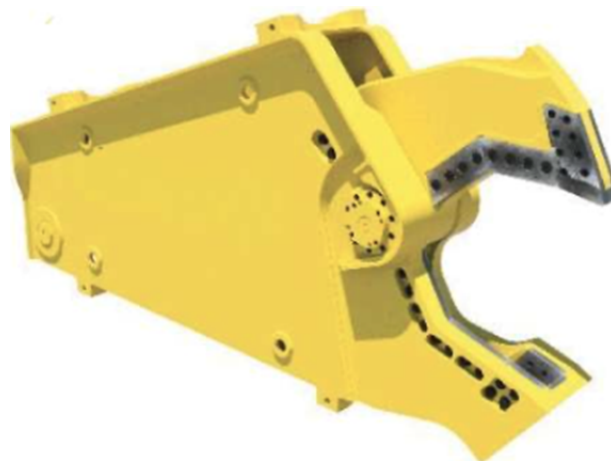
Εικόνα 5-10. Μηχανή κοπής τύπου γκιλοτίνας (guillotine saw) (Grismala, 2015)

- Λειαντική κοπή (abrasive cutter): Το συγκεκριμένο εργαλείο κοπής χρησιμοποιεί μηχανισμούς που εκτοξεύουν υλικά κοπής (cutting materials) μέσα σε μια δέσμη νερού, τα οποία φθείρουν το ατσάλι με λείανση (Εικόνα 5-11). Είναι κατάλληλο για τη διάνοιξη τομών τόσο στο εσωτερικό, όσο και στις εξωτερικές επιφάνειες του προς αποκοπή εξοπλισμού. Στα μειονεκτήματά του περιλαμβάνονται η ανομοιόμορφη κοπή και παρουσιάζει περιορισμούς στη χρήση του όσον αναφορά το βάθος της θάλασσας.



Εικόνα 5-11. Κοπή με εκτόξευση διαβρωτικής δέσμης νερού (water abrasive cutting) (Grismala, 2015)

- Υδραυλικό ψαλίδι μετάλλων (power shear): Οι λεπίδες του ψαλιδιού κινούνται υδραυλικά (Εικόνα 5-12) και διαθέτουν επαρκή ισχύ ώστε να αποκόπτουν τμήματα του χωροδικτύωματος έδρασης (jacket) μιας υπεράκτιας εξέδρας. Η χρήση του λαμβάνει χώρα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας, ενώ, μπορεί να επιτύχει κοπή και κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας σε βάθος έως 8 in (Εικόνα 5-13).



Εικόνα 5-12. Υδραυλικό ψαλίδι μετάλλων (hydraulic mechanical shear) (Grismala, 2015)



Εικόνα 5-13. Αποκοπή πολλαπλών στηλών σωλήνωσης κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας με χρήση υδραυλικού ψαλιδιού μετάλλων (Grismala, 2015)

Συμπερασματικά, αναφορικά με τις τεχνικές κοπής του χαλύβδινου εξοπλισμού που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι τρέχουσες πρακτικές της πετρελαϊκής βιομηχανίας βασίζονται στα εκρηκτικά για την κοπή των πασσάλων κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας σε οποιοδήποτε βάθος, διότι παρουσιάζουν προβλέψιμη συμπεριφορά, ευελιξία και αυξημένη αξιοπιστία.

Ως προς τις μηχανικές μεθόδους κοπής, οι μηχανές με εκτόξευση δέσμης νερού και τα υδραυλικά ψαλίδια μετάλλων (abrasive and mechanical cutters) δεν παρουσιάζουν την ίδια αξιοπιστία με τα εκρηκτικά στην κοπή των υποθαλάσσιων πασσάλων των υπεράκτιων εξεδρών. Γενικά, όσο μεγαλύτερο το βάθος της θάλασσας τόσο λιγότερο αποτελεσματικές είναι. Επιπροσθέτως, σε περίπτωση αποτυχίας τους σημειώνονται σημαντικές καθυστερήσεις.

Μόνο η κοπή με αδαμαντοφόρο σύρμα προβάλλει ως ανταγωνιστική έναντι των εκρηκτικών, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά και σε μεγάλο βάθος θάλασσας, για την απομάκρυνση αγωγών και χωροδικτυωμάτων. Εφαρμόζεται εύκολα είτε από δύτες, είτε από ROVs και έχει καλή προσαρμογή σε όλες τις διαστάσεις του προς κοπή εξοπλισμού.



### 5.3. Παροπλισμός αγωγών

Σε μια υπεράκτια εγκατάσταση παραγωγής Υ/Α διακρίνονται δύο κατηγορίες αγωγών:

- Αγωγοί εντός του πεδίου (infield pipelines): Διακινούν τα ρευστά εντός του πεδίου και συχνά καλούνται και γραμμές ροής (flowlines) ή γραμμές τροφοδοσίας (feeder lines). Είναι είτε χαλύβδινοι, είτε εύκαμπτοι και μεταφέρουν το μίγμα των ρευστών που παράγονται από τις γεωτρήσεις (πετρέλαιο, αέριο και νερό) σε μια διάταξη διανομής (manifold) ή απευθείας από τη γεώτρηση στην εξέδρα επεξεργασίας. Ένας μικρός αριθμός αγωγών αυτού του τύπου μεταφέρουν το επεξεργασμένο νερό από την εξέδρα στις γεωτρήσεις εισπίεσης, όπου αυτό εφαρμόζεται.
- Αγωγοί εξόδου των προϊόντων παραγωγής (export pipelines): Μεταφέρουν το επεξεργασμένο πετρέλαιο ή φυσικό αέριο από την εξέδρα στην ακτή. Αν από τον αγωγό ρέει μίγμα πετρελαίου-αερίου τότε ο αγωγός διαθέτει πολυφασική ροή (multi-phase pipeline), ενώ αν ρέει μόνο πετρέλαιο ή μόνο φυσικό αέριο ο αγωγός διαθέτει μονοφασική ροή (single-phase pipeline).

Κατά τον παροπλισμό των αγωγών μιας υπεράκτιας εγκατάστασης, παροπλίζονται επίσης και οι καλωδιώσεις και ο συναφής υποθαλάσσιος εξοπλισμός (απομακρύνονται και διατίθενται προς επανάχρηση, ανακύκλωση ή διάθεση ως απορρίμματα). Η συνθήκη OSPAR 98/3 δεν καλύπτει τον παροπλισμό αγωγών και έτσι στη Βόρεια Θάλασσα ο παροπλισμός αγωγών ρυθμίζεται από τις εθνικές νομοθεσίες.

#### 5.3.1. Απαραίτητες πληροφορίες για τον παροπλισμό αγωγών

Ο παροπλισμός των αγωγών αποτελεί μια διαδικασία συστηματικής παύσης λειτουργίας και αφαίρεση εκείνων. Το πρώτο στάδιο αυτής της διαδικασίας είναι η συγκέντρωση όλων των απαραίτητων πληροφοριών σχετικά με τους αγωγούς προς παροπλισμό, όπως ο συνολικός αριθμός τους, το όνομά τους, καθώς και η θέση τους σε σχέση με την εξέδρα παραγωγής Υ/Α. Με βάση αυτά τα στοιχεία δημιουργούνται κατάλληλοι φάκελοι για κάθε αγωγό, όπου περιλαμβάνονται τα εξής έγγραφα που αναγράφονται στον Πίνακα 5-5.

Πίνακας 5-5. Απαραίτητες πληροφορίες για τους αγωγούς προς παροπλισμό (Grismala, 2015)

Πληροφορίες κάθε αγωγού προς παροπλισμό
Αντίγραφο κριτηρίων σχεδιασμού
Αντίγραφο άδειας εφαρμογής
Δομικά σχέδια
Σχέδια εγκατάστασης αγωγού
Αντίγραφο καθημερινής αναφοράς λειτουργίας αγωγού
Ημερομηνία εγκατάστασης αγωγού
Ημερομηνία που ο αγωγός τέθηκε σε λειτουργία

Στη συνέχεια, προσδιορίζονται οι πληροφορίες που αναφέρονται παρακάτω, οι οποίες επαληθεύονται από επιθεώρηση στην εξέδρα:

- Ο διαχειριστής των αγωγών
- Οι ευθύνες παροπλισμού των αγωγών
- Η κυριότητα των αγωγών
- Η ρυθμιστική αρχή που επιβλέπει τον παροπλισμό των αγωγών
- Ο υπεύθυνος αποσύνδεσης των αγωγών
- Ο υπεύθυνος αποσύνδεσης του λοιπού εξοπλισμού
- Η κυριότητα του εξοπλισμού
- Οι περιορισμοί του χρονοδιαγράμματος
- Εάν κάποιος αγωγός χρειάζεται ανακατεύθυνση

Τέλος, ο επιθεωρητής και ο διαχειριστής της υπεράκτιας εξέδρας εξετάζουν τις προηγούμενες πληροφορίες και μετά την έγκρισή τους αποστέλλονται στον υπεύθυνο παροπλισμού των αγωγών. Ο τελευταίος αιτείται της κατάλληλης αδειοδότησης.

### 5.3.2. Μέθοδοι παροπλισμού αγωγών

Κατά τη διαδικασία παροπλισμού των αγωγών σε μία υπεράκτια εγκατάσταση παραγωγής Υ/Α υπάρχουν δύο μέθοδοι παροπλισμού: η ολική απομάκρυνσή τους και η διατήρησή τους στην αρχική τους θέση. Η δεύτερη επιλογή, εφαρμόζεται συνήθως κατά παρέκκλιση του κανονιστικού πλαισίου που ισχύει στις περισσότερες χώρες. Όμως, οι δύο αυτές μέθοδοι

διαχωρίζονται περαιτέρω με κριτήριο τον βαθμό παρέμβασης και/ή τον τρόπο απομάκρυνσης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι μέθοδοι παροπλισμού των αγωγών.

#### **5.3.2.1. Διατήρηση αγωγών στην αρχική τους θέση**

Ο αγωγός που πρόκειται να διατηρηθεί στην αρχική του θέση μετά τον παροπλισμό του, αρχικά καθαρίζεται για την απομάκρυνση υπολειμμάτων Υ/Α. Στη συνέχεια αποκόπτεται από τις εξέδρες παραγωγής και γεμίζεται με θαλασσινό νερό. Τα ανοιχτό άκρο του αγωγού σφραγίζεται και θάβεται κάτω από σκυρόδεμα, σε βάθος τουλάχιστον 3 ft κάτω από τον θαλάσσιο πυθμένα. Σε κάθε περίπτωση οι παροπλισμένοι αγωγοί που παραμένουν υποθαλάσσια δεν θα πρέπει να εγείρουν κινδύνους για τη ναυσιπλοΐα, την αλιεία και τις λοιπές θαλάσσιες δραστηριότητες (Grismala, 2015).

Κατά τη διατήρηση των αγωγών στην αρχική τους θέση, ανάλογα με το βαθμό παρέμβασης διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- Ελάχιστη παρέμβαση

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου οι αγωγοί έχουν παραμείνει θαμμένοι σε όλη τη διάρκεια της παραγωγικής ζωής της υπεράκτιας εγκατάστασης. Ωστόσο, για την ασφάλεια των θαλάσσιων δραστηριοτήτων μπορεί να είναι επιθυμητό να διατηρηθεί κάποιος έλεγχος στην υποβάθμιση των αγωγών, με την πάροδο του χρόνου, παρ' όλο που δεν είναι εύκολο αυτή να εκτιμηθεί με ακρίβεια.

Η υποβάθμιση και η τελική κατάρρευση πιθανότατα θα συμβούν σε διαφορετικά τμήματα του αγωγού και μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα. Η εμπειρία με τη λειτουργία αγωγών που βρίσκονται σε αμμώδη βυθό δείχνει ότι οι περισσότεροι από αυτούς τείνουν εν όλω ή εν μέρει να «θάβονται σταδιακά μόνοι τους». Τα κομμάτια ενός σπασμένου αγωγού θα αποτελέσουν εμπόδιο σε περιοχές όπου πραγματοποιείται παραγωγική αλιεία με αλιευτικά εργαλεία όπως τράτα και δίχτυα (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011).

- Περιορισμένη παρέμβαση

Σε αυτή την περίπτωση, είναι αναγκαίο να αφαιρεθούν επιλεκτικά ορισμένα τμήματα των αγωγών που δύναται να είναι επικίνδυνα προς τους υπόλοιπους χρήστες της εκάστοτε

θαλάσσιας περιοχής. Έτσι, τα τμήματα προς αφαίρεση, κόβονται και μεταφέρονται στην ξηρά μέσω ειδικών σκαφών.

- Αυξημένη παρέμβαση

Οι αγωγοί που βρίσκονται πάνω στον πυθμένα της θάλασσας και δεν είναι ενταφιασμένοι, είτε τμήματά τους παραμένουν εκτεθειμένα εντός απλήρωτων ορυγμάτων, μπορούν να ενταφιαστούν προκειμένου να εξαιρεθούν τυχόν πιθανές αλληλεπιδράσεις με άλλους χρήστες της θάλασσας. Για τον σκοπό αυτό διατίθενται δύο βασικές μέθοδοι:

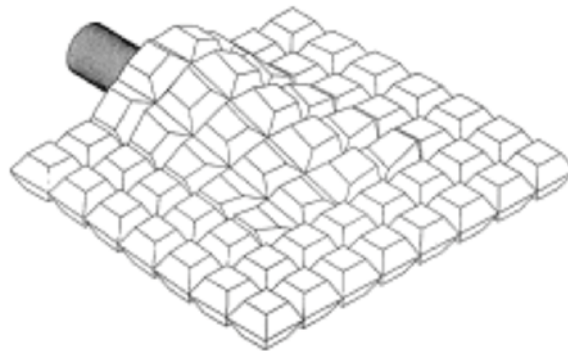
- 1) Κάλυψη με χαλίκι και/ή λιθορριπή
- 2) Πλήρης ενταφιασμός

Για τη δεύτερη μέθοδο διανοίγεται μια τάφρος στην οποία τοποθετείται ο αγωγός. Αυτή η τάφρος θα γεμίσει με φυσικό τρόπο με την πάροδο του χρόνου. Εάν η φυσική αυτή διεργασία καθυστερεί πολύ, δύναται να μετακινηθούν υλικά από τον θαλάσσιο βυθό προς κάλυψη της τάφρου. Το βάθος του ενταφιασμού καθορίζεται από ποικίλους παράγοντες, όπως οι συνθήκες του πυθμένα και λαμβάνοντας υπόψη ότι η διαδικασία δεν πρέπει να θέτει σε κίνδυνο τους υπόλοιπους χρήστες της εκάστοτε θαλάσσιας περιοχής (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011).

### **5.3.2.2. Ολική απομάκρυνση αγωγών από την αρχική τους θέση**

Η μέθοδος ολικής απομάκρυνσης των αγωγών μίας υπεράκτιας εξέδρας παραγωγής Υ/Α συχνά εξελίσσεται με αντίστροφη σειρά των εργασιών εγκατάστασης. Οι εύκαμπτοι αγωγοί τυλίγονται σε πολύ μεγάλους κυλίνδρους στο κατάστρωμα ενός σκάφους, ενώ οι χαλύβδινοι κόβονται σε κατάλληλα μήκη και φορτώνονται με τη βοήθεια σκάφους με επαρκή ικανότητα ανύψωσης και μεταφοράς του αγωγού στη στεριά.

Αρχικά, δύτες αποκόπτουν τον αγωγό από την εξέδρα, εισάγουν ένα φραγμό στο ανοιχτό άκρο του και στη συνέχεια ο αγωγός καθαρίζεται και το άκρο του ενταφιάζεται κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας. Εναλλακτικά, το τελευταίο κομμάτι του αγωγού δύναται να καλυφθεί από ένα κάλυμμα σκυροδέματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5-4, και παραμένει στην αρχική του θέση.



Σχήμα 5-4. Χρήση καλύμματος από σκυρόδεμα (Culwell & McCarthy, 1997)

Στη συνέχεια, η ανάκτηση των τμημάτων των αγωγών πραγματοποιείται με τη βοήθεια γερανού που τα θα ανυψώσει και θα τα μεταφέρει σε φορηγίδα μεταφοράς. Λόγω των μεγάλων τάσεων που αναπτύσσονται κατά την ανύψωση, τα τμήματα των αγωγών δύναται να παρουσιάζουν λυγισμό και κάμψη σε ορισμένα σημεία, χωρίς όμως να επιβαρύνουν τη διαδικασία αφαίρεσης. Τέλος, μπορεί να απαιτείται εκσκαφή ορισμένων τμημάτων προκειμένου να λάβει χώρα η απομάκρυνσή τους.

### 5.3.3. Ανακύκλωση αγωγών και επαναχρησιμοποίηση υλικών

Μετά την απομάκρυνση ενός αγωγού από την αρχική του θέση σε μια υπεράκτια εγκατάσταση παραγωγής Υ/Α, ο χάλυβας από τον οποίο αποτελείται δύναται να ανακυκλωθεί, έχοντας ως κριτήριο την ακεραιότητα του αγωγού και των υλικών από τα οποία αποτελείται. Η επένδυση που εμποδίζει τη διάβρωση του χάλυβα σε τέτοια είδη αγωγών (ανοδίωση), θα πρέπει να αφαιρείται πριν ο αγωγός οδηγηθεί προς ανακύκλωση. Σε περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η αφαίρεση της επένδυσης, οι αγωγοί μεταφέρονται σε κατάλληλους χώρους υγειονομικής ταφής. Οι αγωγοί φυσικού αερίου, μετά τον καθαρισμό τους από τα υπολείμματα υδρογονανθράκων, δύναται να επαναχρησιμοποιηθούν ως κανάλια καλωδίων (conduits for cabling) (Pors, Verbeek, Wurplel, & Briët, 2011).

Όσον αφορά την ανακύκλωση των ανακτούμενων καλωδίων σε μία υπεράκτια εγκατάσταση, πραγματοποιείται μετά την αφαίρεση των μεταλλικών άκρων των καλωδίων.

#### 5.3.4. Διαδικασία παροπλισμού αγωγών

Πολλές από τις εργασίες παροπλισμού των υπεράκτιων αγωγών είναι ίδιες, ανεξάρτητα από τη μέθοδο παροπλισμού (ολικής απομάκρυνσης αγωγού ή διατήρησή του στην αρχική του θέση).

Αρχικά, λαμβάνει χώρα ο εντοπισμός της ένωσης του προς παροπλισμό αγωγού με τον κεντρικό αγωγό μεταφοράς Υ/Α (trunkline), με χρήση μαγνητόμετρου ή ραδιόμετρου. Η ένωση κάθε επιμέρους αγωγού με τον κεντρικό συνήθως βρίσκεται ενταφιασμένη σε βάθος τουλάχιστον 5 ποδιών. Ακολουθεί η αποκοπή του αγωγού από το τον κεντρικό και η κάλυψη και σφράγιση των άκρων εκείνου ώστε να μην υπάρξει διαφυγή Υ/Α κατά την ανύψωσή του στην επιφάνεια (σε κατάλληλο σκάφος) (Εικόνα 5-14), όπου θα πραγματοποιηθεί ο καθαρισμός του με θαλασσινό νερό. Τα υπολείμματα καθαρισμού του αγωγού διοχετεύονται σε δεξαμενή προς επεξεργασία και κατάλληλη διάθεση.



Εικόνα 5-14. Σύστημα απομάκρυνσης υπεράκτιων αγωγών (Laytrix Limited, 2019)

Στην περίπτωση όπου ο αγωγός θα παραμείνει στην αρχική του θέση (leave in place), ακολουθεί η κοπή των άκρων του και ο ενταφιασμός τους, όπως προαναφέρθηκε.

#### 5.4. Παροπλισμός σωρών θρυμμάτων όρυξης (drill cutting piles)

Οι σωροί των θρυμμάτων όρυξης αποτελούν τα στερεά απόβλητα της διαδικασίας διάνοιξης κάθε γεώτρησης. Είναι ρυπασμένοι με Υ/Α και συχνά μπορεί να περιέχουν βαρέα

μέταλλα, πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) και υλικά με αυξημένη φυσική ραδιενέργεια (NORMs) που προέρχονται από τον ταμιευτήρα και τους υπερκείμενους σχηματισμούς.

Στις υπεράκτιες εξέδρες τα θρύμματα της όρυξης, όταν δεν παρασύρονται από τα κύματα και τα θαλάσσια ρεύματα, συγκεντρώνονται σε σωρούς στον πυθμένα γύρω τη βάση της εξέδρας, κυρίως εντός της περιοχής μεταξύ των ποδιών της. Οι σωροί των θρυμμάτων ποικίλουν σημαντικά ως προς το μέγεθος και τη σύνθεσή τους, στοιχεία που μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου, και σε μερικές περιπτώσεις καθίστανται σταδιακά πολύ συμπαγείς. Η προσπέλασή τους μπορεί να είναι δύσκολη καθώς βρίσκονται ανάμεσα στα πόδια της εξέδρας, τα χαλύβδινα μέρη του χωροδικτύωματος και το riser. Το μέσο ύψος ενός σωρού θρυμμάτων κυμαίνεται μεταξύ 16 και 23 πόδια (5-7 μέτρα), στη Βόρεια Θάλασσα. Η παρακολούθηση τέτοιων σωρών έχει δείξει ότι τα υπολείμματα πετρελαίου εντός του σωρού και τα ίδια τα θρύμματα επηρεάζουν το περιβάλλον μόνο τοπικά (Bemment, 2001).

Η μέθοδος διαχείρισης αυτών των σωρών εξαρτάται από το είδος και τον όγκο των περιεχόμενων Υ/Α σε κάθε συγκεκριμένο σωρό, τις τοπικές υδρο-γεωγραφικές συνθήκες και την ύπαρξη κοντινών υποδομών διαχείρισής τους. Έτσι, η τρέχουσα πρακτική στην πετρελαϊκή βιομηχανία είναι η αξιολόγηση κατά περίπτωση της μεθόδου διαχείρισης που θα πρέπει να ακολουθηθεί, εξετάζοντας τις εξής επιλογές (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011):

- 1) Διατήρηση στην αρχική τους θέση (leave in place) με κατάλληλη κάλυψη (covered), χωρίς κάλυψη (uncovered) ή μετά από διασπορά (dispersed).
- 2) Απομάκρυνση από τον θαλάσσιο πυθμένα μέσω επανεισπίεσης σε κατάλληλη γεώτρηση (re-injection) ή με συνακόλουθη επεξεργασία στην ξηρά (treatment on land).

Τέλος, η βιοαποκατάσταση των σωρών υπεράκτια δεν εξετάζεται ως επιλογή για πρακτικούς λόγους (Ekins, Vanner, & Firebrace, 2005).

#### **5.4.1. Διατήρηση των σωρών θρυμμάτων στην αρχική τους θέση (leaving in place)**

Οι σωροί θρυμμάτων που παραμένουν υπεράκτια είτε διατηρούνται ως έχουν στην αρχική τους θέση, είτε καλύπτονται με άμμο, σκυρόδεμα ή γεώφασμα (textile matting). Η



αποδόμησή τους (degradation) είναι αργή, ειδικά στην περίπτωση που καλύπτονται πλήρως από άλλα υλικά και επικρατούν αναερόβιες συνθήκες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι απαιτούνται εκατοντάδες χρόνια για την αποδόμηση των μεγάλων σωρών θρυμμάτων που περιέχουν ρευστά διάτρησης με βάση το πετρέλαιο (OBMs).

Η διατήρηση των σωρών χωρίς κάλυψη εξασφαλίζει την ταχύτερη αποδόμηση των ρυπαντικών ουσιών που περιέχουν με φυσικό τρόπο, το οποίο εκλαμβάνεται από την πετρελαϊκή βιομηχανία ως περιβαλλοντικά ασφαλής πρακτική, αν και μπορεί να επισύρει επιπρόσθετο κόστος, λόγω της απαιτούμενης μακροπρόθεσμης παρακολούθησης, της ποινικής ευθύνης της εταιρείας (liability) και των κοινωνικών αντιλήψεων (public perceptions). Το αν αυτή η επιλογή είναι αποδεκτή εξαρτάται επίσης και από τις μελλοντικές χρήσεις του θαλάσσιου πυθμένα στην περιοχή (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011).

#### **5.4.2. Απομάκρυνση των σωρών των θρυμμάτων από τον θαλάσσιο πυθμένα**

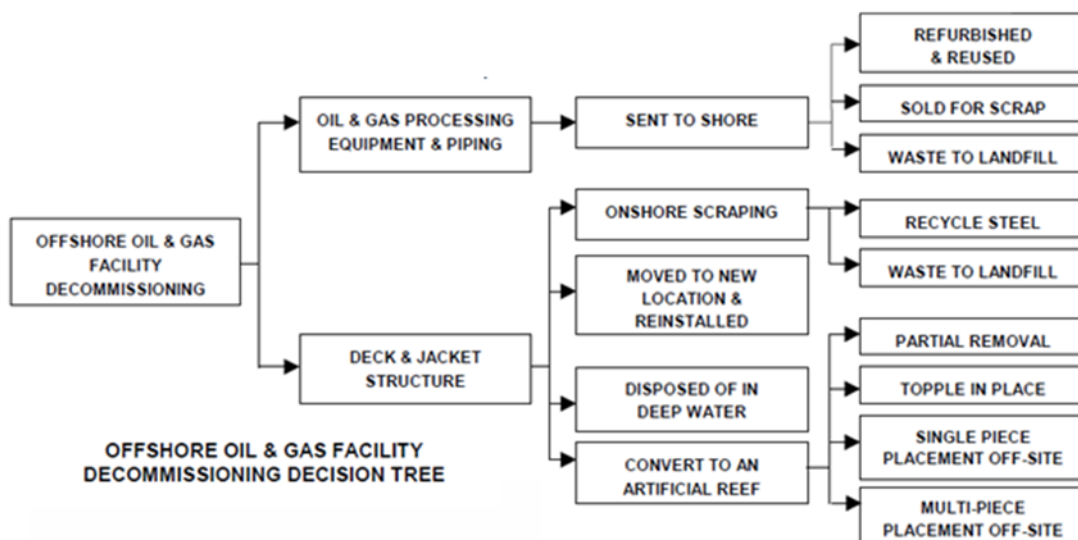
Η πλήρης απομάκρυνση των θρυμμάτων από τον θαλάσσιο πυθμένα μπορεί να επιτευχθεί είτε με άντλησή τους (pumping), είτε με βυθοκόρηση (dredging). Η απλούστερη μέθοδος διάθεσης των θρυμμάτων που απομακρύνονται είναι η υγειονομική τους ταφή (landfill). Ωστόσο, αυτή δεν είναι πάντα η καλύτερη περιβαλλοντικά πρακτική. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται και άλλες επιλογές διάθεσης των θρυμμάτων, όπως η χρήση τους ως υλικό οδόστρωσης (road surfacing), δομικό υλικό (construction materials) ή πηγή καυσίμου (source of fuel). Καμία όμως από αυτές τις επιλογές δεν είναι βιώσιμη οικονομικά και επομένως σπάνια ακολουθείται.

Η επανεισπίεση των αποβλήτων διάτρησης (ρευστών και στερεών) αφορά στην επιστροφή τους στο υπέδαφος. Αυτή η μέθοδος δεν εφαρμόζεται συχνά και δεν είναι τεχνικά εφικτή σε όλες τις περιπτώσεις. Π.χ. στη Βόρεια Θάλασσα δεν επιτρέπεται η μεταφορά των αποβλήτων αυτού του τύπου που παράγεται σε μια εξέδρα για επανεισπίεση σε άλλη εξέδρα. Σε κάθε περίπτωση η μέθοδος είναι τεχνικά εφικτή μόνο κατά τη φάση όρυξης («φρέσκα» θρύμματα) και όχι για παλαιούς σωρούς θρυμμάτων. Περιλαμβάνει δε την άλεση των θρυμμάτων και την προετοιμασία ενός λεπτόκοκκου υδαρούς πολφού (fine slurry), ο οποίος στη συνέχεια εισπίζεται σε γεωτρήσεις που πρόκειται στη συνέχεια να κλείσουν και να εγκαταλειφθούν. Αυτή η μέθοδος εκτελείται εξ ολοκλήρου υπεράκτια και παράγει ελάχιστα έως μηδενικά απόβλητα (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011).

## 5.5. Διάθεση (disposal) παροπλισμένων δομών και εξοπλισμού

Οι επιλογές διάθεσης των παροπλισμένων δομών και του εξοπλισμού μίας υπεράκτιας εγκατάστασης παραγωγής Υ/Α εξαρτώνται άμεσα από περιβαλλοντικούς παράγοντες και από το ρυθμιστικό πλαίσιο που ισχύει στην εκάστοτε περιοχή. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στη Βόρεια Θάλασσα, σύμφωνα με τους κανονισμούς OSPAR δεν επιτρέπεται η διάθεση οποιουδήποτε τμήματος παροπλισμένης υπεράκτιας εγκατάστασης στη θάλασσα.

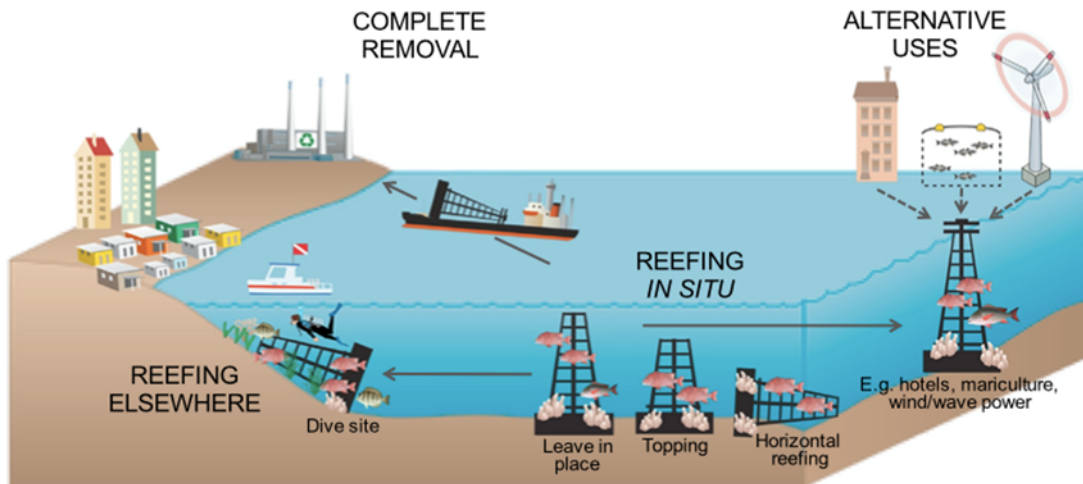
Οι βασικές επιλογές απομάκρυνσης/διάθεσης συνοψίζονται στο διάγραμμα του Σχήματος 5-5. Η απόφαση σχετικά με τις επιλογές απομάκρυνσης και διάθεσης και/ή επαναχρησιμοποίησης του παροπλισμένου εξοπλισμού θα πρέπει να αποτελεί μέρος της συνολικής αξιολόγησης για τον παροπλισμό της υπεράκτιας εγκατάστασης (Prasthofer, 1997).



Σχήμα 5-5. Επιλογές απομάκρυνσης/διάθεσης παροπλισμένων δομών & εξοπλισμών υπεράκτιας εξέδρας (Prasthofer, 1997)

Η διάθεση του παροπλισμένου εξοπλισμού δύναται να γίνει είτε στο θαλάσσιο περιβάλλον, είτε στη στεριά, σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους. Η πρώτη επιλογή λαμβάνει χώρα κάτω από αυστηρές προδιαγραφές και περιλαμβάνει τη χρήση τμημάτων των παροπλισμένων δομών ως τεχνητών υφάλων, είτε στο σημείο που βρίσκονται, είτε αφού μετακινηθούν σε άλλα σημεία που ενδείκνυται για τέτοιες ενέργειες, την ανατροπή ολόκληρης της κατασκευής στην αρχική της θέση και τη μετατροπή της σε οριζόντιο τεχνητό ύφαλο, καθώς και τη χρήση των παροπλισμένων τμημάτων με εναλλακτικούς

τρόπους. Οι επιλογές που αφορούν στη διάθεση παροπλισμένων δομών και εξοπλισμού στη θάλασσα φαίνονται στην Εικόνα 5-15.



Εικόνα 5-15. Επιλογές διάθεσης παροπλισμένων τμημάτων στη θάλασσα (Sommer, et al., 2019)

Η διάθεση στη στεριά λαμβάνει χώρα σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους συγκέντρωσης παλαιών μετάλλων ή διαλυτήρια πλοίων (scrap yards). Οι παροπλισμένες δομές και εξοπλισμός μεταφέρεται εκεί με φορτηγίδες (cargo barges) και αποτίθενται στους χώρους του διαλυτηρίου, είτε με χρήση γερανών, είτε με ολίσθηση από το κατάστρωμα της φορτηγίδας. Τα μεγαλύτερα τμήματα όπως το κατάστρωμα και το χωροδικτύωμα έδρασης, που έχουν αφαιρεθεί από μία υπεράκτια πλατφόρμα παραγωγής Υ/Α συνήθως κόβονται σε μικρότερα κομμάτια και διατίθενται ως scrap (ανακύκλωση), ενώ, τμήματα του εξοπλισμού μπορεί να διατεθούν για επαναχρησιμοποίηση, όπου αυτό είναι δυνατό (Grismala, 2015). Υπάρχουν τμήματα των υπεράκτιων εξεδρών που μπορεί να ανακαινιστούν (refurbished) και να επαναχρησιμοποιηθούν ή ακόμα και να διατεθούν προς απόρριψη σε κατάλληλους χώρους υγειονομικής ταφής.

## 5.6. Μεταφορικά σκάφη

Το είδος και ο αριθμός των σκαφών που απαιτούνται για την ολοκλήρωση των προαναφερόμενων διαδικασιών ποικίλει ανάλογα με το είδος της μεταφερόμενης κατασκευής και της μεθόδου παροπλισμού της που ακολουθείται. Κατά τη διάρκεια παροπλισμού μίας υπεράκτιας εγκατάστασης, η χρήση θαλάσσιων μεταφορικών σκαφών

λαμβάνει χώρα στην περιοχή της εγκατάστασης, κατά μήκος των αγωγών καθώς και σε οποιαδήποτε άλλη τοποθεσία εκφόρτωσης των παροπλισμένων υλικών (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011).

Στα σκάφη που δύναται να χρησιμοποιηθούν κατά τις διαδικασίες παροπλισμού, περιλαμβάνονται τα σκάφη μεταφοράς βαρέως φορτίου (heavy lift vessels), οι ημιβυθιζόμενοι πλωτοί γερανοί (semi-submersible crane vessels), οι φορτηγίδες (barges), τα ρυμουλκά (tow boats), τα βοηθητικά σκάφη (supply boats), καθώς και τα σκάφη υποστήριξης δυτών (dive vessels). Στον Πίνακα 5-6 αναγράφονται οι βασικές κατηγορίες σκαφών που επικουρούν στη μεταφορά τμημάτων κατά τη διαδικασία παροπλισμού.

Πίνακας 5-6. Βασικές κατηγορίες σκαφών παροπλισμού (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011)

Κατηγορία	Δραστηριότητες	Χωρητικότητα
Σκάφη κατασκευών	Υποθαλάσσιες εγκαταστάσεις, δραστηριότητες με τηλεχειριζόμενα υποβρύχια οχήματα (ROVs), επιφάνεια εξέδρας, πιθανή χρήση πολλών γερανών	Ικανότητα ανύψωσης 230 τόνων. Φορτίο καταστρώματος 15-20 mt/m <sup>2</sup> .
Σκάφη υποστήριξης (απομάκρυνσης εξοπλισμού)	Εγκατάσταση, δοκιμές και συντήρηση. Γερανοί ανύψωσης	Ικανότητα ανύψωσης 100-400 τόνους.
Σκάφη με γερανό	Φόρτωση, εξισορρόπηση φορτίου (balancing)	Ικανότητα ανύψωσης το πολύ ως 9000 τόνους. Φορτίο καταστρώματος το πολύ ως 8000 τόνους.
Ρυμουλκά	Μεταφορά (ρυμουλκηση)	Ικανότητα ανύψωσης 160 τόνων.
Φορτηγίδες	Μεταφορά	8000- 130.000 τόνους

Αξίζει να αναφερθεί ότι η διαθεσιμότητα των σκαφών μεταφοράς βαρέως φορτίου (heavy lift vessels) αποτελεί καταλυτικό παράγοντα για τον παροπλισμό των μεγαλύτερων υπεράκτιων εγκαταστάσεων. Αυτού του είδους τα μεταφορικά σκάφη υπάρχουν σε περιορισμένο αριθμό, γεγονός που έχει δημιουργήσει ανησυχίες για το αν θα κατασκευαστούν αρκετά πριν αυξηθεί σημαντικά ο αριθμός των εγκαταστάσεων προς παροπλισμό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μία υπεράκτια εξέδρα παραγωγής Υ/Α, να μη δύναται να παροπλιστεί με τον επιθυμητό τρόπο και στον κατάλληλο χρόνο, οδηγώντας έτσι, είτε στην «προσωρινή απόσυρσή της» (mothballed), είτε στον διαχωρισμό της σε μικρότερα τμήματα. Οι οικονομικές συνέπειες του έργου του παροπλισμού αναλύονται στο Κεφάλαιο 6 (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011).

## 5.7. Επαλήθευση εκκαθάρισης εργοταξίου και παρακολούθηση (site clearance & verification)

Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας παροπλισμού σε μία υπεράκτια εξέδρα παραγωγής Υ/Α είναι η πλήρης εκκαθάριση του εργοταξίου παροπλισμού της εγκατάστασης. Η συγκεκριμένη διαδικασία περιλαμβάνει τον καθαρισμό και την απομάκρυνση των απορριμμάτων και των αποβλήτων που δημιουργήθηκαν όχι μόνο από τις δραστηριότητες παραγωγής Υ/Α, αλλά και από τις εργασίες παροπλισμού και απομάκρυνσης της εξέδρας και του λοιπού εξοπλισμού. Τα απορρίμματα που συλλέγονται από τον πυθμένα της θάλασσας στην ξηρά προς κατάλληλη διάθεση, έτσι ώστε να μην εγείρουν κινδύνους τόσο για τους θαλάσσιους οργανισμούς, όσο και για τις υπόλοιπες χρήσεις της περιοχής. Οι εργασίες εκκαθάρισης του πυθμένα εκτελούνται είτε από δύτες, είτε από τηλεχειριζόμενα υποβρύχια οχήματα (remotely operated underwater vehicles – ROVs) (Εικόνα 5-16).



Εικόνα 5-16. Καθέλκυση ROV για την πλήρη εκκαθάριση του πυθμένα μετά τον παροπλισμό και απομάκρυνση υπεράκτιας εξέδρας (English, 2019)

Μετά την απομάκρυνση μίας υπεράκτιας εξέδρας από την αρχική της θέση είναι απαραίτητο ο θαλάσσιος χώρος να καθαριστεί, έτσι ώστε να μην εγείρει κινδύνους τόσο για τους θαλάσσιους οργανισμούς, όσο και για τις υπόλοιπες χρήσεις της περιοχής. Ύστερα από τις προηγούμενες διαδικασίες είναι απαραίτητη η έκδοση γραπτής αναφοράς όπου περιγράφεται η διαδικασία εκκαθάρισης της θαλάσσιας περιοχής, ενώ καταλυτικό ρόλο

στον επιτυχημένο παροπλισμό μιας υπεράκτιας εγκατάστασης διαδραματίζει η επαλήθευση της πλήρους εκκαθάρισης της περιοχής. Για την επαλήθευση της πλήρους εκκαθάρισης της περιοχής, θα πρέπει να ακολουθηθούν τα ακόλουθα τέσσερα βήματα (Petrowiki, 2019):

- Επιθεώρηση πριν τον παροπλισμό (pre-decommissioning survey) για τη χαρτογράφηση της θέσης και της ποσότητας των αποβλήτων, των αγωγών, των καλωδίων τροφοδοσίας και του φυσικού θαλάσσιου περιβάλλοντος.
- Επιθεώρηση μετά τον παροπλισμό (post decommissioning survey) για τον εντοπισμό αποβλήτων στον θαλάσσιο βυθό μετά τη διαδικασία απομάκρυνσης της εγκατάστασης και την καταγραφή τυχόν περιβαλλοντικής βλάβης.
- Αναγνώριση των θέσεων από δύτες και σκάφη ROVs όπου εντοπίζονται απόβλητα τα οποία θα πρέπει να απομακρυνθούν ώστε να μην παρεμποδίζουν τις υπόλοιπες χρήσεις στην περιοχή.
- Εκτέλεση δοκιμής αλίευσης από τράτα (test trawling) ώστε να διασφαλιστεί ότι δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο στην περιοχή.

Τέλος, η παρακολούθηση της περιοχής μετά την επαλήθευση της εκκαθάρισης της επιβάλλεται στις περιπτώσεις όπου στον πυθμένα της θάλασσας παραμένουν ορισμένες εγκαταστάσεις παραγωγής Υ/Α, οι οποίες δεν εγείρουν κινδύνους για το θαλάσσιο περιβάλλον και τις υπόλοιπες χρήσεις της περιοχής. Η παρακολούθηση λαμβάνει χώρα 2 φορές συνολικά, στο 5ο και 10ο χρόνο μετά από την ολοκλήρωση της διαδικασίας παροπλισμού της υπεράκτιας εξέδρας. Τα ευρήματα της παρακολούθησης συγκρίνονται με τις αρχικές περιβαλλοντικές μελέτες και αναλόγως καθορίζονται οι μελλοντικές απαιτήσεις για τη συγκεκριμένη περιοχή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Κόστος παροπλισμού υπεράκτιας εγκατάστασης Y/A

### 6.1. Εισαγωγή

Αποτελεί γενική παραδοχή το γεγονός ότι το κόστος παροπλισμού μιας υπεράκτιας εγκατάστασης θα πρέπει να υπολογίζεται ήδη από την πρώτη φάση σχεδιασμού της εγκατάστασης, κάτι το οποίο μπορεί να επηρεάσει τις αποφάσεις που θα ληφθούν ως προς την υλοποίηση του παροπλισμού και/ή προς την επέκταση της παραγωγικής ζωής της εγκατάστασης. Αυτή η αρχική εκτίμηση του κόστους παροπλισμού επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις μεθόδους και τη διαδικασία παροπλισμού, καθώς και τον τύπο των συμβολαίων και των εργολάβων που θα αναλάβουν το έργο και, κατά συνέπεια, το συνολικό κόστος μιας υπεράκτιας εγκατάστασης.

