



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"**

*Λειτουργία Σύνθετων Υδραυλικών Έργων
Η Περίπτωση του Σχεδίου Δέλτα στην Ολλανδία*

**Ευγένιος Δ. Ρετσίνης
Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία
η οποία υποβάλλεται για μερική εκπλήρωση
των απαιτήσεων
στο Δ.Π.Μ.Σ. "Περιβάλλον και Ανάπτυξη"**

**Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη**

Τριμελής Επιτροπή:
**Ν. Μαμάσης Λέκτορας ΕΜΠ (Επιβλέπων)
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών**
**Γ. Τσακίρης Καθηγητής ΕΜΠ
Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών**
**Δ. Μαμάης Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών**

Αθήνα, Φεβρουάριος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"**

*Λειτουργία Σύνθετων Υδραυλικών Έργων
Η Περίπτωση του Σχεδίου Δέλτα στην Ολλανδία*

**Ευγένιος Δ. Ρετσίνης
Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία
η οποία υποβάλλεται για μερική εκπλήρωση
των απαιτήσεων
στο Δ.Π.Μ.Σ. "Περιβάλλον και Ανάπτυξη"**

Περιβάλλον

και

Ανάπτυξη

Τριμελής Επιτροπή:

**Ν. Μαμάσης Λέκτορας ΕΜΠ (Επιβλέπων)
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών**

**Γ. Τσακίρης Καθηγητής ΕΜΠ
Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών**

**Δ. Μαμάης Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών**

Αθήνα, Φεβρουάριος 2011

Πρόλογος

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία με τίτλο *"Λειτουργία Σύνθετων Υδραυλικών Έργων. Η Περίπτωση του Σχεδίου Δέλτα στην Ολλανδία"* πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της μερικής εκπλήρωσης των απαιτήσεων στο Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών *"Περιβάλλον και Ανάπτυξη"* του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου με συντονίζουσα σχολή τη Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών.

Την δεκαετία που διανύουμε και ήδη από την αρχή της προηγούμενης έχει γίνει αποδεκτή η διαπίστωση από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα ότι το κλίμα της Γης αλλάζει με δυσμενείς επιπτώσεις για την διαβίωση του ανθρώπου και τον πολιτισμό που δημιούργησε.

Από την κλιματική αλλαγή έχει ήδη επηρεαστεί ένα σημαντικό στοιχείο που είναι απαραίτητο για τη ζωή όπως είναι το νερό και αποτελεί το κυκλοφορούν ρευστό αφού συνδέει όλες τις διεργασίες στον πλανήτη. Ο υδρολογικός κύκλος έχει επηρεαστεί ανεπανόρθωτα, ενώ το φαινόμενο του θερμοκηπίου ως απόρροια της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής έχει πιθανών συμβάλλει στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας και στην εμφάνιση απότομων μετεωρολογικών φαινομένων όπως δυσμενών καταιγίδων και θεελλών.

Οι περιοχές του πλανήτη που βρίσκονται σε χαμηλά και περίπου ίσα υψόμετρα με την στάθμη της θάλασσας επιφάνειας αντιμετωπίζουν ή θα αντιμετωπίσουν μελλοντικά σοβαρό πρόβλημα ύπαρξης των εκτάσεων τους.

Μία χώρα με μορφολογία και τοπογραφία που παρουσιάζει ομοιότητες με τις παραπάνω περιγραφόμενες χαμηλές περιοχές είναι η Ολλανδία η οποία έχει πληγεί ανεπανόρθωτα κατά το παρελθόν από τη δράση του νερού τόσο από τη θάλασσα εξαιτίας της ύπαρξης των κυμάτων καταιγίδας όσο και από τις πλημμύρες των ποταμών που διατρέχουν την χώρα.

Στην εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια μελέτης και έρευνας των αντιπλημμυρικών έργων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεών τους, που έχουν κατασκευαστεί στο νοτιοδυτικό τμήμα της χώρας στο δέλτα που σχηματίζεται από την εκβολή των ποταμών του Ρήνου, του Μεύση και του Σελντ-που αποτελεί την περιοχή μελέτης για την συγκεκριμένη εργασία.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ν. Μαμάση Λέκτορα ΕΜΠ της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών για την πολύτιμη και συνεχή βοήθειά του για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Πινάκων.....	12
Πίνακας Εικόνων.....	13
Περίληψη.....	19
Abstract.....	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Το Κλίμα της Γης.....	23
1.1. Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή.....	23
1.2. Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.....	27
1.2.1. Τα Αέρια του Θερμοκηπίου.....	28
1.2.2. Ιστορική Εξέλιξη του Φαινομένου του Θερμοκηπίου.....	29
1.3. Ο Κίνδυνος από την Κλιματική Αλλαγή.....	29
1.4. Πιθανές Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής.....	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Αντιπλημμυρική Προστασία.....	38
2.1. Εισαγωγή.....	38
2.1.1. Επιπτώσεις Σημαντικών Πλημμυρικών Επεισοδίων.....	39
2.2. Κυματικά Φαινόμενα στο Θαλάσσιο και Παράκτιο Περιβάλλον.....	40
2.2.1. Βασική Θεωρία Κυματισμών-Παράκτιων Διεργασιών.....	42
2.2.2. Διαμόρφωση Κυματισμών στον Παράκτιο Χώρο.....	43
2.2.2.1. Επίδραση του Πυθμένα.....	43
2.2.2.2. Επίδραση Μετώπου.....	45
2.3. Η Μεταβολή των Ακτογραμμών.....	47
2.3.1. Οι Δυνάμεις Μεταβολής της Ακτογραμμής.....	47
2.3.1.1. Γενικά.....	47
2.3.1.2. Παλίρροιες.....	48
2.3.1.3. Διάβρωση.....	49
2.3.1.4. Κύματα Καταιγίδας.....	49
2.3.1.5. Παράκτιες Κατασκευές.....	50
2.3.1.6. Αμμοληψία.....	51
2.3.1.7. Τεκτονικές Μετακινήσεις.....	52

2.3.1.8. Εποχιακές Αλλαγές	53
2.3.1.9. Ιζήματα Παραλίας.....	53
2.3.1.10. Ρεύματα στη Ζώνη της Παραλίας	54
2.4. Όμβρια Ύδατα	56
2.4.1. Εισαγωγή	56
2.4.2. Περίοδος Επαναφοράς	56
2.4.3. Μέθοδοι Εκτίμησης Παροχών Ομβρίων.....	57
2.5. Μέτρα Αντιπλημμυρικής Προστασίας	58
2.5.1. Κατασκευαστικά Μέτρα.....	58
2.5.2. Μη κατασκευαστικά Μέτρα	58
2.6. Συμπεράσματα.....	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Η Περίπτωση της Ολλανδίας	60
3.1. Γενική Περιγραφή.....	60
3.1.1. Γενικά	60
3.1.2. Γεωγραφία και Κλίμα	62
3.1.3. Δημογραφία.....	64
3.1.4. Πολιτικό Σύστημα	64
3.1.5. Η Ολλανδία και το Νερό.....	64
3.2. Η Ακτογραμμή της Ολλανδίας	65
3.2.1. Γενική Περιγραφή	65
3.2.2. Γεωλογία	66
3.2.3. Μορφολογία της Ακτής	67
3.2.4. Φυσικές Διεργασίες.....	69
3.2.4.1. Πιθανά Σενάρια Ανόδου της Στάθμης της Θάλασσας	70
3.2.5. Διάβρωση.....	70
3.2.6. Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού	72
3.2.7. Σημαντικές Λειτουργίες της Παράκτιας Ζώνης	74
3.2.8. Αξιολόγηση των Κινδύνων.....	75
3.2.9. Ιστορική Εξέλιξη του Δέλτα	75
3.2.9.1. Προϊστορία της περιοχής του Δέλτα	76
3.2.9.2. Η περιοχή του Δέλτα στον Μεσαίωνα.....	77
3.2.9.3. Τεχνικά Επιτεύγματα, οι Νερόμυλοι στη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων	78