Ωστόσο, η πολυπλοκότητα (complexity) και η αβεβαιότητα (uncertainty) της διαδικασίας παροπλισμού παίζει σημαντικό ρόλο στην αξιοπιστία του εκτιμώμενου κόστους. Όσο πιο πολύπλοκη η διαδικασία παροπλισμού, τόσο μεγαλύτερη η αβεβαιότητα που επιτείνεται από την ελλιπή γνώση και την ανεπάρκεια ή την αναξιοπιστία των διαθέσιμων πληροφοριών. Η αβεβαιότητα, συνεπώς, σημαίνει ότι οι παραδοχές σχετικά με την απόδοση, τα χρονοδιαγράμματα, τον καιρό, την ασφάλεια και την τεχνική πολυπλοκότητα μπορεί να διαφέρουν σημαντικά στην πραγματικότητα. Για παράδειγμα, στη Βόρεια Θάλασσα οι σκληρές και δύσκολες συνθήκες εργασίας και ο συνεχώς μεταβαλλόμενος καιρός επιτάσσουν ότι η ανύψωση και η απομάκρυνση των υπεράκτιων εξεδρών πρέπει να ολοκληρώνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό αποτελεί πρόκληση για τον προγραμματισμό του παροπλισμού και την αξιόπιστη εκτίμηση του σχετικού κόστους (Ahiaga-Dagbui, Love, Whyte, & Boateng, 2017)). Έτσι, η εκτίμηση του κόστους παροπλισμού μίας υπεράκτιας εξέδρας παραγωγής Y/A αποτελεί ένα ζήτημα που απαιτεί μέγιστη προσοχή, καθώς επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες και από τιμές που μεταβάλλονται με τον χρόνο.

Η συνήθης προσέγγιση στην εκτίμηση του κόστους των υπεράκτιων έργων είναι η κατάτμησή του σε μικρά διαχειρίσιμα τμήματα ή ενότητες χρησιμοποιώντας ένα



οργανόγραμμα εργασιών (work breakdown structure – WBS). Με ορισμένο περιθώριο σφάλματος, εκτιμώνται τα κόστη για καθένα από αυτά τα τμήματα και το συνολικό κόστος προκύπτει από το άθροισμά τους με ορισμένη αναπροσαρμογή βάσει κινδύνου και αβεβαιότητας (mark-up for risk and uncertainty). Η προσέγγιση είναι σε μεγάλο βαθμό ντετερμινιστική και δεν λαμβάνει υπόψη τον στοχαστικό χαρακτήρα των αποτελεσμάτων των πολύπλοκων συστημάτων (Ahiaga-Dagbui, Love, Whyte, & Boateng, 2017). Κατά αυτή την ντετερμινιστική εκτίμηση του κόστους παροπλισμού μιας υπεράκτιας εγκατάστασης, υπάρχουν δύο προσεγγιστικές μέθοδοι: Η πρώτη είναι η μέθοδος «από την κορυφή προς τα κάτω» ή «από το γενικό στο ειδικό» (top-down approach) η οποία χρησιμοποιεί προγενέστερα δεδομένα κόστους από παλαιότερα έργα παροπλισμού, με στόχο την προσέγγιση του κόστους σε παρόμοια μελλοντικά έργα, μετά από ορισμένη κανονικοποίηση (normalization) των παραγόντων κόστους. Η δεύτερη είναι η μέθοδος «από τα κάτω προς τα άνω» ή «από το ειδικό στο γενικό» (bottom-up approach) (συχνά αναφέρεται και ως οργανόγραμμα εργασιών – WBS) που επικεντρώνεται στην “αποδόμηση” κάθε διαδικασίας σε επιμέρους διακριτά και αναγνωρίσιμα τμήματα και στην εκτίμηση του κόστους για κάθε ένα από αυτά. Στη συνέχεια, αθροίζονται όλα τα επιμέρους κόστη για τον υπολογισμό του συνολικού (Jusoh, 2014).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται κυρίως η ντετερμινιστική προσέγγιση στην εκτίμηση του κόστους παροπλισμού με τη μέθοδο bottom-up. Στην τελευταία ενότητα παρατίθενται επίσης ορισμένα στοιχεία και για τη στοχαστική εκτίμηση του κόστους.

## **6.2. Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος παροπλισμού μιας υπεράκτιας εγκατάστασης**

Τα έργα παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, καθώς κάθε εγκατάσταση διαθέτει μοναδικά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, υπάρχουν κοινοί παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος κάθε έργου παροπλισμού, ως εξής (Byrd, Miller, & Wiese, 2014):

- Σχεδιασμός (planning)
- Επιθεωρήσεις & αδειοδότηση (inspections & permits) (κανονιστική συμμόρφωση - regulatory compliance)

- Σφράγιση & εγκατάλειψη γεωτρήσεων (well P&A)
- Προετοιμασία εξέδρας (platform preparation)
- Παροπλισμός αγωγών (pipeline abandonment)
- Απομάκρυνση σωλήνωσης επαφής (conductor removal)
- Απομάκρυνση & διάθεση εξάλων εξέδρας (topsides removal & disposal)
- Απομάκρυνση & διάθεση υφάλων εξέδρας (substructure removal & disposal)
- Εκκαθάριση εργοταξίου & αποκατάσταση (site clearance & remediation)

Οι παραπάνω παράγοντες κόστους παρουσιάζονται γραφικά στην Εικόνα 6-1.



Εικόνα 6-1. Κύριοι παράγοντες κόστους ενός έργου παροπλισμού υπεράκτιας εγκατάστασης (Byrd, Miller, & Wiese, 2014)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι πιο σημαντικές μεταβλητές που επηρεάζουν τους κύριους παράγοντες κόστους της διαδικασίας παροπλισμού μίας υπεράκτιας εξέδρας παραγωγής Υ/Α (Grismala, 2015).

### 6.2.1. Σφράγιση & εγκατάλειψη γεώτρησης (well P&A)

Κατά τη διαδικασία σφράγισης και εγκατάλειψης μίας γεώτρησης, υπάρχουν ορισμένες μεταβλητές από τις οποίες εξαρτάται σημαντικά το συνολικό κόστος της διαδικασίας παροπλισμού και οι οποίες είναι:

- Ο αριθμός των γεωτρήσεων προς σφράγιση και εγκατάλειψη που συνδέονται με μία ή περισσότερες εξέδρες παραγωγής Y/A.
- Το κόστος εμπλοκής (κινητοποίησης) (mobilization cost) ανά γεώτρηση μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των γεωτρήσεων προς σφράγιση και εγκατάλειψη. Ως κόστος εμπλοκής (κινητοποίησης) θεωρείται το κόστος ναύλωσης ενός ή περισσότερων σκαφών για τους σκοπούς του παροπλισμού και κινητοποίησής του από τον χώρο ελλιμενισμού του στο εργοτάξιο.
- Η κατάσταση της κάθε γεώτρησης καθορίζει τον εξοπλισμό που θα απαιτηθεί για τη σφράγιση και εγκατάλειψή της. Σε μια γεώτρηση χωρίς προβλήματα η σφράγισή της μπορεί να γίνει χωρίς τη χρήση γεωτρυπάνου (rigless operations), γεγονός που συνεπάγεται μικρότερο κόστος. Αντίθετα, η χρήση γεωτρυπάνου για τη σφράγιση γεωτρήσεων που αντιμετωπίζουν προβλήματα συνεπάγεται υψηλότερο κόστος.
- Ο αριθμός των παραγωγικών ζωνών που πρέπει να απομονωθούν και ο αριθμός των σωλήνων παραγωγής (single, dual or triple completion) επηρεάζει σημαντικά τη χρονική διάρκεια των εργασιών και τις ποσότητες των αναλώσιμων που θα χρειαστούν.

### 6.2.2. Παροπλισμός αγωγών (pipeline decommissioning)

- Απόσταση μετακίνησης για αποσυναρμολόγηση.
- Βάθος θάλασσας.
- Τύπος εξοπλισμού που απαιτείται για τον παροπλισμό (δύτες ή τηλεχειριζόμενα οχήματα – ROVs).
- Τύπος απαιτούμενων σκαφών (σκάφος εργασιών, καταδυτικό σκάφος, σκάφος με δυναμική διατήρηση θέσης).

- Σημείο απόληξης αγωγού [σε riser ή σε υποθαλάσσια θέση πρόσδεσης – subsea tie-in (SSTI)].
- Διεύθυνση ροής αγωγού: εισερχόμενη, εξερχόμενη ή αμφίδρομη.
- Όγκος έκπλυσης (flushing volume) (250% του όγκου του αγωγού) ή όγκος καθαρισμού με έμβολο (pigging volume) (100% του όγκου του αγωγού).
- Παροχή έκπλυσης (flushing flow rate).
- Αν στον αγωγό υπάρχει συσσώρευση άμμου ή παραφινών ή παρουσιάζει βλάβες από άγκυρα πλοίου, ο καθαρισμός με έμβολο δεν είναι εφικτός.
- Χρονική διάρκεια καθαρισμού (όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μεγαλύτερο το συνολικό κόστος της διαδικασίας παροπλισμού του).
- Το βάθος που βρίσκονται οι αγωγοί καθώς και τα σημεία απόληξής τους, καθορίζουν αν οι εργασίες παροπλισμού τους θα γίνουν από δύτες ή τηλεχειριζόμενα οχήματα (ROVs).

Στις πλωτές (floating) εξέδρες και τις εξέδρες με κατακόρυφους κλάδους αγκύρωσης (tension leg) στους αγωγούς που παροπλίζονται περιλαμβάνονται και τα riser.

### **6.2.3. Απομάκρυνση σωληνώσεων επαφής (conductor removal)**

- Απομάκρυνση των σωληνώσεων επαφής κατά τη διάρκεια απομάκρυνσης της εξέδρας με χρήση φορηγίδας με γερανό (derrick barge – DB) ή πριν την άφιξη της φορηγίδας.
- Η μέθοδος αποκοπής των σωληνώσεων επαφής. Πιο φθηνή μέθοδος είναι εκείνη με χρήση εκρηκτικών υλών, που όμως μπορεί να αποβεί χρονοβόρα στην περίπτωση που στη συγκεκριμένη περιοχή εντοπιστούν θαλάσσιοι οργανισμοί υπό προστασία.
- Στην περίπτωση όπου ο γερανός της εξέδρας δεν διαθέτει επαρκή ανυψωτική ικανότητα, πρέπει να γίνει εγκατάσταση φορητού γερανού, γεγονός που αυξάνει το συνολικό κόστος της διαδικασίας παροπλισμού.
- Για την επιλογή της σωστής μεθόδου αποκοπής πρέπει να είναι γνωστά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σωληνώσεων επαφής (διάμετρος).

- Αριθμός σωληνώσεων που θα αφαιρεθούν μαζί με τον conductor. Επίσης, έχει σημασία αν οι σωληνώσεις που θα απομακρυνθούν είναι τσιμεντωμένες και ποια είναι η διάμετρός τους.

#### **6.2.4. Παροπλισμός εξέδρας (platform decommissioning)**

##### **6.2.4.1. Εξέδρες εδραζόμενες επί του πυθμένα**

- Απόσταση μετακίνησης της παροπλισμένης εξέδρας.
- Βάθος έδρασης εξέδρας.
- Τρόπος εκτέλεσης των υποβρύχιων εργασιών (δύτες ή ROVs).
- Η απομάκρυνση υφιστάμενου εξοπλισμού ή οι τροποποιήσεις στο κατάστρωμα της εξέδρας ενδέχεται να αλλάξουν το κέντρο βάρους της και συνεπώς τον σχεδιασμό των εργασιών ανύψωσης.
- Όλος ο εξοπλισμός επεξεργασίας και οι σχετικοί αγωγοί πρέπει να καθαριστούν, και τα απόβλητα του καθαρισμού είτε θα πρέπει να υποστούν επεξεργασία πάνω στην εξέδρα (με μεταφορά του κατάλληλου εξοπλισμού επεξεργασίας), είτε να συλλεχθούν σε κατάλληλη δεξαμενή προς επεξεργασία στη στεριά.
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του καταστρώματος και του χωροδικτύωματος πρέπει να είναι γνωστά, προκειμένου να επιλεχθούν οι κατάλληλες φορτηγίδες φόρτωσης και μεταφοράς (derrick & cargo barges).
- Οι περιπτώσεις όπου κρίνεται απαραίτητη η κοπή σε επιμέρους τμήματα της εξέδρας, αποτελούν τις πιο δαπανηρές, σε αντίθεση με την ολική αφαίρεση που πραγματοποιείται σε μία μεταφορά.
- Εάν οι πάσσαλοι υποστήριξης (piles) πρέπει να αφαιρεθούν προκειμένου να μειωθεί το βάρος του χωροδικτύωματος, η πιο οικονομική λύση είναι η χρήση μηχανικών ή λειαντικών μεθόδων αποκοπής.
- Η τελική διάθεση του χωροδικτύωματος (ολική απομάκρυνση ή χρήση ως τεχνητός ύφαλος).

- Η μέθοδος κοπής και απομάκρυνσης του χωροδικτυώματος πρέπει να προσδιορίζονται με γνώμονα την ελαχιστοποίηση του κόστους, καθώς και την αποτελεσματικότητα.

#### 6.2.4.2. Πλωτές εξέδρες

- Απόσταση μετακίνησης ως τον χώρο αποσυναρμολόγησης.
- Βάθος έδρασης εξέδρας.
- Τρόπος εκτέλεσης των υποβρύχιων εργασιών (δύτες ή ROVs).
- Εάν πρέπει να αφαιρεθεί το κατάστρωμα.
- Όλος ο εξοπλισμός επεξεργασίας και οι σχετικοί αγωγοί πρέπει να καθαριστούν, και τα απόβλητα του καθαρισμού είτε θα πρέπει να υποστούν επεξεργασία πάνω στην εξέδρα (με μεταφορά του κατάλληλου εξοπλισμού επεξεργασίας), είτε να συλλεχθούν σε κατάλληλη δεξαμενή προς επεξεργασία στη στεριά.
- Αριθμός και τύπος γραμμών πρόσδεσης (mooring lines) του συστήματος αγκύρωσης της εξέδρας (anchoring system) που πρέπει να μετακινηθούν από τον γερανό επί της εξέδρας (γραμμές από χάλυβα, πολυμερές ή άλλου τύπου καλώδιο, αλυσίδα ή συνδυασμός τους).
- Στην περίπτωση εξέδρας TLP, ο αριθμός των χαλύβδινων σωλήνων στήριξης και το βάρος αυτών που θα πρέπει να ανυψωθεί από τον γερανό.
- Εάν οι πάσσαλοι αγκύρωσης στον βυθό (anchor piles) θα παραμείνουν στην αρχική τους θέση ή εάν θα απομακρυνθούν.
- Εάν το σύστημα αγκύρωσης θα παραμείνει στην αρχική του θέση ή θα απομακρυνθεί.
- Η μέθοδος αποκοπής των γραμμών πρόσδεσης στους πασσάλους αγκύρωσης. Αν η γραμμή πρόσδεσης μπορεί να αποσυναρμολογηθεί ή θα πρέπει να αποκοπεί από τη γάστρα.
- Η ικανότητα ανύψωσης του γερανού και των φορηγίδων μεταφοράς που επιλέγεται επηρεάζει τον σχεδιασμό αποκοπής και απομάκρυνσης του συστήματος αγκύρωσης.

- Ο αριθμός των ρυμουλκών (tow tugs) που απαιτούνται για τη μεταφορά της γάστρας σε νέα θέση, χώρο ανακατασκευής (refurbishing yard) ή χώρο συγκέντρωσης παλαιών μετάλλων (scrap facility).

#### **6.2.4.3. Υποθαλάσσια συστήματα (subsea systems)**

- Απόσταση μετακίνησης ως τον χώρο αποσυναρμολόγησης.
- Βάθος θάλασσας.
- Τρόπος εκτέλεσης των υποβρύχιων εργασιών (δύτες ή ROVs).
- Εάν τα υποθαλάσσια συστήματα θα παραμείνουν στην αρχική τους θέση ή εάν θα απομακρυνθούν πλήρως από την εκάστοτε περιοχή.
- Εάν τα υποθαλάσσια συστήματα είναι αγκυρωμένα απευθείας πάνω στον πυθμένα ή πάνω σε ειδικές πλατφόρμες (anchored templates).
- Εάν οι ειδικές πλατφόρμες αγκύρωσης θα αφαιρεθούν ή εάν θα παραμείνουν στην αρχική τους θέση.
- Η μέθοδος αποκοπής τυχόν πασσάλων αγκύρωσης.
- Στην περίπτωση απομάκρυνσης των υποθαλάσσιων συστημάτων, πρέπει να προσδιορίζονται οι διαστάσεις αυτών, το βάθος στο οποίο βρίσκονται καθώς και το βάρος που θα ανυψώσει ο γερανός. Όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά τη διάρκεια της διαδικασίας παροπλισμού, που κατά συνέπεια, το συνολικό κόστος του.

#### **6.2.5. Εκκαθάριση & επιβεβαίωση εκκαθάρισης εργοταξίου (site clearance & verification)**

- Απόσταση μετακίνησης ως τον χώρο αποσυναρμολόγησης.
- Βάθος θάλασσας.
- Εάν στην περιοχή γίνεται αλιεία με τράτες.
- Εάν έχει επιλεγεί εναλλακτική μέθοδος διάθεσης του παροπλισμένου εξοπλισμού.



- Εάν πρέπει να απομακρυνθούν απορρίμματα από την εκάστοτε θαλάσσια περιοχή. Γενικά, ισχύει ότι όσο πιο μεγάλη η ηλικία της εξέδρας, τόσα περισσότερα απορρίμματα θα έχουν δημιουργηθεί με το πέρασμα του χρόνου και επομένως θα είναι πιο χρονοβόρα και δαπανηρή η διαδικασία εκκαθάρισης.

#### 6.2.6. Διάθεση εξοπλισμού & υλικών που απομακρύνθηκαν (materials disposal)

Υπάρχουν τρεις κύριες μέθοδοι διάθεσης του χάλυβα και των υπόλοιπων υλικών που προέρχονται από μία εξέδρα υπεράκτιας παραγωγής Υ/Α. Η πρώτη έχει να κάνει με ανακατασκευή και επαναχρησιμοποίηση, η δεύτερη με διαχείριση ως παλιομέταλλο (scrap) και ανακύκλωση και η τρίτη μέθοδος είναι η διάθεση σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους (landfills). Παρόλα αυτά, οι περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται η πρώτη μέθοδος είναι σπάνιες, λόγω των αυστηρών περιορισμών που θέτουν οι σύγχρονοι τεχνικοί κανονισμοί. Αποτέλεσμα αυτού είναι τα περισσότερα υλικά προερχόμενα από διαδικασίες παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων παραγωγής Υ/Α να οδηγούνται προς ανακύκλωση.

Στην περίπτωση της ανακύκλωσης δύναται να μεταφερθούν τμήματα όπως εξέδρες, αγωγοί, υποθαλάσσια και πλωτά συστήματα παραγωγής Υ/Α. Οι χώροι ανακύκλωσης αυτών των τμημάτων καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις (Εικόνα 6-2) και φέρουν κατάλληλο εξοπλισμό διαχείρισης των υλικών.



Εικόνα 6-2. Χώρος ανακύκλωσης παροπλισμένων τμημάτων εξεδρών στην πόλη Μόργκαν, Λουϊζιάνα (Grismala, 2015)

### 6.3. Υπολογιστική προσέγγιση κόστους παροπλισμού

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η υπολογιστική προσέγγιση στην εκτίμηση του κόστους παροπλισμού για κάθε σημαντική διεργασία, με βάση το καταγεγραμμένο κόστος (stated cost) από περιπτώσεις παροπλισμού υπεράκτιων γεωτρήσεων, δημοσιευμένου πίνακες υπολογισμού κόστους και σχετικές εξισώσεις.

Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η εκτίμηση του κόστους για τις ακόλουθες διεργασίες παροπλισμού:

- Συνολικός σχεδιασμός (engineering) & διαχείριση έργου (project management)
- Σφράγιση & εγκατάλειψη γεωτρήσεων (well plugging & abandonment)
- Παροπλισμός αγωγών (pipeline decommissioning)
- Παροπλισμός σωλήνωσης επαφής (conductor decommissioning)
- Παροπλισμός εξέδρας (platform decommissioning)
  - Σταθερές εξέδρες (fixed platforms)
  - Πλωτές εξέδρες (floating platforms)

#### 6.3.1. Συνολικός σχεδιασμός (engineering) και διαχείριση έργου (project management)

Τα κόστη σχεδιασμού και προγραμματισμού (planning & engineering), διαχείρισης έργου (project management), όπως και αυτά που αφορούν σε απρόβλεπτες δαπάνες λόγω καιρού (weather contingencies) και λοιπές δαπάνες (work provisions), συνήθως δεν υπολογίζονται άμεσα, αλλά λαμβάνονται ως ποσοστά του άμεσα υπολογιζόμενου κόστους (directly estimated costs).

Η φάση συνολικού σχεδιασμού του παροπλισμού μιας υπεράκτιας εξέδρας, ξεκινάει συνήθως 2-3 χρόνια πριν την οριστική παύση της παραγωγής και περιλαμβάνει εργασίες όπως: επισκόπηση των συμβατικών υποχρεώσεων (review of contractual obligations), σχεδιασμό και προγραμματισμό των εργασιών και εκτέλεση των απαραίτητων συμβάσεων με εργολάβους (contracting) όπου απαιτείται. Περιλαμβάνει επίσης επιτόπιες επιθεωρήσεις για την επαλήθευση της δομικής ακεραιότητας της εξέδρας και του εξοπλισμού. Αντίστοιχα,

η διαχείριση του έργου παροπλισμού μίας υπεράκτιας εξέδρας παραγωγής Υ/Α περιλαμβάνει τις μηχανικές διεργασίες, καθώς και τον προγραμματισμό τους.

Τα σχετικά κόστη για όλες τις προηγούμενες διαδικασίες παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση, ανάλογα με τη δομή της εταιρείας, τον τύπο της υπεράκτιας εξέδρας, το μέγεθός της, το βάθος της θάλασσας και τις διαδικασίες απομάκρυνσης, μεταφοράς και διάθεσής της. Από την ανάλυση των ιστορικών στοιχείων του κόστους παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων στον Κόλπο του Μεξικού, για μια περίοδο 30 ετών, προέκυψε ότι το κόστος σχεδιασμού και διαχείρισης έργου του παροπλισμού αποτελεί το 8% του συνολικού κόστους. Οι απρόβλεπτες δαπάνες λόγω καιρού λαμβάνονται συνήθως ως 20% του κόστους κινητοποίησης των απαραίτητων σκαφών διαχείρισης και μεταφοράς του παροπλιζόμενου εξοπλισμού (Grismala, 2015).

Όσον αφορά, τις λοιπές δαπάνες αυτής της φάσης παροπλισμού μιας υπεράκτιας εξέδρας, αυτές λαμβάνονται ίσες με το 15% του συνολικού κόστους παροπλισμού. Το ποσοστό αυτό δεν επιλέχθηκε τυχαία. Από την ανάλυση των ιστορικών στοιχείων του κόστους παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων στον Κόλπο του Μεξικού, προέκυψε ότι το πραγματικό κόστος παροπλισμού κάθε εγκατάστασης ήταν συστηματικά περίπου 15% υψηλότερο από αυτό που προϋπολογιζόταν κατά τη φάση σχεδιασμού. Έτσι, υπό τον όρο «λοιπές δαπάνες» (work provisions) περιλαμβάνονται οι δαπάνες που δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν κατά τον υπολογισμό του άμεσου κόστους.

Σημειώνεται ότι τα κόστη που αναφέρονται στη συνέχεια και ο τρόπος υπολογισμού τους προέρχονται από το πρόγραμμα Platform Abandonment Estimating System® που έχει αναπτύξει η εταιρεία TSB (Grismala, 2015).

### **6.3.2. Σφράγιση και εγκατάλειψη γεωτρήσεων (well plugging and abandonment)**

#### **6.3.2.1. Γεωτρήσεις με κεφαλή ευρισκόμενη πάνω στην εξέδρα (dry tree wells) σε βάθος θάλασσας 50- 400 ft**

Σε αυτή την ενότητα ο υπολογισμός του κόστους για τη σφράγιση και εγκατάλειψη μίας υπεράκτιας γεώτρησης βασίζεται στις εξής παραδοχές:

- Γεώτρηση δίχως προβλήματα

- Σφράγιση χωρίς τη χρήση γεωτρυπάνου (rigless method)
- Δε συμπεριλαμβάνονται κόστη που μπορούν να προκύψουν από επιπλοκές όπως μπλοκαρισμένες βαλβίδες (stuck valves), σωλήνωση που έχει καταρρεύσει (collapsed casing), ή εμφράξεις λόγω συσσώρευση άμμου, ασφαλτενίων ή κηρών ή και άλλων υλικών.

Επίσης, θεωρείται ότι όλες οι στήλες σωλήνωσης μέσα στη γεώτρηση έχουν τσιμεντωθεί ως την επιφάνεια, ενώ οι στήλες σωλήνωσης με διαμέτρους από 9 5/8 in και κάτω απομακρύνονται κατά την πρώτη φάση της προσωρινής εγκατάλειψης της γεώτρησης (Temporary Abandonment – T&A), με χρήση του γερανού της εξέδρας. Οι σωληνώσεις μεγαλύτερης διαμέτρου απομακρύνονται μαζί με τη σωλήνωση επαφής (conductor severing & removal) αργότερα με τη χρήση κατάλληλης φορτηγίδας (derrick barge).

Το υπολογιζόμενο κόστος προκύπτει από τον συνυπολογισμό του επιμέρους κόστους της κάθε εργασίας που επιτελείται κατά τη φάση αυτή και πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε εξέδρας και του σχεδίου παροπλισμού της.

Στην ακόλουθη εξίσωση φαίνονται οι επιμέρους εργασίες που το κόστος των οποίων συνυπολογίζεται στο άμεσο κόστος σφράγισης και εγκατάλειψης μίας γεώτρησης:

$$\begin{aligned} \text{Cost} = & \text{Mobilization cost} + \text{Setup cost} + \text{P\&A cost} + \text{Rig down cost} + \text{Demobilization cost} \\ & + \text{Work provision} + \text{Weather contingency} \\ & + \text{Engineering/Project Management cost} \end{aligned} \quad (6.1)$$

Όπου:

Mobilization cost = κόστος εμπλοκής (κινητοποίησης) των απαραίτητων σκαφών για τους σκοπούς του έργου (derrick & cargo barges)

Setup cost = κόστος έναρξης των εργασιών

P&A cost = κόστος σφράγισης & εγκατάλειψης γεωτρήσεων

Rig down cost = κόστος αποσυναρμολόγησης & απομάκρυνσης εξοπλισμού

Demobilization cost = κόστος απεμπλοκής των απαραίτητων σκαφών μετά το πέρας των εργασιών

Work provision = λοιπές δαπάνες

Weather contingency = απρόβλεπτες δαπάνες λόγω καιρού

Engineering/Project Management Cost = κόστος σχεδιασμού & διαχείρισης έργου

Το κόστος κάθε μιας από τις παραπάνω επιμέρους εργασίες υπολογίζεται με τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\text{Mobilization cost} = \text{Workboat hourly rate} * (12 \text{ hr} + \text{Mob distance}/\text{boat speed})$$

$$\text{Setup cost} = \text{Setup hourly rate} * 4 \text{ hr/well} * \text{No. of wells}$$

$$\text{P\&A cost} = \text{P\&A hourly rate} * 84 \text{ hr/well} * \text{No. of wells}$$

$$\text{Rig down cost} = \text{Rig down hourly rate} * 4 \text{ hr/well} * \text{No. of wells}$$

$$\text{Demobilization cost} = \text{Workboat hourly rate} * (12 \text{ hr} + \text{Mob distance}/\text{boat speed})$$

$$\text{Eng/PM cost} = 8\% * (\text{Mob cost} + \text{Setup cost} + \text{P\&A cost} + \text{Rig down cost} + \text{Demob cost})$$

$$\text{Weather contingency} = 20\% * (\text{Setup cost} + \text{P\&A cost} + \text{Rig down cost})$$

$$\text{Work provision} = 15\% * (\text{Setup cost} + \text{P\&A cost} + \text{Rig down cost}) \quad (6.2)$$

Ενδεικτικά, στον Πίνακα 6-1 παρουσιάζεται ο υπολογισμός του κόστους για μια αντιπροσωπευτική εξέδρα, με αριθμό γεωτρήσεων από 1 έως 20, που βρίσκεται σε βάθος θάλασσας 200 ft και για απόσταση μεταφοράς του παροπλιζόμενου εξοπλισμού 103 ναυτικών μιλίων, με σκάφος που κινείται με ταχύτητα 8 κόμβους ανά ώρα και χρόνο ελλιμενισμού του 12 ώρες.

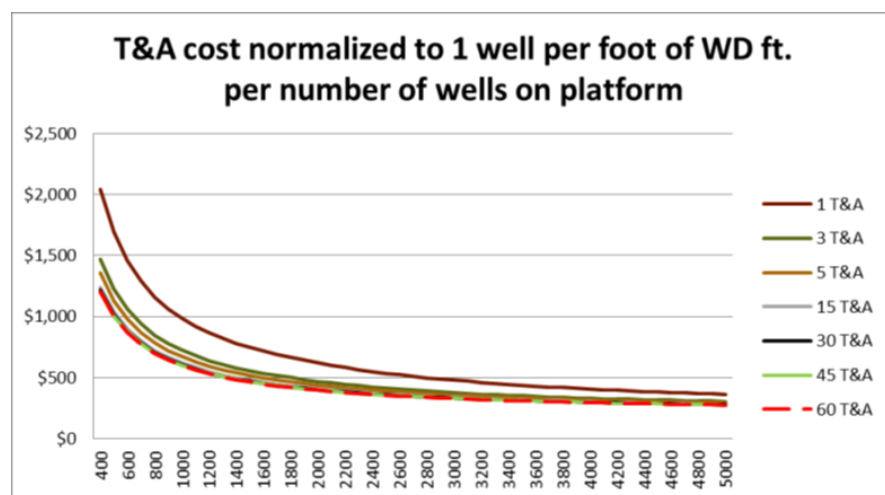
Πίνακας 6-1. Υπολογισμός άμεσου κόστους σφράγισης & εγκατάλειψης γεωτρήσεων με κεφαλή ευρισκόμενη πάνω στην εξέδρα (dry tree wells)  
(Grismala, 2015)

Task	20 Wells		15 Wells		10 Wells		5 Wells		1 Well	
	Hours	Cost	Hours	Cost	Hours	Cost	Hours	Cost	Hours	Cost
Mob P&A Spread (Hr) #24	25	\$37,743	25	\$37,743	25	\$37,743	25	\$37,743	25	\$37,743
Setup on Platform & All Wells (Hr) #11	80	\$121,360	60	\$91,020	40	\$60,680	20	\$30,340	4	\$6,068
P&A Wells on Platform (Hr) #28	1680	\$4,517,120	1260	\$3,387,840	840	\$2,258,560	420	\$1,129,280	84	\$225,856
Rig Down from All Wells & Platform (Hr) #12	80	\$121,360	60	\$91,020	40	\$60,680	20	\$30,340	4	\$6,068
Demob P&A Spread (Hr) #25	25	\$37,743	25	\$37,743	25	\$37,743	25	\$37,743	25	\$37,743
Work Provision - 15% (w/o Mob/Demob)		\$713,976		\$535,482		\$356,988		\$178,494		\$35,699
Weather Contingency - 20% (w/o Mob/Demob)		\$951,968		\$713,976		\$475,984		\$237,992		\$47,598
Engineering & PM - 8% (w/ Mob/Demob)		\$386,826		\$291,629		\$196,432		\$101,236		\$25,078
Total All Wells		\$6,888,096		\$5,186,453		\$3,484,810		\$1,783,168		\$421,853
Cost per Well		\$344,405		\$345,764		\$348,481		\$356,634		\$421,853

### 6.3.2.2. Γεωτρήσεις με κεφαλή ευρισκόμενη στον πυθμένα της θάλασσας (wet tree wells) σε βάθος θάλασσας άνω των 400 ft

Μια τυπική εξέδρα συνήθως φέρει γερανό με ανυψωτική ικανότητα 25 τόνων. Στην περίπτωση που το βάθος θάλασσας υπερβαίνει τα 400 ft, ο γερανός της εξέδρας δεν επαρκεί για την απομάκρυνση των σωληνώσεων μικρότερης διαμέτρου (< 9 5/8 in.) (διαδικασία που επιτελείται στην πρώτη φάση προσωρινής εγκατάλειψης της γεώτρησης), οπότε απαιτείται η κινητοποίηση κατάλληλης φορηγίδας (derrick barge). Το κόστος της φάσης προσωρινής εγκατάλειψης μιας γεώτρησης που η κεφαλή της είναι πάνω στην εξέδρα (dry tree well), για βάθη θάλασσας από 400 έως 5000 ft για μια εξέδρα με 60 γεωτρήσεις, παρουσιάζεται στον Πίνακα 6-2. Η διάρκεια κινητοποίησης των απαραίτητων σκαφών βασίζεται στην απόσταση από το σημείο ελλιμενισμού τους μέχρι το εκάστοτε βάθος θάλασσας, για σκάφη κινούμενα με ταχύτητα 8 κόμβων ανά ώρα συν 12 ώρες ελλιμενισμού τους.

Στο Σχήμα 6-1 παρουσιάζεται το κόστος της πρώτης φάσης παροπλισμού μιας γεώτρησης που αφορά στην προσωρινή εγκατάλειψή της με τα παραπάνω χαρακτηριστικά ανά πόδι βάθους θάλασσας, για διαφορετικό αριθμό γεωτρήσεων ανά εξέδρα. Για παράδειγμα, το κόστος T&A για μια εξέδρα με 60 γεωτρήσεις σε βάθος 1800 ft, όπως προκύπτει από τον Πίνακα 6-1, ανέρχεται σε 45 εκατ. δολάρια. Αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας το Σχήμα 6-1 διαπιστώνεται ότι στα 1800 ft η καμπύλη με τις 60 γεωτρήσεις δίνει ένα κόστος 419 δολαρίων ανά πόδι βάθους νερού ανά γεώτρηση. Συνεπώς, για τις 60 γεωτρήσεις στο βάθος των 1800 ft θάλασσας, το συνολικό κόστος T&A, ανέρχεται σε: \$419/ft-well x 1800 ft x 60 wells = 45 εκατ. δολάρια.



Σχήμα 6-1. Κόστος προσωρινής εγκατάλειψης γεώτρησης (T&A) ανά πόδι βάθους θάλασσας ανάλογα με τον αριθμό των γεωτρήσεων ανά εξέδρα (Grismala, 2015)



Πίνακας 6-2. Υπολογισμός κόστους προσωρινής εγκατάλειψης (T&A) γεωτρήσεων με κεφαλή ευρισκόμενη πάνω στην εξέδρα (dry tree wells) σε βάθος θάλασσας >400 ft (60 γεωτρήσεις ανά εξέδρα) (Grismala, 2015)

Typ. Strings to pull during T&A 7" @ 29#/ft or 9-5/8" @ 53.50 #/ft (Assumes 13"+26"+30" grouted and pulled during PLTF Prep)													
Water Depth Ft.	Dia in.	#/'	ft.	tons	Mob /Demob hrs each	Setup & Rig down hrs each	Typ. T&A per well hrs w/50% cut and pull	Added T&A hours per water depth per well	Pull /Cut per well hrs	Total cost per well w/o Setup & Mob /Demob	Total cost per platform wells	Total cost for 60 platform wells w/Work Provision, Engineering and Weather	Total cost per platform normalized to 1 well
400	9-5/8	53.5	928	24.8	30	12	48	14	35	\$331,547	\$20,132,304	\$28,789,195	\$479,820
500	9-5/8	53.5	1028	27.5	31	12	48	15	39	\$345,802	\$20,993,306	\$30,020,428	\$500,340
600	9-5/8	53.5	1128	30.2	32	12	48	16	43	\$360,057	\$21,854,308	\$31,251,660	\$520,861
700	9-5/8	53.5	1228	32.8	33	12	48	17	47	\$374,312	\$22,715,310	\$32,482,893	\$541,382
800	9-5/8	53.5	1328	35.5	34	12	48	18	50	\$385,716	\$23,405,252	\$33,469,510	\$557,825
900	9-5/8	53.5	1428	38.2	35	12	48	19	54	\$399,971	\$24,266,254	\$34,700,743	\$578,346
1000	9-5/8	53.5	1528	40.9	36	12	48	20	58	\$414,226	\$25,127,256	\$35,931,976	\$598,866
1100	9-5/8	53.5	1628	43.5	37	12	48	21	62	\$428,481	\$25,988,258	\$37,163,209	\$619,387
1200	9-5/8	53.5	1728	46.2	38	12	48	22	65	\$439,885	\$26,678,200	\$38,149,826	\$635,830
1300	9-5/8	53.5	1828	48.9	39	12	48	23	69	\$454,140	\$27,539,202	\$39,381,059	\$656,351
1400	9-5/8	53.5	1928	51.6	40	12	48	24	73	\$468,395	\$28,400,204	\$40,612,292	\$676,872
1500	9-5/8	53.5	2028	54.2	41	12	48	25	77	\$482,650	\$29,261,206	\$41,843,525	\$697,392
1600	9-5/8	53.5	2128	56.9	42	12	48	26	80	\$494,054	\$29,951,148	\$42,830,142	\$713,836
1700	9-5/8	53.5	2228	59.6	43	12	48	27	84	\$508,309	\$30,812,150	\$44,061,375	\$734,356
1800	9-5/8	53.5	2328	62.3	44	12	48	28	88	\$522,564	\$31,673,152	\$45,292,607	\$754,877
1900	9-5/8	53.5	2428	64.9	44	12	48	29	92	\$536,819	\$32,528,452	\$46,515,686	\$775,261
2000	9-5/8	53.5	2528	67.6	44	12	48	30	95	\$548,223	\$33,212,692	\$47,494,150	\$791,569
2100	9-5/8	53.5	2628	70.3	44	12	48	31	99	\$562,478	\$34,067,992	\$48,717,229	\$811,954
2200	9-5/8	53.5	2728	73.0	44	12	48	32	103	\$576,733	\$34,923,292	\$49,940,308	\$832,338
2300	9-5/8	53.5	2828	75.6	44	12	48	33	107	\$590,988	\$35,778,592	\$51,163,387	\$852,723

Typ. Strings to pull during T&A 7" @ 29#/ft or 9-5/8" @ 53.50 #/ft (Assumes 13"+26"+30" grouted and pulled during PLTF Prep)													
Water Depth Ft.	Dia in.	#/'	ft.	tons	Mob /Demob hrs each	Setup & Rig down hrs each	Typ. T&A per well hrs w/50% cut and pull	Added T&A hours per water depth per well	Pull /Cut per well hrs	Total cost per well w/o Setup & Mob /Demob	Total cost per platform wells	Total cost for 60 platform wells w/Work Provision, Engineering and Weather	Total cost per platform normalized to 1 well
2400	9-5/8	53.5	2928	78.3	44	12	48	34	110	\$602,392	\$36,462,832	\$52,141,850	\$869,031
2500	9-5/8	53.5	3028	81.0	44	12	48	35	114	\$616,647	\$37,318,132	\$53,364,929	\$889,415
2600	9-5/8	53.5	3128	83.7	44	12	48	36	118	\$630,902	\$38,173,432	\$54,588,008	\$909,800
2700	9-5/8	53.5	3228	86.3	44	12	48	37	122	\$645,157	\$39,028,732	\$55,811,087	\$930,185
2800	9-5/8	53.5	3328	89.0	44	12	48	38	125	\$656,561	\$39,712,972	\$56,789,550	\$946,492
2900	9-5/8	53.5	3428	91.7	44	12	48	39	129	\$670,816	\$40,568,272	\$58,012,629	\$966,877
3000	9-5/8	53.5	3528	94.4	44	12	48	40	133	\$685,071	\$41,423,572	\$59,235,708	\$987,262
3100	9-5/8	53.5	3628	97.0	44	12	48	41	137	\$699,326	\$42,278,872	\$60,458,787	\$1,007,646
3200	9-5/8	53.5	3728	99.7	44	12	48	42	140	\$710,730	\$42,963,112	\$61,437,250	\$1,023,954
3300	9-5/8	53.5	3828	102.4	44	12	48	43	144	\$724,985	\$43,818,412	\$62,660,329	\$1,044,339
3400	9-5/8	53.5	3928	105.1	44	12	48	44	148	\$739,240	\$44,673,712	\$63,883,408	\$1,064,723
3500	9-5/8	53.5	4028	107.7	44	12	48	45	152	\$753,495	\$45,529,012	\$65,106,487	\$1,085,108
3600	9-5/8	53.5	4128	110.4	44	12	48	46	155	\$764,899	\$46,213,252	\$66,084,950	\$1,101,416
3700	9-5/8	53.5	4228	113.1	44	12	48	47	159	\$779,154	\$47,068,552	\$67,308,029	\$1,121,800
3800	9-5/8	53.5	4328	115.8	44	12	48	48	163	\$793,409	\$47,923,852	\$68,531,108	\$1,142,185
3900	9-5/8	53.5	4428	118.4	44	12	48	49	167	\$807,664	\$48,779,152	\$69,754,187	\$1,162,570
4000	9-5/8	53.5	4528	121.1	44	12	48	50	170	\$819,068	\$49,463,392	\$70,732,651	\$1,178,878
4100	9-5/8	53.5	4628	123.8	44	12	48	51	174	\$833,323	\$50,318,692	\$71,955,730	\$1,199,262
4200	9-5/8	53.5	4728	126.5	44	12	48	52	178	\$847,578	\$51,173,992	\$73,178,809	\$1,219,647
4300	9-5/8	53.5	4828	129.1	44	12	48	53	182	\$861,833	\$52,029,292	\$74,401,888	\$1,240,031
4400	9-5/8	53.5	4928	131.8	44	12	48	54	185	\$873,237	\$52,713,532	\$75,380,351	\$1,256,339
4500	9-5/8	53.5	5028	134.5	44	12	48	55	189	\$887,492	\$53,568,832	\$76,603,430	\$1,276,724

Typ. Strings to pull during T&A 7" @ 29#/ft or 9-5/8" @ 53.50 #/ft (Assumes 13"+26"+30" grouted and pulled during PLTF Prep)													
Water Depth Ft.	Dia in.	#/'	ft.	tons	Mob /Demob hrs each	Setup & Rig down hrs each	Typ. T&A per well hrs w/50% cut and pull	Added T&A hours per water depth per well	Pull /Cut per well hrs	Total cost per well w/o Setup & Mob /Demob	Total cost per platform wells	Total cost for 60 platform wells w/Work Provision, Engineering and Weather	Total cost per platform normalized to 1 well
4600	9-5/8	53.5	5128	137.2	44	12	48	56	193	\$901,747	\$54,424,132	\$77,826,509	\$1,297,108
4700	9-5/8	53.5	5228	139.8	44	12	48	57	197	\$916,002	\$55,279,432	\$79,049,588	\$1,317,493
4800	9-5/8	53.5	5328	142.5	44	12	48	58	200	\$927,406	\$55,963,672	\$80,028,051	\$1,333,801
4900	9-5/8	53.5	5428	145.2	44	12	48	59	204	\$941,661	\$56,818,972	\$81,251,130	\$1,354,185
5000	9-5/8	53.5	5528	147.9	44	12	48	60	208	\$955,916	\$57,674,272	\$82,474,209	\$1,374,570
Using typical platform crane at 25 st and typical largest string to pull during T&A (9-5/8"), at 400' WD the crane capacity is exceeded and therefore casing jacks are necessary for all platform P&A >400' WD (A leap frog crane could also be installed when some of the strings are removed - saving time)													

### 6.3.2.3. Γεωτρήσεις με κεφαλή ευρισκόμενη στον πυθμένα της θάλασσας (*wet tree wells*)

Η βασική διαφορά στη διαδικασία σφράγισης αυτών των γεωτρήσεων, έναντι των γεωτρήσεων που η κεφαλή βρίσκεται πάνω στην εξέδρα, έγκειται στην αναγκαιότητα χρήσης ενός αυτόνομου σκάφους πολλαπλών υπηρεσιών (Multi-Service Vessel-MSV), ή ενός γεωτρυπάνου, είτε κινητής υπεράκτιας μονάδας διάτρησης (Mobile Offshore Drilling Unit-MODU), είτε πλωτού γεωτρυπάνου (semi-submersible), είτε πλοίου-γεωτρυπάνου (drillship). Αυτό είναι απαραίτητο για τη σύνδεσή του στην υποθαλάσσια κεφαλή της γεώτρησης και την απόκτηση πρόσβασης σε εκείνη. Αυτή η αναγκαιότητα αυξάνει σημαντικά το κόστος σφράγισης μίας γεώτρησης και ο τύπος σκάφους που θα επιλεγεί αποτελεί τη μοναδική παράμετρο που επηρεάζει καθοριστικά το κόστος

Επιπροσθέτως, υπάρχει πρόσθετος κίνδυνος περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Όπως αναφέρθηκε, πρέπει να διασφαλιστεί πρόσβαση στη γεώτρηση για να επιτραπεί η εγκατάσταση των απαραίτητων φραγμών σε αυτή. Τα πρόσθετα βήματα, οι συνδέσεις και οι συσκευές για τη διατήρηση του ελέγχου των πιέσεων (ή/και τον έλεγχο της γεώτρησης στη χειρότερη περίπτωση) εισάγουν επιπλέον κινδύνους. Οι κίνδυνοι σε αυτή τη φάση προσομοιάζουν με αυτούς που παρουσιάζονται κατά την όρυξη της γεώτρησης, εκτός από το ότι οι πιέσεις και τα ρευστά εντός της γεώτρησης και εντός των σχηματισμών είναι πλήρως γνωστά κατά τη φάση της σφράγισης και εγκατάλειψής της. Αυτό επιτρέπει στην προετοιμασία του κατάλληλου ρευστού για τη διατήρηση του ελέγχου της γεώτρησης.