3.2.9.4. Διαχείριση Υδάτων Μετά το 1800: Πλήρης Έλεγχος Υδατικών Πόρων	80
3.2.9.5. Περίοδος μεταξύ 1953 και 1995: Το Σχέδιο Δέλτα	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Ιστορικό Πλημμυρών	84
4.1. Εισαγωγή	84
4.2. Οι Πρώτες Πλημμύρες	84
4.3. Οι Πλημμύρες της Αγίας Ελισάβετ.....	84
4.4. Η Πλημμύρα του 1530.....	85
4.5. Η Πλημμύρα των Αγίων Πάντων (1570)	86
4.6. Η Πλημμύρα των Χριστουγέννων του 1717	86
4.7. Η Πλημμύρα της Περιοχής Zuiderzee (1916)	87
4.7.1. Το Ανάχωμα Afsluitdijk και τα Έργα Αποξήρανσης στην περιοχή Zuiderzee	88
4.8. Η Πλημμύρα του 1953.....	91
4.8.1. Πριν από την Πλημμύρα του 1953	91
4.8.1.1. Κατάσταση των Αναχωμάτων	91
4.8.1.2. Τα Υψηλά Επίπεδα νερού το 1943	92
4.8.1.3. Πρόβλημα Υφάλμυρων Νερών.....	93
4.8.2. Μετεωρολογικές Συνθήκες-Επιπτώσεις της Πλημμύρας του 1953	93
4.8.2.1. Επιπτώσεις σε άλλες Χώρες	99
4.8.3. Η Ανάκαμψη της Πληγείσας Περιοχής	101
4.8.3.1. Δυσκολία Αποκατάστασης Ρηγμάτων Αναχωμάτων.....	102
4.8.3.2. Βάση για τον Νόμο στο Δέλτα	104
4.8.4. Το Μουσείο Watersnoodmuseum	104
4.9. Αξιολόγηση Γεγονότων στη Νοτιοανατολική Ασία και Συσχέτιση με Πιθανότητα Εμφάνισης παρόμοιων στην Ολλανδία	105
4.9.1. Θαλάσσιος Σεισμός στη Νοτιοανατολική Ασία	105
4.9.1.1. Προέλευση	105
4.9.1.2. Επιπτώσεις	105
4.9.1.3. Πρόληψη-Προειδοποιητικό Σύστημα	106
4.9.2. Πιθανότητα εμφάνισης Τσουνάμι στην Ολλανδία	107

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Το Σχέδιο Δέλτα	108
5.1. Εισαγωγή.....	108
5.2. Το Πολιτικό Πλαίσιο Υλοποίησης	109
5.2.1. Η Επιτροπή Δέλτα	109
5.2.2. Πρώτη και Δεύτερη Γνωμοδότηση	110
5.2.3. Τρίτη Γνωμοδότηση.....	110
5.2.4. Τελευταία Γνωμοδότηση	111
5.3. Τα Έργα στο Δέλτα	112
5.3.1. Το φράγμα στον ποταμό Hollandse IJssel.....	113
5.3.1.1. Η Ιστορία του Ποταμού Hollandse IJssel.....	115
5.3.1.2. Σκοπιμότητα του Φράγματος.....	116
5.3.1.3. Μειονεκτήματα	118
5.3.1.4. Η Κατασκευή.....	119
5.3.1.4.1. Βυθοκόρηση	119
5.3.1.4.2. Θεμελίωση.....	120
5.3.1.4.3. Κατασκευή Διωρύγων.....	121
5.3.1.4.4. Θύρες	121
5.3.1.4.5. Πύργοι	122
5.3.2. Το Σχέδιο των Τριών Νησιών	123
5.3.2.1. Εισαγωγή	123
5.3.2.2. Το Φράγμα Zandkreek-Παράμετροι Κατασκευής.....	124
5.3.2.2.1. Τιμεντένια Μπλοκ-Κατασκευή.....	126
5.3.2.2.2. Υλοποίηση Γέφυρας και Διώρυγας	127
5.3.2.3. Το Φράγμα Veerse Gat	128
5.3.2.3.1. Κατασκευή.....	130
5.3.3. Το Φράγμα Grevelingen	132
5.3.3.1. Εισαγωγή.....	132
5.3.3.2. Εναλλακτικές Θέσεις Κατασκευής	134
5.3.3.3. Τα Τρία Τμήματα του Φράγματος.....	135
5.3.3.3.1. Προστατεύοντας το Νησί Oude Tonge.....	136
5.3.3.3.2. Το Σφράγισμα του Βορείου Τμήματος.....	137
5.3.3.3.3. Το Σφράγισμα του Νοτίου Τμήματος.....	137
5.3.3.4. Η Χρήση Καλωδίου	138

5.3.3.5. Κατασκευή Διώρυγας και Γέφυρας	141
5.3.4. Το Φράγμα Volkerak	142
5.3.4.1. Εισαγωγή	142
5.3.4.2. Το Φράγμα από την περιοχή Hellegatsplein έως την περιοχή Goeree-Overflakkee	143
5.3.4.3. Το Φράγμα από την περιοχή Hellegat προς την Βόρεια περιοχή Brabant ...	145
5.3.4.3.1. Κατασκευή-Περιορισμοί	145
5.3.4.4. Η Γέφυρα από την περιοχή Hellegat έως την περιοχή Hoekse Waard	148
5.3.5. Το Φράγμα Haringvliet.....	148
5.3.5.1. Εισαγωγή	148
5.3.5.2. Οι Διώρυγες	150
5.3.5.3. Το Φράγμα.....	152
5.3.5.4. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....	152
5.3.6. Το Φράγμα Brouwers	152
5.3.6.1. Εισαγωγή	152
5.3.6.2. Θέση Κατασκευής Φράγματος.....	154
5.3.6.3. Χρήση Συρματόσχοινου	155
5.3.6.4. Τα Τσιμεντένια Μπλοκ.....	157
5.3.6.5. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....	159
5.3.7. Το Φράγμα Καταιγίδας Oosterschelde	162
5.3.7.1. Εισαγωγή	162
5.3.7.2. Μόνιμο ή Κινητό Φράγμα	164
5.3.7.3. Κατασκευή	165
5.3.7.3.1. Ενίσχυση Πυθμένα	166
5.3.7.3.2. Κατασκευή Προβλητών και Θυρών	167
5.3.7.4. Μέσα Κατασκευής.....	171
5.3.7.5. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....	176
5.3.8. Το Φράγμα Hartel.....	178
5.3.8.1. Περιγραφή-Λειτουργία Φράγματος	178
5.3.9. Το Φράγμα Maeslant.....	180
5.3.9.1. Εισαγωγή	180
5.3.9.2. Λειτουργία Φράγματος	181
5.3.9.3. Σκοπιμότητα Φράγματος	182
5.3.9.4. Τμήματα του Έργου	183

5.3.9.4.1. Αρθρώσεις Θυρών.....	183
5.3.9.4.2. Κατώτατη Στρώση Θεμελίωσης	184
5.3.9.4.3. Έλεγχος Λειτουργίας Έργου	185
5.3.10. Βοηθητικά Φράγματα.....	186
5.3.10.1. Εισαγωγή.....	186
5.3.10.2. Η Προκουμαία Marquisate.....	186
5.3.10.3. Το Φράγμα Oyster (Oesterdam).....	189
5.3.10.4. Το Φράγμα Philips	190
5.3.10.4.1. Οι Διώρυγες Krammer (Krammersluizen)	193
5.3.10.4.2. Η Συμβολή των ποταμών Σελντ-Ρήνου.....	194
5.3.10.4.3. Διαχωρισμός Αλμυρού και Γλυκού Νερού	194
5.3.10.5. Το Κανάλι και η Διώρυγα στην περιοχή Bath.....	195
5.3.11. Δευτερεύοντα Έργα	196
5.3.11.1. Εισαγωγή.....	196
5.3.11.2. Η Γέφυρα Zeeland.....	196
5.3.11.3. Η Σήραγγα Westerschelde	198
5.3.11.4. Η Λίμνη Lauwers (Lauwersmeer)	200
5.3.11.4.1. Κατασκευή Φράγματος	200
5.3.11.4.2. Δημιουργία Εθνικού Πάρκου.....	201

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. Διαχείριση Υδατικών Πόρων.....	203
6.1. Εισαγωγή.....	203
6.2. Βασικές Αρχές Αντιπλημμυρικής Προστασίας	203
6.3. Πρότυπα Ασφαλείας	205
6.4. Υδατικά Διαμερίσματα Ολλανδίας	207
6.4.1. Ο Κεντρικός Οργανισμός Rijkswaterstaat	207
6.5. Σύστημα Διαχείρισης Υδάτων.....	208
6.5.1. Εισαγωγή	208
6.5.2. Διαχείριση των Γλυκών Υδάτων στο Κύριο Εθνικό Σύστημα Διαχείρισης.....	210
6.5.2.1. Λειτουργία Περιοχών σε Υψηλά Υψόμετρα.....	211
6.5.2.2. Λειτουργία Ποταμών.....	212
6.5.2.3. Λειτουργία Αποξηραμένων Περιοχών.....	213
6.5.2.4. Καίρια Σημεία Συστήματος Διαχείρισης Υδατικών Πόρων.....	213

6.5.2.5. Λειτουργία Μεύση	214
6.5.2.5.1. Λειτουργία των καναλιών στις επαρχίες Λίμπουργχ (Midden-Limburg) και στην βόρεια περιοχή της Βραβάντης (Brabant).....	215
6.5.2.6. Λειτουργία του Ρήνου και των παραπόταμών του	216
6.5.2.6.1. Λειτουργία των καναλιών Άμστερνταμ-Rijnkanaal και Noordzeekanaal	216
6.5.2.7. Συνεισφορά-Λειτουργία της περιοχής IJsselmeer.....	218
6.5.2.8. Λειτουργία του Νοτιοδυτικού Δέλτα	219
6.5.3. Διαχείριση Περιφερειακού Συστήματος	222

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. Περιβαλλοντική Συνιστώσα.....	224
7.1. Εισαγωγή.....	224
7.2. Το Δέλτα Πριν το Κλείσιμο	224
7.3. Το Δέλτα Μετά το Κλείσιμο.....	227
7.3.1. Δίαιτα Υδάτων στο Δέλτα.....	227
7.3.2. Μορφολογία Περιοχής	227
7.4. Χωρική Μεταβολή Ποιότητας Νερού.....	229
7.5. Χρονική Μεταβολή Ποιότητας Νερού.....	229
7.6. Ποιότητα Ιζημάτων	230
7.7. Οικολογικές Επιπτώσεις της Παρούσας Διαχείρισης των Θυροφραγμάτων.....	232
7.7.1. Διατάραξη Ισορροπίας Λάσπης (Ιλύς)	232
7.7.2. Συσσώρευση των Ρυπασμένων Ιζημάτων	232
7.7.3. Εξαφάνιση των Παλιρροϊκών Περιοχών.....	232
7.7.4. Αυξανόμενος Σχηματισμός Εδαφών Εξωτερικά του Δέλτα.....	233
7.7.5. Εξαφάνιση Χώρου Λειτουργιών για τα Ψάρια	233
7.7.6. Διατάραξη της Μετανάστευσης Ψαριών	233
7.7.7. Μειωμένη Μίξη του Θαλασσινού Νερού και των Ποταμών	233
7.8. Βήματα Προς την Αποκατάσταση των Εκβολών	234
7.8.1. Πρόσφατες Εξελίξεις Πολιτικής και Διαχείρισης	234
7.8.2. Εναλλακτικές Προτάσεις Διαχείρισης	235
7.8.3. Σημασία της Αποκατάστασης της Εκβολής.....	239
7.8.4. Η Λύση της Αποκατάστασης.....	240

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8. Μελλοντική Εξέλιξη.....	241
8.1. Φυσικές και Κοινωνικές Μεταβολές.....	241
8.2. Πιθανές Συνέπειες της Κλιματικής Αλλαγής στη Διαχείριση Υδάτων.....	242
8.2.1. Πιθανές Συνέπειες στις Απορροές των Ποταμών.....	242
8.2.2. Πιθανές Συνέπειες στο Έλλειμμα Υγρασίας και στην Ξηρασία.....	243
8.2.3. Πιθανές Συνέπειες στην Υφαλμύρωση Υδάτων.....	243
8.2.4. Πλημμύρες.....	244
8.2.5. Ασφάλεια.....	244
Συμπεράσματα-Μελλοντική επέκταση των έργων.....	245
Βιβλιογραφία-Πηγές.....	247

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1. Φυσικά αίτια μεταβολής ακτογραμμής.....	48
Πίνακας 2. Ανθρωπογενή αίτια μεταβολής ακτογραμμής.....	49
Πίνακας 3. Ταχύτητες ρευμάτων, χρόνος παραμονής και ποσοστό χρόνου υπέρβασης της παροχής του Ρήνου σε διάφορες θέσεις του Δέλτα ως συνάρτηση της απορροής του Ρήνου.	228
Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά των τριών εναλλακτικών σχεδίων διαχείρισης.....	237

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1. Η άνοδος της θερμοκρασίας από το 1880 έως το 2000.....	24
Εικόνα 2. Οι τάσεις αύξησης ανά δεκαετία της θερμοκρασίας σε όλο τον κόσμο, με βάση τα δεδομένα της εικοσιπενταετίας 1976-2000.	24
Εικόνα 3. Πάνω: Η παγκόσμια αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας. Κάτω: Η εξέλιξη της επιφανειακής θερμοκρασίας την τελευταία χιλιετία.	25
Εικόνα 4. Η εξέλιξη της θερμοκρασίας από το 1000 έως το 2000 και η πρόβλεψη της εξέλιξης της έως το 2100.....	26
Εικόνα 5. Διάγραμμα συγκεντρώσεων CO ₂ (α) και CH ₄ (β) σε p.p.m.v. από το 1600 μέχρι το 1995.	27
Εικόνα 6. Κατάταξη κυματισμών.	41
Εικόνα 7. Τυπική διατομή κύματος.	43
Εικόνα 8. Διάφορες μορφές θραύσης κυματισμών.....	44
Εικόνα 9. Διάθλαση κυματισμών.....	45
Εικόνα 10. Περίθλαση κυματισμών και συμβολισμοί.....	46
Εικόνα 11. Περίθλαση κυματισμών.....	46
Εικόνα 12. Η επίδραση των βραχιόνων στις αμμώδεις ακτές. (Ocean City, New Jersey).....	50
Εικόνα 13. Η επίδραση των μύλων στη μορφή των αμμωδών ακτών.	50
Εικόνα 14. Ανύψωση τμήματος του στερεού φλοιού της γης στη Βόρεια Καλιφόρνια.....	52
Εικόνα 15. Σχηματική αναπαράσταση της αλλαγής της διατομής της ακτής μεταξύ θερινής και χειμερινής περιόδου.	53
Εικόνα 16. Το ρεύμα κατά μήκος της ακτής και το ρεύμα έκχυσης όπως φαίνεται σε δορυφορική εικόνα.	55
Εικόνα 17. Τα ρεύματα διαφυγής.....	55
Εικόνα 18. Χάρτης της Ολλανδίας.	60
Εικόνα 19. Διοικητική διάρθρωση χώρας σε επαρχίες.	61
Εικόνα 20. Αριστερά: ποταμός Ρήνος. Δεξιά: ποταμοί Μεύσης και Σελντ.....	61
Εικόνα 21. Μηνιαία κατανομή βροχόπτωσης σε mm.	62
Εικόνα 22. Μηνιαία κατανομή μέγιστης, ελάχιστης θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ηλιοφάνειας.	63
Εικόνα 23. Γεωλογικός χάρτης Ολλανδίας.....	63
Εικόνα 24. Μορφολογία της ακτογραμμής της Ολλανδίας (Δορυφορική Εικόνα).....	66
Εικόνα 25. Γεωλογική δομή της Ολλανδικής ακτογραμμής.	67
Εικόνα 26. Βαθυμετρία της Βόρειας Θάλασσας.....	68
Εικόνα 27. Τυπική εγκάρσια τομή της Ολλανδικής ακτογραμμής.	68

Εικόνα 28. Στερεομεταφορά στην Ολλανδική ακτογραμμή.....	69
Εικόνα 29. Ετήσια μεταβολή όγκου άμμου της Ολλανδικής ακτογραμμής.....	73
Εικόνα 30. Όγκος εμπλουτισμού άμμου κατά μήκος της Ολλανδικής Ακτής κατά τα έτη 1991-1996.....	73
Εικόνα 31. Πυκνότητα πληθυσμού Ολλανδικής ακτογραμμής.....	74
Εικόνα 32. Τα έργα στην περιοχή Zuider Zee.....	88
Εικόνα 33. Τοποθέτηση άμμου.....	89
Εικόνα 34. Το ανάχωμα Afsluitdijk.....	90
Εικόνα 35. Περιοχές υπό την θαλάσσια επιφάνεια πριν την πλημμύρα.....	92
Εικόνα 36. Χάρτης τιμών συγκέντρωσης αλατότητας υδάτων.....	94
Εικόνα 37. Ύψη κυμάτων της πλημμύρας του 1953.....	95
Εικόνα 38. Υποσκαφή αναχώματος.....	95
Εικόνα 39. Καταστροφή αναχώματος στην περιοχή Schelphoek.....	96
Εικόνα 40. Εισροή θάλασσας σε ανάχωμα.....	97
Εικόνα 41. Χάρτης πλημμυρισμένων περιοχών.....	98
Εικόνα 42. Το πλοίο de Twee Gebroeders.....	98
Εικόνα 43. Απομεινάρια κατοικίας.....	99
Εικόνα 44. Παροχή βοήθειας.....	100
Εικόνα 45. Φράξιμο με αμμόσακους.....	101
Εικόνα 46. Επιδιόρθωση αναχωμάτων.....	102
Εικόνα 47. Κλείσιμο κενών.....	102
Εικόνα 48. Καταστροφή αναχώματος.....	103
Εικόνα 49. Προστασία με τοποθέτηση αμμόσακων.....	103
Εικόνα 50. Το μουσείο Watersnoodmuseum.....	104
Εικόνα 51. Γενική διάταξη έργων.....	108
Εικόνα 52. Ίδρυση της Επιτροπής Δέλτα.....	109
Εικόνα 53. Θέση έργων.....	113
Εικόνα 54. Το φράγμα στον ποταμό Hollandse IJssel.....	114
Εικόνα 55. Σχετική θέση φράγματος στον ποταμό Hollandse IJssel.....	114
Εικόνα 56. Διαφορετική όψη του φράγματος.....	115
Εικόνα 57. Η Ολλανδία χωρίς αναχώματα.....	117
Εικόνα 58. Διώρυγα στον ποταμό Hollandse IJssel.....	118
Εικόνα 59. Η γέφυρα στον ποταμό Hollandse IJssel.....	118
Εικόνα 60. Λεπτομερής θέση του φράγματος.....	120