Ορισμένες εταιρείες απαιτούν τη χρήση μιας μονάδας MODU για εγκατάλειψη υποθαλάσσιων γεωτρήσεων. Οι πρόσθετες δυνατότητες μιας τέτοιας μονάδας που φέρει ένα πλήρως εξοπλισμένο γεωτρύπανο μπορεί να μειώσει τον πρόσθετο χρόνο που δύναται να απαιτηθεί εάν ανακύψουν προβλήματα κατά την εγκατάλειψη της γεώτρησης. Αν, μάλιστα η εταιρεία έχει μια μακροπρόθεσμη σύμβαση για τη χρήση μιας τέτοιας μονάδας, μπορεί η χρήση της να είναι οικονομικά αποδοτική.

Με την τεχνολογία και τον εξοπλισμό που αναπτύχθηκε πρόσφατα, ένα σκάφος πολλαπλών υπηρεσιών MSV (χωρίς να φέρει μονάδα MODU) μπορεί να εκτελέσει τις εργασίες που απαιτούνται για την εγκατάλειψη της γεώτρησης, εάν επιτρέπεται από το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο και έχει προηγουμένως δοθεί έγκριση για την εγκατάλειψη της κεφαλής της γεώτρησης στη θέση της. Στις ΗΠΑ τέτοιες εγκρίσεις χορηγούνται κατ'



εξαιρέση στις περιπτώσεις που το βάθος θάλασσας υπερβαίνει τα 800 μέτρα και η κεφαλή της γεώτρησης δεν προκαλεί εμπόδια σε άλλες θαλάσσιες οικονομικές δραστηριότητες και δεν εγείρει θέματα ασφάλειας.

Μια άλλη εναλλακτική επιλογή είναι η χρήση σκάφους MSV-T (σκάφος MSV με πύργο - tower). Ο πύργος πάνω στο σκάφος MSV-T έχει μεγαλύτερη ικανότητα ανύψωσης και μπορεί να διαχειριστεί αγωγούς και riser. Μπορεί να επιτελέσει δηλαδή εργασίες ανάλογες με αυτές ενός πλωτού γεωτρύπανου, αλλά με χαμηλότερο ημερήσιο ρυθμό.

Ορισμένες εταιρείες προτιμούν να συνδυάζουν τη χρήση μονάδων MODU με σκάφη άλλου τύπου (non MODU) για να περιορίσουν τον συνολικό χρόνο που απαιτείται να παραμείνει η μονάδα MODU στην τοποθεσία. Ένα άλλο σκάφος (non-MODU) (MSV ή άλλο αυτού του τύπου) μπορεί να εκτελέσει την εγκατάλειψη στο κάτω μέρος της γεώτρησης (απομόνωση του ταμιευτήρα από το εσωτερικό της γεώτρησης και τοποθέτηση εγκάρσιων φραγμών) και στη συνέχεια μια μονάδα MODU μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεταγενέστερο χρόνο για να εκτελέσει την εγκατάλειψη στο άνω μέρος της γεώτρησης (επιφανειακό πώμα, αποκοπή και ανάκτηση σωλήνωσης, αν απαιτείται, και αποκοπή και ανάκτησης κεφαλής, αν απαιτείται).

Σε αυτή την περίπτωση το υπολογιζόμενο κόστος εγκατάλειψης μιας υπεράκτιας γεώτρησης, ανάλογα με τον τύπο του σκάφους (ή των σκαφών) που θα χρησιμοποιηθούν για τον σκοπό αυτό, προκύπτει από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$NonMODU = [(Mob + Demob) * (1 + Eng/PM) + (Operations time) * (1 + Weather + Work + Eng/PM)] * (NonMODU rate) \quad (6.3)$$

$$MODU = [(Mob + Demob) * (1 + Eng/PM) + (Operations time) * (1 + Weather + Work + Eng/PM)] * (MODU rate) \quad (6.4)$$

$$NonMODU Lower \& MODU Upper = (Mob + Demob) * (NonMODU rate) * (1 + Eng/PM) + (Operations time of NonMODU) * (NonMODU rate) * (1 + Weather + Work + Eng/PM) + (Mob + Demob) * (MODU rate) * (Eng/PM) + (Operations time of MODU) * (MODU rate) * (1 + Weather + Work + Eng/PM) \quad (6.5)$$

Όπου:

Mob + Demob = κόστος εμπλοκής (κινητοποίησης) για τους σκοπούς του έργου + απεμπλοκής του μετά το πέρας των εργασιών

Eng/PM = κόστος σχεδιασμού & διαχείρισης έργου

Operations time = χρόνος λειτουργίας του σκάφους για τους σκοπούς του έργου (σε ημέρες)

Weather = απρόβλεπτες δαπάνες λόγω καιρού

Work = λοιπές δαπάνες

NonMODU/MODU rate = ημερήσιο κόστος ενοικίασης σκάφους

Ο επιμερισμός του χρόνου μεταξύ του σκάφους non-MODU, για το χαμηλότερο τμήμα της γεώτρησης, και της μονάδας MODU, για το ανώτερο, βασίζεται στο βάθος της θάλασσας. Το ποσοστό του χρόνου που κατανέμεται στη μονάδα MODU κυμαίνεται από 35% επί της συνολικής διάρκειας των εργασιών εγκατάλειψης σε βάθος θάλασσας 1000 ft, έως 39% σε βάθος 9000 ft. Το ποσοστό του κόστους σχεδιασμού και διαχείρισης έργου παραμένει στο 8% και οι απρόβλεπτες δαπάνες λόγω καιρικών συνθηκών παραμένουν στο 20%. Ωστόσο, οι λοιπές δαπάνες (work provision cost) μειώνονται στο 10% για τις υπεράκτιες γεωτρήσεις που η κεφαλή τους βρίσκεται στον πυθμένα της θάλασσας.

### 6.3.3. Παροπλισμός αγωγών (pipeline decommissioning)

Όταν οι αγωγοί εγκαταλείπονται στην αρχική τους θέση, πρώτα καθαρίζονται (rigged or flushed), τα άκρα τους αποκόπτονται, σφραγίζονται και έπειτα θάβονται. Τα άκρα των αγωγών θάβονται είτε με υδροβολή (jetting) κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας, είτε καλύπτονται με σακιά άμμου ή αρθρωτά στρώματα τσιμέντου (articulated concrete mats).

Στη διαδικασία παροπλισμού των αγωγών σε μία υπεράκτια εξέδρα παραγωγής Υ/Α γίνεται χρήση ορισμένων τύπων πλοίων, τα οποία αναφέρονται εδώ με αύξουσα σειρά ως προς το κόστος λειτουργίας τους :

- Σκάφη εργασίας (workboats-WB) χρησιμοποιούνται σε βάθος θάλασσας κάτω από 120 ft μόνο για εργασίες που αφορούν σε αγωγούς μεταξύ riser (ο αγωγός αρχίζει και τελειώνει σε κατακόρυφο τμήμα που καταλήγει ή ξεκινάει από το κατάστρωμα της εξέδρας) (riser to riser operations). Χρησιμοποιούνται σχεδόν πάντα για τις εργασίες καθαρισμού των αγωγών με rigging ή για το φιλτράρισμα των αποβλήτων έκπλυσης (flushing) των αγωγών. Τυπικά διαθέτουν χώρους ενδιαίτησης για προσωπικό 12-14 ατόμων και το μήκος τους κυμαίνεται μεταξύ 100 και 180 ft.
- Σκάφη κατάδυσης που αγκυρώνονται σε 4 σημεία (anchored 4-points dive boats) χρησιμοποιούνται σε βάθος θάλασσας 400-500 ft.

- Σκάφη κατάδυσης με σύστημα δυναμικής διατήρησης θέσης (dynamically positioned dive boats-DPDB). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιοδήποτε βάθος θάλασσας, ωστόσο προτιμώνται για βάθη 600-800 ft που είναι και το όριο βάθους κορεσμένης κατάδυσης (saturation diving). Δύναται να χρησιμοποιηθούν και σε ρηχότερες θάλασσες αν στον πυθμένα υπάρχουν πολλά απόβλητα (debris) ή όπου υπάρχουν πολλοί αγωγοί που παρεμποδίζουν την αγκυροβόληση σκαφών άλλου τύπου.
- Σκάφη εργασιών σε βαθιά θάλασσα με σύστημα δυναμικής διατήρησης θέσης (dynamically positioned Deep Sea Intervention vessels-DSI) με δυνατότητα χρήσης τηλεκατευθυνόμενων οχημάτων (ROV). Μπορούν να λειτουργήσουν σε οποιοδήποτε βάθος θάλασσας, αλλά τυπικά χρησιμοποιούνται σε βάθη άνω των 800 ft.

Παρόλα αυτά, ανεξάρτητα από το πλοίο που θα χρησιμοποιηθεί σε μία διαδικασία παροπλισμού αγωγών, οι υπόλοιπες διαδικασίες είναι παρόμοιες και δεν επηρεάζουν σημαντικά το κόστος παροπλισμού, ήτοι αγωγοί που ξεκινούν από και καταλήγουν σε εξέδρα (riser to riser) ή αγωγοί που το ένα άκρο τους συνδέεται με riser και το άλλο άκρο τους με υποθαλάσσιο σύνδεσμο (Sub Sea Tie In-SSTI). Οι δύο παράγοντες που καθορίζουν το κόστος παροπλισμού των αγωγών είναι η διάρκεια καθαρισμού τους (flushing) καθώς και η έκταση εκείνων, ο τύπος τους και ο αριθμός των σκαφών που απαιτούνται (ανάπτυγμα αγωγών – pipeline spread).

Ως προς την έκπλυση των αγωγών (flushing), η συνήθης πρακτική της βιομηχανίας είναι να γίνεται με ρυθμό 1 έως 3 ft/sec (FPS). Ως προς το ανάπτυγμα των αγωγών υπάρχουν τυπικά σχήματα που χρησιμοποιούνται για τον παροπλισμό διαφορετικών διαμορφώσεων αγωγών. Όλα τα σχήματα περιλαμβάνουν ένα σκάφος εργασίας με το απαραίτητο πλήρωμα στην εξέδρα κατάληξης του αγωγού (receiving platform). Εάν η επεξεργασία των αποβλήτων έκπλυσης δεν μπορεί να γίνει στην εξέδρα, τότε χρειάζεται και κατάλληλο σκάφος υποδοχής και επεξεργασίας αυτών των αποβλήτων, πέραν των τυπικών σχημάτων που παρουσιάζονται στη συνέχεια:

Αγωγός με ανάπτυγμα Riser to Riser (ξεκινάει από και καταλήγει σε εξέδρα μέσω κατακόρυφου τμήματος-riser)

- Σκάφος εργασίας (workboat), με πλήρωμα και εξοπλισμό έκπλυσης (flushing crew & equipment) & δύτες με παροχή ατμοσφαιρικού αέρα από την επιφάνεια (surface air



- divers), για βάθος θάλασσας <120 ft (απαιτείται χρήση σκάφους εργασίας και προσωπικού παροπλισμού στην εξέδρα υποδοχής)
- Σκάφος υποστήριξης δυτών αγκύρωσης σε 4 σημεία (4-point dive support vessel-DSV-4PDB), με πλήρωμα & εξοπλισμό έκπλυσης & δύτες με παροχή μίγματος αναπνοής (mixed gas divers), για βάθη θάλασσας 121-299 ft (απαιτείται χρήση σκάφους εργασίας και προσωπικού παροπλισμού στην εξέδρα υποδοχής)
  - Σκάφος υποστήριξης δυτών με σύστημα δυναμικής διατήρησης θέσης (DP DSV), με πλήρωμα & εξοπλισμό έκπλυσης & δύτες κορεσμένης κατάδυσης (saturation divers), για βάθη θάλασσας 300-800 ft (απαιτείται χρήση σκάφους εργασίας και προσωπικού παροπλισμού στην εξέδρα υποδοχής)
  - Σκάφος DP DSV, με πλήρωμα & εξοπλισμό έκπλυσης & σύστημα τηλεχειριζόμενου οχήματος (dual ROV system), για βάθη θάλασσας >800 ft (απαιτείται χρήση σκάφους εργασίας και προσωπικού παροπλισμού στην εξέδρα υποδοχής)

Αγωγός με ανάπτυγμα Riser to SSTI (ξεκινάει από εξέδρα μέσω κατακόρυφου τμήματος-riser και καταλήγει σε υποθαλάσσιο σύνδεσμο με άλλον αγωγό-SSTI)

- Σκάφος 4PDB, με πλήρωμα & εξοπλισμό έκπλυσης & Surface Air Divers, για βάθος θάλασσας <120 ft (απαιτείται χρήση σκάφους εργασίας και προσωπικού παροπλισμού στην εξέδρα υποδοχής)
- Σκάφος 4-Point DSV (4PDB), με πλήρωμα & εξοπλισμό έκπλυσης & Mixed Gas Divers, για βάθη θάλασσας 121-299 ft (απαιτείται χρήση σκάφους εργασίας και προσωπικού παροπλισμού στην εξέδρα υποδοχής)
- Σκάφος DP DSV, με πλήρωμα & εξοπλισμό έκπλυσης & Saturation Divers, για βάθη θάλασσας 300-800 ft (απαιτείται χρήση σκάφους εργασίας και προσωπικού παροπλισμού στην εξέδρα υποδοχής – για βάθη > 600 ft απαιτείται και η χρήση μονάδας περιελιγμένου σωλήνα – coiled tubing unit)
- Σκάφος DP DSV, με πλήρωμα & εξοπλισμό έκπλυσης & Dual ROV system, για βάθη θάλασσας >800 ft (απαιτείται χρήση σκάφους εργασίας και προσωπικού παροπλισμού στην εξέδρα υποδοχής – για βάθη > 600 ft απαιτείται και η χρήση μονάδας περιελιγμένου σωλήνα)

Αγωγός με ανάπτυγμα SSTI to SSTI (ξεκινάει από και καταλήγει σε υποθαλάσσιο σύνδεσμο με άλλον αγωγό-SSTI)

- 2 Σχήματα (spreads) – Σκάφη 4PDB, πλήρωμα & εξοπλισμός έκπλυσης, Surface Air Divers, για βάθος <120 ft
- 2 Spreads – Σκάφη 4PDB, πλήρωμα & εξοπλισμός έκπλυσης, Mixed Gas Divers, για βάθη 121-299 ft
- 2 Spreads – Σκάφη DP DSV, πλήρωμα & εξοπλισμός έκπλυσης, Saturation Divers, για βάθη 300-800 ft (για βάθη > 600 ft απαιτείται και η χρήση μονάδας περιελιγμένου σωλήνα)
- 2 Spreads – Σκάφη DP DSV, πλήρωμα & εξοπλισμός έκπλυσης, Dual ROV system, για βάθος >800 ft (για βάθη > 600 ft απαιτείται και η χρήση μονάδας περιελιγμένου σωλήνα)

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω σχήματα και τα δεδομένα παροπλισμού μιας τυπικής εξέδρας με γεωτρήσεις dry tree (Πίνακας 6-2), υπολογίστηκε το κόστος παροπλισμού αγωγών, ανάλογα με τον όγκο του νερού έκπλυσης, το βάθος της θάλασσας, την απόσταση κινητοποίησης των σκαφών και τα σχήματα παροπλισμού (vessel spread). Το υπολογιζόμενο κόστος παροπλισμού αγωγών παρουσιάζεται στον Πίνακα 6-3, και περιλαμβάνει κόστος σχεδιασμού & διαχείρισης έργου (engineering & project management cost) 8%, απρόβλεπτες δαπάνες λόγω καιρού (weather contingency) 20% & λοιπές δαπάνες (work provision) 15% (Grismala, 2015).

#### **6.3.4. Απομάκρυνση σωληνώσεως επαφής (conductor removal)**

Όσο πιο μεγάλο το βάθος του νερού, τόσο πιο δαπανηρή είναι η απομάκρυνση των σωληνώσεων επαφής (conductors), διότι απαιτείται μεγαλύτερη ικανότητα ανύψωσης. Είτε απομακρύνονται με τη βοήθεια του γερανού της εξέδρας, είτε με μισθωμένο γερανό, είτε με casing jacks, είτε με γεωτρύπανο (drilling rig), είτε με γερανό HLV. Κάθε μέθοδος παρουσιάζει περιορισμούς ως προς το μέγιστο μήκος που δύναται να διαχωριστεί και να απομακρυνθεί. Για μεγαλύτερα βάθη απαιτείται η κοπή και απομάκρυνση περισσότερων τμημάτων.

Εκτός από το βάθος του νερού, παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος απομάκρυνσης των σωληνώσεων επαφής (conductors) είναι ο αριθμός εκείνων, η μέθοδος αποκοπής και η μέθοδος απομάκρυνσης. Τα κόστη για την κινητοποίηση, την εγκατάσταση του εξοπλισμού και την απεμπλοκή τους από το έργο (demobilization) πρέπει να κατανέμονται στο σύνολο των conductors, οπότε σε μία εξέδρα με λίγες σωληνώσεις επαφής (conductors) το κόστος ανά conductor είναι μεγαλύτερο, ενώ σε μία εξέδρα με πολλές σωληνώσεις επαφής τα κόστη ανά conductor είναι μικρότερο.

Πίνακας 6-3. Κόστος παροπλισμού αγωγών (Grismala, 2015)

WD (ft.)	Pipe-line #	Spread Usage	Mob Distance (NM)	Pipeline OD (in.)	Pipeline ID (in.)	Length (ft.)	250% Flush Volume (gal)	Decom. Cost *
118	1	Workboat	60	6.625	6.065	7,042	26,423	\$260,968
156	2	4PDB	103	8.625	7.981	19,990	129,875	\$468,284
400	3	4PDB	137	4.500	4.026	6,160	10,185	\$945,026
446	4	4PDB	122	6.625	6.065	101,713	381,628	\$1,333,049
446	5	4PDB	122	8.625	7.981	194,110	1,261,138	\$1,716,112
446	6	4PDB	122	16.000	15.000	67,266	1,542,838	\$1,506,339
50	7	4PDB-SSTI	165	6.625	6.065	7,922	29,723	\$293,907
216	8	4PDB-SSTI	189	6.625	6.065	8,742	32,800	\$486,303
216	9	4PDB-SSTI	189	8.625	7.981	12,450	80,888	\$496,636
400	10	4PDB-SSTI	137	6.625	6.065	4,884	18,325	\$748,541
410	11	4PDB-SSTI	200	10.750	10.020	74,250	760,383	\$1,195,228
483	12	4PDB-SSTI	100	12.750	11.938	120,000	1,744,395	\$1,524,293
693	13	DPDB	96	12.750	11.938	14,217	206,668	\$1,867,472
693	14	DPDB	96	14.000	13.250	13,611	243,738	\$1,892,577
622	15	DPDB-SAT-SSTI	75	6.625	6.065	42,375	158,990	\$1,592,976
622	16	DPDB-SAT-SSTI	75	10.750	10.020	22,707	232,540	\$1,536,291
774	17	DPDB-ROV-SSTI	110	8.625	7.981	66,706	433,390	\$846,644
863	18	DPDB-ROV-SSTI	193	12.750	11.938	49,106	713,835	\$984,590
1000	19	DSI-SSTI	119	8.625	7.981	36,959	240,123	\$1,123,847
1000	20	DSI-SSTI	119	8.625	7.981	17,713	115,083	\$1,033,760
1027	21	DSI-SSTI	157	12.750	11.938	39,673	576,710	\$1,430,473

\* Το κόστος παροπλισμού (Decom. Cost) περιλαμβάνει: κινητοποίηση & πρόσδεση σκαφών, έκπλυση, κοπή, σφράγιση/κάλυψη, αποσύνδεση & απομάκρυνση σκαφών, λοιπές δαπάνες, απρόβλεπτες δαπάνες λόγω καιρού & κόστος σχεδιασμού και διαχείρισης έργου.

Οι δύο πιο συνηθισμένες μέθοδοι αποκοπής conductors που χρησιμοποιούνται στον Κόλπο του Μεξικού είναι με εκρηκτικά και με λειαντική κοπή (abrasive cutting). Συγκρίσεις μεταξύ των δύο μεθόδων που πραγματοποιήθηκαν κατά την αφαίρεση μίας εξέδρας με χρήση φορτηγίδας, παρέχονται στον Πίνακα 6-4 (Grismala, 2015).

Πίνακας 6-4. Σύγκριση κόστους κοπής με χρήση εκρηκτικών και λειαντική κοπή (Grismala, 2015)

	Explosive	Abrasive	Difference
Example 1: Platform in 224' WD with four 42" diameter piles and four 30" conductors			
Hours to sever	15	38	253%
Total work exposure hours	1865	2081	12%
Total cost	\$3,408,108	\$4,018,630	18%
Example 2:			
Total work exposure hours	4251	4494	6%
Total cost	\$6,062,260	\$6,954,753	15%

### 6.3.5. Παροπλισμός εξέδρας (platform decommissioning)

#### 6.3.5.1. Σταθερές εξέδρες (fixed platforms)

Ο Πίνακας 6-5 παρουσιάζει αντιπροσωπευτικές σταθερές εξέδρες που επιλέχθηκαν ως βάση εκτίμησης του κόστους παροπλισμού για άλλες παρόμοιες εξέδρες σε παρόμοιο βάθος νερού. Η στήλη Pile περιγράφει τον τύπο των πασσάλων στήριξης της εξέδρας. Επιλέχθηκε το πιο οικονομικό σκάφος ανέλκυσης βαρέων φορτίων, φορτηγίδα με γερανό (derrick barge) ή ημι-βυθιζόμενο σκάφος με γερανό (Semi-submersible Crane Vessel- SSCV) (στήλη DB), με βάση την ικανότητα ανύψωσης που απαιτείται για την απομάκρυνση της εξέδρας κάνοντας χρήση της μεθόδου που φαίνεται στη στήλη «Method». Τα βάρη του καταστρώματος (deck) και του χωροδικτυώματος (jacket), είτε ήταν γνωστά, είτε έγιναν εύλογες υποθέσεις βάσει παρόμοιων εξεδρών σε παρόμοια βάθη νερού από τη βάση δεδομένων της TSB. Η κατάλληλη φορτηγίδα με γερανό επιλέχθηκε με βάση την ικανότητα ανύψωσης.

Μόνο η πιο οικονομική μέθοδος απομάκρυνσης περιλαμβάνεται για κάθε μία από τις αντιπροσωπευτικές εξέδρες. Οι τρεις πιο οικονομικές μέθοδοι παροπλισμού ήταν:

1. Πλήρης αφαίρεση σε μία μόνο διαδρομή (single-lift)
2. Απομάκρυνση με ρυμούλκηση σε πιο ρηχά ύδατα (hopping)
3. Διαχωρισμός σε τμήματα των μεγάλων χωροδικτυωμάτων (jacket) που βρίσκονται σε βάθη νερού μεγαλύτερα από 700 πόδια.

Πίνακας 6-5. Εκτιμώμενο κόστος παροπλισμού αντιπροσωπευτικών σταθερών εξεδρών  
(Grismala, 2015)

No.	Water Depth (ft.)	Piles <sup>a</sup>	Derrick Barge	Method	# of Conductors	Cost w/ Conductors	Cost w/o Conductors
1	50	3P	DB300	Complete Removal	1	\$1,410,391	\$1,356,609
2	118	4P	DB600	Complete Removal	1	\$2,425,276	\$2,350,138
3	156	4P	DB800	Complete Removal	6	\$3,306,325	\$2,864,002
4	216	4P	DB2K	Complete Removal	2	\$2,873,582	\$2,667,675
5	269	4P	DB2K	Complete Removal	16	\$6,315,020	\$4,037,901
6	308	4P	DB2K	Complete Removal	5	\$3,766,927	\$3,211,260
7	400	4L-1P-4SP	DB4K	Complete Removal	6	\$7,245,372	\$6,325,185
8	410	8P-12SP	DB4K	Complete Removal	5	\$8,215,033	\$7,358,113
9	446	4P-4SP	DB4K	Complete Removal	5	\$11,777,547	\$10,986,382
10	480	8P-12SP	SSCV	Complete Removal	18	\$15,718,760	\$13,237,646
11	483	8P-12SP	DB4K	Tow to Shallow	19	\$32,029,880	\$29,483,696
12	484	4P	DB2K	Tow to Shallow	2	\$6,836,169	\$6,421,978
13	523	4P-4SP	DB2K	Tow to Shallow	7	\$9,375,800	\$8,148,032
14	619	4P-4SP	DB4K	Tow to Shallow	8	\$15,790,690	\$14,276,249
15	622	4L-8SP	DB4K	Tow to Shallow	16	\$20,508,850	\$18,299,870
16	693	4L-8SP	DB4K	Jacket Sectioning	3	\$15,093,830	\$14,370,446
17	774	8P-12SP	SSCV	Jacket Sectioning	24	\$41,194,940	\$35,266,998
18	863	8P-12SP	SSCV	Jacket Sectioning	26	\$48,423,520	\$42,462,164
19	925	4P-8SP	DB4K	Jacket Sectioning	14	\$23,592,310	\$20,030,019
20	935	8P-16SP	SSCV	Jacket Sectioning	21	\$40,385,740	\$34,981,872
21	1027	12L-24SP	SSCV	Jacket Sectioning	62	\$76,198,304	\$59,277,966
22	1100	6P-24SP	SSCV	Jacket Sectioning	34	\$62,238,048	\$53,217,928
23	1300	12L-32SP	SSCV	Jacket Sectioning	29	\$102,992,200	\$95,640,620

<sup>a</sup> Pile Notation: 4L-1P-4SP = 4 leg platform with 1 Center Pile and 4 Skirt Piles  
4P-4SP = 4 leg platform with 4 leg piles and 4 Skirt Piles

Στον Πίνακα 6-5 φαίνεται ότι υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση του κόστους ανάλογα με τη διαμόρφωση των πασσάλων υποστήριξης της εξέδρας σε βάθη 500, 800 και μεγαλύτερα των 1000 ποδιών, αλλά, γενικά, το κόστος αυξάνεται αναλογικά με το βάθος. Η αύξηση του βάθους νερού και του αριθμού των κατασκευαστικών στοιχείων (structural members) αυξάνει το κόστος παροπλισμού. Η κοπή και απομάκρυνση των σωληνώσεων επαφής (conductors) δύναται να αποτελεί μεγάλο τμήμα του κόστους παροπλισμού και εξαρτάται από τον αριθμό αυτών, το βάθος του νερού και την μέθοδο απομάκρυνσης που επιλέγεται.

### 6.3.5.2. Πλωτές εξέδρες (*floating platforms*)

#### 6.3.5.2.1. Εξέδρες τύπου Spar

Το κόστος παροπλισμού μιας εξέδρας τύπου Spar περιλαμβάνει:

- Το κόστος προετοιμασίας της εξέδρας προς απομάκρυνση (*preparation costs*). Το κόστος αυτό εξαρτάται από την έκταση του εξοπλισμού παραγωγής, εάν η εγκατάσταση διαχειρίζεται πετρέλαιο, φυσικό αέριο ή και τα δύο και από το κόστος προετοιμασίας για παρόμοιες εξέδρες. Η προετοιμασία της εξέδρας Spar παρουσιάζεται στον Πίνακα 6-6 και χωρίς περαιτέρω πληροφορίες θα μπορούσε να εκτιμηθεί με βάση τη χωρητικότητα του καταστρώματος (*deck tonnage*). Για ένα αντιπροσωπευτικό βάρος καταστρώματος μίας εξέδρας Spar ίσο προς 17.210 st (1 short ton=2000lb), το εκτιμώμενο κόστος προετοιμασίας, συμπεριλαμβανομένου και 8% κόστους σχεδιασμού (*engineering cost*), θα είναι 932.015 \$ ή 54.2 \$ ανά st.

Πίνακας 6-6. Κόστος προετοιμασίας παροπλισμού εξέδρας τύπου Spar (Grismala, 2015)

<b>Platform Removal Prep Task Description</b>	<b>Hours</b>	<b>Days</b>	<b>Cost</b>
Flush, Purge and Clean Facilities, Tanks and Vessels	240	10	\$266,290
Prepare Modules for Removal	96	4	\$106,516
Prepare Mooring Anchors	504	21	\$559,209
<b>Spar Platform Removal Preparation Subtotal</b>	<b>840</b>	<b>35</b>	<b>\$932,015</b>

- Το κόστος απομάκρυνσης του καταστρώματος (*deck removal cost*). Ο πρωταρχικός παράγοντας κόστους στην απομάκρυνση του καταστρώματος είναι ο γερανός HLV που επιλέγεται για τον σκοπό αυτό και εξαρτάται από το βάρος και τη διαμόρφωση του καταστρώματος. Το κόστος παροπλισμού χρησιμοποιώντας ένα HLV 5000st ή λιγότερο εκτιμάται στα 22.6 \$ MM και όπου απαιτείται HLV με χωρητικότητα μεγαλύτερη από 5000st, το κόστος παροπλισμού εκτιμάται στα 29.79 \$ MM, όπως φαίνεται στους Πίνακες 6-7 και 6-8.



Πίνακας 6-7. Κόστος απομάκρυνσης καταστρώματος εξέδρας Spar με χρήση σκάφους βαρέων μεταφορών (heavy lift vessel-HLV) ανυψωτικής ικανότητας  $\leq 5000$  st (Grismala, 2015)

SPAR Topsides Removal Task Description	Hours	Days	Cost
Cargo Barge Grillage and Tie-down Material	0	0	\$400,000
Mobilize SSCV (DP type vessel) 5000 st	24	1.0	\$657,504
Set-up DP SSCV vessel	4	0.2	\$109,584
Mobilize Cargo Barges for Equipment and Deck	33	1.4	\$32,340
Rig & Remove Topside Equipment	180	7.5	\$5,107,680
Rig & Remove Deck	360	15.0	\$10,215,360
Demobilize Cargo Barges with Equipment and Deck	33	1.4	\$32,340
Demobilize SSCV (DP type vessel)	24	1.0	\$657,504
Work Contingency			\$2,314,894
Weather Downtime			\$3,086,525
<b>Spar Topsides Removal Subtotal</b>	<b>658</b>	<b>27.5</b>	<b>\$22,613,730</b>

Πίνακας 6-8. Κόστος απομάκρυνσης καταστρώματος εξέδρας Spar με χρήση σκάφος βαρέων μεταφορών (heavy lift vessel-HLV) ανυψωτικής ικανότητας  $> 5000$  st (Grismala, 2015)

SPAR Topsides Removal Task Description	Hours	Days	Cost
Cargo Barge Grillage and Tie-down Material	0	0	\$400,000
Mobilize SSCV 7000 (DP type vessel)	24	1.0	\$877,896
Set-up DP SSCV vessel	4	0.2	\$146,316
Mobilize Cargo Barges for Equipment and Deck	33	1.4	\$32,340
Rig & Remove Topside Equipment	180	7.5	\$6,760,620
Rig & Remove Deck	360	15.0	\$13,521,240
Demobilize Cargo Barges with Equipment and Deck	33	1.4	\$32,340
Demobilize SSCV (DP type vessel)	24	1	\$877,896
Work Contingency			\$3,064,226
Weather Downtime			\$4,085,635
<b>Spar Topsides Removal Sub Total</b>	<b>658</b>	<b>27.5</b>	<b>\$29,798,510</b>

- Το κόστος απομάκρυνσης της εξέδρας & του συστήματος πρόσδεσής της (platform and mooring system disconnection and towing cost). Η προετοιμασία της αποσύνδεσης του συστήματος πρόσδεσης της εξέδρας και η ρυμούλκηση του εκτιμάται στα 7.3 MM \$ για μία εξέδρα τύπου Spar σε βάθος νερού 5000 πόδια, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6-9.



Πίνακας 6-9. Κόστος αποσύνδεσης & απομάκρυνσης γάστρας εξέδρας τύπου Spar (Grismala, 2015)

SPAR Hull Removal/Tow Task Description	Hours	Days	Cost
Route Survey	48	2	\$30,000
Mobilize DB2000, cargo barge and tug	24	1	\$224,520
Mobilize Tow Tugs (4-12000 HP)	48	2	\$280,000
Secure Tow Tugs to top of Hull	6	0	\$91,130
Ballast to relieve tension on Mooring lines	24	1	\$364,520
Sever lower chain from mooring system. Sever lower chain from cable and remove chain @ 8 hours each	96	4	\$1,458,080
Remove Mooring lines from Hull, by rigging to upper cable/chain connections. ROV sever upper chain from cable. Move away from Hull and lower cable to mudline @ 8 hours per line.	96	4	\$1,458,080
Prepare Hull for transportation	48	2	\$729,040
Release Hull from Derrick Barge to Tow Tugs	4	0	\$60,753
Demobilize Derrick Barge	0	0	\$224,520
Tow Hull to Onshore Location	48	2	\$280,000
Demobilize Tow Tugs	24	1	\$140,000
Work Provision			\$670,741
Weather Contingency			\$894,321
Project Management and Engineering			\$427,251
<b>SPAR Hull Removal/Tow Subtotal</b>	<b>466</b>	<b>19</b>	<b>\$7,332,956</b>

Το σύστημα πρόσδεσης (χαλύβδινη αλυσίδα, ή καλώδιο ή γραμμή πρόσδεσης από πολυεστέρα) αποκόπτονται από το σύστημα πασσάλων και απομακρύνονται. Η εκτίμηση του κόστους προϋποθέτει την παραμονή του συστήματος των πασσάλων στη θέση του. Το σύστημα πρόσδεσης απομακρύνεται κατά τη διαδικασία απομάκρυνσης της γάστρας και τα καλώδια απομακρύνονται όπως περιγράφεται παρακάτω. Το κόστος που εκτιμάται στον Πίνακα 6-10 αφορά σε σύστημα πρόσδεσης που αποτελείται από 12 γραμμές. Δεδομένου ότι η χωρητικότητα του σκάφους τυπικά περιορίζεται σε 2 καλώδια σε αυτό το βάθος, το σκάφος θα πρέπει να κάνει 6 διαδρομές για τη μεταφορά 12 καλωδίων. Ένα τηλεχειριζόμενο σκάφος (ROV) θα πρέπει να κινητοποιηθεί, να συνδεθεί με μέχρι και με δύο καλώδια πρόσδεσης, να τα μεταφέρει στο σκάφος, να γίνει περιέλιξη του καλωδίου στο σκάφος, να απεμπλακεί από τη θέση αυτή και να μεταφέρει το καλώδιο σε κατάλληλη εγκατάσταση στη στεριά. Σε βάθος νερού 5000 πόδια το οριακό κόστος για την κοπή και απομάκρυνση μίας γραμμής πρόσδεσης είναι περίπου 238.000 \$ ή το μοναδιαίο κόστος είναι περίπου 47 \$ ανά γραμμή ανά πόδι βάθος νερού.

Πίνακας 6-10. Κόστος απομάκρυνσης γραμμών πρόσδεσης εξέδρας τύπου Spar (Grismala, 2015)

Mooring Line Removal Task Description	Hours	Days	Cost
Mobilize Anchor Handling Supply Vessel (AHSV)	24	1	\$98,000
Locate and rig to 2 Mooring Cables	2	0	\$8,167
Separate cable from lower chain and spool up cable on AHSV	17	1	\$67,559
Demobilize AHSV to Unspooling Site	24	1	\$98,000
Unspool Drums	15	1	\$59,392
Project Management and Engineering (8%), Work Provision (15%), and Weather Allowance (20%)			\$142,381
<b>Spar Mooring Line Removal Subtotal</b>			<b>\$473,499</b>

#### 6.3.5.2.2. Εξέδρες τύπου TLP

Το κόστος προετοιμασίας της εξέδρας εξαρτάται από την έκταση του εξοπλισμού παραγωγής, εάν η εγκατάσταση διαχειρίζεται αέριο, πετρέλαιο ή και τα δύο και από το κόστος προετοιμασίας για παρόμοιες εγκαταστάσεις. Η προετοιμασία της εξέδρας δύναται να λάβει χώρα είτε κοντά στην ακτή, είτε υπεράκτια. Η υπεράκτια προετοιμασία της εξέδρας TLP παρουσιάζεται στον Πίνακα 6-11 και δίχως περαιτέρω πληροφορίες θα μπορούσε να εκτιμηθεί με βάση το κόστος ανά μονάδας χωρητικότητας του καταστρώματος. Για μια εξέδρα TLP με βάρος του καταστρώματος 8.100 st, το εκτιμώμενο κόστος προετοιμασίας, συμπεριλαμβανομένου του κόστους σχεδιασμού (engineering cost) ανέρχεται σε 812.000 \$ ή 100 \$ ανά st.

Πίνακας 6-11. Κόστος προετοιμασίας παροπλισμού εξέδρας τύπου TLP (Grismala, 2015)

Platform Removal Prep Task Description	Hours	Days	Cost
Flush, Purge and Clean Facilities, Tanks and Vessels	101	4	\$123,342
Prepare Modules for Removal	60	3	\$73,273
Replace Tension Units for Tendons	504	21	\$615,489
<b>Platform Removal Prep Subtotal</b>	<b>665</b>	<b>28</b>	<b>\$812,104</b>

Το κόστος αποσύνδεσης και απομάκρυνσης των τενόντων (tendon) και η ρυμούλκηση του καταστρώματος/γάστρας εκτιμάται σε 10.4 MM \$ για μία εξέδρα TLP που βρίσκεται σε βάθος νερού μεγαλύτερο από 3000 πόδια, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6-12. Οι συνδεσμολογίες αγκύρωσης των τενόντων (tubular tendon mooring assemblies) αποκόπτονται από το σύστημα πασσάλων και απομακρύνονται. Το σύστημα των πασσάλων δύναται να παραμείνει στη θέση του για αυτή την εκτίμηση του κόστους. Το κόστος που εκτιμάται στον Πίνακα 6-12 αφορά σε σύστημα πρόσδεσης που αποτελείται από 12 τένοντες. Το κόστος κατανέμεται στο κόστος απομάκρυνσης του καταστρώματος/γάστρας,

ύψους 4.3 MM \$, ξεχωριστά από το κόστος κοπής και απομάκρυνσης των τενόντων, ύψους 3.1 MM \$. Για 12 τένοντες, το κόστος κοπής και απομάκρυνσης τους ανέρχεται σε 258.693 \$ για κάθε τένοντα γι' αυτή την εξέδρα ή 86 \$ ανά τένοντα ανά πόδι βάθους νερού. Οι γάστρες μεταφέρονται σε εγκαταστάσεις διάθεσης παλαισιδίου ή ανακαίνισης.