Εικόνα 61. Κατασκευή τμήματος φράγματος.	120
Εικόνα 62. Κατασκευή διώρυγας.	121
Εικόνα 63. Μεταφορά θυρών.	122
Εικόνα 64. Κατασκευή πύργων.	123
Εικόνα 65. Το φράγμα Zandkreek.	125
Εικόνα 66. Σχετική θέση του φράγματος Zandkreek.	125
Εικόνα 67. Κατασκευή τσιμεντένιων μπλοκ.	126
Εικόνα 68. Τοποθέτηση μπλοκ.	127
Εικόνα 69. Γέφυρα και διώρυγα φράγματος.	128
Εικόνα 70. Το φράγμα στην περιοχή Veerse.	129
Εικόνα 71. Σχετική θέση του φράγματος Veerse Gat.	129
Εικόνα 72. Μεταφορά τσιμεντένιων μπλοκ.	130
Εικόνα 73. Τσιμεντένια μπλοκ.	131
Εικόνα 74. Τοποθέτηση μπλοκ.	131
Εικόνα 75. Σφράγισμα της περιοχής Veerse.	132
Εικόνα 76. Το φράγμα Grevelingen.	133
Εικόνα 77. Σχετική θέση φράγματος Grevelingen.	133
Εικόνα 78. Μηκοτομή συρματοσχοίνου κατασκευής.	134
Εικόνα 79. Λεπτομερής θέση φράγματος.	135
Εικόνα 80. Μηκοτομή εδάφους και προσχώσεων στην περιοχή του φράγματος.	135
Εικόνα 81. Εγκάρσιες τομές περιοχής κατασκευής φράγματος.	136
Εικόνα 82. Σφράγισμα με τσιμεντένια στοιχεία.	136
Εικόνα 83. Πλήρωση κενών με άμμο.	137
Εικόνα 84. Απόρριψη πετρών στη θάλασσα.	138
Εικόνα 85. Εγκατάσταση μεταφοράς υλικών κατασκευής.	138
Εικόνα 86. Μεταφορά υλικών κατασκευής.	139
Εικόνα 87. Απόρριψη υλικών.	140
Εικόνα 88. Θυρόφραγμα στο φράγμα Grevelingen.	141
Εικόνα 89. Το φράγμα Volkerak.	143
Εικόνα 90. Σχετική θέση φράγματος Volkerak.	143
Εικόνα 91. Τα θυροφράγματα στο φράγμα Volkerak.	144
Εικόνα 92. Απόρριψη ογκόλιθων.	144
Εικόνα 93. Σχηματιζόμενα ρεύματα.	146
Εικόνα 94. Τοποθέτηση πρώτου τσιμεντένιου μπλοκ.	147

Εικόνα 95. Το φράγμα Haringvliet.	149
Εικόνα 96. Σχετική θέση φράγματος Haringvliet.	149
Εικόνα 97. Τα θυροφράγματα στο φράγμα Haringvliet.	150
Εικόνα 98. Χώρος εκσκαφών του φράγματος με το βοηθητικό ανάχωμα.	150
Εικόνα 99. Τοποθέτηση θυροφράγματος.	151
Εικόνα 100. Χώρος εκσκαφών του φράγματος μετά την απομάκρυνση του βοηθητικού αναχώματος.	151
Εικόνα 101. Το φράγμα Brouwers.	153
Εικόνα 102. Σχετική θέση του φράγματος Brouwers.	153
Εικόνα 103. Λεπτομερής θέση φράγματος.	154
Εικόνα 104. Μεταφορά τσιμεντένιων μπλοκ.	155
Εικόνα 105. Απόρριψη τσιμεντένιων μπλοκ στην θάλασσα.	156
Εικόνα 106. Σύστημα μεταφοράς τσιμεντένιων μπλοκ.	156
Εικόνα 107. Κατασκευή τσιμεντένιων μπλοκ.	157
Εικόνα 108. Μετακίνηση τσιμεντένιου στοιχείου.	158
Εικόνα 109. Τοποθέτηση τσιμεντένιου στοιχείου.	158
Εικόνα 110. Αφαίρεση στοιχείων που βοήθησαν στην κίνηση των τσιμεντένιων μπλοκ.	159
Εικόνα 111. Περιβαλλοντικά προβλήματα στο φράγμα.	160
Εικόνα 112. Θυρόφραγμα στο φράγμα Brouwers.	162
Εικόνα 113. Το φράγμα καταιγίδας Oosterschelde.	163
Εικόνα 114. Εκροή νερού στο φράγμα Oosterschelde.	163
Εικόνα 115. Κύματα καταιγίδας στο φράγμα Oosterschelde.	164
Εικόνα 116. Σχετική θέση του φράγματος Oosterschelde.	164
Εικόνα 117. Ερευνητικό πλοίο διεξαγωγής γεωτεχνικών ερευνών.	166
Εικόνα 118. Γεωτρύπανο δόνησης.	167
Εικόνα 119. Θέση κατασκευής προβλητών.	168
Εικόνα 120. Οι προβλήτες του φράγματος Oosterschelde.	169
Εικόνα 121. Τοποθέτηση προβλητών.	170
Εικόνα 122. Κατασκευή φράγματος.	171
Εικόνα 123. Καθέλκυση πλοίου κατασκευής του φράγματος Oosterschelde.	171
Εικόνα 124. Το πλοίο Mytilus.	172
Εικόνα 125. Το πλοίο Cardium.	173
Εικόνα 126. Το πλοίο Ostrea.	174
Εικόνα 127. Το πλοίο Macoma.	175

Εικόνα 128. Το πλοίο Jan Heymans.....	176
Εικόνα 129. Ηλιοβασίλεμα στο φράγμα Oosterschelde.....	176
Εικόνα 130. Το φράγμα Hartel.....	178
Εικόνα 131. Λεπτομερής θέση φράγματος Hartel.	179
Εικόνα 132. Το φράγμα Hartel (κλειστό).	180
Εικόνα 133. Το φράγμα Maeslant.....	181
Εικόνα 134. Σχετική θέση φράγματος Maeslant.	181
Εικόνα 135. Το φράγμα Maeslant (κλειστό).	183
Εικόνα 136. Γέφυρα στο λιμάνι του Ρότερνταμ στη Νέα Πλωτή Οδό.....	183
Εικόνα 137. Αρθρωτοί μηχανισμοί θυρών.	184
Εικόνα 138. Θεμελίωση αρθρωτών μηχανισμών θυρών.	184
Εικόνα 139. Κέντρο λειτουργίας.....	185
Εικόνα 140. Βυθιζόμενες θύρες.	185
Εικόνα 141. Η Προκουαία Marquisate.	187
Εικόνα 142. Τα θυροφράγματα Kreekrak.....	188
Εικόνα 143. Τα θυροφράγματα Kreekrak.....	188
Εικόνα 144. Το φράγμα Oyster (Oesterdam).	189
Εικόνα 145. Η λίμνη Tholense.	190
Εικόνα 146. Το φράγμα Philips.....	191
Εικόνα 147. Εργασίες κατασκευής φράγματος Philips.	192
Εικόνα 148. Τεχνητό νησί εργασιών κατασκευής φράγματος.....	193
Εικόνα 149. Οι διώρυγες Krammer (Krammersluizen).	194
Εικόνα 150. Το κανάλι αποστράγγισης στην περιοχή Bath.....	195
Εικόνα 151. Κανάλι και θυρόφραγμα στην περιοχή Bath.....	196
Εικόνα 152. Η γέφυρα Zeeland.....	197
Εικόνα 153. Κατασκευή της γέφυρας Zeeland.	198
Εικόνα 154. Η σήραγγα Westerschelde.....	199
Εικόνα 155. Η λίμνη Lauwers (Lauwersmeer).....	200
Εικόνα 156. Θέση της λίμνης Lauwers (Lauwersmeer).	201
Εικόνα 157. Χάρτης πιθανοτήτων αστοχίας έργων Ολλανδίας.	206
Εικόνα 158. Υδατικά διαμερίσματα Ολλανδίας.....	208
Εικόνα 159. Χάρτης Ολλανδίας με τους κυριότερους ποταμούς.....	209
Εικόνα 160. Συνολική απεικόνιση καίριων σημείων εθνικού συστήματος διαχείρισης υδάτων.	211