Πίνακας 6-12. Κόστος απομάκρυνσης εξέδρας και συστήματος πρόσδεσης εξέδρας τύπου TLP (Grismala, 2015)

TLP Hull Removal/Tow Task Description	Hours	Days	Cost
Route Survey	48	2	\$30,000
Mobilize Derrick Barge DB 2000	24	1	\$224,520
Mobilize 4 Tow Tugs	24	1	\$140,000
Mobilize Cargo Barges	36	2	\$141,120
ROV Sever and Remove 4 Tendons From TLP at 400 ft hour and load on Cargo Barge @ 16 hours each	64	3	\$1,034,773
ROV Sever and Remove 4 Tendons From TLP at 400 ft hour and load on Cargo Barge @ 16 hours each	64	3	\$1,034,773
Secure TLP to Derrick Barge	6	0	\$97,010
Secure Tow Tugs to TLP	6	0	\$97,010
ROV Sever and Remove 4 Tendons From TLP at 400 ft hour and load on Cargo Barge @ 16 hours each	64	3	\$1,034,773
Release TLP to Tow Tugs	4	0	\$64,673
Tow TLP to Onshore Location	192	8	\$3,104,320
Demobilize Cargo Barge	36	2	\$141,120
Demobilize Derrick Barge	24	1	\$224,520
<b>Subtotal</b>			<b>\$7,368,612</b>
Work Provision (15%)	67	3	\$970,100
Weather Contingency (20%)	90	4	\$1,293,474
<b>Platform Removal Subtotal</b>	<b>749</b>	<b>31</b>	<b>\$9,632,186</b>
Engineering and Project Management (8%)			\$770,575
<b>Total</b>			<b>\$10,402,761</b>

#### 6.3.5.2.3. Ημιβυθιζόμενες εξέδρες (semi-submersible)

Δεδομένου ότι το κατάστρωμα είναι ένα σημαντικό μέρος αυτής της εξέδρας, η προετοιμασία της μπορεί να γίνει σε παρακείμενη θέση, είτε υπεράκτια. Μέχρι σήμερα, δεν έχουν παροπλιστεί τέτοιες μεγάλες κατασκευές και δεν έχει προσδιοριστεί το κόστος προετοιμασίας τους στην ξηρά. Μια αντιπροσωπευτική εξέδρα SEMI φέρει κατάστρωμα βάρους περίπου 20.000 st. Χρησιμοποιώντας ένα εκτιμώμενο κόστος προετοιμασίας που αναπτύχθηκε για τις εξέδρες SPAR με παρόμοιο βάρος καταστρώματος, ένα κόστος προετοιμασίας 54.2 \$/st θα ήταν αποδεκτό για την υπεράκτια προετοιμασία μιας εξέδρας SEMI ή 1.084.000 \$ για το παράδειγμα της SEMI με κατάστρωμα 20.000 st. Το κόστος στη

ξηρά θα πρέπει να είναι μικρότερο επειδή δεν χρησιμοποιείται ο επιπλέον εξοπλισμός που είναι απαραίτητος στη θάλασσα (marine assets) κατά τη διάρκεια των εργασιών προετοιμασίας.

Η προετοιμασία της εξέδρας, η αποσύνδεση των γραμμών πρόσδεσης και η ρυμούλκηση εκτιμώνται στα 6.3 MM \$ για μία εξέδρα τύπου SEMI σε βάθος νερού 6000 πόδια, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6-13. Οι μάντες (chains) αφαιρούνται κατά τη διάρκεια απομάκρυνσης της γάστρας και τα καλώδια αφαιρούνται όπως περιγράφεται παρακάτω. Το κόστος που εκτιμάται στον Πίνακα 6-13 αφορά σε σύστημα πρόσδεσης που αποτελείται από 16 γραμμές. Το κόστος κατανέμεται στο κόστος απομάκρυνσης της γάστρας στα 2.48 MM \$ και στο κόστος αποκοπής & απομάκρυνσης του συστήματος πρόσδεσης στα 3.8 MM \$. Στις 16 γραμμές πρόσδεσης, το κόστος αποκοπής ανέρχεται σε 243.013 \$ ανά γραμμή πρόσδεσης ή 40 \$ ανά γραμμή ανά πόδι βάθους νερού. Το κόστος απομάκρυνσης δύο καλωδίων πρόσδεσης φαίνεται στον Πίνακα 6-14.

Πίνακας 6-13. Κόστος απομάκρυνσης ημιβυθιζόμενης εξέδρας (Grismala, 2015)

SEMI Removal Task Description	Hours	Days	Cost
Mobilize Tugs (4-12000 HP)	48		\$280,000
Prepare facilities for tow.	168	7	\$289,107
Mobilize DB2000, cargo barge and tug	24	1	\$224,520
Secure Tow Tugs to top of Hull	6	0	\$91,130
Ballast to relieve tension on Mooring lines	24	1	\$364,520
Sever lower chain from mooring system. Sever lower chain from cable and remove chain @ 8 hours each	128		\$1,944,107
Remove Mooring lines from Hull, by rigging to upper cable/chain connections. ROV sever upper chain from cable. Move away from Hull and lower cable to mudline @ 8 hours per line.	128	5	\$1,944,107
Demobilize DB2000, cargo barge and tug	24	1	\$224,520
Tow facilities to Ingleside facility	93	4	\$542,500
Mothball facilities onshore	168	7	\$186,403
Demobilize Tugs	48		\$280,000
<b>Platform Removal Prep Subtotal</b>	<b>763</b>	<b>26</b>	<b>\$6,370,913</b>

Πίνακας 6-14. Κόστος απομάκρυνσης συστήματος πρόσδεσης ημιβυθιζόμενης εξέδρας (Grismala, 2015)

Mooring Line Removal Task Description	Hours	Days	Cost
Mobilize Anchor Handling Supply Vessel (AHSV)	24	1	\$97,992
Locate and rig to 2 Mooring Cables	2	0	\$8,166
Separate cables from lower chains and spool up cables on AHSV	21	1	\$84,040
Demobilize AHSV to Unspooling Site	24	1	\$97,992
Unspool Drums	19	1	\$75,874
<b>Total for 2 Mooring Lines</b>			<b>\$364,064</b>

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να απομακρυνθούν και οι 16 γραμμές, με το συνολικό κόστος να ανέρχεται σε 3.88 MM \$, συμπεριλαμβανομένων του κόστους σχεδιασμού (engineering cost) (8%), των λοιπών δαπανών (15%) και των απρόβλεπτων δαπανών λόγω καιρικών συνθηκών (20%). Το κόστος απομάκρυνσης για δύο γραμμές πρόσδεσης σε κάθε διαδρομή για τον αντιπροσωπευτικό τύπο εξέδρας SEMI εκτιμάται στα 364.064 \$ ή 30 \$ ανά γραμμή πρόσδεσης ανά πόδι βάθους νερού.

### 6.3.6. Λοιπά κόστη

#### 6.3.6.1. Παροπλισμός υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων

Ο παροπλισμός υποθαλάσσιων κατασκευών, γεωτρήσεων, διατάξεων διανεμητήριων αγωγών (manifolds), παρακαμπτήριων αγωγών (jumpers) κ.λπ., περιλαμβάνει την απομάκρυνση όλων των τμημάτων μέχρι τα 15 πόδια κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας (mudline) ή αφήνοντας συγκεκριμένες κατασκευές στη θέση τους. Το κόστος απομάκρυνσης υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων με γεωτρήσεις περιλαμβάνεται στη διαδικασία σφράγισης και εγκατάλειψης αυτών.

#### 6.3.6.2. Επαλήθευση εκκαθάρισης εργοταξίου και παρακολούθηση

Το κόστος εκκαθάρισης του εργοταξίου είναι κατά κύριο λόγο συνάρτηση της απόστασης κινητοποίησης/απεμπλοκής των απαραίτητων σκαφών, του βάθους του νερού, του αριθμού των γεωτρήσεων και της ηλικίας της εγκατάστασης. Με την αύξηση κάθε μίας από αυτές τις παραμέτρους αυξάνεται το κόστος επαλήθευσης και εκκαθάρισης του εργοταξίου. Ο



Πίνακας 6-15 παρουσιάζει το εκτιμώμενο κόστος εκκαθάρισης και επαλήθευσης ενός εργοταξίου για μία πλωτή εξέδρα που βρίσκεται σε βάθος 3000 έως 5000 πόδια.

Πίνακας 6-15. Κόστος επαλήθευσης εκκαθάρισης εργοταξίου (Grismala, 2015)

Activity	Hours	Days	Cost
Mob Vessels to Site	24	1	\$66,800
Side Scan at Platform Location	24	1	\$66,800
Inspect and Clean up	48	2	\$133,600
Demob Vessels from Site	24	1	\$66,800
Weather Downtime		0	\$40,080
<b>Site Clearance Subtotal</b>	<b>120</b>	<b>5</b>	<b>\$374,080</b>

### 6.3.7. Σύνοψη υπολογιστικής προσέγγισης κόστους παροπλισμού υπεράκτιας εξέδρας

Ο Πίνακας 6-16 συνοψίζει το κόστος παροπλισμού για τους παράγοντες κόστους που συζητήθηκαν παραπάνω. Οι κατά προσέγγιση εκτιμήσεις παροπλισμού προκύπτουν αθροίζοντας τα μεμονωμένα κόστη για τους συγκεκριμένους παράγοντες, κάνοντας χρήση των παραπάνω πινάκων και προσθέτοντας το κόστος σχεδιασμού/διαχείρισης (engineering/management cost), τις λοιπές δαπάνες (work provision) και τις απρόβλεπτες δαπάνες λόγω καιρικών συνθηκών (weather contingencies). Αυτά τα κόστη περιλαμβάνουν την απομάκρυνση του εξοπλισμού από την αρχική του θέση και τη μεταφορά του στην ξηρά, αλλά δεν περιλαμβάνουν το κόστος διάθεσης. Ο μη συνυπολογισμός του κόστους διάθεσης στο συνολικό κόστος παροπλισμού αποτελεί κοινή πρακτική στη βιομηχανία. Στο κόστος διάθεσης θα πρέπει να περιλαμβάνεται και το κόστος διαχείρισης επικίνδυνων υλικών, όπως: αμιάντος (asbestos), επικαθήσεις (π.χ. θειικό βάριο) ή/και φυσικά ραδιενεργά υλικά (NORM).

Πίνακας 6-16. Σύνοψη κόστους παροπλισμού υπεράκτιας εξέδρας (Grismala, 2015)

Decommissioning Activity	Typical Cost
Engineering and Project Management	8% of costs w/ Mob/ Demob
Work Provision	15% of costs w/o Mob/Demob (except 10% for Wet Tree Well P&A)
Weather Contingency	20% of costs w/o Mob/Demob
Well P&A, Dry Tree, 50' to 400'	\$350,000 per well
Well P&A, Dry Tree, > 400'	\$480,000 to \$1.8 million per well
Well P&A, Wet Tree	\$8 to \$16 million per well
Pipelines	\$15 to \$40 per foot, but highly variable
Conductors	\$160,000 to \$600,000 per conductor
Fixed Platforms	Without conductors, less than \$10 million for WD ≤ 500 ft, then add \$7 million per 100 ft WD
Spar Platforms	Preparation: \$54/st Mooring lines: \$47/ft of WD \$31 million to \$39 million
TLPs	Preparation: \$100/st Tendons: \$86/ft of WD \$11 million total
Semi-submersible Platforms	Preparation: \$54/st Mooring lines: \$40/ft of WD \$15 million total
Subsea Structures	See Well P&A, Wet Tree costs
Site Clearance and Verification	\$400,000, but sensitive to Mob/Demob costs Up to 1% of total costs

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, συμπεραίνεται ότι οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν το κόστος παροπλισμού μίας υπεράκτιας εξέδρας παραγωγής Υ/Α δεν αλλάζουν, αλλά μεταβάλλονται ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες, όπως: ο τύπος του christmas tree (wet or dry tree), το βάθος της θάλασσας και ο τύπος της εξέδρας. Αξίζει να αναφερθεί ο καταλυτικός ρόλος που διαδραματίζει ο τύπος του tree στη διαμόρφωση του τελικού κόστους παροπλισμού, αφού ο παροπλισμός υποθαλάσσιου christmas tree (wet tree) είναι πιο δαπανηρός έναντι εκείνου του tree που βρίσκεται πάνω στην εξέδρα (dry tree).



## *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Περιβαλλοντικά Ζητήματα – Θεσμικό πλαίσιο σχετικά με τον παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων έρευνας και παραγωγής Υ/Α*

### **7.1. Εισαγωγή**

Οι δραστηριότητες που επιτελούνται στις υπεράκτιες εξέδρες έρευνας και παραγωγής Υ/Α, όπως και κάθε άλλη βιομηχανική δραστηριότητα, ελέγχονται ως προς τις επιπτώσεις που έχουν στο φυσικό περιβάλλον και διέπονται από νόμους και κανόνες που ισχύουν σε διεθνές, περιφερειακό και/ή τοπικό επίπεδο. Σε αυτές τις δραστηριότητες περιλαμβάνονται και οι εργασίες παροπλισμού τους, μετά το πέρας της παραγωγικής τους ζωής. Και σε αυτή τη φάση μίας υπεράκτιας εγκατάστασης ελλοχεύουν περιβαλλοντικοί κίνδυνοι κυρίως για το θαλάσσιο περιβάλλον. Το θεσμικό πλαίσιο που διέπει τις εργασίες αυτές μέχρι πριν μια δεκαετία περίπου παρουσίαζε σημαντικά κενά. Το δυστύχημα στην εξέδρα Deepwater Horizon το 2010, στον Κόλπο του Μεξικού, επέφερε σημαντικές αλλαγές και αυστηροποίηση του θεσμικού πλαισίου στην προσέγγιση της προστασίας ειδικά του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Έτσι, σε κάθε περιοχή, όπου λαμβάνουν χώρα διαδικασίες παροπλισμού υπεράκτιων εξεδρών έρευνας & παραγωγής Υ/Α, είναι σημαντική η ύπαρξη ενός κατάλληλου θεσμικού πλαισίου που θα θέτει τους αναγκαίους κανόνες για την υλοποίηση του έργου με γνώμονα τη μέγιστη περιβαλλοντική και κοινωνική συμβατότητα.

### **7.2. Περιβαλλοντικά ζητήματα**

#### **7.2.1. Ποιοτική αξιολόγηση κινδύνων και επιπτώσεων**

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται μια ποιοτική αξιολόγηση των κινδύνων και των επιπτώσεων που απορρέουν από τις δραστηριότητες και τις τεχνολογίες που

χρησιμοποιούνται για τον παροπλισμό και την εγκατάλειψη υπεράκτιων εγκαταστάσεων έρευνας και παραγωγής Υ/Α. Η προσέγγιση για τον χαρακτηρισμό της επικινδυνότητας (risk characterization) κάθε διαδικασίας και τεχνολογίας ακολουθεί τη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε το 2015 στη μελέτη “*Technical Support for the Risk Management of Unconventional H/C Extraction*”<sup>14</sup> της εταιρείας Amec Foster Wheeler, UK για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016).

Ο χαρακτηρισμός της επικινδυνότητας πραγματοποιείται με τη χρήση ενός πίνακα επικινδυνότητας (risk matrix), όπου παρουσιάζεται η ταξινόμηση των κινδύνων που εντοπίζονται σε κάθε διαδικασία (Πίνακας 7-1). Αυτού του είδους ο Πίνακας προσεγγίζει συστηματικά τον χαρακτηρισμό του εκάστοτε κινδύνου με βάση δύο κριτήρια (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016):

- Την πιθανότητα να προκύψει ένα επικίνδυνο συμβάν (likelihood of incident), και
- Τη σοβαρότητα των πιθανών συνεπειών εκείνου (consequence of incident).

Πίνακας 7-1. Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας (συμβάντος) ανάλογα με την πιθανότητα να συμβεί και τη σοβαρότητα της επίπτωσης που μπορεί να προκαλέσει (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016)

			Consequence of Incident					No data
			1	2	3	4	5	
			Slight	Minor	Moderate	Major	Catastrophic	
Likelihood of Incident	1	Extremely Rare	1	2	3	4	5	Not classifiable
	2	Rare	2	4	6	8	10	
	3	Occasional	3	6	9	12	15	
	4	Likely	4	8	12	16	20	
	5	Highly Likely	5	10	15	20	25	
		No data	Not classifiable					

#### Υπόμνημα

Colour	Level of Risk	Score
Light Green	Low	1 - 4
Yellow	Moderate	5 - 8
Orange	High	9 - 12
Red	Very High	15 - 25

<sup>14</sup> [https://ec.europa.eu/environment/integration/energy/uff\\_studies\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/integration/energy/uff_studies_en.htm)

Αυτά τα κριτήρια διαμορφώνουν το επίπεδο κινδύνου (level of risk), με πιο υψηλό επίπεδο εκείνο που αφορά σε συμβάντα που παρουσιάζουν μεγάλη πιθανότητα να συμβούν και να επιφέρουν πολύ σοβαρές επιπτώσεις. Επιπρόσθετα, με βάση τα στοιχεία του συγκεκριμένου πίνακα, είναι εύκολο να γίνει σύγκριση μεταξύ των δύο κριτηρίων.

Η κατηγοριοποίηση των κινδύνων έγινε από εμπειρογνώμονες, με βάση τη σχετική βιβλιογραφία, καθώς και προγενέστερες εκθέσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Επιπλέον, είναι αποδεκτό ότι, υπό κανονικές συνθήκες, η στάθμη κινδύνου μεταβάλλεται ανάλογα με τους παράγοντες που επικρατούν στο εκάστοτε περιβάλλον εργασίας. Για αυτόν τον λόγο η ως άνω ταξινόμηση έχει περισσότερο επεξηγηματικό χαρακτήρα και δεν έχει καθολική εφαρμογή σε όλες τις δραστηριότητες έρευνας και εξόρυξης Y/A (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016).

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για τον χαρακτηρισμό της επικινδυνότητας που εντοπίζονται στις διαδικασίες και τις τεχνολογίες έρευνας & παραγωγής Y/A περιλάμβανε τα εξής στάδια (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016):

1. Στάδιο 1: Αναγνώριση των περιβαλλοντικών παραμέτρων (environmental aspects) που σχετίζονται με τις διαδικασίες και τις τεχνολογίες έρευνας και εξόρυξης Y/A.
2. Στάδιο 2: Εξέταση των μέτρων διαχείρισης των κινδύνων που εφαρμόζονται ανάλογα με την περιβαλλοντική παράμετρο (π.χ. ατμόσφαιρα, θαλάσσια ύδατα) και τον κίνδυνο<sup>15</sup>.
3. Στάδιο 3: Χαρακτηρισμός του κινδύνου κάνοντας χρήση του πίνακα επικινδυνότητας (risk matrix).

Οι επιπτώσεις των κινδύνων θεωρήθηκε ότι έχουν άμεση επίδραση μόνο στο περιβάλλον, ενώ δεν συμπεριλαμβάνεται η αξιολόγηση των κινδύνων όσον αφορά τις επιπτώσεις στην ασφάλεια και υγεία των εργαζομένων.

---

<sup>15</sup> Μέτρα που μετριάζουν τον περιβαλλοντικό κίνδυνο (mitigation measures) έχουν ήδη υιοθετηθεί από τους φορείς εκμετάλλευσης (π.χ. βάσει πρότυπων βιομηχανικών πρακτικών ή για την ελαχιστοποίηση του χρηματοοικονομικού κινδύνου των επενδύσεων). Θεωρήθηκε, επομένως, ότι τα μέτρα που είναι πιθανό να εφαρμοστούν από τους φορείς εκμετάλλευσης έχουν ήδη τεθεί σε εφαρμογή για τον μετριασμό του κινδύνου κατά τη χρήση του πίνακα για την κατηγοριοποίηση αυτού.

Για τον παροπλισμό και την εγκατάλειψη των υπεράκτιων δραστηριοτήτων εξετάστηκαν οι παρακάτω περιβαλλοντικές παράμετροι (environmental aspects) (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016):

1. Διαταραχές στον πυθμένα της θάλασσας (seabed disturbance)
2. Απορρίψεις στη θάλασσα (discharges to sea)
3. Φυσική παρουσία (physical presence)
4. Εκπομπή αέριων ρύπων (releases to air)
5. Επιπτώσεις στη θαλάσσια βιοποικιλότητα (marine biodiversity impacts)
6. Ατυχήματα (accidental events)
7. Οπτική ρύπανση (visual impacts) (για δραστηριότητες κοντά σε ακτές)
8. Υποθαλάσσιος θόρυβος (underwater noise)

#### 7.2.1.1. Αξιολόγηση επιπτώσεων

Σύμφωνα με τον Πίνακα 7-1 το ένα κριτήριο χαρακτηρισμού των κινδύνων είναι η σοβαρότητα των συνεπειών που δύναται να επιφέρουν. Αυτές ταξινομούνται ως εξής, ως προς τη σοβαρότητά τους (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016):

- **Ελάχιστες (Slight):** Είναι επιπτώσεις που έχουν άμεση αλλά βραχυπρόθεσμη επίδραση στο περιβάλλον, το οποίο αποκαθίσταται φυσικά ύστερα από μερικές ημέρες ή εβδομάδες. Όταν η επικινδυνότητα είναι «Χαμηλή» (Low), οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι άμεσες και εμφανείς, αλλά πολύ περιορισμένες, όπως για παράδειγμα, δεν προκαλείται θάνατος στη γλωρίδα και την πανίδα της περιοχής. Ένα παράδειγμα συμβάντος βραχυπρόθεσμης επίδρασης με «χαμηλή» επικινδυνότητα και «ελάχιστες» επιπτώσεις, είναι η χρήση διατηρητικού εξοπλισμού κακής απόδοσης που προκαλεί βραχυπρόθεσμη αύξηση της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων (οξείδια του αζώτου και οξείδια του θείου), οι οποίοι επιβαρύνουν τους ανθρώπους και το περιβάλλον. Με την επίλυση του προβλήματος, οι επιπτώσεις στους ανθρώπους και το περιβάλλον επανέρχονται μέσα σε λίγες ώρες ή ημέρες στις συνθήκες που επικρατούσαν πριν τη λειτουργία του διατηρητικού εξοπλισμού.

- **Περιορισμένες (Minor):** Πρόκειται για επιπτώσεις που έχουν άμεση και μεσοπρόθεσμη επίδραση στο περιβάλλον (εβδομάδες ή μήνες), ενώ χρειάζονται αρκετοί μήνες για τη φυσική αποκατάσταση του περιβάλλοντος ή απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων αυτών. Η επικινδυνότητα χαρακτηρίζεται και πάλι ως «Χαμηλή», δηλαδή, θα υπάρξει αισθητή επίδραση στο περιβάλλον χωρίς όμως να προκληθούν εκτεταμένοι θάνατοι στη χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής. Παραδείγματος χάρη, μία μικρή διαρροή από την κεφαλή της γεώτρησης εμπίπτει στη συγκεκριμένη χαμηλή επικινδυνότητα, διότι θα προκαλούσε τοπική μόνο ρύπανση του εδάφους από τα παραγόμενα ρευστά της γεώτρησης.
- **Μέτριες (Moderate):** Πρόκειται για επιπτώσεις που έχουν άμεση και μακροπρόθεσμη επίδραση στο περιβάλλον (χρόνια). Η επικινδυνότητα είναι «Χαμηλή» και περιλαμβάνει χρόνιες, αλλά όχι θανατηφόρες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ένα παράδειγμα γεγονότος με μακροπρόθεσμες αλλά χαμηλής επικινδυνότητας επιπτώσεις είναι η διαφυγή στην επιφάνεια παραγόμενου νερού από μια γεώτρηση (που περιέχει υπολείμματα ρευστών ενεργοποίησης του ταμιευτήρα ή άλλες ρυπαντικές ουσίες), σε επιφανειακά υδατορεύματα, αυξάνοντας έτσι τις συγκεντρώσεις ουσιών με αυξημένη φυσική ραδιενέργεια (NORMs) και μετάλλων στα ιζήματα ποταμών. Οι επιπτώσεις αυτές θα διαρκέσουν δυνητικά για αρκετά χρόνια, εφόσον δεν υπάρξει άμεση παρέμβαση, αλλά σταδιακά η αραιώση των επιβλαβών ουσιών θα περιορίσει τη σοβαρότητά τους.
- **Σοβαρές (Major):** Πρόκειται για επιπτώσεις που έχουν άμεση επίδραση στο περιβάλλον, τόσο βραχυπρόθεσμα (ώρες/ημέρες), όσο και μακροπρόθεσμα (εβδομάδες/μήνες/χρόνια). Παρόλα αυτά, οι επιπτώσεις αυτές δύναται να αναστραφούν με άμεση παρέμβαση μέχρι και μερικές εβδομάδες μετά το συμβάν που τις προκάλεσε. Η επικινδυνότητα τέτοιων συμβάντων είναι «Υψηλή» (High) και έχουν σοβαρές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και τους τοπικούς πληθυσμούς, αφού δύναται να προκαλέσουν εκτεταμένους θανάτους στη χλωρίδα και την πανίδα. Όμως με ελεγχόμενη παρέμβαση αυτές οι επιπτώσεις μπορούν να έχουν μόνο βραχυπρόθεσμο χαρακτήρα. Ένα παράδειγμα γεγονότος με βραχυπρόθεσμο χαρακτήρα, και υψηλή επικινδυνότητα που δύναται να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις μπορεί να είναι η

διαρροή μεγάλης ποσότητας αδιάλυτων χημικών ουσιών προς μία υδάτινη οδό, προκαλώντας σοβαρές βλάβες στους υδρόβιους οργανισμούς.

- **Καταστροφικές (Catastrophic):** Πρόκειται για επιπτώσεις που έχουν άμεσες και παρατεταμένες συνέπειες στο περιβάλλον και διαρκούν έως και αρκετά χρόνια. Οι επιπτώσεις αυτές είναι πολύ σοβαρές και εκτεταμένες και δύναται να προκαλέσουν θάνατο στη χλωρίδα ή/και την πανίδα μιας εκτεταμένης περιοχής ή μη αναστρέψιμη βλάβη στο περιβάλλον για πολλά χρόνια. Επιπλέον, υπάρχει πιθανότητα να προκληθούν σχεδόν μη αναστρέψιμες (near-irreversible) βλάβες σε φυσικούς πόρους, απαιτώντας αρκετά χρόνια για την επαναφορά του περιβάλλοντος σε συνθήκες όπως αυτές πριν το συμβάν. Ένα παράδειγμα γεγονότος υψηλής επικινδυνότητας με μακροχρόνιες καταστροφικές επιπτώσεις, μπορεί να είναι η εκτεταμένη ρύπανση ενός υπόγειου υδροφορέα με επικίνδυνες και μη αποικοδομήσιμες χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση/ρωγμάτωση του ταμιευτήρα.

#### 7.2.1.2. Αξιολόγηση πιθανότητας κινδύνου (επικίνδυνου συμβάντος)

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η ταξινόμηση της πιθανότητας εμφάνισης ενός (επικίνδυνου) γεγονότος. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αξιολόγηση αυτή προϋποθέτει ότι βρίσκονται σε εφαρμογή όλα τα απαραίτητα μέτρα διαχείρισης κινδύνου που επιβάλλουν οι συνήθεις πρακτικές που ακολουθούνται από τη βιομηχανία, σε κάθε περίπτωση. Περιπτώσεις όπου δε γίνεται χρήση τέτοιων μέτρων παρουσιάζουν μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης επικίνδυνου συμβάντος (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016).

- **Πολύ σπάνια (Extremely rare):** Δεν είναι γνωστά γεγονότα με πολύ μικρή πιθανότητα εμφάνισης στη συγκεκριμένη βιομηχανία, είτε στην Ευρώπη, είτε αλλού.
- **Σπάνια (Rare):** Τέτοια γεγονότα μπορεί να έχουν εμφανιστεί στη συγκεκριμένη βιομηχανία (στην Ευρώπη ή αλλού), αλλά με πολύ μικρή συχνότητα εμφάνισης.
- **Περιστασιακά (Occasional):** Είναι γεγονότα που δεν πρέπει να λαμβάνουν χώρα κατά την εφαρμογή των συνήθων πρακτικών. Ωστόσο, είναι αρκετά συνηθισμένα, όπως για παράδειγμα τα γεγονότα που έχουν καταγραφεί ιστορικά σε πολλές εταιρείες κατά τη λειτουργία τους στην Ευρώπη ή αλλού.

- **Πιθανά (Likely):** Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν γεγονότα που είναι πιθανό να συμβούν. Η συχνότητα των γεγονότων δύσκολα μπορεί να προβλεφθεί, αλλά θεωρείται ότι συμβαίνουν πολλές φορές τον χρόνο σε διαφορετικές εταιρείες.
- **Πολύ πιθανά (Highly likely):** Πρόκειται για περιστατικά που είναι πολύ πιθανό να συμβούν. Η συχνότητα εμφάνισης των συγκεκριμένων γεγονότων είναι ακόμη πιο δύσκολο να προβλεφθεί, αλλά θεωρείται ότι συμβαίνουν πολλές φορές τον χρόνο ή πολύ συχνά σε κάθε γεώτρηση. Η επίπτωση κάθε τέτοιου γεγονότος είναι καλά τεκμηριωμένη στη βιομηχανία και έχουν αναπτυχθεί κατευθυντήριες οδηγίες βέλτιστων πρακτικών (good practices guidelines) που προειδοποιούν για τις συνέπειες εκείνου.

#### **7.2.2. Κίνδυνοι και επιπτώσεις κατά τον παροπλισμό και την εγκατάλειψη υπεράκτιων εγκαταστάσεων έρευνας & παραγωγής Υ/Α**

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται οι κίνδυνοι που σχετίζονται με τις δραστηριότητες παροπλισμού και εγκατάλειψης των υπεράκτιων δραστηριοτήτων έρευνας & παραγωγής Υ/Α. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η πιθανότητα εμφάνισης κινδύνων στα εξής στάδια (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016):

1. Εργασίες παύσης της λειτουργίας του έργου (εργασίες σφράγισης και εγκατάλειψης γεωτρήσεων & διαχείρισης σωρών θρυμμάτων).
2. Εργασίες παροπλισμού και οριστικής εγκατάλειψης της εγκατάστασης.

##### **7.2.2.1. Κίνδυνοι & επιπτώσεις κατά τη σφράγιση και εγκατάλειψη γεωτρήσεων**

Σε αυτό το στάδιο εντάσσονται όλες οι διαδικασίες και τεχνολογίες που απαιτούνται για την παύση της λειτουργίας της εγκατάστασης. Πιο αναλυτικά, οι κύριες εργασίες που επιτελούνται σε αυτή τη φάση περιλαμβάνουν (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016):

- Σφράγιση και εγκατάλειψη γεώτρησης:
  - Ανάκτηση σωλήνων παραγωγής (tubing)
- Διαχείριση των σωρών των θρυμμάτων όρυξης (cutting piles):



- Παραμονή στην αρχική τους θέση χωρίς να απομακρυνθούν ή να αναμοχλευτούν.
- Εκσκαφή των σωρών των θρυμμάτων όρυξης και μεταφορά τους είτε στη στεριά, είτε ανακατεύθυνσή τους σε άλλη περιοχή του πυθμένα της θάλασσας, όπου μπορεί να είναι χρήσιμοι.

Οι τεχνολογίες και διαδικασίες που εφαρμόζονται σε αυτή τη φάση, οι κύριοι περιβαλλοντικές παράμετροι που δύναται να επηρεαστούν από αυτές, σε συνδυασμό με τον χαρακτηρισμό της επικινδυνότητας (risk characterization), με και χωρίς την εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων διαχείρισης κινδύνου, παρουσιάζονται στον Πίνακα 7-2.

Στον Πίνακα 7-3 παρουσιάζονται οι επιπτώσεις των εργασιών σφράγισης και εγκατάλειψης των γεωτρήσεων στις περιβαλλοντικές παραμέτρους που δύναται να επηρεαστούν, η επικινδυνότητα αυτών καθώς και τα απαραίτητα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται για τον περιορισμό τους.

Πίνακας 7-2. Περιβαλλοντική επικινδυνότητα διαδικασιών/τεχνολογιών παύσης λειτουργίας και κλεισίματος υπεράκτιας εγκατάστασης έρευνας & παραγωγής Υ/Α (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016)

Διαδικασίες / Τεχνολογίες	Περιβαλλοντικές παράμετροι	Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας (ΜΕ εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων διαχείρισης κινδύνου)			Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας (ΧΩΡΙΣ εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων διαχείρισης κινδύνου)		
		Πιθανότητα	Επιπτώσεις	Επικινδυνότητα	Πιθανότητα	Επιπτώσεις	Επικινδυνότητα
<b>Σφράγιση και εγκατάλειψη γεωτρήσεων</b>							
Ανάκτηση σωλήνων παραγωγής	• Απορρίψεις στη θάλασσα <sup>16</sup>	Πολύ σπάνια	Ελάχιστες	1 Χαμηλή	Πολύ σπάνια	Περιορισμένες	2 Χαμηλή
	• Υποθαλάσσιος θόρυβος (όχληση στη θαλάσσια πανίδα)	Σπάνια	Περιορισμένες	4 Χαμηλή	Περιστασιακά	Περιορισμένες	6 Μέτρια
	• Φυσική διαταραχή στον πυθμένα της θάλασσας (απώλεια μικρών ή μεγαλύτερων αντικειμένων, π.χ. κριωμάτων, σε απόσταση 500m από την εξέδρα) <sup>3</sup>	Περιστασιακά	Ελάχιστες	3 Χαμηλή	Περιστασιακά	Περιορισμένες	6 Μέτρια
<b>Διαχείριση των σωρών των θρυμμάτων όρυξης</b>							
Παραμονή στην αρχική τους θέση	• Απόρριψη Υ/Α στη θάλασσα από την έκπλυση των θρυμμάτων	Περιστασιακά	Περιορισμένες	6 Μέτρια	Περιστασιακά	Περιορισμένες	6 Μέτρια

<sup>16</sup> Σε δύσκολες θάλασσες, όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι και το βάθος της θάλασσας είναι μεγάλο, ο κίνδυνος απορρίψεων στη θάλασσα κατά τη σφράγιση των γεωτρήσεων και οι απώλειες μικρών αντικειμένων μπορεί να αυξηθεί, καθώς τα περιθώρια σφάλματος είναι πιο περιορισμένα.

Διαδικασίες / Τεχνολογίες	Περιβαλλοντικές παράμετροι	Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας (ΜΕ εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων διαχείρισης κινδύνου)			Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας (ΧΩΡΙΣ εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων διαχείρισης κινδύνου)		
		Πιθανότητα	Επιπτώσεις	Επικινδυνότητα	Πιθανότητα	Επιπτώσεις	Επικινδυνότητα
Ανάκτηση των σωρών των θρυμμάτων όρυξης	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εκπομπές καυσαερίων από μονάδες παραγωγής ενέργειας (τοπικές επιπτώσεις στην ποιότητα της ατμόσφαιρας)</li> </ul>	Σπάνια	Ελάχιστες	2 Χαμηλή	Περιστασιακά	Ελάχιστες	3 Χαμηλή
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εκπομπές καυσαερίων από μονάδες παραγωγής ενέργειας (εκπομπές αερίων θερμοκηπίου)</li> </ul>	Πιθανά	Ελάχιστες	4 Χαμηλή	Πιθανά	Ελάχιστες	5 Μέτρια

Πίνακας 7-3. Επιπτώσεις, επικινδυνότητα και μέτρα περιορισμού τους κατά τη σφράγιση και εγκατάλειψη μίας γεώτρησης (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016)

Περιβαλλοντικές παράμετροι	Διαδικασίες / Εργασίες	Μέτρα περιορισμού	Βαθμός επικινδυνότητας
<b>Απορρίψεις στη θάλασσα (ατυχηματικές) – βλάβες στα θαλάσσια οικοσυστήματα</b>	Πιθανές απορρίψεις υπολειμμάτων Υ/Α από τη γεώτρηση κατά τη διάρκεια απομάκρυνσης της σωλήνωσης. Η αραίωση των επιβλαβών ουσιών στο θαλασσινό νερό, ωστόσο, που επέρχεται με την πάροδο του χρόνου μειώνει σταδιακά την ένταση και την επικινδυνότητα της επίπτωσης.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Χρήση χημικών που παρουσιάζουν περιορισμένο κίνδυνο κατά τη διαδικασία όρυξης.</li> <li>Μοντελοποίηση της διασποράς και εκτίμηση επιπτώσεων από την απόρριψη υλικών στη θάλασσα.</li> <li>Διαχωρισμός του πολφού διάτρησης από τα θρύμματα της όρυξης που θα απορριφθούν με τη χρήση αναδευτήρα.</li> <li>Χρήση συμβατικών μεθόδων για την απομάκρυνση των μεγάλων σωρών θρυμμάτων που περιέχουν ρευστά διάτρησης με βάση το πετρέλαιο (OBMs) από τους σωρούς θρυμμάτων όρυξης (π.χ. οδηγίες OSPAR).</li> <li>Χρήση καινοτόμων τεχνολογιών, όπως το θερμομηχανικό εργαλείο καθαρισμού των σωρών θρυμμάτων όρυξης που μπορεί να τα καθαρίσει με βάση τις προδιαγραφές OSPAR.</li> </ul>	1 Χαμηλός
<b>Υποθαλάσσιος θόρυβος (όχληση στη θαλάσσια πανίδα)</b>	Δραστηριότητες όπου γίνεται χρήση μηχανικού εξοπλισμού κοπής ή εκρηκτικών	<ul style="list-style-type: none"> <li>Σωστός προγραμματισμός για την ελαχιστοποίηση των εργασιών κοπής.</li> <li>Ειδικό προσωπικό για τον εντοπισμό θαλάσσιων θηλαστικών στην άμεση περιοχή. Σε περίπτωση παρουσίας τους οι εργασίες κοπής είναι απαραίτητο να διακοπούν.</li> <li>Χρήση εξοπλισμού παθητικής ακουστικής παρακολούθησης για την ανίχνευση θορύβων από φάλαινες που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Σε περίπτωση εντοπισμού τους, οι διαδικασίες σταματούν.</li> <li>Χρήση υποβρύχιων τεχνολογιών ελαχιστοποίησης του θορύβου.</li> </ul>	4 Χαμηλός
<b>Διαταραχές στον πυθμένα της θάλασσας</b>	Οι εργασίες απομάκρυνσης της σωλήνωσης επαφής προκαλούν διαταραχές στον πυθμένα και απορρίμματα που δύναται να προκαλέσουν ασφυξία στους βενθικούς οργανισμούς του πυθμένα. Ευαίσθητοι βιότοποι, όπως οι κοινότητες σφουγγαριών ή κοραλλιών, ενδέχεται να χρειαστούν περισσότερο χρόνο ανάκαμψης από τις διαταραχές σε σχέση με άλλους πιο ανθεκτικούς βιοτόπους.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εφαρμογή της συμφωνίας για την προστασία μικρών κητοειδών που ισχύει στη Βαλτική Θάλασσα, στον Βορειοανατολικό Ατλαντικό, την Ιρλανδία και τη Βόρεια Θάλασσα, καθώς και τήρηση του καταλόγου της Ε.Ε. που περιλαμβάνει προστατευόμενα θαλάσσια είδη και κητοειδή.</li> <li>Κατάλληλος σχεδιασμός και συντήρηση του εξοπλισμού, έτσι ώστε να μην προκαλούν δυσχέρειες στους βενθικούς και θαλάσσιους οργανισμούς.</li> </ul>	3 Χαμηλός

Ως προς τη διαχείριση των σωρών των θρυμμάτων όρυξης, γίνεται με δύο τρόπους, όπως προαναφέρθηκε: είτε διατηρούνται στην αρχική τους θέση, είτε απομακρύνονται με εκσκαφή και μεταφορά είτε στην ξηρά, είτε σε άλλη θέση. Στον Πίνακα 7-4 παρουσιάζονται οι επιπτώσεις των εργασιών διαχείρισης των σωρών των θρυμμάτων στις περιβαλλοντικές παραμέτρους που δύναται να επηρεαστούν, ο βαθμός επικινδυνότητας αυτών καθώς και τα απαραίτητα μέτρα που λαμβάνονται για τον περιορισμό τους (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016).

Πίνακας 7-4. Επιπτώσεις & μέτρα περιορισμού των κινδύνων κατά τη διαχείριση των σωρών των θρυμμάτων όρυξης (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016)

Περιβαλλοντικές παράμετροι	Επιπτώσεις	Μέτρα περιορισμού
<b>Παραμονή των σωρών των θρυμμάτων στην αρχική τους θέση</b>		
<b>Απορρίψεις στη θάλασσα</b>	Κατά τη διαχείριση των σωρών των θρυμμάτων όρυξης δύναται μικρές ποσότητες Υ/Α να διαφύγουν στο περιβάλλον. Με την παραμονή τους μπορεί να απελευθερωθεί οποιαδήποτε υπολειμματική ποσότητα και να έχει επιπτώσεις τόσο στους θαλάσσιους οργανισμούς, όσο και στην ποιότητα του νερού. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου επέρχεται αραίωση που περιορίζει σταδιακά την ένταση και την επικινδυνότητα των επιπτώσεων	<ul style="list-style-type: none"> <li>Στις περιοχές όπου ισχύουν οι διεθνείς συμβάσεις OSPAR, HELCOM Barcelona Convention και MARPOL, έχουν τεθεί αυστηρά όρια ως προς την απόρριψη θρυμμάτων στη θάλασσα που έχουν προέλθει από όρυξη με χρήση ρευστών διάτρησης με βάση το πετρέλαιο (OBM) (π.χ. 1% κατά ξηρό βάρος περιεκτικότητα σε πετρέλαιο κατά OSPAR. Ως εκ τούτου αυτές οι επιπτώσεις αφορούν σε μεγάλο βαθμό παλαιότερους σωρούς θρυμμάτων.</li> </ul>
<b>Απομάκρυνση των σωρών των θρυμμάτων όρυξης</b>		
<b>Εκπομπές καυσαερίων από μονάδες παραγωγής ενέργειας (τοπικές επιπτώσεις στην ποιότητα της ατμόσφαιρας)</b>	Η χρήση κινητήρων ντίζελ για τη λειτουργία του εξοπλισμού έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή καυσαερίων που ενδέχεται να επηρεάσουν τοπικά την ποιότητα του αέρα στην εκάστοτε περιοχή.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ο υπεύθυνος διαχείρισης του συγκεκριμένου εξοπλισμού πρέπει να τηρεί τους κανονισμούς που ισχύουν για τον περιορισμό των καυσαερίων και των επιπτώσεων που έχουν στο περιβάλλον.</li> </ul>
<b>Εκπομπές καυσαερίων από μονάδες παραγωγής ενέργειας (εκπομπές αερίων θερμοκηπίου)</b>	Ομοίως τις προηγούμενες, από τη λειτουργία ντιζελοκίνητου εξοπλισμού παράγονται και αέρια του θερμοκηπίου, που συμβάλλουν στις συνολικές εκπομπές αερίων και εντείνουν την υπερθέρμανση του πλανήτη.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ο υπεύθυνος διαχείρισης του συγκεκριμένου εξοπλισμού πρέπει να τηρεί τους κανονισμούς για τον περιορισμό των αερίων του θερμοκηπίου και των επιπτώσεων που έχουν στο περιβάλλον.</li> </ul>
<b>Φυσική διαταραχή στον πυθμένα της θάλασσας (ειδικά στην περίπτωση μεταφοράς των σωρών σε άλλη υποθαλάσσια θέση)</b>	Ρύπανση του πυθμένα της θάλασσας και πιθανή πρόκληση ασφυξίας σε βενθικούς οργανισμούς και ευαίσθητα θαλάσσια ενδιαιτήματα, λόγω ανακατανομής των σωρών θρυμμάτων όρυξης σε μεγάλη έκταση στον βυθό	<ul style="list-style-type: none"> <li>Χαρτογράφηση των σωρών των θρυμμάτων και του πυθμένα της θάλασσας, πριν την εκτέλεση οποιονδήποτε εργασιών</li> <li>Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής αδειοδότησης των εργασιών παροπλισμού για την αξιολόγηση του κινδύνου και των επιπτώσεων και τον ορισμό ειδικών μέτρων διαχείρισης κινδύνου</li> </ul>

#### **7.2.2.2. Εργασίες παροπλισμού και οριστικής εγκατάλειψη της υπεράκτιας εγκατάστασης**

Το συγκεκριμένο στάδιο αποτελεί και το τελευταίο όπου λαμβάνουν χώρα όλες οι διαδικασίες παροπλισμού και αφαίρεσης των εναπομεινάντων εγκαταστάσεων (π.χ. εξάλα μέρη της υπεράκτιας εξέδρας), έτσι ώστε η περιοχή να επανέλθει, όσο γίνεται, στην πρότερη μορφή της. Οι διαδικασίες και τεχνολογίες που υπεισέρχονται σε αυτό το στάδιο είναι οι παρακάτω (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016):

- Παροπλισμός των εξάλων τμημάτων (topsides,) καθώς και του χωροδικτυώματος έδρασης (jacket)της εξέδρας.
  - Χρήση και λειτουργία μονάδων παροχής ισχύος (power generation units) για όλες τις διαδικασίες παροπλισμού
  - Προετοιμασία απομάκρυνσης εξάλων τμημάτων και χωροδικτυώματος με χρήση μηχανικών μεθόδων (θερμή κοπή, συγκόλληση κ.ά.)
- Παροπλισμός υποθαλάσσιου εξοπλισμού (π.χ. συστήματα αγωγών)
  - Χρήση και λειτουργία μονάδων παροχής ισχύος για όλες τις διαδικασίες παροπλισμού
  - Διατήρηση συστημάτων αγωγών ή εγκαταστάσεων στην αρχική τους θέση (απαιτείται λιθορριπή – rock dumping)
  - Απομάκρυνση οποιοδήποτε είδους επίστρωσης από τον πυθμένα της θάλασσας
- Ναυσιπλοΐα και θαλάσσιες μεταφορές προσωπικού, εξοπλισμού και παροπλισμένων τμημάτων
- Μακροπρόθεσμη διατήρηση της ακεραιότητας της γεώτρησης
- Παρακολούθηση της ακεραιότητας της γεώτρησης για την αποφυγή ατυχημάτων

Στον Πίνακα 7-5 παρουσιάζονται οι επιπτώσεις των εργασιών για τον πλήρη παροπλισμό και την οριστική εγκατάλειψη των υπεράκτιων εγκαταστάσεων στις περιβαλλοντικές παραμέτρους που δύναται να επηρεαστούν, ο βαθμός επικινδυνότητας αυτών καθώς και τα απαραίτητα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται για τον περιορισμό τους.

Πίνακας 7-5. Περιβαλλοντική επικινδυνότητα διαδικασιών/τεχνολογιών παροπλισμού & οριστικής εγκατάλειψης υπεράκτιας εγκατάστασης έρευνας & παραγωγής Υ/Α (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016)

Διαδικασίες/Τεχνολογίες	Περιβαλλοντικές παράμετροι	Βαθμός επικινδυνότητας(ΜΕ εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων διαχείρισης κινδύνου)			Βαθμός επικινδυνότητας(ΧΩΡΙΣ εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων διαχείρισης κινδύνου)		
		Πιθανότητα	Επιπτώσεις	Επικινδυνότητα	Πιθανότητα	Επιπτώσεις	Επικινδυνότητα
<b>Παροπλισμός εξάλων τμημάτων</b>							
Χρήση & λειτουργία μονάδων παροχής ισχύος για όλες τις εργασίες παροπλισμού	• Εκπομπές καυσαερίων (τοπικές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα)	Σπάνια	Ελάχιστες	2 Χαμηλός	Περιστασιακά	Ελάχιστες	3 Χαμηλός
	• Εκπομπές καυσαερίων (εκπομπή αερίων θερμοκηπίου)	Πιθανά	Ελάχιστες	4 Χαμηλός	Πιθανά	Ελάχιστες	5 Μέτριος
Προετοιμασία απομάκρυνσης εξάλων τμημάτων και χωροδικτυώματος με χρήση μηχανικών μεθόδων	• Απορρίψεις στη θάλασσα	Σπάνια	Ελάχιστες	2 Χαμηλός	Σπάνια	Ελάχιστες	2 Χαμηλός
	• Διαταραχή του πυθμένα της θάλασσας	Πολύ σπάνια	Μέτριες	3 Χαμηλός	Πολύ σπάνια	Μέτριες	3 Χαμηλός
	• Υποθαλάσσιος θόρυβος	Πιθανά	Ελάχιστες	2 Χαμηλός	Πολύ πιθανά	Ελάχιστες	3 Χαμηλός
<b>Παροπλισμός υποθαλάσσιου εξοπλισμού</b>							
Χρήση & λειτουργία μονάδων παροχής ισχύος για όλες τις εργασίες παροπλισμού	• Εκπομπές καυσαερίων (τοπικές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα)	Σπάνια	Ελάχιστες	2 Χαμηλός	Περιστασιακά	Ελάχιστες	3 Χαμηλός
	• Εκπομπές καυσαερίων (εκπομπή αερίων θερμοκηπίου)	Πιθανά	Ελάχιστες	4 Χαμηλός	Πιθανά	Ελάχιστες	5 Μέτριος



Διαδικασίες/Τεχνολογίες	Περιβαλλοντικές παράμετροι	Βαθμός επικινδυνότητας(ΜΕ εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων διαχείρισης κινδύνου)			Βαθμός επικινδυνότητας(ΧΩΡΙΣ εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων διαχείρισης κινδύνου)		
		Πιθανότητα	Επιπτώσεις	Επικινδυνότητα	Πιθανότητα	Επιπτώσεις	Επικινδυνότητα
Διατήρηση συστημάτων αγωγών ή εγκαταστάσεων στην αρχική τους θέση	<ul style="list-style-type: none"> <li>Διαταραχή του πυθμένα της θάλασσας λόγω της λιθορριπής για τη σταθεροποίηση του εξοπλισμού που θα παραμείνει στη θέση του<sup>17</sup></li> </ul>	Περιστασιακά	Μέτριες	9 Υψηλός	Περιστασιακά	Μέτριες	9 Υψηλός
Απομάκρυνση οποιουδήποτε είδους επίστρωσης από τον πυθμένα της θάλασσας	<ul style="list-style-type: none"> <li>Υποθαλάσσιος θόρυβος, πρόκληση σεισμικών δονήσεων (όχληση στην θαλάσσια πανίδα)</li> </ul>	Περιστασιακά	Περιορισμένες	6 Μέτριος	Πιθανά	Περιορισμένες	8 Μέτριος

<sup>17</sup> Σε βαθύτερα νερά, με δύσκολες καιρικές συνθήκες, η εκτέλεση των εργασιών λιθορριπής μπορεί να γίνουν με ακρίβεια, με αποτέλεσμα αυξημένη πιθανότητα διαταραχής του βυθού.

Διαδικασίες/Τεχνολογίες	Περιβαλλοντικές παράμετροι	Βαθμός επικινδυνότητας(ΜΕ εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων διαχείρισης κινδύνου)			Βαθμός επικινδυνότητας(ΧΩΡΙΣ εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων διαχείρισης κινδύνου)		
		Πιθανότητα	Επιπτώσεις	Επικινδυνότητα	Πιθανότητα	Επιπτώσεις	Επικινδυνότητα
<b>Ναυσιπλοΐα και θαλάσσιες μεταφορές προσωπικού, εξοπλισμού και παροπλισμένων τμημάτων</b>							
Όλες οι διαδικασίες παροπλισμού	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εκπομπές καυσαερίων (τοπικές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα)</li> </ul>	Σπάνια	Ελάχιστες	2 Χαμηλός	Σπάνια	Ελάχιστες	2 Χαμηλός
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εκπομπές καυσαερίων (εκπομπή αερίων θερμοκηπίου)</li> </ul>	Πιθανά	Ελάχιστες	4 Χαμηλός	Πιθανά	Ελάχιστες	4 Χαμηλός
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Απορρίψεις στη θάλασσα (λόγω αποτυχίας περιορισμού κατά τη μεταφορά)<sup>18</sup></li> </ul>	Περιστασιακά	Περιορισμένες	6 Μέτριος	Περιστασιακά	Μέτριες	9 Υψηλός
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Απορρίψεις στη θάλασσα (λόγω αποτυχίας περιορισμού στην εξέδρα)<sup>5</sup></li> </ul>	Σπάνια	Ελάχιστες	2 Χαμηλός	Σπάνια	Περιορισμένες	4 Χαμηλός
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Διαταραχή του πυθμένα της θάλασσας (από τις άγκυρες)<sup>19</sup></li> </ul>	Πιθανά	Ελάχιστες	4 Χαμηλός	Πιθανά	Ελάχιστες	4 Χαμηλός

<sup>18</sup> Σε δύσκολες θάλασσες όπου πνέουν ισχυροί άνεμοι, οι αστοχίες περιορισμού κατά τη μεταφορά και στην εξέδρα ενδέχεται να είναι πιο πιθανές λόγω μειωμένων περιθωρίων για λάθος χειρισμών και μεγάλη καταπόνηση του εξοπλισμού.

<sup>19</sup> Σε δύσκολες θάλασσες, η αγκυροβόληση μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερη ζημιά στον βυθό, καθώς η άγκυρα σύρεται σε μεγαλύτερη περιοχή.

Διαδικασίες/Τεχνολογίες	Περιβαλλοντικές παράμετροι	Βαθμός επικινδυνότητας(ΜΕ εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων διαχείρισης κινδύνου)			Βαθμός επικινδυνότητας(ΧΩΡΙΣ εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων διαχείρισης κινδύνου)		
		Πιθανότητα	Επιπτώσεις	Επικινδυνότητα	Πιθανότητα	Επιπτώσεις	Επικινδυνότητα
<b>Μακροπρόθεσμη παρακολούθηση της ακεραιότητας της γεώτρησης</b>							
<b>Παρακολούθηση της ακεραιότητας της γεώτρησης για την αποφυγή ατυχημάτων</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Απορρίψεις στη θάλασσα (ατυχηματικές) (διαρροή Υ/Α)</li> </ul>	Σπάνια	Περιορισμένες	4 Χαμηλός	Σπάνια	Μέτριες	6 Μέτριος
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αέριες εκπομπές (ατυχηματικές) (διαρροή μεθανίου) – συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου</li> </ul>	Σπάνια	Περιορισμένες	4 Χαμηλός	Περιστασιακά	Περιορισμένες	6 Μέτριος

Στον Πίνακα 7-6 παρουσιάζονται οι επιπτώσεις των διαδικασιών/τεχνολογιών παροπλισμού και οριστικής εγκατάλειψης υπεράκτιας εγκατάστασης έρευνας & παραγωγής Υ/Α στις περιβαλλοντικές παραμέτρους που δύναται να επηρεαστούν, ο βαθμός επικινδυνότητας αυτών καθώς και τα απαραίτητα μέτρα που λαμβάνονται για τον περιορισμό τους (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016).

Πίνακας 7-6. Επιπτώσεις & μέτρα περιορισμού των κινδύνων κατά τον παροπλισμό & την οριστική εγκατάλειψη υπεράκτιων εγκαταστάσεων (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016)

Διαδικασίες / Τεχνολογίες	Περιβαλλοντικές παράμετροι	Μέτρα περιορισμού
Χρήση & λειτουργία μονάδων παροχής ισχύος για όλες τις εργασίες παροπλισμού	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εκπομπές καυσαερίων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αξιολόγηση χρήσης Βέλτιστης Διαθέσιμης Τεχνολογίας (Best Available Technology - BAT) για τον εξοπλισμό του εργοταξίου, περιλαμβανομένου του υπολογισμού του αποτυπώματος άνθρακα, στο πλαίσιο εκπόνησης των απαραίτητων μελετών για την περιβαλλοντική αδειοδότηση του έργου</li> <li>Χρήση καυσίμων με χαμηλή και πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο.</li> </ul>
Προετοιμασία απομάκρυνσης εξάλων τμημάτων και χωροδικτυώματος με χρήση μηχανικών μεθόδων	<ul style="list-style-type: none"> <li>Απορρίψεις στη θάλασσα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Κατάλληλο σχέδιο παροπλισμού για την απομάκρυνση των δομών πάνω στο έξαλο τμήμα της εξέδρα. Στις μελέτες για την περιβαλλοντική αδειοδότηση του έργου πρέπει να περιλαμβάνονται γενικά και ειδικό μέτρα διαχείρισης κινδύνων.</li> <li>Κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού για την εφαρμογή των μέτρων περιορισμού &amp; διαχείρισης των κινδύνων.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Διαταραχή του βυθού</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Χρήση χημικών ουσιών χαμηλού κινδύνου και αποφυγή χρήσης χημικών υψηλού κινδύνου (π.χ. χημικά που βρίσκονται στον κατάλογο PLO-NOR<sup>20</sup> της συνθήκης OSPAR), περιορισμός της περιεκτικότητας σε Υ/Α των υλικών που απορρίπτονται στη θάλασσα και διαχωρισμός Υ/Α και νερού με κατάλληλα συστήματα για τον περιορισμό των Υ/Α που απορρίπτονται στη θάλασσα. Η αραίωση που επέρχεται μετά την απόρριψη στη θάλασσα και με την πάροδο του χρόνου περιορίζει την επικινδυνότητα της επίπτωσης.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Υποθαλάσσιος θόρυβος</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αποφυγή συμβάντων πτώσης βαρέων αντικειμένων στη θάλασσα, μέσω κατάλληλης εκπαίδευσης του προσωπικού και τήρησης αρχείων καταγραφής συμβάντων.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Αν και το επίπεδο προκαλούμενου θορύβου στη φάση του παροπλισμού είναι κατά πολύ χαμηλότερο του αντίστοιχου στη φάση όρυξης &amp; παραγωγής (με πολύ μικρότερη διάρκεια), θα πρέπει να λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα,</li> </ul>

<sup>20</sup>PLONOR: Pose Little or No Risk to the Environment

Διαδικασίες / Τεχνολογίες	Περιβαλλοντικές παράμετροι	Μέτρα περιορισμού
		κυρίως για την προστασία των κητοειδών στην περιοχή.
Διατήρηση συστημάτων αγωγών ή εγκαταστάσεων στην αρχική τους θέση (απαιτείται λιθορριπή)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Διαταραχή του πυθμένα της θάλασσας λόγω της λιθορριπής &amp; της φυσικής παρουσίας ανθρώπων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Πλήρη χαρτογράφηση τα σημείων αγκύρωσης του εξοπλισμού &amp; αγκυροβόλησης σκαφών για την εκτίμηση &amp; τον περιορισμό των σχετικών επιπτώσεων</li> <li>Αποφυγή περιβαλλοντικά ευαίσθητων περιοχών</li> <li>Εκτίμηση του χρόνου επαναφοράς των οικοσυστημάτων μετά την ολοκλήρωση των εργασιών</li> <li>Στην περίπτωση της λιθορριπής έλεγχος στις διαστάσεις των λίθων για χρήση οδηγών για την ακριβή κατά το δυνατό χωροθέτηση των σωρών</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Υποθαλάσσιος θόρυβος</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ήπια εκκίνηση εργασιών, με τη χαμηλότερη δυνατή στάθμη θορύβου αρχικά ώστε η τοπική πανίδα να έχει χρόνο προσαρμογής, πριν την εξέλιξη των εργασιών σε πλήρη κλίμακα.</li> </ul>
Απομάκρυνση οποιουδήποτε είδους επίστρωσης από τον πυθμένα της θάλασσας	<ul style="list-style-type: none"> <li>Διαταραχή του πυθμένα της θάλασσας &amp; υποθαλάσσιος θόρυβος</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Όπως παραπάνω</li> </ul>
Όλες οι θαλάσσιες μεταφορές	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εκπομπές καυσαερίων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αξιολόγηση χρήσης Βέλτιστης Διαθέσιμης Τεχνολογίας (Best Available Technology - BAT) για τον εξοπλισμό του εργοταξίου, περιλαμβανομένου του υπολογισμού του αποτυπώματος άνθρακα, στο πλαίσιο εκπόνησης των απαραίτητων μελετών για την περιβαλλοντική αδειοδότηση του έργου</li> <li>Χρήση καυσίμων με χαμηλή και πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο.</li> <li>Περιορισμός του αριθμού των σκαφών και των απαραίτητων δρομολογίων</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Διαταραχή του πυθμένα<sup>5</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Όπως παραπάνω</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Απορρίψεις στη θάλασσα (λόγω αποτυχίας περιορισμού στην εξέδρα)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μέτρα κατά τον σχεδιασμό: <ul style="list-style-type: none"> <li>Περιβαλλοντική Εκτίμηση με αναγνώριση των κινδύνων και προσομοίωση εξέλιξης πετρελαιοκηλίδων</li> <li>Σχέδια έκτακτης ανάγκης, περιλαμβανομένων των διαδικασιών καθαρισμού πετρελαιοκηλίδας και καταγραφή συμβάντων</li> <li>Αποκλειστικά πληρώματα άμεσης απόκρισης σε περίπτωση πετρελαιοκηλίδας</li> <li>Εκπαίδευση όλου του προσωπικού στο εργοτάξιο</li> <li>Ζώνη αποκλεισμού γύρω από την εγκατάσταση για την αποφυγή συγκρούσεων</li> </ul> </li> <li>Τεχνικά μέτρα: <ul style="list-style-type: none"> <li>Χρήση δεξαμενόπλοιων διπλού κύτους για πρόσθετη προστασία σε περίπτωση σύγκρουσης</li> <li>Στρατηγική τοποθέτηση δεξαμενών στην εξέδρα για τη μέγιστη δυνατή προστασία τους έναντι συγκρούσεων</li> </ul> </li> </ul>

Διαδικασίες / Τεχνολογίες	Περιβαλλοντικές παράμετροι	Μέτρα περιορισμού
		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Σαφής διαχωρισμός μεταξύ των περιοχών επεξεργασίας και αποθήκευσης</li> <li>○ Συστήματα αποστράγγισης για τη δέσμευση των διαρροών και εγκατάσταση διαχωρισμού (oil separation) στη συλλεκτήρια δεξαμενή (bilge tank)</li> </ul>
Αποτυχία διατήρησης της μακροπρόθεσμης ακεραιότητας της γεώτρησης	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διαρροή υγρών Υ/Α στη θάλασσα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Τακτική παρακολούθηση της πίεσης εντός της γεώτρησης για την εκτίμηση της ακεραιότητά της. Συνήθως από τον διαχειριστή και όχι από τις αρμόδιες αρχές.</li> <li>• Με την πάροδο του χρόνου υγροί Υ/Α μπορεί να διεισδύσουν μέσα από την τσιμέντωση εντός της γεώτρησης, με κίνδυνο να διαρρεύσουν στη θάλασσα προκαλώντας τοπική ρύπανση</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Τυχόν αστοχία στην ακεραιότητα της γεώτρησης μπορεί να προκαλέσει διαρροή αερίων Υ/Α (κυρίως μεθανίου) στην ατμόσφαιρα συμβάλλοντας στην επιβάρυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου.</li> </ul>

### 7.2.3. Εξέταση των σημαντικότερων περιβαλλοντικών ζητημάτων που σχετίζονται με τον παροπλισμό των υπεράκτιων εγκαταστάσεων έρευνας & παραγωγής Υ/Α

#### 7.2.3.1. Βιοποικιλότητα

Γενικά, οι βιολογικές κοινότητες που αναπτύσσονται πάνω και γύρω από υπεράκτιες εξέδρες Υ/Α, λόγω της θέσης τους (συνήθως πάνω στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα ή στο ηπειρωτικό υφαλοπρανές) και των μοναδικών φυσικών και βιολογικών τους χαρακτηριστικών (έντονο κατακόρυφο ανάγλυφο καθ' όλο το ύψος της στήλης νερού με εσωτερικές κοιλότητες), διαφέρουν ως προς τις κοινοτικές τους παραμέτρους από άλλες γειτονικές κοινότητες (συχνά ιζήματα ήπιου ανάγλυφου) και από φυσικούς υφάλους στην περιοχή (Sommer, et al., 2019).

Οι επιλογές παροπλισμού διαφέρουν σημαντικά ως προς τις επιπτώσεις τους στη βιοποικιλότητα, ειδικά μεταξύ της μερικής και της ολικής απομάκρυνσης της εγκατάστασης. Η ολική απομάκρυνση μιας υπεράκτιας εξέδρας, έχει ως αποτέλεσμα τη σχεδόν πλήρη εξάλειψη των ζώντων οργανισμών που έχουν αναπτυχθεί πάνω σε αυτή. Οι υπεράκτιες κατασκευές δύναται να ενισχύσουν την ταξινομική και λειτουργική ποικιλότητα, προσθέτοντας σκληρό υπόστρωμα σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από κοινότητες μαλακού πυθμένα. Ως εκ τούτου η ολική απομάκρυνση της κατασκευής πιθανότατα σχετίζεται με τοπική μείωση της βιοποικιλότητας σε περιοχές που κυριαρχούνται βιότοπους



μαλακού πυθμένα. Τα αποτελέσματα των διαφόρων επιλογών μερικής απομάκρυνσης της κατασκευής παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση ως προς τις επιπτώσεις οι οποίες εξαρτώνται και από τη δομή και τη σύνθεση των συνδεδεμένων κοινοτήτων.

Γενικά, με την πάροδο του χρόνου, η υπεράκτια εγκατάσταση δρα ως τεχνητός ύφαλος, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7-1, και αναπτύσσονται πάνω της ποικίλοι ζώντες οργανισμοί. Μελέτες που συγκρίνουν βιολογικές κοινότητες μεταξύ φυσικών υφάλων & λειτουργικών ή παροπλισμένων τεχνητών υφάλων (εξεδρών) υπογραμμίζουν την επίδραση του βάθους, του κατακόρυφου ανάγλυφου και των φυσικών χαρακτηριστικών των δομών στις σχετικές συναθροίσεις ψαριών, και υποδηλώνουν ότι η δημιουργία υφάλων πιθανότατα αλλάζει τη σύνθεση των συναθροίσεων αυτών.



Εικόνα 7-1. Βιοποικιλότητα που έχει αναπτυχθεί σε υπεράκτιες εξέδρες παραγωγής Υ/Α (Roos, 2019)

Η έρευνα, ωστόσο, για τη βιοσυσσώρευση και τις βενθικές κοινότητες είναι περιορισμένη, και δεν έχει εντοπίσει διακριτές διαφορές μεταξύ λειτουργικών και παροπλισμένων τεχνητών υφάλων ως προς την πυκνότητα των κοραλλιών ή τις βενθικές κοινότητες σε αποστάσεις  $<0,25$  και  $> 1,5$  χλμ. από εξέδρες στον Κόλπο του Μεξικού (Sommer, et al., 2019).



### 7.2.3.2. Παραγωγή βιομάζας (*biomass production*)

Οι υπεράκτιες εξέδρες Υ/Α υποστηρίζουν σημαντική βιομάζα σταθερών υδρόβιων ασπόνδυλων (*sessile invertebrates*) και συγκεντρώσεων ψαριών, με τη βιοσυσσώρευση στις κοινότητες αυτές να αυξάνει το συνολικό βάρος των κατασκευών στη Βόρεια Θάλασσα έως και κατά 30% (Pors, Verbeeck, Wurpel, & Briët, 2011). Αν και αυτές οι βιολογικές κοινότητες μπορεί, σε κάποιο βαθμό, να αφορούν περισσότερο σε ανακατανομή παρά σε παραγωγή βιομάζας, το δυναμικό παραγωγής ψαριών κοντά σε υπεράκτιες εξέδρες αποδείχτηκε σε έρευνα που διεξήχθη στην Καλιφόρνια όπου εντοπίστηκε ότι οι δομές στην περιοχή παρουσιάζουν την υψηλότερη δευτεροβάθμια παραγωγή ψαριών (*secondary fish production*) ανά μονάδα επιφάνειας θαλάσσιου πυθμένα έναντι οποιουδήποτε άλλου θαλάσσιου οικοτόπου (Claisse, et al., 2014).

Ενώ η πλήρης απομάκρυνση μιας εξέδρας θα εξαλείψει το μεγαλύτερο μέρος της υπάρχουσας βιομάζας, η μερική απομάκρυνση συνήθως οδηγεί σε μείωση της βιομάζας των ψαριών και της παραγωγής για είδη που σχετίζονται με τα ρηχά τμήματα της δομής που μπορεί να απομακρυνθούν, όπως νεαρά πλανγκτοφάγα είδη και μεγάλους πελαγικούς θηρευτές (Claisse J. T., et al., 2015; Simonsen, 2013). Τα βενθοπελαγικά είδη που ζουν βαθύτερα επηρεάζονται γενικά λιγότερο. Αυτό δείχνει ότι οι τύποι των βιολογικών κοινοτήτων που σχετίζονται με την κάθε υπεράκτια εγκατάσταση και η διαστρωμάτωσή τους ως προς το βάθος επηρεάζουν τα αποτελέσματα του παροπλισμού της συγκεκριμένης εγκατάστασης. Είναι εύλογο ότι σε εξέδρες όπου κυριαρχούν τα βενθοπελαγικά ψάρια (π.χ. στην Καλιφόρνια), μειώνεται η απώλεια παραγωγής που προκληθεί κατά τη μερική απομάκρυνσή τους. Για παράδειγμα στην Καλιφόρνια, η μερική απομάκρυνση μιας εξέδρας συνήθως διατηρεί κατά μέσο όρο το 80% της βιομάζας των ψαριών και το 86% της δευτερογενούς παραγωγής ψαριών (Claisse J. T., et al., 2015).

Γενικά, τα είδη των οικοτόπων φαίνεται να ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των θαλάσσιων εξεδρών, ακόμη και αν αυτές βρίσκονται σε παρόμοια οικολογικά περιβάλλοντα (Schroeder & Love, 2004). Για τον λόγο αυτό και τα δεδομένα παραγωγής βιομάζας μιας εξέδρας θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή κατά την εξέταση της παραγωγικότητας άλλων ακόμα και κοντινών εξεδρών (Sommer, et al., 2019).

### 7.2.3.3. Διατήρηση (*conservation*)

Οι υπεράκτιες εξέδρες Υ/Α θεωρούνται de facto ως θαλάσσιες προστατευόμενες περιοχές (Inger, et al., 2009; Schroeder & Love, 2004), επειδή προστατεύουν τους βιοτόπους και τα θαλάσσια ενδιαιτήματα από την αλιεία εντός των ζωνών αποκλεισμού που οριοθετούνται για την ασφαλή λειτουργία της εξέδρας σε ορισμένη απόσταση γύρω από αυτή.

Οι επιλογές παροπλισμού που αφήνουν ολόκληρη ή τμήμα της εξέδρας στη θέση τους μπορούν να δημιουργήσουν νέες ζώνες αποκλεισμού για συγκεκριμένους τύπους σκαφών, ιδίως για τράτες, λόγω του κινδύνου εμπλοκή και σύγκρουσης που παρουσιάζουν τα υποθαλάσσια τμήματα των εξεδρών. Εκτός από τα οφέλη διατήρησης, ο αποκλεισμός της τράτας παρέχει τη δυνατότητα ενίσχυσης της αλιείας, λόγω της εξαγωγής ψαριών και γόνων προς τις γύρω περιοχές (δευτερογενής επίπτωση – spill over effect) (Russ & Alcalá, 2011; Williamson, et al., 2016) και προστασίας ευαίσθητων βενθικών οικοτόπων που λειτουργούν ως τόποι αναπαραγωγής ψαριών.

Η πλήρης απομάκρυνση μιας θαλάσσιας εξέδρας, ανοίγει δρόμο για τις τράτες να ψαρεύουν εντός των παλαιότερων ζωνών αποκλεισμού, με κίνδυνο να διαταραχθούν τυχόν σωροί θρυμμάτων όρυξης έχουν παραμείνει στην περιοχή και να προκληθεί επαναιώρηση ρυπασμένων ιζημάτων (Pors, Verbeek, Wurplel, & Briët, 2011). Μόνο στη Βόρεια Θάλασσα, θα ανοίξει η πλήρης απομάκρυνση όλων των θαλάσσιων εξεδρών θα επιτρέψει την αλιεία σε τράτες σε ~400 km<sup>2</sup> θαλάσσιου πυθμένα στον οποίο δεν είχαν πρόσβαση (Sommer, et al., 2019).

### 7.2.3.4. Συνδεσιμότητα (*connectivity*)

Η χωρική κατανομή των εξεδρών Υ/Α στο θαλάσσιο περιβάλλον επηρεάζει τη συνδεσιμότητα και κατά συνέπεια τη βιοποικιλότητα και τη λειτουργία των οικοσυστημάτων που λειτουργούν σε ένα εύρος χωρικών κλιμάκων (Bishop, et al., 2017) (Atchison, Sammarco, & Brazeau, 2008). Οι βιοκοινότητες από τεχνητούς και φυσικούς οικοτόπους αλληλεπιδρούν με πολύπλοκους τρόπους και η απομάκρυνση κατασκευών που βρίσκονταν στη θέση τους για μεγάλο χρονικό διάστημα ενδέχεται να διαταράξει τις οικολογικές διαδικασίες. Σε περιοχές με αραιούς φυσικούς υφάλους (π.χ. Βόρεια Θάλασσα, Κόλπος του Μεξικού), οι υπεράκτιες εξέδρες μπορεί να διευκολύνουν τη συνδεσιμότητα σε μεγάλες αποστάσεις για είδη (taxa) που κατά τα στάδια ανάπτυξής του παρουσιάζουν

μεγάλη διασπορά, όπως τα κοράλλια (Atchison, Sammarco, & Brazeau, 2008; Sammarco, Atchison, Boland, Sinclair, & Lirette, 2012), και μπορούν να παρέχουν ενδιάμεσες βάσεις για τα είδη αυτά (Bishop, et al., 2017). Ένας πιθανός κίνδυνος των επιλογών παροπλισμού που περιλαμβάνουν τη μεταφορά δομών και υλικών είναι η ακούσια εξάπλωση μη ιθαγενών ειδών. Για παράδειγμα, μια ρυμουλκούμενη εξέδρα που ακούσια προσάραξε σε ένα απομακρυσμένο νησί της Βραζιλίας μετέφερε 62 μη ιθαγενή σταθερά υδρόβια είδη στη νέα τοποθεσία (Wanless, et al., 2010).

#### **7.2.3.5. Άμεση φυσική διαταραχή**

Όλες οι επιλογές παροπλισμού προκαλούν διαταραχές τόσο στο θαλάσσιο περιβάλλον όσο και στους θαλάσσιους οργανισμούς που διαμένουν σε αυτό. Η διατήρηση της υπεράκτιας εξέδρας στη θέση της συνεπάγεται τη λιγότερη διαταραχή, καθώς η μόνη εργασία στον βυθό είναι η σφράγιση και εγκατάλειψη των γεωτρήσεων. Παρόλα αυτά, οι χαλύβδινες κατασκευές με την πάροδο του χρόνου αποσυντίθενται σταδιακά, και κάποια στιγμή καταρρέουν αν αφεθούν στην αρχική τους θέση. Εκτιμάται ότι για πλήρης διάβρωσης μιας τυπικής υπεράκτιας εξέδρας μπορεί να διαρκέσει πάνω από 500 χρόνια (Picken, Curtis, & Elliott, 1997).

Η απομάκρυνση τμημάτων της υπεράκτιας εγκατάστασης απαιτεί αποκοπή με χρήση είτε εκρηκτικών, είτε μηχανικών μέσων, που δύναται να προκαλέσουν βλάβες στους βιοτόπους και τους οργανισμούς που έχουν αναπτυχθεί εκεί. Οι επιλογές παροπλισμού περιλαμβάνουν σε κάθε περίπτωση διαχείριση και εξοπλισμού και υλικών που ενέχουν κινδύνους για την ασφάλεια (π.χ. συγκρούσεις, ατυχήματα, διαρροές), αυξάνουν τον κίνδυνο ζημιών σε υφιστάμενες υποδομές και φυσικούς οικοτόπους, ιδιαίτερα σε ρηχές παράκτιες περιοχές με υψηλό επιπολασμό ευαίσθητων ενδιαιτημάτων (π.χ. κοραλλιογενείς υφάλους), αλλά και στη βαθιά θάλασσα, όπου τα κοράλλια κρύου νερού ανακάμπτουν με εξαιρετικά αργούς ρυθμούς (Roberts & Cairns, 2014).

#### 7.2.3.6. Διασπορά ρυπαντών (*dispersal of contaminants*)

Ιδιαίτερη ανησυχία υπάρχει από τη διασπορά ρυπαντικών ουσιών κατά τη διαδικασία παροπλισμού των υπεράκτιων εγκαταστάσεων. Τέτοια φαινόμενα δύναται να είναι αποτέλεσμα ορισμένων συνθηκών, που αναλύονται στη συνέχεια:

- Αναμόχλευση σωρών θρυμμάτων όρυξης: Σύμφωνα με εκτιμήσεις μόνο στον πυθμένα της Β. Θάλασσας μπορεί να βρίσκονται έως 12 εκατομμύρια κυβικά μέτρα θρυμμάτων όρυξης (Breuer, Stevenson, Howe, Carroll, & Shimmield, 2004). Οι σχετικές ρυπαντικές ουσίες είναι πιθανό να παραμείνουν μέσα στο σωρό, εκτός εάν ο σωρός διαταραχθεί που είναι συνήθως η κανονιστική κατεύθυνση που δίνεται στους διαχειριστές των υπεράκτιων εγκαταστάσεων. Η αποκοπή των κατασκευών από το βυθό μπορεί να προκαλέσει αναμόχλευση των θρυμμάτων και επαναιώρηση των ρυπαντών τους.
- Διάβρωση του χάλυβα: Για να προστατευτεί το χωροδικτύωμα έναντι της διάβρωσης από το θαλασσινό νερό συχνά κατασκευάζεται από χάλυβα που έχει υποστεί ανοδίσωση. Όμως, κατά την ολική ή μερική διατήρηση μιας υπεράκτιας εξέδρας στην αρχική της θέση, μετά τον παροπλισμό της, η αργή διάβρωσή της απελευθερώνει στο περιβάλλον ψευδάργυρο ή αλουμίνιο. Ο ρυθμός της απελευθέρωσης αυτών των στοιχείων είναι μεγάλος κατά τα πρώτα 20 χρόνια μετά τον παροπλισμό και στη συνέχεια ελαττώνεται. Μετά την πάροδο 40 χρόνων έχει επέλθει η πλήρης απελευθέρωση αυτών των στοιχείων. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτού του φαινομένου εξαρτώνται κυρίως από την ποσότητα των στοιχείων που απελευθερώνονται, με την προκαλούμενη ρύπανση να είναι μεγαλύτερη κοντά στην εξέδρα και να ελαττώνεται σταδιακά κατά την απομάκρυνση από εκείνη.
- Φυσικά ραδιενεργά υλικά: Είναι γνωστό ότι σε πολλούς γεωλογικούς σχηματισμούς περιέχονται φυσικά ραδιενεργά στοιχεία, όπως μικρές συγκεντρώσεις ραδίου. Μέσω της υπεράκτιας παραγωγής Υ/Α, τέτοια στοιχεία ανέρχονται στην επιφάνεια και ρυπαίνουν τον εξοπλισμό. Τα ραδιενεργά αυτά στοιχεία, μπορούν να απομακρυνθούν από τον εξοπλισμό παραγωγής, μέσω εκτόξευσης νερού υψηλής πίεσης, με μηχανική απόξεση, με χημικό καθαρισμό ή αμμοβολή (Pors, Verbeek, Wurplel, & Briët, 2011). Μετά την απομάκρυνσή τους, αποθηκεύονται είτε υπεράκτια, είτε στη στεριά, έτσι

ώστε να αποφευχθεί η έκθεση των εργαζομένων και του περιβάλλοντος σε μεγάλες συγκεντρώσεις τους.

- Υδρογονάνθρακες: Παρόμοια με την προηγούμενη περίπτωση, υδρογονάνθρακες μπορεί να παραμείνουν στον παραγωγικό εξοπλισμό, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στη διαφυγή τους και κατά συνέπεια στη ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, καθώς και των αντίστοιχων οικοσυστημάτων.
- Βαφές και επιστρώσεις: Μπορεί να περιέχουν ορισμένες τοξικές ουσίες, όπου με τη σταδιακή φθορά της βαφής, απελευθερώνονται και μπορεί να προκαλέσουν θέματα υγείας στους εργαζομένους, καθώς και να ρυπάνουν το θαλάσσιο περιβάλλον.

#### **7.2.3.7. Κατανάλωση ενέργειας – Αποτύπωμα άνθρακα**

Όλες οι επιλογές παροπλισμού περιλαμβάνουν την κατανάλωση ενέργειας και την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, ενώ η κατανάλωση ενέργειας και ατμοσφαιρικές εκπομπές αποτελούν μέρος των αναγκαίων κριτηρίων εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων προκειμένου να λάβει σχετική αδειοδότηση ένα τέτοιο έργο στις χώρες της Ε.Ε. Η ενέργεια που καταναλώνεται διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: την άμεση κατανάλωση ενέργειας και την έμμεση. Η άμεση κατανάλωση ενέργειας αφορά στη λειτουργία ντιζελοκίνητων σκαφών μεταφοράς παροπλισμένων τμημάτων, στην αποσυναρμολόγηση εκείνων καθώς και σε άλλες χερσαίες δραστηριότητες επεξεργασίας. Η έμμεση κατανάλωση ενέργειας περιλαμβάνει την ενέργεια που χρησιμοποιείται για την ανακύκλωση των παροπλισμένων τμημάτων («ενέργεια ανακύκλωσης» - αφορά κυρίως τον χάλυβα) και την «ενέργεια αντικατάστασης» (“replacement energy”) που είναι μια θεωρητική ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή νέων υλικών που θα αντικαταστήσουν αυτά που απομένουν στη θάλασσα.

Γενικά, η επιλογή ολικής ή μερικής απομάκρυνσης μιας εξέδρας κατά τον παροπλισμό της απαιτεί κατανάλωση μεγαλύτερων ποσοτήτων άμεσης ενέργειας, με αντίστοιχη παραγωγή περισσότερων ατμοσφαιρικών εκπομπών, σε σχέση με την παραμονή της εξέδρας στην αρχική της θέση (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011). Για παράδειγμα, η ενέργεια που καταναλώθηκε για την απομάκρυνση και την ανακύκλωση των χαλύβδινων χωροδικτυωμάτων των εξεδρών στο Ekofisk της Νορβηγίας υπολογίστηκε ότι ανέρχεται

στο 40% της ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μιας πόλης με 100.000 κατοίκους (Phillips Petroleum Company Norway, 1999).

Ωστόσο, η χρήση ενέργειας και οι ατμοσφαιρικές εκπομπές πρέπει να αξιολογούνται κατά περίπτωση ώστε να λαμβάνεται υπόψη η διακύμανση των τύπων και της διάρκειας των θαλάσσιων επιχειρήσεων για διαφορετικές δομές (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011). Επιπλέον, η σχετική ενεργειακή επίδοση των διαφόρων επιλογών παροπλισμού ενδέχεται να αλλάξει αν ληφθεί υπόψη και η ενέργεια αντικατάστασης. Οι υπολογισμοί των ατμοσφαιρικών εκπομπών προσθέτουν περαιτέρω πολυπλοκότητα, με την άμεση κατανάλωση ενέργειας να επιφέρει συνήθως περισσότερες εκπομπές (συνδυασμός απόδοσης καυσίμου και σχεδιασμού κινητήρα) έναντι της ανακύκλωσης και της παραγωγή νέων υλικών (Pors, Verbeek, Wurpel, & Briët, 2011).

### **7.3. Νομικό πλαίσιο σε διεθνές, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο**

#### **7.3.1. Γενικά**

Το σύνολο των διεργασιών που σχετίζονται με την έρευνα και παραγωγή Υ/Α διέπεται από ένα αρκετά ισχυρό θεσμικό & κανονιστικό πλαίσιο παγκοσμίως. Ως προς τον παροπλισμό των υπεράκτιων εγκαταστάσεων έρευνας & παραγωγής Υ/Α το θεσμικό πλαίσιο αφορά σε διάφορα επίπεδα δικαιοδοσίας και περιλαμβάνει:

- Διεθνές δίκαιο – διεθνείς συμβάσεις
- Περιφερειακό δίκαιο – περιφερειακές συμβάσεις (ευρωπαϊκό δίκαιο)
- Εθνική νομοθεσία
- Κρατικές συμβάσεις (host government contracts)

Ανάλογα με την περίπτωση, το νομικό πλαίσιο που διέπε τις εργασίες παροπλισμού μπορεί να είναι αρκετά περίπλοκο, μερικές φορές ασαφές και αντιφατικό. Δύναται να περιλαμβάνει επίσης και κανονισμούς και κατευθυντήριες οδηγίες που έχουν εκδοθεί από εθνικούς και διεθνείς οργανισμούς και εξειδικεύονται τις διαδικασίες που θα πρέπει να ακολουθούνται, με στόχο την προστασία όλων όσων χρησιμοποιούν την εκάστοτε θαλάσσια περιοχή και πάντα με σεβασμό προς το περιβάλλον (Amec Foster Wheeler UK Ltd, 2016).

Δεδομένης της μεταναστευτικής φύσης της ρύπανσης στα διεθνή ύδατα, διάφορες διεθνείς και περιφερειακές συμβάσεις έχουν εφαρμογή στον παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων. Πέραν αυτών, ο παροπλισμός τέτοιων εγκαταστάσεων διέπεται και από το εθνικό ή το τοπικό δίκαιο (στην περίπτωση ομόσπονδων κρατών) όπου βρίσκονται οι εγκαταστάσεις και, κατά περίπτωση, και από τις κρατικές συμβάσεις που καλύπτουν τη λειτουργία των εγκαταστάσεων.

Εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε ζώνες από κοινού ανάπτυξης (μεταξύ κρατών) (joint development areas) ή αγωγούς που διασχίζουν ένα ή περισσότερα εθνικά σύνορα είναι μοναδικά καθώς απαιτούν διμερείς συνθήκες μεταξύ των κυρίαρχων κρατών και δεν εξετάζονται εδώ.

Τα νομικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν σε οποιοδήποτε έργο παροπλισμού αναγράφονται στον Πίνακα 7-7.

Πίνακας 7-7. Νομικά ζητήματα προς αντιμετώπιση κατά τον παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α (Martin, 2004)

<b>Ζητήματα</b>
1. Απομάκρυνση υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α
2. Διάθεση υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α μετά την απομάκρυνσή τους
3. Οικονομική υποχρέωση (obligation to pay for) απομάκρυνσης και διάθεσης υπεράκτιων εγκαταστάσεων
4. Εναπομένουσα ευθύνη (residual liability)

Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι διεθνείς και περιφερειακές συμβάσεις και κανονισμοί που διέπουν τον παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί το σχετικό νομικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και η εθνική νομοθεσία. Τέλος, παρουσιάζεται το εθνικό δίκαιο που ισχύει σε μεγάλες πετρελαιοπαραγωγές χώρες στην Ευρώπη και την Αμερική.