Εικόνα 161. Ροή επιφανειακών και υπογείων υδάτων.	212
Εικόνα 162. Λειτουργία ποταμού.	212
Εικόνα 163. Λειτουργία αποξηραμένης περιοχής και ανάκτησης γης.	213
Εικόνα 164. Αλληλεπίδραση μεταξύ των συνιστωσών του συστήματος διαχείρισης υδάτων.	214
Εικόνα 165. Απεικόνιση συστήματος Μεύση και των καναλιών στις επαρχίες Λίμπουργκ και της βόρειας περιοχής της Βραβάντης.	215
Εικόνα 166. Λεκάνη αποροής των καναλιών Άμστερνταμ-Rijnkanaal και Noordzeekanaal.	217
Εικόνα 167. Συνολική απεικόνιση συστήματος διαχείρισης υδάτων Ολλανδίας.	223
Εικόνα 168. Γενική άποψη του Δέλτα των ποταμών Ρήνου-Μεύση και η θέση των τεσσάρων δειγματοληπτικών σταθμών μέτρησης W1, W2, W3, W4.	226
Εικόνα 169. Προφίλ πυθμένα στην περιοχή του Δέλτα μεταξύ του 1970 και του 1987 και μια πρόβλεψη για το έτος 2125.	228
Εικόνα 170. Μέσες ετήσιες τιμές περιβαλλοντικών παραμέτρων κατά τα έτη 1970-1993 στις τέσσερις δειγματοληπτικές θέσεις μέτρησης.	231
Εικόνα 171. Ποσοτική και ποιοτική κατάταξη ιζημάτων σε τέσσερις περιοχές κατά τα έτη 1970-1989.	231
Εικόνα 172. Ετήσια μεταβολή της αλατότητας και του διαλυμένου ανόργανου αζώτου στη Βόρεια Θάλασσα κατά τους μήνες Ιανουάριο-Μάρτιο την περίοδο 1961-1992.	234
Εικόνα 173. Γραφική απεικόνιση εξέλιξης οικοσυστήματος το 1970 έως την μελλοντική αποκατάστασή του.	240
Εικόνα 174. Τα τέσσερα κλιματικά σενάρια.	241
Εικόνα 175. Χάρτης πρόβλεψης ανύψωσης ή καθίζησης εδάφους μέχρι το έτος 2050.	243

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία με τίτλο "Λειτουργία Σύνθετων Υδραυλικών Έργων. Η Περίπτωση του Σχεδίου Δέλτα στην Ολλανδία" πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της μερικής εκπλήρωσης των απαιτήσεων στο Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "Περιβάλλον και Ανάπτυξη" του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου με συντονίζουσα σχολή τη Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών.

Είναι αποδεκτό πλέον από σύσσωμη την παγκόσμια κοινότητα ότι η κλιματική αλλαγή είναι γεγονός, με το φαινόμενο του θερμοκηπίου να αποτελεί τον πλέον σοβαρό κίνδυνο για τον πλανήτη. Ισχυρά και βίαια μετεωρολογικά φαινόμενα πλήττουν αρκετές περιοχές της Γης με αποτέλεσμα να υπάρχει απώλεια ανθρώπινων ζώων και οικονομική καταστροφή για τις πληγείσες περιοχές.

Οι παράκτιες περιοχές δοκιμάζονται από τις καταστροφικές δυνάμεις της φύσης δίχως να αποκλείονται άλλες εκτάσεις της Γης, καθώς η πιθανή συνδυασμένη άνοδος της στάθμης της θάλασσας και η ύπαρξη ακραίων μετεωρολογικών φαινομένων οφειλόμενα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου θα πλήξουν πιθανόν ιδιαίτερα εκείνες τις εκτάσεις γης στις οποίες το ανάγλυφο και η τοπογραφία τους διευκολύνουν να συμβούν ανεπανόρθωτες πλημμύρες.

Η Ολλανδία και συγκεκριμένα το νοτιοδυτικό δέλτα που σχηματίζεται από τους ποταμούς Ρήνο, Μεύση και Σελντ-που αποτελεί την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας-παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα η πλειοψηφία των εκτάσεών της να βρίσκεται κάτω από την στάθμη της θάλασσας. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τον κίνδυνο εισροής της θάλασσας στις παράκτιες περιοχές και τις υπερχειλίσεις των παραπάνω ποταμών οδηγεί σε ένα άκρως επικίνδυνο μείγμα φαινομένων που μπορούν να συμβούν στην περιοχή. Κατά το παρελθόν η Ολλανδία έχει δοκιμαστεί από μεγάλες πλημμύρες που προέρχονταν είτε από την θάλασσα ή από την υπερχειλίση ποταμών εξαιτίας έντονων βροχοπτώσεων με αποκορύφωμα την πλημμύρα του 1953 στην οποία χάθηκαν περίπου 2.000 ανθρώπινες ζωές.

Από εκείνη τη χρονική στιγμή αποφασίστηκε να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί ένα από τα πιο πολύπλοκα και σύνθετα παγκοσμίως υδραυλικά έργα αντιπλημμυρικής προστασίας της περιοχής του νοτιοδυτικού δέλτα. Το συνολικό σχέδιο περιελάμβανε την κατασκευή δεκατριών φραγμάτων μόνιμης ή κινητής λειτουργίας για την αποτροπή των κυμάτων καταιγίδας σε περίπτωση ύπαρξης θυελλών καθώς και την υλοποίηση ενός συστήματος διαχείρισης των υδάτων της Ολλανδίας. Η παρούσα εργασία μελετάει διεξοδικά αυτά τα έργα παρουσιάζοντας τον τρόπο κατασκευής τους και δίνοντας στοιχεία για την λειτουργία τους.

Στα δύο αρχικά **Κεφάλαια 1 και 2** παρουσιάζονται βασικά στοιχεία για την παγκόσμια κλιματική αλλαγή, το φαινόμενο του θερμοκηπίου που αποτελεί σημαντική αιτία της μεταβολής του κλίματος, τις επιπτώσεις αυτού καθώς και στοιχεία για την αντιπλημμυρική προστασία μίας περιοχής από την θάλασσα αναλύοντας την θεωρία γένεσης και την γραμμική θεωρία των κυματισμών και τις κυριότερες επιδράσεις που συνδέονται με τα κύματα και την μεταβολή της ακτογραμμής. Επιπλέον δίνονται θεωρητικά στοιχεία για τα όμβρια ύδατα και το πως ποσοτικοποιούνται για τον σχεδιασμό των αντιπλημμυρικών έργων.

Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται αρχικά μία περιγραφή της χώρας και στη συνέχεια αναλύεται η ακτογραμμή της Ολλανδίας τόσο από γεωλογική άποψη όσο και από πληθυσμιακή κατανομή των κατοίκων που ζουν σε αυτήν αφού αποτελεί την περιοχή αλληλεπίδρασης στεριάς και θάλασσας. Επιπλέον αναλύονται τα έντονα παράκτια φαινόμενα μεταφοράς ιζημάτων που

ευθύνονται κατά κύριο λόγο για την μορφοποίηση της ακτογραμμής για χιλιάδες χρόνια.

Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται αναφορά των κυριότερων πλημμυρών που έχουν συμβεί στο παρελθόν, ενώ ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην πλημμύρα του 1953 παρουσιάζοντας το μετεωρολογικό καθεστώς εκείνης της ημέρας που συνετέλεσε στην απώλεια ανθρώπινων ζωών.

Στο **Κεφάλαιο 5** γίνεται αναλυτική περιγραφή όλων των έργων στο δέλτα μέχρι σήμερα, του τρόπου κατασκευής τους, λειτουργικά στοιχεία και θέματα που άπτονται περιβαλλοντικών ζητημάτων.

Στο **Κεφάλαιο 6** επιχειρείται μία προσπάθεια να παρουσιαστεί η λειτουργία των έργων στο δέλτα και πως αυτά αλληλεπιδρούν με το υπόλοιπο σύστημα διαχείρισης υδατικών πόρων και όπως προέκυψε από την εκπόνηση της εργασίας αυτά αποτελούν μία από τις συνιστώσες του εθνικού συστήματος διαχείρισης των υδάτων της Ολλανδίας.

Στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζονται περιβαλλοντικά ζητήματα που άπτονται της κατασκευής και λειτουργίας των φραγμάτων Haringvliet και Volkerak καθώς αυτά αποτελούν κομβικό σημείο για τη διαχείριση των υδάτων στο δέλτα και πως επηρέασαν σημαντικές περιβαλλοντικές παραμέτρους μετά την υλοποίησή τους.

Τέλος στο **Κεφάλαιο 8** αναφέρονται οι κυριότερες φυσικές, κοινωνικές και οικονομικές μεταβολές εξαιτίας της πιθανής κλιματικής αλλαγής και πως μπορεί πιθανών να επηρεάσει την διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ολλανδία μελλοντικά.

Τα σενάρια μελλοντικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας καθιστούν τα υδραυλικά έργα στην Ολλανδία απαραίτητα για την διατήρηση της ζωής, χωρίς όμως να αποκλείονται στο μέλλον και άλλες περιοχές του πλανήτη να παρουσιάσουν παρόμοια προβλήματα αφού το 70% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε παράκτιες περιοχές. Επομένως η εμπειρία που αποκτήθηκε από την υλοποίηση ενός τόσο εκτεταμένου έργου αποτελεί θεμέλιο γνώσεων και πολύτιμη εμπειρία του τρόπου που μπορούν να αντιμετωπιστούν παρόμοιες καταστάσεις.