### 7.3.2. Διεθνές θεσμικό πλαίσιο

Το διεθνές νομικό πλαίσιο για τον παροπλισμό και την εγκατάλειψη των υπεράκτιων εγκαταστάσεων αναπτύχθηκε τα τελευταία 50 χρόνια. Έχουν υπογραφεί 3 μεγάλες διεθνείς συμβάσεις καθώς και ένα σύνολο μη δεσμευτικών κατευθυντήριων οδηγιών για την



απομάκρυνση και τη διάθεση υπεράκτιων εγκαταστάσεων παραγωγής Υ/Α . Είναι κάπως αντιφατικές ως προς τις απαιτήσεις τους και η εφαρμοσιμότητά τους σε οποιοδήποτε παροπλισμό υπεράκτιας εξέδρας εξαρτάται από τη αν αυτή βρίσκεται σε δικαιοδοσία κράτους που έχει επικυρώσει την εκάστοτε σύμβαση.

### **7.3.2.1. Σύμβαση της Γενεύης για την (ηπειρωτική) υφαλοκρηπίδα (1958) (Geneva Convention on the Continental Shelf)**

Η πρώτη μεγάλη διεθνής σύμβαση σχετικά με την απομάκρυνση υπεράκτιων εγκαταστάσεων υπογράφηκε με πρωτοβουλία των Ηνωμένων Εθνών το 1958 στη Γενεύη η Σύμβαση της Γενεύης για την υφαλοκρηπίδα («Σύμβαση της Γενεύης» - “Geneva Convention”). Η κρίσιμη διάταξη είναι το Άρθρο 5 - παράγραφος 5, το οποίο ορίζει ότι: « Οποιοσδήποτε εγκαταστάσεις εγκαταλείπονται ή παύουν να χρησιμοποιούνται, πρέπει να απομακρύνονται εξ ολοκλήρου».

Το Άρθρο 5 - παράγραφος 5 προβλέπει ρητή υποχρέωση ολικής απομάκρυνσης και δεν επιτρέπει στα 57 συμβαλλόμενα κράτη να κάνουν οτιδήποτε λιγότερο από αυτήν την απαίτηση. Αυτή η διατύπωση έχει αναμφισβήτητα αντικατασταθεί από μια διαφορετική και πιο ευέλικτη προσέγγιση στη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας (Law of the Sea - LOS Convention) που παρουσιάζεται παρακάτω.

Η Σύμβαση της Γενεύης δεν προσδιορίζει τους αγωγούς (pipelines) ως τμήμα των υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων που πρέπει να απομακρυνθούν. Επομένως, μπορεί κανείς να υποστηρίξει ότι η Σύμβαση αυτή δεν θέτει ως αυστηρή υποχρέωση την απομάκρυνσή τους. Επίσης, περιλαμβάνει πολύ περιορισμένη αναφορά στους θαλάσσιους βιολογικούς πόρους (living marine resources) (Άρθρο 5 παράγραφος 2) και δεν προβλέπει ρητή απαίτηση για την προστασία του υπεράκτιου περιβάλλοντος (Martin, 2004).

### **7.3.2.2. Σύμβαση για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης λόγω απόρριψης αποβλήτων και άλλων υλών (1972) (London Dumping Convention)**

Το 1972 υπογράφηκε στο Λονδίνο η δεύτερη μεγαλύτερη σύμβαση που αφορά στη διάθεση (disposal) των υπεράκτιων εγκαταστάσεων έρευνας & παραγωγής Υ/Α, η Σύμβαση για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης από την απόρριψη αποβλήτων και άλλων υλικών

(«Σύμβαση του Λονδίνου» - “London Dumping Convention”). Σε αυτή ως απόρριψη ορίζεται (Martin, 2004):

- Οποιαδήποτε σκόπιμη απόρριψη στη θάλασσα αποβλήτων ή άλλων υλών από σκάφη, αεροσκάφη, εξέδρες ή άλλες τεχνητές ανθρώπινες κατασκευές που βρίσκονται στη θάλασσα.
- Οποιαδήποτε σκόπιμη απόρριψη στη θάλασσα, σκαφών, αεροσκαφών, εξεδρών ή άλλων ανθρωπογενών κατασκευών στη θάλασσα.

Έχει εφαρμογή σε όλες τις θαλάσσιες περιοχές εκτός από τα εσωτερικά ύδατα ενός παράκτιου κράτους. Είναι γενικώς αποδεκτό ότι η εγκατάλειψη μιας κατασκευής (όπως μια υπεράκτια εξέδρα) στη θάλασσα, είτε ολική, είτε μερική, θεωρείται ως απόρριψη, σύμφωνα με τους ορισμούς της Σύμβαση του Λονδίνου. Αυτή η γενική αντίληψη επιβεβαιώθηκε με ένα Πρωτόκολλο που προστέθηκε στη Σύμβαση και υιοθετήθηκε από τα συμβαλλόμενα μέρη το 1996, σύμφωνα με το οποίο ο ορισμός της «απόρριψης» επικαιροποιήθηκε και επεκτάθηκε ώστε να περιλαμβάνει ρητά: «Οποιαδήποτε εγκατάλειψη ή ανατροπή κατασκευών στο χώρο των εξεδρών ή άλλων τεχνητών κατασκευών στη θάλασσα, για σκοπούς ηθελημένης διάθεσης». Ως εκ τούτου, η Σύμβαση του Λονδίνου καλύπτει ξεκάθαρα τη διάθεση των υπεράκτιων εξεδρών στη θάλασσα, είτε ολική, είτε μερική.

Εάν μια εξέδρα ανατραπεί με σκοπό τη μετατροπή της σε τεχνητό ύφαλο, εμπίπτει στη δικαιοδοσία της Σύμβασης του Λονδίνου. Ωστόσο, εναπόκειται στο παράκτιο κράτος να αποφασίσει αν αυτή η δραστηριότητα αντιτίθεται στους σκοπούς της Σύμβασης. Το κράτος έχει απλά υποχρέωση να διενεργήσει αξιολόγηση εναλλακτικών επιλογών (case assessment) και στη συνέχεια να αποφασίσει εάν η δραστηριότητα επιτρέπεται ή όχι. Στο πλαίσιο της Σύμβασης δεν έχει επιτευχθεί συμφωνία κατά πόσο η εγκατάλειψη αγωγών αποτελεί απόρριψη.

Οι βασικοί κανόνες της Σύμβασης του Λονδίνου παρέχονται στο άρθρο IV το οποίο περιέχει μια γενική απαγόρευση απόρριψης οποιωνδήποτε «αποβλήτων ή άλλης ύλης οποιασδήποτε μορφής ή κατάστασης εκτός αν ορίζεται διαφορετικά». Αυτό το άρθρο απαριθμεί συγκεκριμένες ουσίες και τύπους αποβλήτων και πώς αυτά πρέπει να διαχειρίζονται:

- Το Παράρτημα I ("μαύρη λίστα") απαγορεύει την απόρριψη "εξαιρετικά επικίνδυνων" ("highly hazardous") ουσιών.

- Το Παράρτημα II ("γκρίζα λίστα") απαιτεί την έκδοση "ειδικής άδειας" ("special permit") (αυτή ορίζεται στο Άρθρο III ως «άδεια που χορηγείται αποκλειστικά κατόπιν αίτησης») για την απόρριψη των απαριθμούμενων ουσιών.
- Το Παράρτημα III απαιτεί "γενική άδεια" (αυτή ορίζεται στο Άρθρο III ως «άδεια που χορηγείται εκ των προτέρων») για την απόρριψη όλων των άλλων ουσιών.

Σύμφωνα με το άρθρο VI, κάθε συμβαλλόμενο κράτος πρέπει να ορίσει την κατάλληλη αρμόδια αρχή ή αρχές για την έκδοση των ειδικών και γενικών αδειών σύμφωνα με τα λεπτομερή κριτήρια που αναφέρονται στο Παράρτημα III της Σύμβασης. Η Σύμβαση του Λονδίνου ορίζει με μεγάλη σαφήνεια ότι κάθε συμβαλλόμενο κράτος μπορεί να υιοθετήσει πιο αυστηρά μέτρα στην εθνική του νομοθεσία έναντι αυτών που ορίζει η Σύμβαση, όσον αφορά την πλήρη απαγόρευση απόρριψης ορισμένων ουσιών.

Στην Ενδέκατη Συμβουλευτική Συνάντηση των συμβαλλομένων κρατών της Σύμβασης συμφωνήθηκε ότι οι Κατευθυντήριες Οδηγίες του IMO (International Maritime Organization - Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός) που περιγράφονται παρακάτω ήταν αποδεκτές από τη Σύμβαση. Η Επιστημονική Ομάδα κατά τη δωδέκατη συνεδρία της συμφώνησε ότι οι υφιστάμενες διατάξεις του Παραρτήματος III της Σύμβασης και οι Κατευθυντήριες Οδηγίες του IMO ήταν επαρκείς για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών θεμάτων της διάθεσης υπεράκτιων εξεδρών και εγκαταστάσεων και ότι η περαιτέρω ανάπτυξη άλλων εξειδικευμένων Κατευθυντήριων Οδηγιών δεν ήταν απαραίτητη.

#### **7.3.2.3. Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας (1982) (UN Law of the Sea Convention)**

Στο Άρθρο 60 – παράγραφος 3 της Σύμβασης των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας που υπογράφηκε το 1982 (LOS Convention) προβλέπει ειδικά σχετικά με τον παροπλισμό, και πιο συγκεκριμένα με την απομάκρυνση των υπεράκτιων εγκαταστάσεων. Αναφέρει ότι: «Οποιοσδήποτε εγκαταστάσεις ή κτίσματα που εγκαταλείπονται ή περιπίπτουν σε αχρηστία απομακρύνονται προκειμένου να διασφαλίζεται η ασφάλεια της ναυσιπλοΐας λαμβανομένων υπόψη οποιωνδήποτε γενικώς αποδεκτών διεθνών προτύπων που έχουν καθιερωθεί για το σκοπό αυτό από τους αρμόδιους διεθνείς οργανισμούς. Κατά την απομάκρυνση τους λαμβάνεται επίσης υπόψη η αλιεία, η προστασία του θαλάσσιου

περιβάλλοντος και τα δικαιώματα και υποχρεώσεις των άλλων Κρατών. Η δέουσα δημοσιότητα δίδεται σχετικά με το βάθος τη θέση και τις διαστάσεις εκείνων των εγκαταστάσεων και κατασκευών που δεν έχουν τελείως απομακρυνθεί.»

Το Άρθρο 80 της Σύμβασης ορίζει ότι το Άρθρο 60 εφαρμόζεται *mutatis mutandis* (τηρουμένων των αναλογιών) σε τεχνητά νησιά, εγκαταστάσεις και κατασκευές στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα. Αξίζει να αναφερθεί ότι παρόλο που το Άρθρο 5 παράγραφος 5 της Σύμβασης της Γενεύης απαιτεί την «εξ ολοκλήρου» απομάκρυνση οποιασδήποτε υπεράκτιας εγκατάστασης, στο Άρθρο 60 παράγραφος 3 της Σύμβασης LOS απαιτείται μόνο απλή «απομάκρυνση». Ο όρος «εξ ολοκλήρου» έχει παραληφθεί. Κατά συνέπεια, η υποχρέωση απομάκρυνσης εγκαταστάσεων και κατασκευών υφίσταται στη Σύμβαση LOS, αλλά θα μπορούσε να παραμεριστεί από τα παράκτια κράτη, εφόσον συμμορφώνονται με τα διεθνή πρότυπα που έχουν θεσπιστεί σχετικά.

Ομοίως με τη Σύμβαση της Γενεύης, η Σύμβαση LOS δεν απαιτεί ρητά την απομάκρυνση αγωγών. Ωστόσο, προβλέπει ορισμένες γενικές αρχές για τη θαλάσσια ρύπανση, σημείο που αποτελεί μία ακόμη διαφορά ανάμεσα στις δύο συμβάσεις. Έτσι, στο Άρθρο 194 της Σύμβασης απαιτείται από τα περισσότερα από πενήντα συμβαλλόμενα κράτη να διεξάγουν εργασίες παροπλισμού με τρόπο που δεν θα βλάπτει το θαλάσσιο περιβάλλον ή θα προκαλεί βλάβες σε άλλα κράτη.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η Σύμβαση LOS αναγνωρίζει ότι επιτρέπεται η μερική απομάκρυνση, ενώ η Σύμβαση της Γενεύης απαιτεί την πλήρη απομάκρυνση των εγκαταστάσεων. Συνεπώς, οι δύο Συμβάσεις επιβάλουν αντικρουόμενες υποχρεώσεις στις συμβαλλόμενες χώρες. Υπάρχουν ορισμένες νομικές θεωρίες που επιχειρούν να αντιμετωπίσουν τέτοιες συγκρούσεις μεταξύ διαφορετικών συνθηκών. Η πλειοψηφική άποψη είναι η λεγόμενη γλωσσική προσέγγιση (*textual approach*), η οποία αποδέχεται ότι η γλώσσα στο Άρθρο 5 παράγραφος 5 της Σύμβασης της Γενεύης είναι σαφής, ξεκάθαρη και απλή. Έχει μόνο μία έννοια: οποιαδήποτε υπεράκτια εγκατάσταση πρέπει να απομακρύνεται εντελώς από την τοποθεσία μετά το τέλος της παραγωγικής της ζωής. Το αποτέλεσμα από τη χρήση αυτής της προσέγγισης είναι ότι μια χώρα που έχει επικυρώσει τη Σύμβαση της Γενεύης δεσμεύεται από τις αυστηρότερες υποχρεώσεις της, ανεξάρτητα από το εάν επικύρωσε αργότερα και τη Σύμβαση LOS. Η προσέγγιση της μειοψηφίας ονομάζεται τελολογική (*teleological*). Υποστηρίζει ότι οι αντικρουόμενες διατάξεις πρέπει να ερμηνεύονται με ευελιξία, εφαρμόζοντας τον γενικό κανόνα ερμηνείας των συνθηκών που

περιέχεται στη Σύμβαση της Βιέννης για το Δίκαιο των Συνθηκών (Vienna Convention on the Law of Treaties). Εκεί ορίζεται μια συνθήκη πρέπει να ερμηνεύεται με καλή πίστη, σύμφωνα με τα συμφραζόμενα και υπό το φως του αντικειμένου και του σκοπού της. Αυτό θα επέτρεπε στην πιο ευέλικτη προσέγγιση της μεταγενέστερης Σύμβασης LOS να λάβει προτεραιότητα και στην εξάλειψη της νομικής υποχρέωσης για πλήρη απομάκρυνση των υπεράκτιων εγκαταστάσεων (Martin, 2004).

#### 7.3.2.4. Κατευθυντήριες οδηγίες Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO Guidelines)

Τα «γενικά αποδεκτά διεθνή πρότυπα» που προβλέπονται στη Σύμβαση LOS εκδόθηκαν το 1989 από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) με τη μορφή Κατευθυντήριων Οδηγιών (Guidelines) και Προτύπων (Standards) για την Απομάκρυνση Υπεράκτιων εγκαταστάσεων και Κατασκευών στην Υφαλοκρηπίδα και στην Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (Guidelines and Standards for the Removal of Offshore Installations and Structures on the Continental Shelf and in the Exclusive Economic Zone - IMO Guidelines"). Τα κύρια σημεία των κατευθυντήριων οδηγιών του IMO παρουσιάζονται στον Πίνακα 7-8.

Πίνακας 7-8. Κύρια σημεία των Κατευθυντήριων Οδηγιών του IMO σχετικά με την απομάκρυνση υπεράκτιων εγκαταστάσεων (Martin, 2004)

<b>Κατευθυντήριες Οδηγίες Για Την Απομάκρυνση Υπεράκτιων Εγκαταστάσεων Έρευνας &amp; Παραγωγής Υ/Α</b>
1. Η γενική αρχή είναι ότι όλες οι εγκαταστάσεις που δε χρησιμοποιούνται πρέπει να απομακρύνονται.
2. Εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε βάθος θάλασσας < 75m (246 ft) ή <100 m (328 ft), μετά την 1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 1998, και ζυγίζουν κάτω από 4000 τόνους πρέπει να απομακρύνονται, εκτός και αν: i. Δεν είναι τεχνικά εφικτό ii. Συνεπάγεται εξαιρετικά μεγάλο κόστος, ή iii. Εγείρει μη αποδεκτό κίνδυνο τόσο για το προσωπικό, όσο και για το θαλάσσιο περιβάλλον
3. Στην περίπτωση μερικής απομάκρυνσης πρέπει να εξασφαλιστεί μία στήλη νερού ύψους 55m (180 ft) χωρίς εμπόδια (unobstructed)
4. Όλες οι εγκαταστάσεις, μετά την 1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 1998, πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εφικτή η ολική απομάκρυνσή τους

Οι Κατευθυντήριες Οδηγίες του IMO δεν έχουν το καθεστώς του διεθνούς δικαίου και, ως εκ τούτου δεν είναι δεσμευτικές για τις χώρες. Αντίθετα, έχουν τον χαρακτήρα συστάσεων. Επιβάλλουν μια γενική αρχή στα παράκτια κράτη που επιβάλλει την πλήρη απομάκρυνση όλων των εγκαταστάσεων και κατασκευών που δεν χρησιμοποιούνται, εκτός εάν είναι μπορεί να αποδειχτεί ότι ισχύουν ειδικές περιστάσεις σύμφωνα με τις Οδηγίες του IMO. Η διαδικασία της απομάκρυνσης πρέπει να εκτελείται μόλις είναι λογικά εφικτό μετά την εγκατάλειψη ή την οριστική παύση λειτουργίας και ο IMO πρέπει να ειδοποιείται για τυχόν εγκαταστάσεις και δομές δεν απομακρύνονται πλήρως.

Υφιστάμενες εγκαταστάσεις σε βάθη νερού μεγαλύτερα από 75 μέτρα (ή 100 μέτρα εάν κατασκευάστηκαν μετά την 1η Ιανουαρίου 1998) ή βάρος άνω των 4.000 τόνων μπορούν να διατηρηθούν εν όλω ή εν μέρει στη θέση τους, υπό την προϋπόθεση ότι αποδεικνύεται ότι δεν προκαλούν αδικαιολόγητη παρέμβαση σε άλλους χρήστες της θάλασσας. Ωστόσο, δεν υπάρχει εξαίρεση ως προς την αναγκαιότητα πλήρους απομάκρυνσή τους όπου η εγκατάσταση ή η κατασκευή βρίσκεται κοντά σε λιμάνια, σε στενά διεθνούς ναυσιπλοΐας, σε εθιμικές γραμμές για πλοία μεγάλου βυθίσματος (customary deep-draught lanes) και συστήματα δρομολόγησης πλοίων που έχουν υιοθετηθεί από τον IMO.

Όπου εγκαταστάσεις ή κατασκευές παραμένουν πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, θα πρέπει να συντηρούνται επαρκώς για την πρόληψη δομικής αστοχίας τους. Στην περίπτωση μερικής απομάκρυνσης κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, πρέπει να παρέχεται ανεμπόδιο βάθος νερού τουλάχιστον 55 μέτρα και το παράκτιο κράτος πρέπει να βεβαιώσει ότι τυχόν υπολείμματα θα παραμείνουν μόνιμα στο βυθός και δε θα μετακινούνται υπό την επίδραση κυμάτων, παλίρροιας, ρευμάτων ή άλλων προβλέψιμων φυσικών αιτιών, θέτοντας κίνδυνο στη ναυσιπλοΐα. Στις οδηγίες του IMO δεν γίνεται ειδική αναφορά στους αγωγούς, αλλά προβλέπεται ότι το παράκτιο κράτος πρέπει να εκδώσει "ειδική επίσημη εξουσιοδότηση που προσδιορίζει την κατάσταση υπό την οποία μια εγκατάσταση ή κατασκευή, ή τμήματα αυτής, θα επιτρέπεται να παραμείνουν στον βυθό της θάλασσας.

Στις κατευθυντήριες οδηγίες του IMO γίνεται επίσης ειδική αναφορά στους τεχνητούς υφάλους, υποδεικνύοντας ότι όπου οι έμβιοι πόροι μπορούν να βελτιωθούν με την τοποθέτηση στο βυθό υλικών από παροπλισμένες εγκαταστάσεις ή κατασκευές (για τη δημιουργία τεχνητού υφάλου), θα πρέπει αυτοί να βρίσκονται αρκετά μακριά από τις

γνωστούς θαλάσσιους διαδρόμους, λαμβάνοντας υπόψη τις Οδηγίες του IMO και άλλα σχετικά πρότυπα για τη διατήρηση της ασφάλειας στη θάλασσα.

Η παράγραφος 3.3 των οδηγιών ορίζει ότι «τα μέσα απομάκρυνσης ή μερικής απομάκρυνσης δεν πρέπει να προκαλέσουν σημαντικές δυσμενείς επιπτώσεις στους έμβιους πόρους του θαλάσσιου περιβάλλοντος, ειδικά σε απειλούμενα είδη & σε είδη που απειλούνται με εξαφάνιση». Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει ότι δεν επιτρέπεται η χρήση μεγάλων ποσοτήτων υποβρύχιων εκρηκτικών αν και αποτελούν επιλογή για την απομάκρυνση θαλάσσιων κατασκευών. Τουλάχιστον, οι εργολάβοι πρέπει να διασφαλίζουν ότι τα εκρηκτικά και άλλες τεχνικές κοπής δεν έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην περιοχή. Οι επιλογές απομάκρυνσης μεγάλων σωρών θρυμμάτων όρυξης θα μπορούσαν επίσης να περιοριστούν ως αποτέλεσμα αυτής της διάταξης.

Σε κάθε περίπτωση οι Κατευθυντήριες Οδηγίες του IMO αποτελούν το πιο ολοκληρωμένο και ευρέως αποδεκτό διεθνές πρότυπο για τον παροπλισμό των υπεράκτιων εξεδρών με διασφάλιση της ασφαλούς ναυσιπλοΐας καθώς και της προστασίας των θαλάσσιων οικοσυστημάτων.

### 7.3.3. Περιφερειακές συμβάσεις

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός περιφερειακών συμβάσεων σε όλο τον κόσμο που υπερτίθενται στις παραπάνω διεθνείς συμβάσεις. Στη Βόρεια Θάλασσα είναι:

- η Σύμβαση του Όσλο του 1972 (Oslo Convention)
- οι Οδηγίες OSCOM<sup>21</sup> του 1991 (OSCOM Guidelines)
- η Σύμβαση OSPAR<sup>22</sup> του 1992 (OSPAR Convention)

Υπάρχουν επίσης περιφερειακές συμβάσεις για τη Μεσόγειο (Σύμβαση της Βαρκελώνης – Barcelona Convention), τον Περσικό Κόλπο (Σύμβαση του Κουβέιτ – Kuwait

---

<sup>21</sup> OSCOM: Oslo Commission – Επιτροπή του Όσλο

<sup>22</sup> OSPAR: Oslo-Paris - Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic - Σύμβαση για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος του βορειοανατολικού Ατλαντικού



Convention), την Ερυθρά Θάλασσα και τον Κόλπο του Άντεν (Jeddah Convention), τη Μαύρη Θάλασσα (Black Sea Convention) και τη Δυτική Αφρική (Abidjan Convention).

### **7.3.3.1. Σύμβαση της Βαρκελώνης (Barcelona Convention)**

Το 1975, 16 χώρες της Μεσογείου και η Ευρωπαϊκή Κοινότητα υιοθέτησαν το Μεσογειακό Σχέδιο Δράσης-ΜΣΔ (Mediterranean Action Plan - MAP), το πρώτο πρόγραμμα περιφερειακών θαλασσών (Regional Seas Programme) κάτω από την ομπρέλα του Περιβαλλοντικού Προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Programme – UNEP). Το 1976, τα μέρη αυτά υιοθέτησαν τη Σύμβαση για την Προστασία της Μεσογείου από τη Ρύπανση (Σύμβαση της Βαρκελώνης). Επτά πρωτόκολλα που αφορούν σε συγκεκριμένες πτυχές της διατήρησης του μεσογειακού περιβάλλοντος ολοκληρώνουν το νομικό πλαίσιο του ΜΣΔ (Genesis Oil and Gas Consultants Limited, 2017):

- Το Πρωτόκολλο για την πρόληψη και καταπολέμηση της ρύπανσης της Μεσογείου Θαλάσσης από την απόρριψη ουσιών από τα πλοία και τα αεροσκάφη ή την καύση στη θάλασσα (Dumping Protocol)
- Το Πρωτόκολλο περί συνεργασίας για την πρόληψη της ρύπανσης από πλοία και, σε περιπτώσεις επείγουσας ανάγκης, στην καταπολέμηση της ρύπανσης της Μεσογείου Θαλάσσης (Prevention and Emergency Protocol)
- Το Πρωτόκολλο για την προστασία της Μεσογείου Θαλάσσης από τη ρύπανση από χερσαίες πηγές και δραστηριότητες (Land-Based Sources and Activities Protocol).
- Το Πρωτόκολλο για τις ειδικά προστατευόμενες περιοχές και τη βιοποικιλότητα στη Μεσόγειο (Specially Protected Areas and Biological Diversity Protocol).
- **Το Πρωτόκολλο για την προστασία της Μεσογείου από τη ρύπανση που προκαλείται από την εξερεύνηση και την εκμετάλλευση του θαλάσσιου βυθού και του υπεδάφους του (Offshore Protocol).**
- Το Πρωτόκολλο για την πρόληψη της ρύπανσης της Μεσογείου Θαλάσσης από τη διασυνοριακή διακίνηση επικίνδυνων αποβλήτων και τη διάθεσή τους (Hazardous Wastes Protocol) και

- Το Πρωτόκολλο για την ολοκληρωμένη διαχείριση των παρακτίων ζωνών της Μεσογείου (Protocol on Integrated Coastal Zone Management – ICZM Protocol).

Το Πρωτόκολλο για την προστασία της Μεσογείου από τη ρύπανση που προκαλείται από την εξερεύνηση και την εκμετάλλευση του θαλάσσιου βυθού και του υπεδάφους του (Offshore Protocol) (τέθηκε σε ισχύ το 2011) καλύπτει δραστηριότητες έρευνας & εκμετάλλευσης πετρελαίου και φυσικού αερίου, συμπεριλαμβανομένης της απομάκρυνσης των σχετικών εγκαταστάσεων μετά τον παροπλισμό τους. Σύμφωνα με το Άρθρο 5 (Απαιτήσεις για την αδειοδότηση), ορίζει ότι οποιαδήποτε αίτηση χορήγησης ή ανανέωσης άδειας πρέπει να περιλαμβάνει μεταξύ άλλων και τα σχέδια απομάκρυνσης των εγκαταστάσεων, τα οποία καθορίζονται στο Άρθρο 20(σημείο ζ).

Στο Άρθρο 20 (Απομάκρυνση εγκαταστάσεων) του Πρωτοκόλλου ορίζεται ότι ο χειριστής υποχρεούται να απομακρύνει οποιαδήποτε εγκατάσταση που έχει εγκαταλειφθεί ή έχει πάψει να χρησιμοποιείται, ώστε να μην διακυβεύεται η ασφάλεια της ναυσιπλοΐας και λαμβάνοντας δεόντως υπόψη άλλες νόμιμες χρήσεις της θάλασσας, ιδίως την αλιεία και την προστασία του θαλασσίου περιβάλλοντος. Ο χειριστής είναι επίσης υποχρεωμένος να απομακρύνει αγωγούς που έχουν εγκαταλειφθεί ή έχουν πάψει να χρησιμοποιούνται, ή να τους εγκαταλείψει ή να τους ενταφιάσει μετά από καθαρισμό του εσωτερικού τους, έτσι ώστε να μην προκαλούν ρύπανση, να μη θέτουν σε κίνδυνο τη ναυσιπλοΐα, να μην παρεμποδίζουν την αλιεία, να μη συνιστούν απειλή για το θαλάσσιο περιβάλλον ούτε να θίγουν άλλες νόμιμες χρήσεις της θάλασσας.

Το 2005 υιοθετήθηκαν από τη Σύμβαση της Βαρκελώνης Κατευθυντήριες Οδηγίες σχετικά με στους τεχνητούς υφάλους (Genesis Oil and Gas Consultants Limited, 2017). Ωστόσο, οι οδηγίες αυτές εστιάζουν αποκλειστικά στις δομές που δημιουργήθηκαν ειδικά ως τεχνητοί ύφαλοι και δεν αναφέρουν την επαναχρησιμοποίηση υπεράκτιων εξεδρών ως τεχνητών υφάλων.

#### **7.3.4. Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο**

Αξίζει να αναφερθεί ότι μέχρι στιγμής δεν υπάρχει συγκεκριμένο θεσμικό πλαίσιο για τη διαχείριση του έργου παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων παραγωγής Υ/Α.

Παρόλα αυτά, η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) και των Κρατών-Μελών που την απαρτίζουν είναι απολύτως προσηλωμένες σε περιβαλλοντικές αρχές και στόχους όπως (Σουρλίγκας, 2018):

- Την αρχή της προληπτικής δράσης
- Την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει»
- Την αρχή της επανόρθωσης στην πηγή της περιβαλλοντικής ζημίας
- Την αρχή της ενσωμάτωσης των περιβαλλοντικών αρχών και την υλοποίηση των στόχων μέσω της εθνικής νομοθεσίας των κρατών-μελών.

Παράλληλα η έννοια της «στοχοθέτησης» είναι ένας ισχυρός δεύτερος παράγοντας πάνω στον οποίο βασίζεται η Ευρωπαϊκή Περιβαλλοντική Πολιτική και Νομοθεσία, με (Σουρλίγκας, 2018):

- Την καθιέρωση στόχων ποιότητας περιβάλλοντος (Environmental Quality Objectives-EQQ)
- Την υιοθέτηση της αρχής της πρόληψης
- Την υιοθέτηση του ολοκληρωμένου ελέγχου και πρόληψης της ρύπανσης (Integrated Pollution Prevention and Control-IPPC)
- Την υποστήριξη της αειφόρου ανάπτυξης

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση δεν υπάρχει εξειδικευμένο πλαίσιο για τον παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες οδηγίες και κανονισμοί που έχουν εφαρμογή και σε εργασίες παροπλισμού και εγκατάλειψης υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α, ως εξής (Lopatta, 2017):

- Οδηγία εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων 2011/92/EU (Environmental Impact Assessment Directive - Οδηγία ΕΙΑ): Ως “Έργο”, κατά την έννοια της Οδηγίας ΕΙΑ, ορίζεται:
  - ο η υλοποίηση κατασκευαστικών εργασιών ή άλλων εγκαταστάσεων ή τεχνικών κατασκευών,
  - ο άλλες επεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον ή το τοπίο, στις οποίες περιλαμβάνονται και οι επεμβάσεις που αφορούν την εκμετάλλευση των πόρων του εδάφους.

Έτσι, τα έργα κατεδάφισης/παροπλισμού εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της Οδηγίας ΕΙΑ. Το Ευρωπαϊκό Δικαστήριο επιβεβαίωσε ότι τα έργα κατεδάφισης εμπίπτουν στις

«άλλες παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον και το τοπίο». Επομένως, και τα έργα παροπλισμού θεωρούνται ισοδύναμα με την κατεδάφιση, καθώς "ο παροπλισμός γενικά συνεπάγεται της σφράγιση της γεώτρησης, την αποξήλωση και την απομάκρυνση των κατασκευών". Διακρίνονται δύο περιπτώσεις: (1) εάν ο παροπλισμός περιλαμβάνονταν στον σχεδιασμό του έργου, θα πρέπει να έχουν εκτιμηθεί οι επιπτώσεις του. (2) αν το αρχικό έργο δεν περιλάμβανε τον παροπλισμό του, τότε θα πρέπει να γίνει διακριτή περιβαλλοντική εκτίμηση ως "νέο έργο". Ορισμένα παραδείγματα έργων του Παραρτήματος I (Υποχρεωτική ΕΙΑ) είναι: εγκαταστάσεις αργού πετρελαίου, εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου για εμπορικούς σκοπούς όπου η παραγόμενη ποσότητα υπερβαίνει τους 500 τόνους/ημέρα στην περίπτωση του πετρελαίου και τα 500000 κυβικά μέτρα/ημέρα στην περίπτωση του φυσικού αερίου. Παραδείγματα έργων του Παραρτήματος II (Αξιολόγηση εκτέλεσης ΕΙΑ) είναι: βαθιές γεωτρήσεις, επιφανειακές βιομηχανικές εγκαταστάσεις για την εξόρυξη πετρελαίου ή φυσικού αερίου.

- Οδηγία στρατηγικής περιβαλλοντικής εκτίμησης 2011/42/EC (Strategic Environmental Assessment Directive - Οδηγία SEA): Η Οδηγία αυτή σε συνδυασμό με τις Οδηγίες για τον θαλάσσιο χωροταξικό σχεδιασμό και τη θαλάσσια στρατηγική προωθούν την αειφόρο ανάπτυξη. Όπου ο θαλάσσιος χωροταξικός σχεδιασμός (Maritime Spatial Planning-MSP) ή τα προγράμματα μέτρων (Programmes of Measures-PMs) ενδέχεται να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, υπόκεινται στην Οδηγία SEA. Πιθανά έργα τα οποία ενδέχεται να περιλαμβάνουν τα MSPs και PMs είναι για παράδειγμα: περιοχές υδατοκαλλιέργειας, περιοχές που σχετίζονται με την ενέργεια, τις θαλάσσιες μεταφορές, τον τουρισμό κ.λπ.
- Οδηγία για τους οικοτόπους 92/43/EEC (Habitats Directive) και Οδηγία για τα άγρια πτηνά 2009/147/EC (Wild Birds Directive): Οι Οδηγίες αυτές στοχεύουν στα εξής:
  - ο Στην ενίσχυση της βιοποικιλότητας μέσω της διατήρησης όσο περισσότερων απειλούμενων βιοτόπων και ειδών της Ε.Ε. γίνεται.
  - ο Στην προστασία ειδών και περιοχών με βάση τη σύμβαση Natura 2000 που έχει θεσπίσει τους παρακάτω κανονισμούς:

- Αποφυγή καταστροφικών δραστηριοτήτων που θα μπορούσαν να διαταράξουν τα είδη ή/και τους βιοτόπους για τους οποίους προστατεύεται η περιοχή.
- Λήψη μέτρων, όπου είναι απαραίτητο, για τη διατήρηση και αποκατάσταση των βιοτόπων και ειδών σε μία πιο ευνοϊκή κατάσταση διατήρησης τους στο φυσικό τους περιβάλλον.

Σύμφωνα με το Άρθρο 6, παράγραφος 3 της Οδηγίας για τους βιοτόπους, κάθε σχέδιο ή έργο που ενδέχεται να έχει σημαντική επίδραση στο βίοτοπο, είτε μεμονωμένα, είτε σε συνδυασμό με άλλα σχέδια ή έργα, πρέπει να υπόκειται σε κατάλληλη αξιολόγηση των επιπτώσεων του στον βίοτοπο, έτσι ώστε να διατηρηθεί εκείνος.

Σύμφωνα με το Άρθρο 6, παράγραφος 4 της Οδηγίας για τους βιοτόπους, σε περίπτωση αρνητικού συμπεράσματος και έλλειψης εναλλακτικών λύσεων, το έργο δύναται να εγκριθεί εάν επικαλούνται επιτακτικοί λόγοι που υπερισχύουν έναντι του δημόσιου ενδιαφέροντος, θεσπίζοντας μέτρα αποζημίωσης εάν απαιτηθεί από την Επιτροπή.

Σε κάθε περίπτωση, ωστόσο, δεν προβλέπεται “a priori” απαγόρευση νέων δραστηριοτήτων ή αναπτυξιακών έργων και αυτά κρίνονται κατά περίπτωση.

- Οδηγία περιβαλλοντικής ευθύνης 2004/35/EC (Environmental Liability Directive - Οδηγία ELD): Η ευρωπαϊκή νομοθεσία βασίζεται στην αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» για την πρόληψη και την αποκατάσταση ορισμένων τύπων περιβαλλοντικών ζημιών (φύση, νερό, έδαφος). Ως “Υπεύθυνος” ορίζεται ο φορέας εκμετάλλευσης που ασκεί επαγγελματικές δραστηριότητες και έχει υποχρέωση πρόληψης των ζημιών σε περίπτωση επικείμενης απειλής και αποκατάστασης αυτών εάν συμβούν και φέρει το αντίστοιχο κόστος. Στο Παράρτημα III της Οδηγίας περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων και οι ακόλουθες δραστηριότητες:
  - ο «Λειτουργία εγκαταστάσεων που προϋποθέτουν άδεια, σύμφωνα με την οδηγία 2010/75/ΕΕ για τις βιομηχανικές εκπομπές» (III.1)
  - ο «Διαδικασίες διαχείρισης αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της συλλογής, της μεταφοράς, της ανάκτησης και της διάθεσης των αποβλήτων και των επικινδύνων αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της εποπτείας ανάλογων διαδικασιών καθώς και

της εν συνεχεία μέριμνας για τους χώρους διάθεσης, που προϋποθέτουν άδεια ή καταχώρηση σύμφωνα με την οδηγία 2008/98/EK για τα απόβλητα» (III.2)

- «Παραγωγή, χρήση, αποθήκευση, κατεργασία, ταφή, απελευθέρωση στο περιβάλλον και μεταφορά εντός της περιμέτρου της επιχείρησης επικινδύνων ουσιών, όπως ορίζονται στον Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1272/2008 για την ταξινόμηση, την επισήμανση και τη συσκευασία των ουσιών και των μειγμάτων» (III.7)
- «Μεταφορές .... θαλασσίως ... επικινδύνων ή ρυπογόνων εμπορευμάτων, όπως ορίζονται στην Οδηγία 2002/59/EK για τη δημιουργία κοινοτικού συστήματος παρακολούθησης της κυκλοφορίας των πλοίων και ενημέρωσης» (III.8)
- «Διασυνοριακή αποστολή αποβλήτων εντός, προς ή έξω από την Ευρωπαϊκή Ένωση, για την οποία απαιτείται άδεια ή η οποία απαγορεύεται κατά την έννοια του Κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1013/2006 για τις μεταφορές αποβλήτων» (III.12)
- Οδηγία για τις βιομηχανικές εκπομπές 2010/75/EC (Industrial Emissions Directive - Οδηγία IED): Σχετικά με αυτή την Οδηγία υπάρχει το ερώτημα **κατά πόσο αφορά και σε υπεράκτιες εγκαταστάσεις**. Στο Άρθρο 3, παράγραφος 3 ορίζεται ως «εγκατάσταση» κάθε **σταθερή** τεχνική μονάδα εντός της οποίας διεξάγονται μία ή περισσότερες από τις δραστηριότητες του Παραρτήματος I ..., καθώς και όλες οι άλλες άμεσα συνδεδεμένες δραστηριότητες, στον ίδιο χώρο, οι οποίες είναι τεχνικώς συναφείς με τις αναφερόμενες στα εν λόγω παραρτήματα, και ενδέχεται να επηρεάζουν τις εκπομπές και τη ρύπανση. Το ερώτημα είναι, λοιπόν, **αν αποτελεί μια τέτοια «εγκατάσταση» μια τεχνική μονάδα που έχει σχεδιαστεί για να μετακινείται (ή τουλάχιστον να κινείται) περιοδικά, αλλά η οποία στην πράξη λειτουργεί στην ίδια θέση για κάποιο χρονικό διάστημα ως "σταθερή"**. Εάν η δραστηριότητα IED θα πραγματοποιηθεί σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία για σημαντικό χρονικό διάστημα, τότε θα πρέπει να θεωρηθεί σταθερή για τους σκοπούς της Οδηγίας IED. Η αρμόδια αρχή πρέπει να το αξιολογεί κατά περίπτωση.
- Οδηγία για το πλαίσιο διαχείρισης αποβλήτων 2008/98/EC (Waste Framework Directive - Οδηγία WFD): Σχετικά με τον παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων και τη διαχείρισή τους ως απόβλητα σημειώνονται τα εξής: Οι δραστηριότητες παροπλισμού που οδηγούν σε απόρριψη ή ανάκτηση αποβλήτων πρέπει να τηρούν την εφαρμογή της ιεράρχησης των αποβλήτων (Άρθρο 4) και να λαμβάνουν τα αναγκαία

μέτρα (Άρθρο 13) για την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος. Οι εταιρείες που είναι υπεύθυνες για τέτοιες εργασίες διάθεσης ή ανάκτησης αποβλήτων είναι υποχρεωμένες να διαθέτουν έγκυρη άδεια διαχείρισης αποβλήτων (Άρθρο 23). Εξαιρέσεις από τις απαιτήσεις αδειοδότησης (π.χ. για ανάκτηση) προβλέπονται στο Άρθρο 24. Σε αυτή την περίπτωση η εταιρεία θα πρέπει να καταχωρείται στο σχετικό αρχείο που τηρείται από την αρμόδια αρχή (Άρθρο 26). Όταν εγκαταστάσεις περιέχουν επικίνδυνα απόβλητα, πρέπει να τηρούνται οι σχετικές νομικές διατάξεις που σχετίζονται με τον έλεγχο, την απαγόρευση ανάμειξης, την επισήμανση και την τήρηση αρχείων (Άρθρα 17-21 & 35).