Δεδομένου του αριθμού και της πολυπλοκότητας των τεχνικών έργων που εξετάζονται στην παρούσα εργασία κρίθηκε αναγκαίο να γίνει αναλυτική αναφορά με αποτέλεσμα η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία να έχει μεγάλη έκταση.

Abstract

The present postgraduate diplomatic work titled "*Operation of Complex Hydraulic Works. The Case of Delta Project in Netherlands*" was conducted in the frame of partial fulfillment of the requirements in the Interdisciplinary-Interdepartmental Program of Postgraduate Studies "*Environment and Development*" of the National Technical University of Athens with coordinating school the School Of Rural And Surveying Engineering.

It is widely acceptable from the world scientific community that the climatic change is a fact, with the greenhouse effect to constitute the most serious danger for the Earth. Powerful and violent meteorological events affect enough regions of the planet resulting in loss of human lives and economic damages for the affected regions.

Coastal regions are tried by the devastating forces of nature without to be excluded other areas of Earth owing to the possible combining act of rising of sea level and the existence of violent meteorological events due to the phenomenon of greenhouse which will possibly affect particularly those areas that the elevations of the earth's surface and topography make easier to happen irreparable floods.

Netherlands and more specifically the south-western delta that is formed by the rivers Rhine, Meuse and Scheldt-that constitutes also the region of study of present work-present the particular element that the majority of Netherland's area is laid under the sea level. This leads in combination with the danger of storm surges and overflows of above rivers to an extremely dangerous mixture that can happen in the region. At the past Netherlands has experienced disastrous floods that originated either from the sea or from the overflow of rivers due to intense rainfalls with climax the flood in 1953 in which they were lost 2,000 human lives approximately.

By that moment it was decided to design and materialise one of the most complicated and complex worldwide of flood-preventing protection hydraulic works in the region of south-western delta. The total project included the manufacture of thirteen dams of permanent or mobile operation preventing the storm surges as well as the completion of a water resources management system in Netherlands. The present work studies at great length these works presenting the method of manufacture and giving some elements of their operation.

In the two initial **Chapters 1** and **2** they are presented basic elements for the world climatic change, the greenhouse effect that constitutes serious reason of climate change and its repercussions as well as the theory on the flood-preventing protection from the storm surges analyzing the mechanism of producing waves, the linear theory of undulations and the main influences that are connected with the waves and the shoreline change. Moreover theoretical elements are given for rainfalls and how these are quantified in order to design flood-preventing works.

In the **Chapter 3** initially a rough description of country is mentioned and afterwards it is analyzed the coastline of Netherlands in the view of geological structure and the demographic distribution of residents that exist there since it constitutes the interaction area between land and sea. Moreover the intensely coastal transportation of sediments is analyzed which is mainly responsible for the formation of coasts in thousands years.

In the **Chapter 4** the main floods are mentioned that happened in the past, while particular attention is given in the flood in 1953 presenting the meteorological circumstances that day which contributed to the loss of human lives.

In the **Chapter 5** it is concluded a detailed description of all works in the delta region until present referring to the method of manufacture, functional elements and subjects that are related to environmental issues.

In the **Chapter 6** an effort is attempted to be presented the operation of works in the delta region and how these cooperate with the rest water resources management system and as finally concluded during the development of this dissertation the works in the delta region constitute only one of the components of the national water resources management system in Netherlands.

In the **Chapter 7** environmental matters are presented that are related to the manufacture and operation of the Haringvliet and Volkerak dams as these are main points for the water management in the delta region and the way the enclosure of the delta region by these dams influenced important environmental parameters after their completion.

Finally in the **Chapter 8** the main natural, social and economic changes are mentioned due to the possible climatic change as well as how this will potentially influence the management of water resources in Netherlands in future.

The future scenarios of rise of the sea level make the hydraulic works in Netherlands essential for the maintenance of life, without however to be excluded other regions of planet in future that they present similar problems since the 70% of world population live in coastal regions. Consequently the experience that was acquired by the construction of so extensive works is the foundation of knowledge and valuable experience of the way that can be dealt with similar situations.

Due to the quantity and the complexity of the works that are examined in the present study it was considered the necessity to be conducted a detailed examination of these structures resulting in the great amount of the dissertation.

1. Το Κλίμα της Γης

1.1. Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή

Το κλίμα είναι το σύνολο των μέσων τιμών των διαφόρων στοιχείων που ορίζουν τον καιρό, όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, οι βροχές, οι άνεμοι, το χιόνι καθώς και βίαια φαινόμενα όπως οι καταιγίδες και οι τυφώνες. Όλα αυτά είναι εκδηλώσεις των κινήσεων και μεταβολών της κατώτερης ατμόσφαιρας (τροπόςφαιρα) που αλληλεπιδρούν με τις διάφορες φυσικοχημικές διεργασίες, τη δράση των ζωντανών οργανισμών και έκτακτα περιστατικά όπως οι εκρήξεις των ηφαιστίων. Κινητήρια δύναμη όλου αυτού του συστήματος είναι η ηλιακή ενέργεια που παγιδεύεται στην ατμόσφαιρα. Επομένως, η ισχυροποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, που σημαίνει περισσότερη ενέργεια στην ατμόσφαιρα, δεν συνεπάγεται μόνο άνοδο της θερμοκρασίας αλλά και ευρύτερη διατάραξη του κλίματος του πλανήτη.

Βασικός λόγος που το κλίμα της Γης δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές είναι η μακρόχρονη σταθερότητα της ατμόσφαιρας. Διαφορετική σύνθεσή της σημαίνει πιθανώς πολύ διαφορετικό μέσο κλίμα. Βεβαίως το κλίμα παρουσιάζει μεγάλες διαφορές ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και τις τοπικές συνθήκες αλλά υφίσταται και μικρές αλλαγές σε σχέση με τον χρόνο. Έτσι το κλίμα διαφόρων περιοχών έχει υποστεί αρκετές αλλαγές στη διάρκεια της ιστορικής περιόδου. Ανέκαθεν ο άνθρωπος προσαρμοζόταν στο κλίμα της περιοχής του ενώ κατόρθωνε μερικές φορές να το αλλάζει σε τοπικό επίπεδο.

Τα τελευταία 420.000 χρόνια στην Γη υπήρξαν τέσσερις κλιματικές περιόδους. Η τελευταία παγετώδης περίοδος ξεκίνησε πριν από 120.000 χρόνια περίπου και τελείωσε πριν από 16.000 χρόνια περίπου ακολουθούμενη από μία θερμή περίοδο μέχρι σήμερα. Η ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των αερίων του θερμοκηπίου με φυσική προέλευση (διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και μεθάνιο (CH₄)) και του κλίματος έχει επιβεβαιωθεί και στις τέσσερις προαναφερόμενες κλιματικές περιόδους.

Ο κάθε κύκλος διαρκεί περίπου 125.000 χρόνια, από τα οποία γύρω στα 10.000 χρόνια καταλαμβάνονται από την θερμή περίοδο με κλιματικές συνθήκες παρόμοιες με τις σημερινές, ενώ η ψυχρή παγετώδης περίοδος έχει πολύ μεγαλύτερη διάρκεια. Οι αιτίες αυτών των φυσικών διακυμάνσεων του κλίματος αποδίδονται σε μικρές περιοδικές αλλαγές της τροχιάς περιφοράς της Γης γύρω από τον ήλιο. Σήμερα περίπου 10.000 χρόνια από την τελευταία περίοδο παγετώνων, διανύουμε μία θερμή περίοδο που ονομάζεται Ολόκαινος και η οποία θεωρητικά βρίσκεται στο τέλος της. Επομένως είναι πιθανό ότι σε γεωλογική κλίμακα προσεγγίζουμε μία νέα εποχή παγετώνων, αλλά δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί εάν και πότε ακριβώς θα φθάσει. Πάντως η μελέτη της εξέλιξης του κλίματος κατά τα τελευταία 130.000 χρόνια επιτρέπει την αναπαράσταση των συνθηκών που επικρατούσαν στο τέλος της προηγούμενης θερμής περιόδου και των φαινομένων που ακολούθησαν, όπως π.χ. η σταδιακή κάλυψη της Β. Ευρώπης με πάγους και η σταδιακή αντικατάσταση των δασών της Ν. Ευρώπης από στέπες (Δουκάκης, 2007).

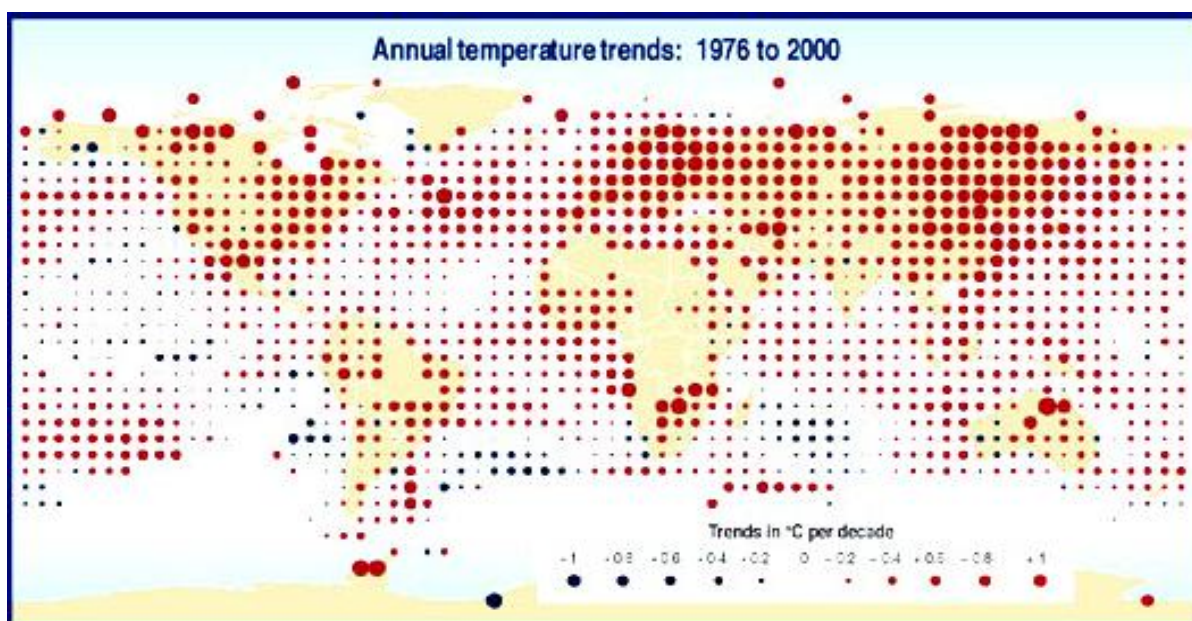
Ο αυξανόμενος ρυθμός θέρμανσης (Εικόνα 1) του πλανήτη μας κατά τον 20^ο αιώνα δεν οφείλεται μόνο σε φυσικά αίτια αναλογιζόμενοι την μεγέθυνση της εκβιομηχάνισης, αλλά και στην υποβάθμιση και ρύπανση του περιβάλλοντος. Η υπερθέρμανση μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '70 ήταν ταχεία. Η δεκαετία του '90 ήταν πιθανόν η θερμότερη δεκαετία της περασμένης χιλιετίας στο Βόρειο Ημισφαίριο ενώ το 1998 ήταν το θερμότερο έτος της δεκαετίας.



Εικόνα 1. Η άνοδος της θερμοκρασίας από το 1880 έως το 2000.

(Πηγή: Δουκάκης Ε. (2007). *Μέθοδοι Προσδιορισμού του Ρυθμού Μεταβολής των Ακτογραμμών*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.)

Οι θερινές θερμοκρασίες στο Βόρειο Ημισφαίριο κατά τις πρόσφατες δεκαετίες είναι οι μεγαλύτερες για τουλάχιστον 6 αιώνες. Η μέση θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια της γης το 1999 ήταν η πέμπτη υψηλότερη μέχρι τώρα καταγεγραμμένη θερμοκρασία και μάλιστα μεγαλύτερη κατά 0,33 °C σε σχέση με τη μέση τιμή της περιόδου 1961-1990. Η περιστασιακή μείωση των επιφανειακών θερμοκρασιών από το 1998 μέχρι το 1999, αποδόθηκε στο φαινόμενο καταιγίδων La Nina που εμφανίστηκε στον Ειρηνικό ωκεανό το 1998.



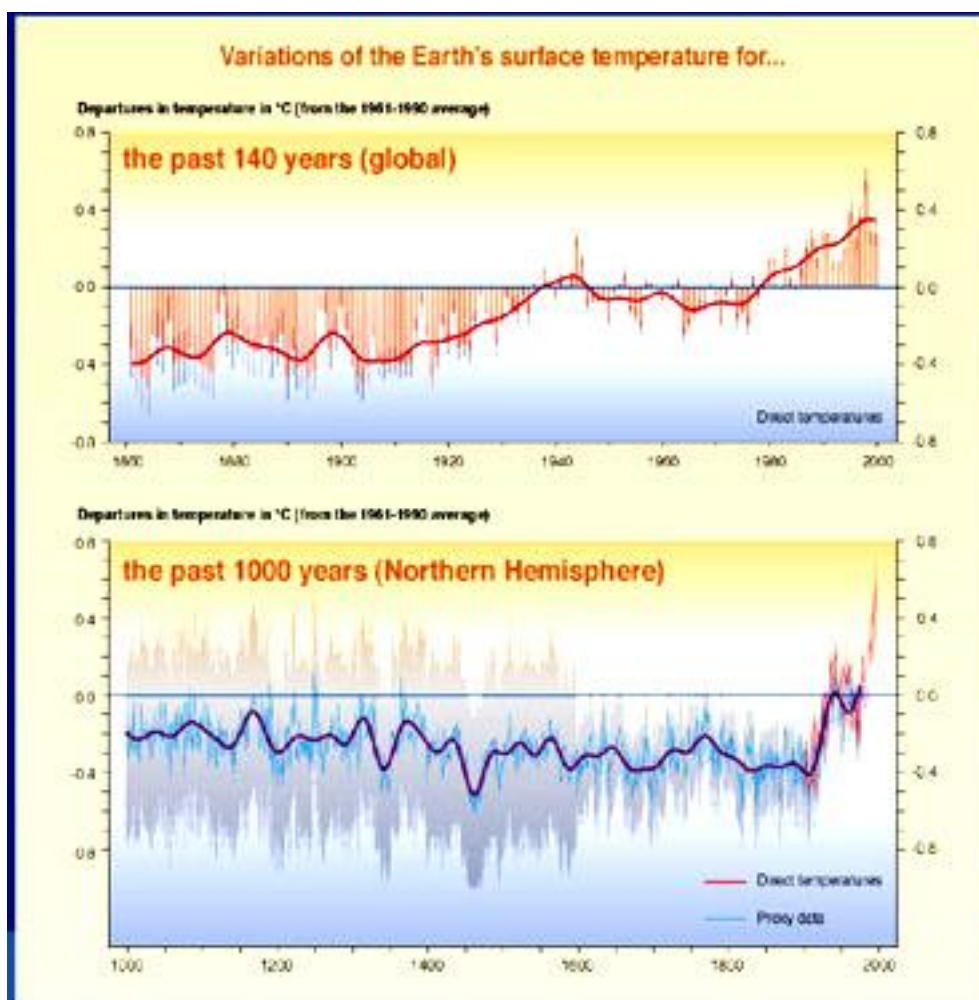
Εικόνα 2. Οι τάσεις αύξησης ανά δεκαετία της θερμοκρασίας σε όλο τον κόσμο, με βάση τα δεδομένα της εικοσιπενταετίας 1976-2000.

(Πηγή: Δουκάκης Ε. (2007). *Μέθοδοι Προσδιορισμού του Ρυθμού Μεταβολής των Ακτογραμμών*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.)

Στη συντριπτική πλειοψηφία των περιοχών (Εικόνα 2) παρουσιάζονται ανοδικές τάσεις που σε πολλές περιπτώσεις αγγίζουν τον 1°C ανά δεκαετία.

Είναι άλλωστε αποδεδειγμένο από έρευνες πως η Γη είναι σήμερα θερμότερη από οποιαδήποτε άλλη περίοδο για την οποία υπάρχουν ιστορικά τεκμήρια. Το γεγονός αυτό αποτελεί ακόμα μία απόδειξη για την παγκόσμια κλιματική αλλαγή που προκαλεί κυρίως το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Υπάρχει, βέβαια, η αντίληψη πως οι παρατηρούμενες θερμοκρασιακές μεταβολές εντάσσονται στη γενικότερη και φυσιολογική διακύμανση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Έρευνες έχουν δείξει ότι ένα παρόμοιο φαινόμενο έχει κάνει την εμφάνισή του ξανά στο παρελθόν, κατά την περίοδο 1000-1200 μ.Χ. Η αλήθεια όμως είναι ότι αν και πραγματικά παρατηρήθηκαν ορισμένες απροσδόκητες θερμοκρασιακές αυξήσεις την εποχή εκείνη, ωστόσο το φαινόμενο διέφερε από τόπο σε τόπο με αποτέλεσμα η συνολική θερμοκρασία του πλανήτη να παραμένει σταθερή. Κάτι τέτοιο σε επίπεδα ισχύε πενήντα χρόνια πριν, ωστόσο με την εξέλιξη που έχει πάρει το φαινόμενο σήμερα, δεν μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ των δύο περιόδων.