- Κανονισμός ανακύκλωσης πλοίων 1257/2013 (Ship Recycling Regulation): Ισχύει για πλοία με σημαία κράτους-μέλους. Στον κανονισμό ως “πλοίο” νοείται σκάφος οποιουδήποτε τύπου το οποίο διεξάγει ή έχει διεξαγάγει δραστηριότητες στο θαλάσσιο περιβάλλον και περιλαμβάνει τα υποβρύχια, τα πλωτά ναυπηγήματα, τις πλωτές εξέδρες, τις αυτοανυψούμενες εξέδρες, τις πλωτές εγκαταστάσεις αποθήκευσης (FSU) και τις πλωτές εγκαταστάσεις παραγωγής αποθήκευσης και εκφόρτωσης (FPSO) ή σκάφος από το οποίο έχει αφαιρεθεί ο εξοπλισμός ή το οποίο ρυμουλκείται.
- Κανονισμός μεταφοράς αποβλήτων 1013/2006 (Waste Shipment Regulation): Ισχύει για πλοία με σημαία τρίτης χώρας. Σχετικά με τη μεταφορά αποβλήτων από τον παροπλισμό υπεράκτιας εγκατάστασης στην ακτή ο Κανονισμός ισχύει εάν (i) η ρήτρα αποκλεισμού σύμφωνα με το άρθρο 1, παράγραφος 3 δεν ισχύει και εάν (ii) η ακτή βρίσκεται σε χώρα διαφορετική από την εγκατάσταση. Σχετικά με τη μεταφορά αποβλήτων από την ακτή σε εγκατάσταση επεξεργασίας ο Κανονισμός ισχύει εάν η εγκατάσταση βρίσκεται σε χώρα διαφορετική από τη χώρα της ακτής.
- Οδηγία για το πλαίσιο της θαλάσσιας στρατηγικής 2008/56/EC (Marine Strategy Framework Directive): Ο στόχος της ήταν η επίτευξη καλής περιβαλλοντικής κατάστασης (GES) έως το 2020. Τα κράτη μέλη, μεταξύ άλλων, πρέπει να καθιερώσουν προγράμματα μέτρων (PoMs) (Άρθρο 13), τα οποία σχετικά με δραστηριότητες παροπλισμού πρέπει να εξειδικεύονται ανάλογα με την περίπτωση.
- Οδηγία για τον θαλάσσιο χωροταξικό σχεδιασμό 2014/89/EU (Maritime Spatial Planning Directive)



- Σύμβαση OSPAR: Σχετικά με παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων τα βασικά σημεία περιλαμβάνουν τα εξής:
  - Στόχοι που σχετίζονται με υπεράκτιες δραστηριότητες, όπως η πρόληψη και εξάλειψη της ρύπανσης, η λήψη των απαραίτητων μέτρων για την προστασία της θαλάσσιας περιοχής από τις αρνητικές επιπτώσεις των υπεράκτιων δραστηριοτήτων.
  - **Η Επιτροπή Υπεράκτιας Βιομηχανίας (Offshore Industry Committee-OIC) πρέπει να δίνει μεγάλη προσοχή στον παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων παραγωγής Υ/Α, καθώς η συγκεκριμένη απαίτηση ολοένα και αυξάνεται.**
  - Οποιαδήποτε απόφαση για τη διάθεση παροπλισμένων υπεράκτιων εγκαταστάσεων είναι νομικά δεσμευτική και απαγορεύει την ολική και μερική απόθεση υπεράκτιων εγκαταστάσεων μέσα στη θαλάσσια περιοχή, αλλά, επιτρέπονται παρεκκλίσεις από τον κανόνα για ορισμένα είδη εξεδρών.
- Σύμβαση Βαρκελώνης

Τέλος, υπάρχει και η πλέον πρόσφατη **Οδηγία 2013/30/ΕΕ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 12ης Ιανουαρίου του 2013 **σχετικά με την ασφάλεια των υπεράκτιων δραστηριοτήτων εκμετάλλευσης Υ/Α** και την τροποποίηση της Οδηγίας 2004/35/ΕΚ, η οποία αναφέρεται και στον παροπλισμό των υπεράκτιων εγκαταστάσεων. Πιο συγκεκριμένα, στο προοίμιο της Οδηγίας υπάρχει η εξής αναφορά στον παροπλισμό: *Σημείο (24) Είναι ανάγκη να ισχύει υπεράκτιο καθεστώς τόσο για τις εργασίες που διεξάγονται σε σταθερές εγκαταστάσεις όσο και για εργασίες σε κινητές εγκαταστάσεις, καθώς και για ολόκληρο τον κύκλο ζωής των δραστηριοτήτων εξερεύνησης και παραγωγής, από τη μελέτη έως τον παροπλισμό και την οριστική εγκατάλειψη.*

Στο Άρθρο 2 (Ορισμοί) υπάρχει αναφορά στο σημείο 3: *«υπεράκτιες εργασίες πετρελαίου και φυσικού αερίου»:* σημαίνει όλες τις δραστηριότητες που συνδέονται με εγκατάσταση ή συνδεδεμένη υποδομή, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού, του προγραμματισμού, της κατασκευής, της λειτουργίας και του παροπλισμού της, οι οποίες σχετίζονται με την εξερεύνηση και την παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου, μη συμπεριλαμβανομένης όμως της μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου από μία ακτή σε άλλη».

Στο Παράρτημα I (Πληροφορίες που περιλαμβάνονται στα έγγραφα που υποβάλλονται στην αρμόδια αρχή δυνάμει του άρθρου 11), περιλαμβάνεται και το σημείο 6 που αφορά σε πληροφορίες που παρέχονται όσον αφορά ουσιαστική αλλαγή σε εγκατάσταση, συμπεριλαμβανομένης της απομάκρυνσης σταθερής εγκατάστασης.

Στο Παράρτημα III (Διατάξεις για τον διορισμό και τη λειτουργία της αρμόδιας αρχής δυνάμει των άρθρων 8 και 9) στο σημείο 2 που αφορά διατάξεις που αφορούν τη λειτουργία της αρμόδιας αρχής αναφέρεται ότι: *“Κατά τη διενέργεια διεξοδικής εκτίμησης των εκθέσεων περί μεγάλων κινδύνων, η αρμόδια αρχή εξασφαλίζει μεταξύ άλλων και .... γ) ότι η διαχείριση κινδύνου λαμβάνει υπόψη όλα τα στάδια στον κύκλο ζωής των εγκαταστάσεων και προβλέπει όλες τις πιθανές καταστάσεις, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται και ... ν) με ποιον τρόπο θα διενεργείται ο παροπλισμός της εγκατάστασης.”*

Επί του παρόντος, η Ευρωπαϊκή Ένωση βρίσκεται στο τελικό στάδιο ανάπτυξης ενός Εγγράφου Αναφοράς Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών (ΒΔΤ) (BREF – Best Available Techniques Reference). Το έγγραφο αυτό περιγράφει πρότυπα για τη Βέλτιστη Διαθέσιμη Τεχνολογία (BAT-Best Available Techniques) στις βιομηχανίες υδρογονανθράκων. Το έγγραφο αναφοράς ΒΔΤ δεν συνδέεται με κανένα από τα νομικά έγγραφα της Ε.Ε. και συνεπώς δεν έχει νομική βάση. Επομένως, δεν αποτελεί μέρος του επίσημου κανονιστικού πλαισίου. Ωστόσο, καθώς ο OSPAR απαιτεί από τους υπογράφοντες να εφαρμόζουν ΒΔΤ, το BREF για τους υδρογονάνθρακες ενδέχεται να επιφέρει προστιθέμενη αξία μέσω της αναγνώρισης και εγκαθίδρυσης ΒΔΤ σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Το BREF για τους υδρογονάνθρακες έχει ως σκοπό την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών κινδύνων και επιπτώσεων που προκύπτουν από τις βιομηχανίες πετρελαίου και φυσικού αερίου, αλλά, είναι απίθανο να καλύπτει ρητά τις Βέλτιστες Περιβαλλοντικές Πρακτικές – ΒΠΠ (Best Environmental Practices – BEP). Ομοίως με το διεθνές κανονιστικό πλαίσιο για τον παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων, το BREF είναι απίθανο να καλύπτει εκτενώς τα έργα του παροπλισμού, καθώς αποτελεί ένα γενικό έγγραφο που καλύπτει πολλές βιομηχανίες και όλες τις φάσεις εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων (Roos, 2019).

### 7.3.5. Εθνικό νομικό πλαίσιο

Στο συγκεκριμένο πλαίσιο εντάσσονται συνθήκες και συμβάσεις που έχουν θεσμοθετηθεί και είναι δεσμευτικές για την εκάστοτε χώρα που τις υπέγραψε. Οι χώρες αυτές υποχρεούνται να τις θέτουν σε εφαρμογή, μέσω της ένταξης εκείνων στην εθνική νομοθεσία τους. Επειδή ο βαθμός υιοθέτησης αυτών των συμβάσεων από το εθνικό δίκαιο της κάθε χώρας δύναται να διαφέρει, η διεθνής πετρελαϊκή βιομηχανία οφείλει να διασφαλίζει ότι σέβεται τους σκοπούς και τις επιδιώξεις τους.

Στη συνέχεια, αναφέρονται οι πιο σημαντικές από τις συμβάσεις, τις οποίες έχει υπογράψει και η Ελλάδα, και οι οποίες αναφέρονται στον έλεγχο, τη διαχείριση και την εποπτεία των περιβαλλοντικών πτυχών των δραστηριοτήτων εξόρυξης και παραγωγής Υ/Α:

1. Διεθνής Σύμβαση για την πρόληψη ρύπανσης της θάλασσας από πετρέλαιο (OILPOL): Υπογράφηκε στις Βρυξέλλες το 1954 και τέθηκε σε ισχύ το 1958 από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) (Καραμαλίκης, 2017).
2. Διεθνής Σύμβαση αναφορικά με την αστική ευθύνη για ζημιές ρύπανσης από πετρέλαιο: Υπογράφηκε στις Βρυξέλλες το 1969 και τέθηκε σε ισχύ το 1975 από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) (Καραμαλίκης, 2017).
3. Διεθνής σύμβαση προστασίας από τη θαλάσσια ρύπανση MARPOL 73/78: Υιοθετήθηκε από το Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) το 1973, με το πρωτόκολλο αυτής της σύμβασης να υιοθετείται από τα συμβαλλόμενα μέρη το 1978, ως αντίδραση στις ατυχηματικές ρυπάνσεις που είχαν προκληθεί από δεξαμενόπλοια μεταφοράς πετρελαίου στο διάστημα 1976-1977. Στη σύμβαση περιλαμβάνονται κανονισμοί που επικουρούν στην πρόληψη και αποφυγή ρύπανσης της θάλασσας από δεξαμενόπλοια ή έστω στην ελαχιστοποίηση των σχετικών επιπτώσεων (Σουρλίγκας, 2018).

Η MARPOL λειτουργεί μέσω έξι τεχνικών παραρτημάτων με το καθένα να αντιμετωπίζει ένα διαφορετικό είδος ρύπανσης: Το Παράρτημα I ρυθμίζει τη ρύπανση από πετρέλαιο. Το Παράρτημα II ρυθμίζει τη ρύπανση από επιβλαβείς ουσίες σε χύδην μορφή. Το Παράρτημα III ρυθμίζει τη ρύπανση από επιβλαβείς ουσίες σε συσκευασμένη μορφή. Το παράρτημα IV ρυθμίζει τη ρύπανση από τα λύματα πλοίων. Το Παράρτημα V ρυθμίζει τη ρύπανση από υπολείμματα των πλοίων και το Παράρτημα VI ρυθμίζει την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία.

Στη συγκεκριμένη σύμβαση, ο όρος πλοίο περιλαμβάνει πλωτά σκάφη, και πλωτές και εδραζόμενες επί του πυθμένα εξέδρες. Αν και η MARPOL στοχεύει πρωτίστως στη ναυτιλιακή βιομηχανία, μπορεί να εφαρμοστεί και σε τομείς υπεράκτιων δραστηριοτήτων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αν και κύριος στόχος της είναι η αποτροπή απόρριψης επιβλαβών ουσιών στο θαλάσσιο περιβάλλον, δεν περιλαμβάνει την «απελευθέρωση επιβλαβών ουσιών που προκύπτουν άμεσα από την εξερεύνηση, εκμετάλλευση και τη συναφή υπεράκτια επεξεργασία υποθαλάσσιων ορυκτών πόρων», βάσει της Σύμβασης. Ωστόσο, το αναθεωρημένο Παράρτημα I περιέχει ειδικές απαιτήσεις για εδραζόμενες επί του πυθμένα ή πλωτές εξέδρες, συμπεριλαμβανομένων εξεδρών γεώτρησης, πλωτών εγκαταστάσεων παραγωγής, αποθήκευσης και εκφόρτωσης (Floating Production, Storage and Offloading Facilities-FPSOs) που χρησιμοποιούνται για την υπεράκτια παραγωγή και αποθήκευση πετρελαίου, καθώς και πλωτές μονάδες αποθήκευσης (Floating Storage Units-FSUs) που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση του παραγόμενου πετρελαίου (Lyons, 2011).

4. Πρωτόκολλο τροποποίησης της Διεθνούς Σύμβασης του 1969 αναφορικά με την αστική ευθύνη για ζημιές ρύπανσης από πετρέλαιο (CLC): Υπογράφηκε στο Λονδίνο το 1976 και τέθηκε σε ισχύ το 1981 από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) (Καραμαλίκης, 2017).
5. Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για το δίκαιο της θάλασσας (United Nations Convention of the Law of Sea-UNCLOS): Έλαβε χώρα το 1982 και έδωσε στα παράκτια κράτη τα κυριαρχικά δικαιώματα να θεσμοθετήσουν Αποκλειστικές Οικονομικές Ζώνες Εκμετάλλευσης (ΑΟΖ) και να διεξάγουν εργασίες έρευνας, εκμετάλλευσης, διατήρησης και διαχείρισης των φυσικών πόρων σε αυτές. Επιπλέον, έδωσε έμφαση στα απαιτούμενα μέτρα προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος των υπεράκτιων δραστηριοτήτων έρευνας και εκμετάλλευσης Υ/Α. Σύμφωνα, με το Άρθρο 60 (Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη) και το Άρθρο 80 (υφαλοκρηπίδα) της UNCLOS, οι υπεράκτιες εξέδρες έρευνας και εκμετάλλευσης Υ/Α αποτελούν τεχνητά νησιά - εγκαταστάσεις – υποδομές και εμπίπτουν στην δικαιοδοσία του παράκτιου κράτους, που έχει ΑΟΖ στην περιοχή που βρίσκεται αυτή η εγκατάσταση (Σουρλίγκας, 2018).

6. Πρωτόκολλο τροποποίησης της Διεθνούς Σύμβασης του 1969 αναφορικά με την αστική ευθύνη για ζημιές ρύπανσης από πετρέλαιο (CLC 92): Υπογράφηκε το 1992 και τέθηκε σε ισχύ το 1996 από τον IMO (Καραμαλίκης, 2017).
7. Συμφωνία για την Εφαρμογή του Μέρους XI της Σύμβασης του ΟΗΕ για το Δίκαιο της θάλασσας: Υπογράφηκε και τέθηκε σε ισχύ το 1994 από τον ΟΗΕ (Καραμαλίκης, 2017).
8. Διεθνής Σύμβαση για την ίδρυσή διεθνούς κεφαλαίου για την αποζημίωση ζημιών ρύπανσης από πετρελαιοειδή και ρύθμιση συναφών θεμάτων (FUND 71): Υπογράφηκε το 1971 και τέθηκε σε ισχύ το 1978 από τον IMO (Καραμαλίκης, 2017).
9. Πρωτόκολλο τροποποίησης της Διεθνούς Σύμβασης του 1971 για την ίδρυση διεθνούς κεφαλαίου για την αποζημίωση ζημιών ρύπανσης από πετρελαιοειδή: Υπογράφηκε το 1976 και τέθηκε σε ισχύ το 1994 από τον IMO (Καραμαλίκης, 2017).
10. Πρωτόκολλο τροποποίησης της Διεθνούς Σύμβασης του 1971 για την ίδρυση διεθνούς κεφαλαίου για την αποζημίωση ρύπανσης από πετρελαιοειδή (FUND 92): Υπογράφηκε το 1992 και τέθηκε σε ισχύ το 1996 από τον IMO (Καραμαλίκης, 2017).
11. Τροποποιήσεις των περιοριστικών ποσών του Πρωτοκόλλου 1992 που τροποποιεί τη Διεθνή Σύμβαση του 1969, αναφορικά με την αστική ευθύνη για ζημιές ρύπανσης από πετρέλαιο: Υπογράφηκε το 2002 και τέθηκε σε ισχύ το 2003 από τον IMO (Καραμαλίκης, 2017).
12. Τροποποιήσεις των περιοριστικών ποσών του Πρωτοκόλλου 1992 (FUND 92) που τροποποιεί τη Διεθνή Σύμβαση του 1971 αναφορικά με την ίδρυση διεθνούς κεφαλαίου αποζημίωσης ζημιών ρύπανσης από πετρέλαιο: Υπογράφηκε το 2002 και τέθηκε σε ισχύ το 2003 από τον IMO (Καραμαλίκης, 2017).
13. Πρωτόκολλο στην τροποποιημένη Διεθνή Σύμβαση (1992) για την ίδρυση διεθνούς κεφαλαίου αποζημίωσης ζημιών ρύπανσης από πετρελαιοειδή (supplementary fund): Υπογράφηκε το 2003 και τέθηκε σε ισχύ το 2005 από τον IMO (Καραμαλίκης, 2017).
14. Διεθνής Σύμβαση για την ετοιμότητα, συνεργασία και αντιμετώπιση της ρύπανσης της θάλασσας από πετρέλαιο (OPRC 90): Υπογράφηκε το 1990 και τέθηκε σε ισχύ το 1995 από τον IMO (Καραμαλίκης, 2017).

15. Πρωτόκολλο για την ετοιμότητα, συνεργασία και αντιμετώπιση της θαλάσσιας ρύπανσης από επικίνδυνες και επιβλαβείς ουσίες (2000 HNS-OPRC 90):  
Υπογράφηκε το 2000 και τέθηκε σε ισχύ το 2007 από τον IMO (Καραμαλίκης, 2017).
16. Διεθνής Σύμβαση για την προστασία της Μεσογείου θάλασσας από τη ρύπανση:  
Υπογράφηκε το 1967 και τέθηκε σε ισχύ το 1978 από τον ΟΗΕ (Καραμαλίκης, 2017).
17. Τροποποιήσεις της Σύμβασης της Βαρκελώνης του 1976 σχετικά με την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος και των παράκτιων περιοχών της Μεσογείου:  
Υπογράφηκε το 1995 και τέθηκε σε ισχύ το 2004 από τον ΟΗΕ (Καραμαλίκης, 2017).

Επιπλέον, υπάρχουν και άλλες σημαντικές συμβάσεις που έχει υπογράψει η Ελλάδα και είναι οι ακόλουθες (Σουρλίγκας, 2018):

- Το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ που έχει στόχο τη σταδιακή κατάργηση των ουσιών που καταστρέφουν το όζον.
- Τη σύμβαση της Βασιλείας, που αφορά τη διασυνοριακή μεταφορά επικίνδυνων αποβλήτων.
- Μία σειρά από συμβάσεις που αφορούν την προστασία των αποδημητικών και απειλούμενων ειδών.
- Πολλές συμβάσεις και συμφωνίες που στοχεύουν στην προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος.
- Τη σύμβαση NATURA 2000 που αφορά την προστασία των περιβαλλοντικά ευαίσθητων περιοχών, της χλωρίδας και της πανίδας σε αυτές.

Επίσης, αναφέρεται ότι έχουν ενσωματωθεί στο εθνικό δίκαιο όλες οι ευρωπαϊκές Οδηγίες που αναφέρθηκαν παραπάνω και έχουν εφαρμογή και στον παροπλισμό των υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α. Οι βασικοί νόμοι της ελληνικής νομοθεσίας που αφορούν στην έρευνα και τις διαδικασίες εξόρυξης υδρογονανθράκων είναι ο Ν. 2289/1995 (Αναζήτηση, έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων), όπως τροποποιήθηκε από τον Ν. 4001/2011, Κεφάλαιο Β (Τροποποίηση διατάξεων του Ν.2289/1995) και ο Ν. 4409/2016 (Πλαίσιο για την ασφάλεια στις υπεράκτιες εργασίες έρευνας και εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων, ενσωμάτωση της Οδηγίας 2013/30/ΕΕ, τροποποίηση του Π.Δ. 148/2009 και άλλες διατάξεις) (Καραμαλίκης, 2017).

Αυτήν τη στιγμή στην Ελλάδα, σύμφωνα με το νόμο, υπεύθυνη για θέματα ασφαλείας των υπεράκτιων εγκαταστάσεων παραγωγής Υ/Α είναι η Ελληνική Διαχειριστική Εταιρεία Υδρογονανθράκων (ΕΔΕΥ), της οποίας η λειτουργία ξεκίνησε από το 2017. Η δικαιοδοσία της εκτείνεται τόσο στις παραγωγικές, όσο και στις μη παραγωγικές εγκαταστάσεις, καθώς και σε εκείνες που είναι συνδεδεμένες με υπεράκτιες υποδομές. Γενικά ακολουθούνται οι παρακάτω κανονισμοί έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η μείωση του κινδύνου σε αποδεκτά επίπεδα (ΕΔΕΥ, 2011):

1. Αξιολόγηση και έγκριση εκθέσεων μεγάλων κινδύνων: Πρόκειται για έκθεση που υποβάλλεται από τους διαχειριστές των παραγωγικών και μη παραγωγικών εγκαταστάσεων και περιέχει αναλυτική παρουσίαση των κινδύνων που σχετίζονται με αυτές, καθώς περιγράφονται αναλυτικά και τα μέτρα που λαμβάνονται για την αντιμετώπιση αυτών. Επιπλέον, περιλαμβάνεται και λεπτομερές σχέδιο αντιμετώπισης της πιθανής ρύπανσης της θάλασσας από διαρροή πετρελαίου καθώς και το σχέδιο αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης του διαχειριστή. Η τελική έκθεση αξιολογείται από την ΕΔΕΥ και μόνο ύστερα από την έγκριση δύναται να ξεκινήσουν οι εργασίες στην εγκατάσταση, ενώ κάθε 5 χρόνια λαμβάνει χώρα επανεξέταση της έκθεσης. Εδώ σημειώνεται ότι για κάθε νέα εγκατάσταση κατατίθεται μια σειρά εκθέσεων μεγάλων κινδύνων: μία στη φάση του σχεδιασμού, μία κατά τη λειτουργία της και μία για τον τελικό παροπλισμό της. Οι εκθέσεις αυτές πρέπει να ενημερώνονται όποτε υπάρχει ουσιώδης αλλαγή στον σχεδιασμό ή τη λειτουργία μιας υπεράκτιας εγκατάστασης, για παράδειγμα μετά από σημαντική επέκταση ή εισαγωγή ενός νέου επικίνδυνου χημικού προϊόντος.
2. Αξιολόγηση κοινοποιήσεων εργασιών γεώτρησης: Πριν από την εκτέλεση μίας γεώτρησης ο διαχειριστής πρέπει να υποβάλλει κοινοποίηση εργασιών στην ΕΔΕΥ, περιγράφοντας με λεπτομέρεια την εργασία που θα λάβει μέρος, τους κινδύνους που ελλοχεύουν με αυτή καθώς και τα μέτρα αντιμετώπισης αυτών. Τα προηγούμενα αξιολογούνται από την ΕΔΕΥ και μόνον εφόσον εγκριθούν μπορεί να προχωρήσει η γεώτρηση.
3. Επιθεωρήσεις στις εγκαταστάσεις Υ/Α επί της Ελληνικής επικράτειας: Αυτό το στάδιο είναι το δεύτερο κύριο μέσο εποπτείας της υπεράκτιας ασφάλειας. Λαμβάνουν μέρος από εξειδικευμένο προσωπικό της ΕΔΕΥ και κατά τη διάρκειά τους επιβεβαιώνεται τα μέτρα αντιμετώπισης κινδύνων είναι ενεργά και αποτελεσματικά. Στην περίπτωση



όπου τα μέτρα παραβιάζονται ή αποκλίνουν από τα περιεχόμενα της έκθεσης, η ΕΔΕΥ δύναται να εισηγηθεί κυρώσεις. Τέλος, όταν τα μέτρα κρίνονται ως ελλιπή ή ανεπαρκή, η ΕΔΕΥ μπορεί να ζητήσει την παύση εργασιών της εγκατάστασης.

4. Διερεύνηση συμβάντων: Στην περίπτωση όπου έχει λάβει χώρα ένα συμβάν σε μία υπεράκτια εγκατάσταση, η ΕΔΕΥ ενεργοποιεί τη διαδικασία διερεύνησης. Σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι να προσδιοριστούν τα αίτια, να διαπιστωθεί εάν ο διαχειριστής είχε λάβει τα απαραίτητα μέτρα που προβλέπονται από το νόμο, εάν είχε λάβει υπόψη τα διδάγματα για τη βιομηχανία καθώς και αν υπήρξε παράβαση του νόμου. Τέλος, απαραίτητο είναι να ληφθεί απόφαση για το ποια θα είναι η πιο σωστή απόκριση.
5. Δημιουργία μηχανισμού εμπιστευτικών αναφορών: Η ΕΔΕΥ έχει αναπτύξει ένα σύστημα μέσω του οποίου ένας υπάλληλος του διαχειριστή μίας υπεράκτιας εγκατάστασης δύναται να υποβάλλει, ανώνυμα, αναφορά σχετιζόμενη με τα θέματα ασφαλείας της εκάστοτε εγκατάστασης. Ύστερα, η αναφορά αξιολογείται από την ΕΔΕΥ και ανάλογα με την κατάσταση αναλαμβάνει δράση.
6. Ανάπτυξη εξωτερικού σχεδίου αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης σε υπεράκτιες εγκαταστάσεις έρευνας και εξόρυξης Υ/Α: Το συγκεκριμένο έργο γίνεται σε συνεργασία με δημόσιους φορείς καθώς και με την ΕΔΕΥ και στοχεύει στη βελτιστοποίηση των σχεδίων της Ελλάδας για την αντιμετώπιση καταστάσεων και κινδύνων που προκύπτουν από γεγονότα σε μία υπεράκτια εγκατάσταση και δύναται να βλάψουν τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

#### *7.3.5.1.1. Εθνικό νομικό πλαίσιο σε μεγάλες πετρελαιοπαραγωγές χώρες*

Σε προηγμένες χώρες παραγωγής Υ/Α, όπως οι ΗΠΑ, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Νορβηγία, η θέσπιση νομοθετικών κανονισμών για τις υπεράκτιες γεωτρήσεις και η επιβολή και διαχείριση των κανονισμών αυτών αποτελεί ευθύνη κρατικών φορέων και ρυθμιστικών αρχών. Στον Πίνακα 7-9 παρουσιάζονται οι ρυθμιστικές αρχές των υπεράκτιων δραστηριοτήτων σε ΗΠΑ, Ηνωμένο Βασίλειο και Νορβηγία (Σουρλίγκας, 2018).

Πίνακας 7-9. Ρυθμιστικές αρχές για τις υπεράκτιες εγκαταστάσεις Υ/Α σε ΗΠΑ, Ηνωμένο Βασίλειο και Νορβηγία (Σουρλίγκας, 2018)

Χώρα	Ρυθμιστικές αρχές
<b>ΗΠΑ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ρυθμιστική Αρχή Διαχείρισης Ενέργειας (Bureau of Ocean Energy Management - BOEM)</li> <li>• Ρυθμιστική Αρχή Διαχείρισης Ασφάλειας και Περιβάλλοντος (Bureau of Safety and Environmental Enforcement - BSEE)</li> <li>• Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency - EPA)</li> <li>• Ακτοφυλακή (U.S. Coast Guard-USCG)</li> </ul>
<b>Ηνωμένο Βασίλειο</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υπουργείο Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Department of Energy and Climate Change)</li> <li>• Τμήμα Ασφάλειας και Υγιεινής Υπεράκτιων Δραστηριοτήτων (Health and Safety Executive Offshore Division)</li> </ul>
<b>Νορβηγία</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αρχή Πετρελαϊκής Ασφάλειας (Petroleum Safety Authority - PSA)</li> </ul>

#### 7.3.5.2. ΗΠΑ

Όσον αφορά τις ΗΠΑ, το ρυθμιστικό πλαίσιο έχει κανονιστικό χαρακτήρα και υποχρεώνει όλους τους εμπλεκόμενους φορείς των υπεράκτιων δραστηριοτήτων έρευνας και παραγωγής Υ/Α στην τήρηση συγκεκριμένων απαιτήσεων. Μετά την έκρηξη στο Deep Water Horizon το 2010, το Υπουργείο Εσωτερικών των ΗΠΑ ανέλαβε να ερευνήσει και να προτείνει αλλαγές σχετικά με την ασφάλεια, την ακεραιότητα και τον έλεγχο των γεωτρήσεων, καθώς και την ασφάλεια και διαχείριση του προσωπικού. Το BOEM απαίτησε από όλα τα εμπλεκόμενα μέρη, που emπίπτουν στην αρμοδιότητά του, να υιοθετήσουν και να εφαρμόζουν Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας και Περιβάλλοντος (Safety and Environmental Management System-SEMS). Με το συγκεκριμένο σύστημα απαιτείται η ταυτοποίηση και διαχείριση όλων των κινδύνων και των επιπτώσεων στην ασφάλεια και το περιβάλλον κατά τον αρχικό σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία, τη συντήρηση, την αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων και τον παροπλισμό. Τέλος, απαιτείται η σύνταξη γραπτών διαδικασιών, η υιοθέτηση των βέλτιστων βιομηχανικών πρακτικών και η αξιολόγηση σύμφωνα με τα πρότυπα που ισχύουν (Σουρλίγκας, 2018).

Επιπλέον, το BSEE είναι υπεύθυνο για την επίβλεψη όλων των διαδικασιών παροπλισμού υπεράκτιων γεωτρήσεων, εγκαταστάσεων, αγωγών και λοιπού εξοπλισμού που έχει εγκατασταθεί σε ομοσπονδιακά ύδατα και υποστηρίζει τον τομέα της ενέργειας. Η συγκεκριμένη ρυθμιστική αρχή αποσκοπεί στον πλήρη καθαρισμό του πυθμένα της

θάλασσας και την επαναφορά εκείνης της περιοχής στην αρχική της κατάσταση, ενώ, υποστηρίζει θερμά τη χρήση παροπλισμένων τμημάτων υπεράκτιων εγκαταστάσεων ως τεχνητών υφάλων, όταν αυτό επιτρέπεται. Επιπρόσθετα, ο νόμος OCSLA (Outer Continental Shelf Lands Act) περιλαμβάνει κανονισμούς και υποχρεώσεις του διαχειριστή ενός έργου παροπλισμού, όταν εκείνος υπογράφει μία άδεια εκμετάλλευσης μίας υπεράκτιας περιοχής. Ο νόμος στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων που ελλοχεύουν για το περιβάλλον και την ασφάλεια, λόγω της παραμονής ορισμένων υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων, καθώς και στην αποτροπή πιθανών συγκρούσεων με άλλες χρήσεις της θαλάσσιας περιοχής. Μερικοί από αυτούς τους κανονισμούς είναι οι εξής (LSU Journal of Energy Law and Resources, 2019):

1. Όταν οι γεωτρήσεις, οι εξέδρες, οι αγωγοί ή οποιαδήποτε άλλη εγκατάσταση δεν είναι πλέον χρήσιμες για τις διαδικασίες παραγωγής Υ/Α, ο διαχειριστής πρέπει να προβεί στη μόνιμη σφράγιση των γεωτρήσεων, στην αφαίρεση των εξεδρών ή των άλλων εγκαταστάσεων, καθώς και στον καθαρισμό του πυθμένα της θάλασσας από οποιαδήποτε εξάρτημα που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της εκμετάλλευσης και αποτελεί κίνδυνο.
2. Η γραμματεία του BOEM μπορεί να διαπιστώσει εάν κάποια γεώτρηση, εξέδρα, αγωγός ή άλλη εγκατάσταση δεν είναι πλέον χρήσιμη και απαιτείται ο άμεσος παροπλισμός της.
3. Όλες οι εξέδρες και οποιαδήποτε άλλη εγκατάσταση θα αφαιρούνται πλήρως μετά από ένα χρόνο λήξης του συμβολαίου του διαχειριστή, εκτός και αν εκείνος λάβει έγκριση για τη συνέχιση των υπεράκτιων δραστηριοτήτων.
4. Όλες οι διαδικασίες παροπλισμού θα λαμβάνουν χώρα σύμφωνα με τους σχετικούς νόμους και κανονισμούς και με τρόπο ώστε να προάγει την ασφάλεια και να μην προκαλεί πλήγμα στο ανθρωπογενές, θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον.

Στον Πίνακα 7-10 που ακολουθεί αναγράφονται μερικούς από τους νόμους που ισχύουν και έχουν θεσπίσει και προάγουν οι αρμόδιες αρχές στις ΗΠΑ και διέπουν και τη λειτουργία των υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α (Cameron & Matthews, 2016).

Πίνακας 7-10. Περιβαλλοντικοί νόμοι στις ΗΠΑ που διέπουν και τη λειτουργία των υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α (Cameron & Matthews, 2016)

Περιβαλλοντικοί Νόμοι
1. Νόμος Περιβαλλοντικής Πολιτικής του 1969
2. Νόμος Διαχείρισης Παράκτιας Ζώνης του 1972
3. Νόμος Προστασίας Θαλάσσιας Ζωής του 1972
4. Νόμος Προστασίας Ειδών Υπό Εξαφάνιση του 1973
5. Νόμος Διατήρησης και Διαχείρισης της Αλιείας των Magnuson&Stevenstou 1976
6. Νόμος Προστασίας της Ποιότητας του Αέρα
7. Νόμος Προστασίας της Ποιότητας του Νερού
8. Νόμος Διαχείρισης Ρύπανσης Λόγω του Πετρελαίου
9. Νόμος Απαίτησης Περιβαλλοντικής Αναφοράς, Αποκατάστασης και Απονομής Ευθύνης για το έργο
10. Νόμος Διατήρησης και Αποκατάστασης Πόρων
11. Νόμος Έρευνας και Ελέγχου Ρύπανσης Λόγω Πλαστικών
12. Νόμος Σύμβαση Προστασίας Αλιείας
13. Νόμος Εξασφάλισης Ασφαλείας Λιμένων και των Θαλάσσιων Υδάτων
14. Νόμος Σύμβαση Διατήρησης Ιστορικών Σημείων
15. Νόμος Ασφάλειας και Υγιεινής
16. Νόμος Ενέργειας του 2005

#### 7.3.5.3. Ηνωμένο Βασίλειο

Στο Ηνωμένο Βασίλειο κύρια ρυθμιστική αρχή είναι η Αρχή Ασφάλειας και Υγείας (Health and Safety Executive) του Ηνωμένου Βασιλείου, η οποία προσεγγίζει την ασφάλεια και την υγεία της εργασίας με βάση στόχους και επιδόσεις (goal-setting). Με αυτή την προσέγγιση απαιτείται συνεχώς από τις εμπλεκόμενες εταιρείες να δείχνουν προς τη ρυθμιστική αρχή ότι λαμβάνουν μέτρα για την πρακτική ελαχιστοποίηση των κινδύνων για την υγεία καθώς και για το περιβάλλον, στο πλαίσιο της λογικής «As Low As Reasonably Practicable-ALARP», δηλαδή τόσο χαμηλότερο επίπεδο κινδύνου, όσο μπορεί να είναι πρακτικά λογικό, με το μικρότερο οικονομικό αντίκτυπο. Παρά το γεγονός ότι υπάρχει συγκεκριμένος κώδικας δεοντολογίας στο Ηνωμένο Βασίλειο, ο φορέας εκμετάλλευσης μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε μέτρο θέλει για τη μείωση του κινδύνου, ακόμα και αν υπάρχουν συγκεκριμένα πρότυπα, αρκεί να αποδείξει ότι ο προκύπτων σχεδιασμός πληροί τα ίδια κριτήρια (Σουρλίγκας, 2018).

Υπάρχουν ορισμένοι νόμοι που ελέγχουν και καθοδηγούν τη διαδικασία παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α στη Βόρεια Θάλασσα. Κάποιοι από αυτούς, καθώς οι λειτουργίες τους αναφέρονται στον Πίνακα 7-11.

Πίνακας 7-11, Βασικοί νόμοι στο Ηνωμένο Βασίλειο που διέπουν τον παροπλισμό των υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α στη Βόρεια Θάλασσα (Martin, 2004; Ekins, Vanner, & Firebrace, 2005)

Κανονιστικό Πλαίσιο	Λειτουργία
Petroleum Act 1987	Απαιτεί την έγκριση της κυβέρνησης για τη διαδικασία παροπλισμού.
Παρεμπόδιση Μόλυνσης 1972	Ελέγχει τις εκκενώσεις πετρελαίου.
Έλεγχος Μόλυνσης 1974	Καθορίζει την απομάκρυνση ειδικών αποβλήτων.
Σύμβαση OSPAR 1998	Ελέγχει την αφαίρεση υπεράκτιων εγκαταστάσεων παραγωγής Υ/Α.

Τέλος, το Ηνωμένο Βασίλειο διαθέτει ένα πλήρες κανονιστικό-ρυθμιστικό πλαίσιο, όπου για τους περισσότερους κανονισμούς, υπάρχουν κατευθυντήριες οδηγίες και σημειώσεις που επεξηγούν τους κανονισμούς αναλυτικά και με σαφήνεια. Η κυβέρνηση της εν λόγω χώρας αναμένει από τους φορείς εκμετάλλευσης να εφαρμόζουν «ορθές πρακτικές», καθώς παρέχει καθοδήγηση και κώδικες πρακτικής που το περιγράφουν αυτό.

#### 7.3.5.4. Νορβηγία

Στην περίπτωση της Νορβηγίας υπάρχουν κατευθυντήριες οδηγίες για κάθε διάταξη των κανονισμών που διέπουν τις εργασίες σε υπεράκτιες γεωτρήσεις και αναφέρονται στα βιομηχανικά πρότυπα Norsok. Σημειώνεται εδώ ότι η Νορβηγία εφαρμόζει μια προσέγγιση βασισμένη στις επιδόσεις και ως εκ τούτου οι κανονισμοί της περιέχουν πολύ λίγες υποχρεωτικές τεχνικές απαιτήσεις. Αντ' αυτού, καθορίζονται απαιτήσεις που αποσκοπούν στην κάλυψη ορισμένων στόχων εντοπισμού και μείωσης των κινδύνων.

Η Petroleum Safety Authority (PSA) δημοσιεύει και ενημερώνει τις κατευθυντήριες οδηγίες για κάθε διάταξη των κανονισμών της, οι οποίες δεν έχουν όμως νομικά δεσμευτική ισχύ. Με αυτόν τον τρόπο υποδεικνύονται τρόποι με τους οποίους μπορεί κανείς να εκπληρώσει τους στόχους των κανονισμών, αλλά, παράλληλα αφήνει το δικαίωμα εφαρμογής εναλλακτικών τρόπων, μέσων και λύσεων για τις υπεράκτιες εγκαταστάσεις, που μπορεί να αποδειχθούν ότι είναι εξίσου αποτελεσματικές (Σουρλίγκας, 2018).

### **7.3.6. Σύγκριση εθνικών νομικών πλαισίων**

Σε κάθε ρυθμιστικό σύστημα, το σύστημα διαχείρισης αποτελεί ένα πλαίσιο σχεδίων και διαδικασιών, που αποσκοπούν να προσδιορίσουν τους κινδύνους που διέπουν την ασφάλεια και το περιβάλλον στις υπεράκτιες δραστηριότητες Υ/Α και να μετριάσουν ή να τους εξαλείψουν. Πιο συγκεκριμένα, το πλαίσιο των σχεδίων και των διαδικασιών που διέπουν ένα σύστημα διαχείρισης ασφάλειας, υγείας και περιβάλλοντος υπεράκτιων δραστηριοτήτων, χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν ότι μία υπεράκτια εγκατάσταση θα ικανοποιήσει τις ρυθμιστικές απαιτήσεις σχετικά με την υγεία, την ασφάλεια και το περιβάλλον και θα συμβάλλει στην επίτευξη της ασφάλειας και των περιβαλλοντικών στόχων, όπως είναι η αποφυγή και η πρόληψη ατυχημάτων και έκτακτων αναγκών (Σουρλίγκας, 2018).

#### **7.3.6.1. Υγεία και ασφάλεια**

Οι απαιτήσεις των ρυθμιστικών πλαισίων για την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων, είναι γενικά οι ίδιες για όλες τις χώρες και τις εγκαταστάσεις τους. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι ο στόχος της προστασίας και της ασφάλειας των εργαζομένων είναι ο ίδιος, ενδέχεται διαφορετικές περιοχές ακόμη και στην ίδια χώρα να απαιτούν την εκπλήρωση τους με διαφορετικό τρόπο, αποσκοπώντας, βεβαίως, στο ίδιο επίπεδο ασφάλειας με τις υπόλοιπες περιοχές. Προς τούτο, οι ρυθμιστικές αρχές και φορείς ορίζουν τις ανάγκες που πρέπει να πληρούνται μέσα στον ίδιο ρυθμιστικό έγγραφο, που διαχειρίζεται το σύστημα διαχείρισης ασφάλειας, υγείας και περιβάλλοντος, ενώ άλλες αρχές και φορείς παραπέμπουν σε παραπλήσιους κανονισμούς γενικής εφαρμογής, που ορίζουν τις απαιτήσεις για την υγεία και την ασφάλεια της εργασίας (Σουρλίγκας, 2018).

#### **7.3.6.2. Αρμοδιότητες προσωπικού και κατάρτιση**

Οι απαιτήσεις ικανότητας και κατάρτισης του προσωπικού, προκειμένου να διασφαλίζονται οι απαιτήσεις ασφάλειας και υγείας, που εμπεριέχονται στα συστήματα διαχείρισης είναι κοινές σε όλα τα ρυθμιστικά πλαίσια, ωστόσο μπορούν να διαφοροποιούνται οι κανονισμοί με τους όποιους μπορούν να επιτευχθούν. Συγκεκριμένα, όλα τα ρυθμιστικά πλαίσια των προαναφερόμενων χωρών απαιτούν το προσωπικό να είναι

ικανό και εκπαιδευμένο καθώς και να υπάρχουν παροχές στο σύστημα διαχείρισης για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος (Σουρλίγκας, 2018).

#### **7.3.6.3. Ετοιμότητα έκτακτης ανάγκης**

Στα ρυθμιστικά συστήματα και των τριών χωρών που αναφέρθηκαν, απαιτείται τα συστήματα διαχείρισης να έχουν σχέδια και διαδικασίες σε ισχύ για κάθε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, καθώς κατά τις καταστάσεις έκτακτης ανάγκης μπορούν να λάβουν γεγονότα όπου διακινδυνεύεται η ανθρώπινη ή η περιβαλλοντική ασφάλεια. Συνεπώς, κατά τη φάση των έκτακτων αναγκών, τα ρυθμιστικά συστήματα και των τριών χωρών απαιτούν από το προσωπικό και τους εμπλεκόμενους φορείς να έχουν αυξημένες αρμοδιότητες και περαιτέρω απαιτήσεις για την πρόληψη των διαρροών πετρελαίου πέραν εκείνων, που πρέπει να περιλαμβάνονται στο σύστημα διαχείρισης μίας εγκατάστασης (Σουρλίγκας, 2018).

#### **7.3.6.4. Αναφορά και κοινοποίηση των ατυχημάτων ή καταστάσεων έκτακτης ανάγκης**

Τα ρυθμιστικά συστήματα διαχείρισης και των τριών χωρών απαιτούν από τα συστήματα διαχείρισης όλων των εμπλεκόμενων φορέων την ειδοποίηση των αρμόδιων κυβερνητικών αρχών σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης με μία υπεράκτια εγκατάσταση. Συγκεκριμένα, απαιτείται η αναφορά και η κοινοποίηση οποιουδήποτε ατυχήματος, έτσι ώστε να μπορέσουν να ελεγχθούν οι κίνδυνοι (Σουρλίγκας, 2018).

#### **7.3.6.5. Παρακολούθηση των επιπτώσεων και της συμμόρφωσης**

Τα ρυθμιστικά συστήματα και των τριών χωρών απαιτούν από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς, μετά την χορήγηση της έγκρισης εξόρυξης, να καταγράφουν τις επιδόσεις τους στην ασφάλεια, την υγεία και το περιβάλλον, με ετήσιες αναθεωρήσεις, λογιστικούς ελέγχους ή/και αναγγελθείσες επιθεωρήσεις από τις ρυθμιστικές αρχές (Σουρλίγκας, 2018).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκαν τα κύρια ζητήματα του παροπλισμού των υπεράκτιων εγκαταστάσεων έρευνας & παραγωγής Υ/Α που αφορούν:

1. Στους τύπους των υπεράκτιων εγκαταστάσεων έρευνας και παραγωγής Υ/Α.
2. Την κατανομή αυτών των εγκαταστάσεων διεθνώς και τις απαιτήσεις παροπλισμού που διαφαίνονται για τα επόμενα χρόνια.
3. Τις διαδικασίες/τεχνολογίες που εφαρμόζονται στα βασικά στάδια σφράγισης και εγκατάλειψης των γεωτρήσεων
4. Τις διαδικασίες/τεχνολογίες που εφαρμόζονται για τον παροπλισμό και απόσυρση εξεδρών και υποθαλάσσιου εξοπλισμού
5. Την εκτίμηση του κόστους αυτών των εργασιών
6. Τα περιβαλλοντικά ζητήματα που προκύπτουν από τις σχετικές εργασίες.
7. Το θεσμικό/νομικό πλαίσιο που διέπει τέτοιες δραστηριότητες σε διεθνές, περιφερειακό (ευρωπαϊκό) και εθνικό επίπεδο.

Συμπερασματικά, συνοψίζονται τα παρακάτω:

Η υπεράκτια δραστηριότητα έρευνας & εκμετάλλευσης Υ/Α πρωτοξεκίνησε το 1947 στην Αμερική, στον Κόλπο του Μεξικού, ενώ στις αρχές του '70 εξαπλώθηκε και στον Ευρωπαϊκό χώρο και πιο συγκεκριμένα στη Βόρεια Θάλασσα. Σήμερα, σε παγκόσμιο επίπεδο λειτουργούν περισσότερες από 9000 υπεράκτιες εξέδρες που παράγουν υδρογονάνθρακες, βρίσκονται σε βάθος θάλασσας από 30 έως 2700 πόδια και σε απόσταση από 1 έως 120 μίλια από την ακτή. Αυτές οι εγκαταστάσεις κατανέμονται σε 53 χώρες παγκοσμίως, από τις οποίες οι 40 παράγουν σημαντικές ποσότητες πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Ενέργειες παροπλισμού υπεράκτιων εξεδρών παραγωγής Υ/Α ξεκίνησαν κατά το τελευταίο τέταρτο του 20ου αιώνα, ενώ σύνθετες και πιο πολύπλοκες σύγχρονες εξέδρες άρχισαν να παροπλίζονται από τα μέσα του 1990. Στον Κόλπο του Μεξικού έχουν πραγματοποιηθεί συστηματικά πολλά έργα παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων



διαφόρων τύπων. Κατά την περίοδο 1942 – 2017 καταγράφηκε μείωση στην εγκατάσταση υπεράκτιων εξεδρών σε ρηγά νερά, ενώ οι διαδικασίες παροπλισμού άρχισαν να αυξάνονται συστηματικά κάθε από το 1972 ως το 2011, οπότε ο ετήσιος ρυθμός παροπλισμού σημείωσε κάμψη (περίπου 300 εξέδρες το 2011, ενώ το 2017 μόλις 100).

Στη Βόρεια Θάλασσα, όπου η υπεράκτια παραγωγή υδρογονανθράκων ξεκίνησε συστηματικά στη δεκαετία του '70, η έναρξη έργων παροπλισμού ήρθε πολύ αργότερα. Έτσι μέχρι και το 2013 είχε παροπλιστεί μόλις το 7% των υπεράκτιων εγκαταστάσεων, ενώ υπήρχαν 18 ενεργά έργα παροπλισμού σε εξέλιξη και άλλα 20 τελούσαν υπό επεξεργασία.

Με βάση τη βιβλιογραφία συμπεραίνεται ότι η ανάγκη για παροπλισμό ολοένα και θα αυξάνεται, αφού, μέχρι το 2030 και το 2040 θα απαιτηθεί ο παροπλισμός 98 και 151 υπεράκτιων εγκαταστάσεων σε διεθνές επίπεδο, αντίστοιχα. Η μεγαλύτερη ανάγκη για το συγκεκριμένο έργο θα προκύψει αρχικά στις Η.Π.Α. και στη συνέχεια, θα βρεθούν στο επίκεντρο η Ευρώπη και η Ασία και στη συνέχεια η Αφρική. Επιπλέον, στο Ηνωμένο Βασίλειο αναμένεται η σφράγιση και εγκατάλειψη 1630 υπεράκτιων γεωτρήσεων μέσα στο διάστημα 2019-2028. Στη Νορβηγία και την Ολλανδία εκτιμάται ότι θα πρέπει να σφραγιστούν και να εγκαταλειφθούν οριστικά 417 και 457 γεωτρήσεις, αντίστοιχα, ενώ, στη Δανία προβλέπεται ότι μέχρι το 2028 θα έχουν σφραγιστεί 120 υπεράκτιες γεωτρήσεις.

Ως προς τη σφράγιση και εγκατάλειψη των υπεράκτιων γεωτρήσεων μετά το πέρας της παραγωγικής τους ζωής, οι διαδικασίες και οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται υπαγορεύονται σε μεγάλο βαθμό από τις αρμόδιες ρυθμιστικές αρχές της κάθε χώρας που θέτουν τις σχετικές απαιτήσεις. Ωστόσο, κάθε γεώτρηση είναι διαφορετική και η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής σφράγισης βασίζεται στην πληρέστερη δυνατή συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων που την αφορούν, την επιτόπου επιθεώρηση και την υποβολή του πλήρες σχεδίου σφράγισης της προς έκκριση από τους αρμόδιους φορείς.

Ως προς τα επιμέρους στάδια σφράγισης της γεώτρησης και τις τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν, το φρεζάρισμα της σωλήνωσης κατά τμήματα (casing section milling) να είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική για την απομάκρυνση της σωλήνωσης μίας γεώτρησης. Επίσης, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, η χρήση εκρηκτικών αποτελεί την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδο κοπής των προς παροπλισμό τμημάτων των υπεράκτιων εξεδρών, ενώ, μόνο η κοπή με αδαμαντοφόρο σύρμα, από τα μηχανικά μέσα, είναι αρκετά ανταγωνιστική έναντι των πρώτων.

Το κόστος παροπλισμού είναι αναγκαίο να υπολογίζεται κατά την πρώτη φάση σχεδιασμού της υπεράκτιας εγκατάστασης, καθώς επηρεάζει αποφάσεις που θα ληφθούν ως προς τον χρόνο υλοποίησης του παροπλισμού και/ή ως προς την επέκταση της παραγωγικής ζωής της εγκατάστασης. Επιπλέον, επηρεάζει σημαντικά τις μεθόδους και τη διαδικασία παροπλισμού που θα ακολουθηθεί, καθώς και τον τύπο των συμβολαίων και των εργολάβων που θα αναλάβουν το έργο και ως εκ τούτου και το συνολικό κόστος μίας υπεράκτιας εγκατάστασης.

Το κόστος ενός έργου παροπλισμού εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, όπως ο σχεδιασμός και η διαχείριση του έργου, οι διαδικασίες σφράγισης και εγκατάλειψης μίας γεώτρησης, ο παροπλισμός των αγωγών, η απομάκρυνση της σωλήνωσης επαφής και των υποθαλάσσιων συστημάτων, καθώς και οι διαδικασίες επαλήθευσης εκκαθάρισης του εργοταξίου και η παρακολούθησή του μετά την ολοκλήρωση των εργασιών απομάκρυνσης του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων. Το κόστος παροπλισμού μίας υπεράκτιας εγκατάστασης παραγωγής Υ/Α επηρεάζεται σημαντικά από τον τύπο του christmas tree που χρησιμοποιείται, αφού ο παροπλισμός του υποθαλάσσιου tree (wet tree) είναι πιο ακριβός σε σχέση με εκείνο ενός tree που βρίσκεται πάνω στην εξέδρα (dry tree). Ως προς τον τύπο της εξέδρας, το κόστος παροπλισμού των εξεδρών τύπου Spar είναι υπερδιπλάσιο έναντι αυτού των εξεδρών τύπου TLP και των ημιβυθιζόμενων εξεδρών.

Από την επισκόπηση του κόστους παροπλισμού που σημειώνεται σε διάφορες χώρες συμπεραίνονται τα παρακάτω: Στο Ηνωμένο Βασίλειο το ετήσιο κόστος παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων ανέρχεται στα 1,88 δισεκατομμύρια δολάρια. Αναφορικά με τις μελλοντικές εργασίες παροπλισμού για χώρες που δραστηριοποιούνται στη Βόρεια Θάλασσα, όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ολλανδία και η Δανία, το σχετικό κόστος εκτιμάται ότι θα ανέρχεται σε 19 δισεκατομμύρια δολάρια, 2,5 δισεκατομμύρια ευρώ και 3,5 δισεκατομμύρια δολάρια, αντίστοιχα. Ύστερα από το 2022 εκτιμάται ότι το παγκόσμιο κόστος παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων θα αγγίξει τα 340 δισεκατομμύρια δολάρια, με το Ηνωμένο Βασίλειο να επιβαρύνεται περισσότερο, λόγω της παλαιότητας των εγκαταστάσεων, ενώ ακολουθούν οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Νορβηγία.

Επιπλέον, στη σωστή ολοκλήρωση του έργου παροπλισμού διαδραματίζει καταλυτικό ρόλο η εκτίμηση των κινδύνων που δύναται να προκύψουν από τις ποικίλες διαδικασίες. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να εκτελείται αξιολόγηση των κινδύνων και επιπτώσεων που απορρέουν από τις επιμέρους διαδικασίες και είναι πιθανό να προκύψουν σε μία υπεράκτια

εγκατάσταση παραγωγής Υ/Α, ενώ, εξίσου σημαντικός είναι και ο προσδιορισμός των κατάλληλων μέτρων περιορισμού των περιβαλλοντικών κινδύνων, έτσι ώστε να μειωθούν οι πιθανότητες εμφάνισής τους.

Για αυτόν τον λόγο, είναι απαραίτητη η ύπαρξη κατάλληλων θεσμικών, κανονιστικών και νομικών πλαισίων, καθώς και κατευθυντήριων οδηγιών, που καταδείχνουν τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με τον εκάστοτε κίνδυνο. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το θεσμικό πλαίσιο που διέπει τις εργασίες αυτές μέχρι πριν μια δεκαετία περίπου παρουσίαζε σημαντικά κενά. Το δυστύχημα στην εξέδρα Deepwater Horizon το 2010, στον Κόλπο του Μεξικού, επέφερε σημαντικές αλλαγές και αυστηροποίηση του θεσμικού πλαισίου στην προσέγγιση της προστασίας ειδικά του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Το διεθνές νομικό πλαίσιο που διέπει τις υπεράκτιες δραστηριότητες έρευνας & παραγωγής υδρογονανθράκων αναπτύχθηκε τα τελευταία 50 χρόνια περιέχει πολλές διατάξεις, οι οποίες συχνά αντιβαίνουν η μια την άλλη. Οι απαιτήσεις και η τήρηση των διεθνών συμβάσεων και των κατευθυντήριων οδηγιών που περιέχονται στο διεθνές νομικό πλαίσιο, δύναται να διαφέρουν ανάλογα με το αν το έργο παροπλισμού μίας υπεράκτιας εξέδρας βρίσκεται σε δικαιοδοσία κράτους που έχει επικυρώσει την εκάστοτε σύμβαση.

Όσον αφορά στην Ευρωπαϊκή Ένωση, δεν υπάρχει εξειδικευμένο πλαίσιο για τον παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες οδηγίες και κανονισμοί που έχουν εφαρμογή και σε εργασίες παροπλισμού και εγκατάλειψης υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α. Το ίδιο ισχύει και για την Ελλάδα, η οποία, ωστόσο, ακολουθεί το Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο, ενώ, έχει υπογράψει και τις περισσότερες διεθνείς και περιφερειακές συμβάσεις που σχετίζονται με τον έλεγχο, τη διαχείριση και την εποπτεία των περιβαλλοντικών πτυχών των δραστηριοτήτων εξόρυξης και παραγωγής Υ/Α.

Το εθνικό νομικό πλαίσιο σε μεγάλες πετρελαιοπαραγωγές χώρες, όπως οι Η.Π.Α., το Ηνωμένο Βασίλειο και η Νορβηγία, ρυθμίζεται από κρατικούς φορείς και ανάλογες ρυθμιστικές αρχές. Στις Η.Π.Α. το ρυθμιστικό πλαίσιο έχει κανονιστικό χαρακτήρα και υποχρεώνει όλους τους εμπλεκόμενους φορείς των υπεράκτιων δραστηριοτήτων έρευνας και παραγωγής Υ/Α στην τήρηση συγκεκριμένων απαιτήσεων, ενώ, μετά από υπεράκτια ατυχήματα προτάθηκαν ανάλογες αλλαγές για τη βελτίωση των κανονισμών. Το Ηνωμένο Βασίλειο διαθέτει ένα πλήρες κανονιστικό-ρυθμιστικό πλαίσιο, όπου για τους περισσότερους κανονισμούς υπάρχουν κατευθυντήριες οδηγίες και σημειώσεις που

επεξηγούν τους κανονισμούς αναλυτικά και με σαφήνεια. Στη Νορβηγία υπάρχουν κατευθυντήριες οδηγίες για κάθε διάταξη των κανονισμών που διέπουν τις εργασίες σε υπεράκτιες γεωτρήσεις και αναφέρονται στα βιομηχανικά πρότυπα Norsok.

Συμπερασματικά, τα θεσμικά κανονιστικά πλαίσια των μεγάλων πετρελαιοπαραγωγών χωρών είναι πιο πλήρη σε σχέση με ό,τι ισχύει στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την Ελλάδα.

Τα συστήματα διαχείρισης κινδύνου σε όλες τις χώρες αποτελούν ένα πλαίσιο σχεδίων και διαδικασιών που αποσκοπούν να προσδιορίσουν τους κινδύνους που διέπουν την ασφάλεια και το περιβάλλον και να τους μετριάσουν ή να τους εξαλείψουν. Το πλαίσιο των σχεδίων και των διαδικασιών που διέπουν ένα σύστημα διαχείρισης ασφάλειας, υγείας και περιβάλλοντος υπεράκτιων δραστηριοτήτων, χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ότι μία υπεράκτια εγκατάσταση θα ικανοποιήσει τις ρυθμιστικές απαιτήσεις σχετικά με την υγεία, την ασφάλεια και το περιβάλλον και θα συμβάλει στην επίτευξη της ασφάλειας και των περιβαλλοντικών στόχων, όπως είναι η αποφυγή και η πρόληψη ατυχημάτων και έκτακτων αναγκών.

Όσο αφορά το περιβαλλοντικό αντίκτυπο των υπεράκτιων εργασιών εκμετάλλευσης Υ/Α, συμπεραίνεται ότι εάν πραγματοποιείται σύμφωνα με τους κανόνες και τις κατευθυντήριες γραμμές που δίνονται από τα εκάστοτε θεσμικά πλαίσια, τότε μειώνονται οι πιθανότητες πρόκλησης ατυχημάτων. Παρόλα αυτά, ορισμένες φορές δύναται να προκληθούν επιβλαβή για το περιβάλλον ατυχήματα, τα οποία, όμως, μπορούν να αντιμετωπιστούν έγκαιρα και να περιοριστούν τηρώντας τους κανονισμούς που προβλέπονται για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Για αυτόν τον λόγο, σε ένα έργο παροπλισμού είναι απαραίτητο να λαμβάνει χώρα η εκτίμηση των δυνητικών κινδύνων, έτσι ώστε να υπάρχει η κατάλληλη προετοιμασία για την ενδεχόμενη αντιμετώπιση εκείνων. Επίσης, η παρακολούθηση της περιοχής ύστερα από την ολοκλήρωση του παροπλισμού μίας υπεράκτιας εγκατάστασης είναι υψίστης σημασίας, διότι με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η ποιότητα και προστασία της θαλάσσιας περιοχής και ταυτόχρονα η περιβαλλοντική ευθύνη του υπεύθυνου του έργου προς το κοινωνικό σύνολο.

Συμπερασματικά, καθώς η ανάγκη για παροπλισμό υπεράκτιων εγκαταστάσεων Υ/Α ολοένα και θα αυξάνεται σε όλο τον κόσμο, είναι άκρως απαραίτητος ο λεπτομερής προγραμματισμός για τη διαχείριση όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την ολοκλήρωση αυτού του πολυδιάστατου έργου. Με την τήρηση των νόμων και των

κανονισμών που έχουν θεσπιστεί και ισχύουν σε κάθε χώρα, καθώς και με την εφαρμογή Βέλτιστων Πρακτικών και Τεχνολογιών από τη βιομηχανία, είτε αυτοβούλως, είτε βάσει κατευθυντήριων οδηγιών σε κάθε φάση εξέλιξης των εργασιών παροπλισμού, περιορίζονται οι κίνδυνοι που εγείρονται για την ασφάλεια των ανθρώπων και του περιβάλλοντος. Με αυτόν τον τρόπο, όλα τα έργα παροπλισμού υπεράκτιων εγκαταστάσεων παραγωγής Υ/Α θα πραγματοποιούνται με τη μέγιστη προσοχή και περιβαλλοντική ευθύνη και ως αποτέλεσμα προστατεύεται το περιβάλλον, η υγεία και η ασφάλεια των εργαζομένων και προωθείται η άρτια εκτέλεση ενός έργου παροπλισμού με τον μικρότερο δυνατό οικονομικό και περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να αντιμετωπίζονται έγκαιρα όλοι οι κίνδυνοι και οι τεχνικές δυσκολίες που δύναται να προκύψουν, έχοντας ως κύριο γνώμονα την ασφάλεια τόσο του προσωπικού, όσο και του περιβάλλοντος. Τέλος, θα πρέπει να διερευνώνται καινούργιες τεχνικές παροπλισμού που θα είναι πιο αποτελεσματικές και θα εγείρουν μικρότερο περιβαλλοντικό και οικονομικό αντίκτυπο.

## Βιβλιογραφία

- 2B1st Consulting. (2012, August 27). *Jacket*. Ανάκτηση από One day - One world Blog:  
[https://2b1stconsulting.com/jacket/?doing\\_wp\\_cron=1421609153.0821120738983154296875](https://2b1stconsulting.com/jacket/?doing_wp_cron=1421609153.0821120738983154296875)
- 2B1st Consulting. (2014, June 25). *Shell Anadarko and Statoil at concept study on Vito US Gulf of Mexico*. Ανάκτηση Ιούλιος 2020, από 2B1st Consulting:  
<https://2b1stconsulting.com/shell-anadarko-and-statoil-at-concept-study-on-vito-us-gulf-of-mexico/>
- Ahiaga-Dagbui, D., Love, P., Whyte, A., & Boateng, P. (2017, 7 1). Costing and technological challenges of offshore oil and gas decommissioning in the UK North Sea. *ournal of Construction Engineering and Management*, 143(7).
- Ahuja, M. P., McGuffee, J. C., & Poulter, S. A. (2002, October 27-30). *American Society of Civil Engineers (ASCE) Library*. doi:[https://doi.org/10.1061/40761\(175\)92](https://doi.org/10.1061/40761(175)92)
- Amec Foster Wheeler UK Ltd. (2016, October). *Study on the assessment and management of environmental impacts and risks resulting from the exploration and production of hydrocarbons*. Luxembourg: European Commission. Ανάκτηση από [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu):  
[https://ec.europa.eu/environment/integration/energy/pdf/Study\\_on\\_the\\_management\\_of\\_environmental\\_impacts\\_and\\_risks\\_of\\_conventional\\_oil\\_and\\_gas%20.pdf](https://ec.europa.eu/environment/integration/energy/pdf/Study_on_the_management_of_environmental_impacts_and_risks_of_conventional_oil_and_gas%20.pdf)
- Atchison, A., Sammarco, P., & Brazeau, D. (2008, October). Genetic connectivity in corals on the flower garden banks and surrounding oil/gas platforms, Gulf of Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 365(1), σσ. 1-12.  
doi:10.1016/j.jembe.2008.07.002
- Athanassopoulos, J., Dalton, J., & Fisher, A. (1999). *Offshore oil platform decommissioning: a comparative study of strategies and the ecological, regulatory, political and economic issues involved in the decommissioning planning*. Masters Project, University of California Santa Barbara.
- Bemment, R. (2001). *Decommissioning topic strategy (Offshore Technology Report 2001/032)*. Fife, Maidenhead, UK: Bomel Ltd.

- Bishop, M., Mayer-Pinto, M., Airoidi, L., Firth, L., Morris, R., Loke, L., & al., e. (2017, July). Effects of ocean sprawl on ecological connectivity: impacts and solutions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 492, σσ. 7-30.  
doi:10.1016/j.jembe.2017.01.021
- Breuer, E., Stevenson, A., Howe, J., Carroll, J., & Shimmield, G. (2004, January). Drill cutting accumulations in the Northern and Central North Sea: a review of environmental interactions and chemical fate. *Marine Pollution Bulletin*, 48(1-2), σσ. 12-25. doi:10.1016/j.marpolbul.2003.08.009
- Bright Hub Engineering. (2009, March 30). *Offshore production platforms and oil rigs for drilling oil from sea floor*. Ανάκτηση Ιούλιος 20, 2020, από Bright Hub PM: <https://www.brighthouseengineering.com/marine-engines-machinery/30775-different-types-of-offshore-production-platforms-for-oil-extraction/>
- Bryant, J. S. (2017, April 20). *Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering*. (Wiley Online Library) Ανάκτηση Ιούλιος 20, 2020, από Safety of Compliant or Floating Platforms.
- BSEE. (2018). *Platform Locations in the Gulf of Mexico*. Ανάκτηση από Bureau of Safety and Environmental Enforcement (BSEE): <https://www.data.bsee.gov/Platform/Files/3060.pdf>
- BSEE. (2019, April). *Decommissioning FAQs*. Ανάκτηση Αύγουστος 20, 2020, από Bureau of Safety and Environmental Enforcement (BSEE) : <https://www.bsee.gov/faqs/how-many-platforms-are-in-the-gulf-of-mexico>
- Byrd, R. C., Miller, D. J., & Wiese, S. M. (2014). Cost Estimating for Offshore Oil & Gas Facility Decommissioning. *AACE® international technical paper*.
- Cameron, B. J., & Matthews, T. (2016). *OCS Regulatory Framework*. Ανάκτηση από Bureau of Ocean Energy Management (BOEM) - : <https://www.boem.gov/sites/default/files/environmental-stewardship/Environmental-Assessment/NEPA/Report-OCS-Regulatory-Framework-revised-2016.pdf>
- Claisse, J. T., Pondella, D. J., Love, M., Zahn, L. A., Williams, C. M., & Bull, A. (2015). Impacts from partial removal of decommissioned oil and gas platforms on fish

- biomass and production on the remaining platform structure and surrounding shell mounds. *PLoS ONE*, 10(9). doi:doi:10.1371/journal.pone.0135812
- Claisse, J., Pondella, G., Love, M., Zahn, L., Williams, C., Williams, J., & et al. (2014). Oil platforms off California are among the most productive marine fish habitats globally. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111, σσ. 15462-15467.
- Crager, B. (2015, February 10). *Overview of Subsea Decommissioning*. Ανάκτηση από [http://decommissioninggom.offsnetevents.com/uploads/2/4/3/8/24384857/bruce\\_crager.pdf](http://decommissioninggom.offsnetevents.com/uploads/2/4/3/8/24384857/bruce_crager.pdf)
- Culwell, A. (1997). *DECOMMISSIONING AND REMOVAL OF OIL AND GAS FACILITIES OFFSHORE CALIFORNIA: RECENT EXPERIENCES AND FUTURE DEEPWATER CHALLENGES*. Ανάκτηση από <https://www.boem.gov/sites/default/files/oil-and-gas-energy-program/Leasing/Regional-Leasing/Pacific-Region/Leasing/Decommissioning/1998-023.pdf>
- Culwell, A. S., & McCarthy, J. C. (1997). Pipeline and Power Cable Decommissioning. *Proceeding of Public Workshop "DECOMMISSIONING AND REMOVAL OF OIL AND GAS FACILITIES OFFSHORE CALIFORNIA: RECENT EXPERIENCES AND FUTURE DEEPWATER CHALLENGES"*, (σσ. 66-73). Ventura, California.
- Ekins, P., Vanner, R., & Firebrace, J. (2005, December 20). Decommissioning of offshore oil and gas facilities: A comparative assessment of different scenarios. *Journal of Environmental Management*, 79 (2006), σσ. 420-438.  
doi:10.1016/j.jenvman.2005.08.023
- English, Y. (2019, March 7). *Everything you need to know about offshore decommissioning*. Ανάκτηση από NESFircroft:  
<https://www.fircroft.com/blogs/everything-you-need-to-know-about-offshore-decommissioning-83106165844>
- European Commission. (2012). *Mediterranean offshore activities: enhancing their environmental safety*. Ανάκτηση Αύγουστος 2020, 2020, από European



Commission - Environment:

<https://ec.europa.eu/environment/marine/pdf/FLYER%20offshore%20web.pdf>

Fisheries Research Services. (2004). *Fisheries Research Services*. Ανάκτηση από Scottish Government Riaghaltas na h-Alba gov.scot:

<https://www2.gov.scot/Uploads/Documents/AE07Brent2004.pdf>

Genesis Oil and Gas Consultants Limited. (2017). *Overview of International Offshore Decommissioning Regulations - Volume 1 – Facilities*. Aberdeen: International Association of Oil & Gas Producers - IOGP.

Gourvenec, S. (2018, October 1st). Shaping the offshore decommissioning agenda and next generation design of offshore infrastructure. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Smart Infrastructure and Construction*. Volume 171, σσ. 54-66. Institution of Civil Engineers. doi:10.1680/jsmic.18.00002

Gourvenec, S., & White, D. (2017). In situ decommissioning of subsea infrastructure. *Proced. Conference of Offshore and Maritime Engineering; Decommissioning of Offshore Geotechnical Structures*, (σσ. 3-40). Hamburg, Germany.

Grismala, R. (2015, 07 31). *Decommissioning Methodology and Cost Evaluation*.

Ανάκτηση από BSEE - Decommissioning:

<https://www.bsee.gov/sites/bsee.gov/files/tap-technical-assessment-program//738aa.pdf>

IEA. (2019). *Annual average decommissioning need for offshore oil and gas assets by region, 2000-2040*. Ανάκτηση από International Energy Agency (IEA):

<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/annual-average-decommissioning-need-for-offshore-oil-and-gas-assets-by-region-2000-2040>

Inger, R., Attrill, M., Bearhop, S., Broderick, A., Grecian, J., Hodgson, D., & et al. (2009, December). Marine renewable energy: potential benefits to biodiversity? An urgent call for research. *Journal of Applied Ecology*, 46(6), σσ. 1145-115.

doi:10.1111/j.1365-2664.2009.01697.x

Jia, L., Yun, P., Ming, Z., Kai, W., & Jiexin, Y. (2019). Decommission in Petroleum Industry: Current Status, Future Trends and Policy Advices. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 237 042013. IOP Publishing. Ανάκτηση

- από iopscience.iop.org: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/237/4/042013/pdf>
- Jusoh, N. A. (2014). *Decommissioning Cost Estimation Study*. Ανάκτηση από UTPedia (UTP - Electronic and Digitized Intellectual Asset): <http://utpedia.utp.edu.my/14052/1/FINAL%20DISSERTATION.pdf>
- Kaiser, M. J., & Narra, S. (2018). *Decommissioning activity on the decline in the Gulf of Mexico*. Ανάκτηση από Offshore-mag.com: <https://www.offshore-mag.com/field-development/article/16762274/decommissioning-activity-on-the-decline-in-the-gulf-of-mexico>
- Kaiser, M., & Liu, M. (2014). Decommissioning cost estimation in the deepwater U.S. Gulf of Mexico – Fixed platforms and compliant towers. *Marine Structures*, 37, σσ. 1-32. doi:10.1016/j.marstruc.2014.02.004
- Khalifeh, M., & Saasen, A. (2020). *Introduction to Permanent Plug and Abandonment of Wells*. Springer, Cham. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-030-39970-2>
- Laytrix Limited. (2019, July 31). *Subsea Pipeline and Decommissioning Tenders*. Ανάκτηση από Laytrix Limited - Environmental Marine Technologies: <https://www.laytrix.com/subsea-pipeline-and-decommissioning-tenders>
- Lepic, B. (2020, April 6). *Offshore Energy - Fossil Energy*. Ανάκτηση Αύγουστος 20, 2020, από U.S. weekly offshore rig count flat at 18: <https://www.offshore-energy.biz/u-s-weekly-offshore-rig-count-flat-at-18/>
- Lopatta, H. (2017). Existing Legal Framework & Conventions Currently Applicable EU Environmental Legislation. *Workshop on Decommissioning of Offshore Installations*. BPΥΞΕΛΕΣ: 4th EUOAG meeting.
- LSU Journal of Energy Law and Resources. (2019). *What the Regulations Require and How Decommissioning Differs Between the Pacific and Gulf of Mexico*.
- Lyons, Y. (2011, July 31). *Offshore oil and gas in the SCS and the protection of the marine environment - Part 2 - Legal and governance framework*. Ανάκτηση από Centre of Internatioal Law (CIL): [https://cil.nus.edu.sg/wp-content/uploads/2010/10/OOG\\_SCS-YounaLyons.pdf](https://cil.nus.edu.sg/wp-content/uploads/2010/10/OOG_SCS-YounaLyons.pdf)

Mactech Offshore Solutions. (2020). *Platform Decommissioning*. Ανάκτηση από Mactech Offshore Solutions - Case Studies:

[https://www.mactechoffshore.com/case\\_study/case-study-steel-pile-removal-broadway-bridge-piles/](https://www.mactechoffshore.com/case_study/case-study-steel-pile-removal-broadway-bridge-piles/)

Mahmoud Khalifeh - Arild Saasen. (2020). *Introduction to Permanent Plug and Abandonment of Wells*. Ανάκτηση από

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-39970-2.pdf>

Maritime Connector. (2020). *Platforms*. Ανάκτηση Ιούλιος 20, 2020, από Maritime Connector - Offshore Industries: <http://maritime-connector.com/wiki/platforms/>

Martin, T. (2004). *Decommissioning of International Petroleum Facilities Evolving Standards & Key Issues*. Ανάκτηση από <http://timmartin.ca>: <http://timmartin.ca/wp-content/uploads/2016/02/Decommissioning-of-Int-Petroleum-Facilities-Martin2004.pdf>

Nextstep. (2019). *Re-use & decommissioning report - Decommissioning in practice 2019*.

Ανάκτηση από Nexstep – National Platform for Re-use and Decommissioning:

[https://www.nexstep.nl/wp-content/uploads/2019/07/190724\\_Re-use-decommissioning-rapport-2019-ENG.pdf](https://www.nexstep.nl/wp-content/uploads/2019/07/190724_Re-use-decommissioning-rapport-2019-ENG.pdf)

NORSOK D-010. (2012). *Well Integrity in Drilling and Well Operations, 4 ed.. Lysaker, Standards Norway*. Ανάκτηση από <https://www.standard.no/pagefiles/1315/d-010r3.pdf>

Offshore Fleet Journal. (2020). *Jackup rig*. Ανάκτηση Ιούλιος 20, 2020, από Offshore Fleet Journal: <http://offshore-fleet.com/data/jackup-rig.htm>

Oil & Gas Authority. (2020). *UKCS Decommissioning Cost Estimate*. Ανάκτηση από Oil & Gas Authority (OGA): <https://www.ogauthority.co.uk/media/6638/ukcs-decommissioning-cost-estimate-2020.pdf>

OSPAR Commission. (2015). *2015 Update of the inventory of Oil and Gas Offshore Installations in the OSPAR Maritime Area*. Ανάκτηση από [ospar.org](http://ospar.org):

<https://www.ospar.org/documents?v=7374>

- OSPAR ODIMS. (2017). *OSPAR Inventory of Offshore Installations*. Ανάκτηση από OSPAR Data & Information Management System (ODMIS):  
<https://odims.ospar.org/maps/1658>
- Pegasus Vertex, Inc. (2019). *Snubbing*. Ανάκτηση από Drilling Industry Glossary:  
<http://www.pvisoftware.com/drilling-glossary/snubbing.html>
- Pegasus Vertex, Inc. (2019). *Sustained Casing Pressure (SCP)*. Ανάκτηση από Drilling Industry Glossary: <http://www.pvisoftware.com/drilling-glossary/sustained-casing-pressure.html>
- Petrowiki. (2019, 09 03). *Offshore Decommissioning*. Ανάκτηση από petrowiki.spe.org:  
[https://petrowiki.spe.org/Offshore\\_decommissioning#Well\\_plugging\\_and\\_abandonment](https://petrowiki.spe.org/Offshore_decommissioning#Well_plugging_and_abandonment)
- Phillips Petroleum Company Norway. (1999). *Ekofisk I disposal: Impact Assessment - Environmental and Societal Impacts*.
- Picken, G., Curtis, T., & Elliott, A. (1997). An estimate of the cumulative environmental effects of the disposal in the Deep Sea of bulky wastes from the Offshore oil and gas industry. *SPE Offshore Europe*. Aberdeen: Society of Petroleum Engineers.  
doi:10.2118/38510-MS
- Piping Engineering-Knowledge base. (2020). *Crude Oil Processing on Offshore Facilities*. Ανάκτηση από piping-engineering.com: <http://www.piping-engineering.com/crude-oil-processing-offshore-facilities.html>
- Pors, J., Verbeeck, S., Wurpel, G., & Briët, P. (2011). *Decommissioning of North Sea oil and gas facilities - An introductory assessment of potential impacts, costs and opportunities*. Amsterdam: IMSA Amsterdam. Ανάκτηση από  
[https://ecoeffective.biz/wp-content/uploads/2016/02/LNS200\\_Report-analysis-of-decommissioning-options-for-North-Sea-oil-and-gas-facilities\\_LiNSI\\_DEF-copy-kopie.pdf](https://ecoeffective.biz/wp-content/uploads/2016/02/LNS200_Report-analysis-of-decommissioning-options-for-North-Sea-oil-and-gas-facilities_LiNSI_DEF-copy-kopie.pdf)
- Prasthofer, P. (1997). Offshore Production Facilities: Decommissioning of Topside Production Equipment. *Proceeding of Public Workshop "DECOMMISSIONING AND REMOVAL OF OIL AND GAS FACILITIES OFFSHORE CALIFORNIA:*

- RECENT EXPERIENCES AND FUTURE DEEPWATER CHALLENGES*", (σσ. 38-47). Ventura, California.
- Rigzone. (2020). *How Snubbing Units Work*. Ανάκτηση από Rigzone - Training - How it works: [https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight\\_id=348&c\\_id=](https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=348&c_id=)
- Roberts, J., & Cairns, S. (2014, April). old-water corals in a changing ocean. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 7, σσ. 118-126.  
doi:10.1016/j.cosust.2014.01.004
- Roos, P. (2019). *Policy change in offshore decommissioning governance: Dealing with environmental politics and coping with ecological uncertainty*. Wageningen University. Holland: Wageningen University. Ανάκτηση από <https://edepot.wur.nl/473114>
- Rowe, M. (2019, February 28). *Geographical Magazine - Energy*. Ανάκτηση Αύγουστος 20, 2020, από Dossier: The terrifying cost of scrapping the world's ageing oil and gas rigs: <https://geographical.co.uk/nature/energy/item/3086-dossier-oil-rigs>
- Royal Academy Of Engineering. (2013). *Decommissioning in the North Sea*. Ανάκτηση από Royal Academy of Engineering - Publications - Reports: <https://www.raeng.org.uk/publications/reports/decommissioning-in-the-north-sea>
- Russ, G., & Alcalá, A. (2011, January). Enhanced biodiversity beyond marine reserve boundaries: the cup spillith over. *Ecological Applications*, 21(1), σσ. 241-250.  
doi:10.1890/09-1197.1
- Sadeghi, K. (2007). An Overview of Design, Analysis, Construction and Installation of Offshore Petroleum Platforms Suitable for Cyprus Oil/Gas Fields. *Journal of Social & Applied Sciences*(2), σσ. 1-16.
- Sammarco, P., Atchison, A., Boland, G., Sinclair, J., & Lirette, A. (2012, December). Geographic expansion of hermatypic and ahermatypic corals in the Gulf of Mexico, and implications for dispersal and recruitment. *Journal of*, 436-437, σσ. 36-49.  
doi:10.1016/j.jembe.2012.08.009
- Schlumberger. (2020). *CT Seas - Automated offshore CT unit*. Ανάκτηση από Schlumberger - Well Intervention: <https://www.slb.com/well-intervention/coiled-tubing-intervention/surface-equipment/ct-seas-automated-offshore-ct-unit>

- Schlumberger. (2020). *Plug and abandon*. Ανάκτηση από Schlumberger Oilfield Glossary:  
[https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/p/plug\\_and\\_abandon.aspx](https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/p/plug_and_abandon.aspx)
- Schroeder, D. M., & Love, M. S. (2004). Ecological and political issues surrounding decommissioning of offshore oil facilities in the Southern California Bight. *Ocean & Coastal Management*, 47(1-2), σσ. 21-48.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2004.03.002>
- Simonsen, K. (2013). *Reef Fish Demographics on Louisiana Artificial Reefs: the Effects of Reef Size on Biomass Distribution and Foraging Dynamics*. Louisiana State University.
- Smith, J. B. (2018). *CALIFORNIA OFFSHORE OIL AND GAS DECOMMISSIONING OUTLOOK AND CHALLENGES*. Ανάκτηση από State of California - Land Commission: <https://www.slc.ca.gov/wp-content/uploads/2018/10/Offshore-California.pdf>
- Sommer, B., Fowler, A. M., Macreadie, P. I., Palandro, D. A., Aziz, A. C., & Booth, D. J. (2019, December 25). Decommissioning of offshore oil and gas structures – Environmental opportunities and challenges. *Science of The Total Environment*, 658, σσ. 973-981. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.193>
- State of California - State Lands Commission. (2018, August 17). *Oil & Gas*. Ανάκτηση Αύγουστος 20, 2020, από State of California - State Lands Commission: <https://www.slc.ca.gov/oil-gas/>
- Statista. (2018). *Number of offshore rigs worldwide as of January 2018 by region*. Ανάκτηση Ιούλιος 20, 2020, από Statista - Fossil Fuels: <https://www.statista.com/statistics/279100/number-of-offshore-rigs-worldwide-by-region/>
- TechSci Research. (2019, September 19). *Subsea Processing System Category to dominate Subsea Systems Market through 2024*. Ανάκτηση Ιούλιος 20, 2020, από TechSci Blog - Oil and Gas: <http://techsciblog.com/subsea-processing-system-category-to-dominate-subsea-systems-market-through-2024/>
- UK Oil and Gas Industry Association Limited. (2019). *Decommissioning Insight*. Ανάκτηση από UK Oil and Gas Industry Association Limited (OGUK):

<https://oilandgasuk.co.uk/wp-content/uploads/2019/11/OGUK-Decommissioning-Insight-2019.pdf>

- Vieira do Paço Hallak, T. (2017, September). *PLUGGING & ABANDONMENT TECHNIQUES FOR OFFSHORE WELLS*. Ανάκτηση από Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica - Monografias:  
<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10021802.pdf>
- Vrålstad, T., Saanen, A., Fjoera, E., Oia, T., Ytrehusa, J., & Khalifeh, M. (2019, 02). Plug & abandonment of offshore wells: Ensuring long-term well integrity and cost-efficiency. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 173, σσ. 478-491. doi:<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.10.049>
- Wanless, R., Scott, S., Sauer, W., Andrew, T., Glass, J., Godfrey, B., & al., e. (2010). Semi-submersible rigs: a vector transporting entire marine communities around the world. *Biological Invasions*, 12(8), σσ. 2573-2583. doi:10.1007/s10530-009-9666-2
- Wikipedia. (2019, December 26). *Perdido (oil platform)*. Ανάκτηση Ιούλιος 20, 2020, από Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Perdido\\_\(oil\\_platform\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Perdido_(oil_platform))
- Wikipedia. (2020, August 10). *Compliant Tower*. Ανάκτηση Αύγουστος 20, 2020, από Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Compliant\\_Tower](https://en.wikipedia.org/wiki/Compliant_Tower)
- Wikipedia. (2020, August 18). *Semi-submersible platform*. Ανάκτηση Αύγουστος 20, 2020, από Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Semi-submersible\\_platform#Applications](https://en.wikipedia.org/wiki/Semi-submersible_platform#Applications)
- Williamson, D., Harrison, H., Almany, G., Berumen, M., M, B., Bonin, M., & al., e. (2016, December). Large-scale, multidirectional larval connectivity among coral reef fish populations in the great barrier reef Marine Park. *Molecular Ecology*, 25(24), σσ. 6039-6054. doi:10.1111/mec.13908
- Withers, N. (2018, 11 26). *The 6 biggest offshore structures in the world*. Ανάκτηση Ιούλιος 20, 2020, από FirCroft Blogs: <https://www.fircroft.com/blogs/the-6-biggest-offshore-structures-in-the-world-83272314444>

- Yew, W., Ismail, S., Abd Rahman Sabri, H., & Abdul Rahim, A. (2014). Project Management of Oil and Gas Project in Malaysia. *5th Annual Conference, November*. Incheon, Korea: International Association for Asia Pacific Studies.
- ΕΔΕΥ. (2011). *Υδρογονάνθρακες στην Ελλάδα: Ο ρόλος της ΕΔΕΥ*.
- Καραμαλίκης, Α. Γ. (2017). *Υπεράκτια εξόρυξη πετρελαίου: Νομικό Πλαίσιο*. Μεταπτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμ Επιστημών της Θάλασσας, Μυτιλήνη.
- Σουρλίγκας, Σ. (2018). *Βιομηχανική ασφάλεια στις υπεράκτιες εγκαταστάσεις έρευνας και εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων*. Μεταπτυχιακή Εργασία (ΜΔΕ), Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Σταματάκη, Σ., & Αυλωνίτης, Γ. (2004). *Μηχανική Πετρελαίων (σημειώσεις μαθήματος)*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.