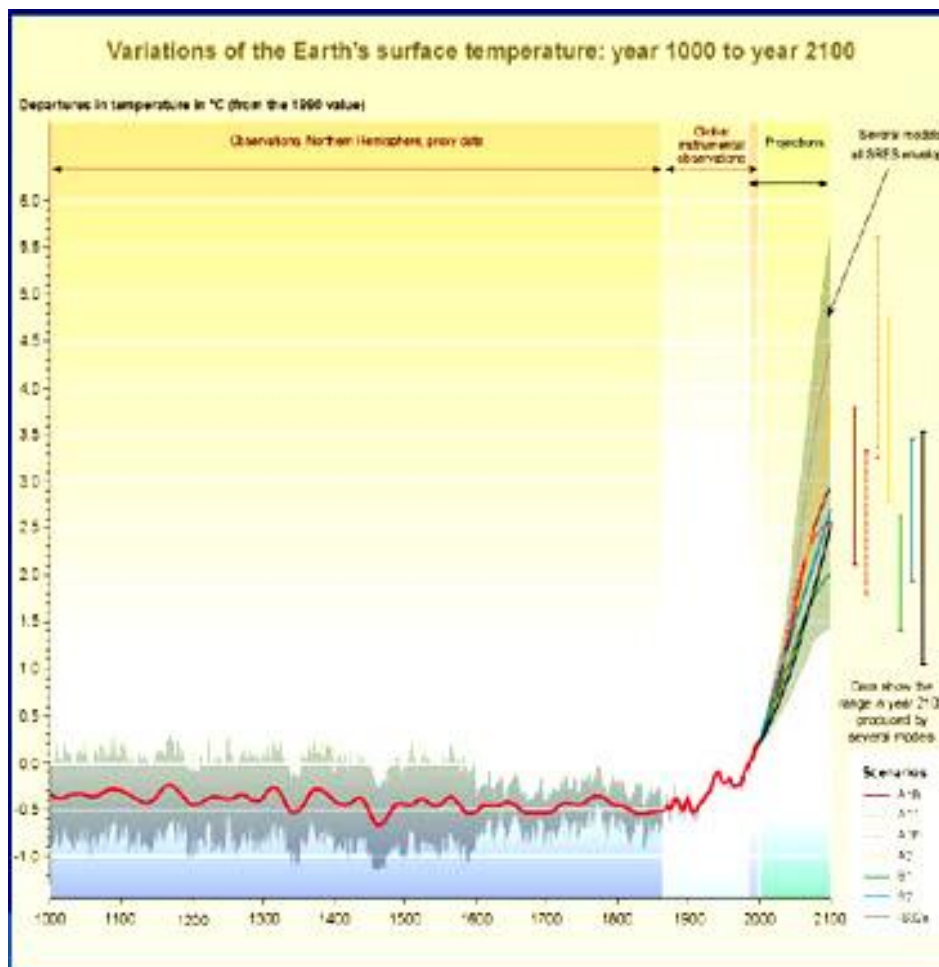


Εικόνα 3. Πάνω: Η παγκόσμια αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας. Κάτω: Η εξέλιξη της επιφανειακής θερμοκρασίας την τελευταία χιλιετία.

(Πηγή: Δουκάκης Ε. (2007). *Μέθοδοι Προσδιορισμού του Ρυθμού Μεταβολής των Ακτογραμμών*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.)

Όπως παρατηρείται από τα παραπάνω διαγράμματα (Εικόνα 3) η παγκόσμια αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας τα τελευταία 140 χρόνια είναι της τάξης των $0,8^{\circ}\text{C}$. Μόνο την τελευταία δεκαετία (1990-2000) έχουμε αύξηση $0,4^{\circ}\text{C}$.

Η IPCC η Παγκόσμια Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή, ένα σώμα που αποτελείται από τουλάχιστον 3.000 επιστήμονες υπό την αιγίδα του ΟΗΕ και του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού εκτιμά ότι η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλανήτη θα αυξηθεί από $1,5$ έως 6°C ως το 2100 (Εικόνα 4). Για να καταλάβουμε το εύρος των αλλαγών που θα επέλθουν αρκεί να πούμε ότι η αύξηση αυτή θα είναι η μεγαλύτερη που έχει συμβεί τα τελευταία 10.000 χρόνια.



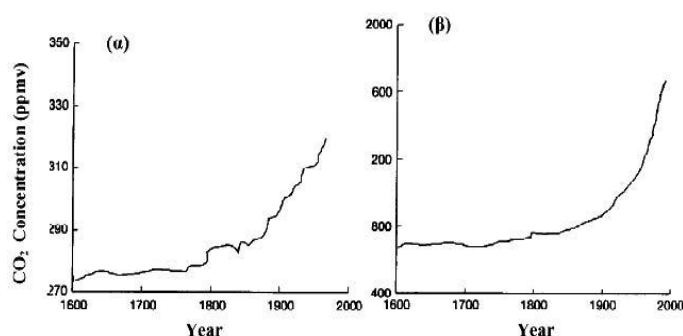
Εικόνα 4. Η εξέλιξη της θερμοκρασίας από το 1000 έως το 2000 και η πρόβλεψη της εξέλιξης της έως το 2100.

(Πηγή: Δουκάκης Ε. (2007). *Μέθοδοι Προσδιορισμού του Ρυθμού Μεταβολής των Ακτογραμμών*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.)

Σε 1000 χρόνια είχαμε αύξηση $0,4^{\circ}\text{C}$ και οι εκτιμήσεις για τα επόμενα 100 μιλούν για αύξηση από $1,5$ έως 6°C .

Μια πρόσφατη αναφορά που ετοιμάστηκε για τις κυβερνήσεις όλου του κόσμου επισημαίνει ότι η Γη μπορεί να θερμανθεί πολύ περισσότερο από τις τρέχουσες προβλέψεις που υπάρχουν. Συγκεκριμένα πριν από πέντε χρόνια η πρόβλεψη των επιστημόνων του IPCC ανέφερε ότι η πιθανή μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι 3°C .

Οι επιστήμονες πιστεύουν πως τα υψηλά επίπεδα της εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα πιθανόν να μπορούν να προκαλέσουν το μαζικό αφανισμό των δασών και άνοδο της στάθμης της θάλασσας αλλά και ακραία καιρικά φαινόμενα. Αυτό το ενδεχόμενο φέρνει με τον πιο δραματικό τρόπο στο προσκήνιο την κλίμακα στην οποία ο άνθρωπος έχει διαταράξει το παγκόσμιο κλίμα. Η εξήγηση πάντως για όλα τα παραπάνω αρνητικά ενδεχόμενα συνοψίζεται εν μέρει στην περιγραφή του φαινομένου του θερμοκηπίου (Εικόνα 5) (Δουκάκης, 2007).



Εικόνα 5. Διάγραμμα συγκεντρώσεων CO₂ (α) και CH₄ (β) σε p.p.m.v. από το 1600 μέχρι το 1995.

(Πηγή: Δουκάκης Ε. (2007). *Μέθοδοι Προσδιορισμού του Ρυθμού Μεταβολής των Ακτογραμμών*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.)

1.2. Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια φυσική διαδικασία για να διατηρείται η Γη θερμή ώστε να υπάρχουν κατάλληλες συνθήκες για ζωή και ανάπτυξη. Σε αντίθετη περίπτωση η θερμοκρασία της Γης δε θα ξεπερνούσε τους -20°C σε σχέση με τους 15°C που είναι η μέση θερμοκρασία της Γης λόγω του φαινομένου αυτού. Τα αέρια του θερμοκηπίου που περιλαμβάνουν κυρίως τους υδρατμούς και το CO₂, σχηματίζουν ένα στρώμα πάνω από το έδαφος της Γης σε ένα ορισμένο ύψος ώστε αφού επιτρέψουν να εισέλθει η υπέρυθη ακτινοβολία του ήλιου αυτή απορροφάται κατά ένα μέρος από τη Γη και την ατμόσφαιρα. Εν συνεχεία η υπόλοιπη ακτινοβολία εκπέμπεται εκ νέου από τη Γη και ένα τμήμα της διαφεύγει προς το διάστημα, ενώ το υπόλοιπο εγκλωβίζεται από το στρώμα των αερίων του θερμοκηπίου.

Ένα μέρος λοιπόν της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την είσοδο της στην ατμόσφαιρα περνά αναλλοίωτη φτάνοντας στην επιφάνεια του εδάφους και αντανάκλαται προς τα πάνω με μεγαλύτερο μήκος κύματος. Ένα μέρος αυτής απορροφάται από την ατμόσφαιρα την οποία θερμαίνει και στη συνέχεια εκπέμπεται στην επιφάνεια του εδάφους. Το στρώμα των αερίων λοιπόν επιτρέπει τη διέλευση της ακτινοβολίας αλλά ταυτόχρονα την εγκλωβίζει θυμίζοντας τη λειτουργία ενός θερμοκηπίου. Για αυτό το λόγο ο Γάλλος μαθηματικός Fourier το ονόμασε το 1822 «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου».

Αποτελεί μια φυσική διεργασία που εξασφαλίζει στη Γη μια σταθερή θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους γύρω στους 15°C . Όμως τα τελευταία χρόνια λέγοντας φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν αναφερόμαστε στη φυσική διεργασία αλλά στην έξαρση αυτής, λόγω της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Παρόλο που η Γη κινείται μέσα στις εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες του διαστήματος η επιφάνειά της διατηρεί μια θερμοκρασία ήπια και ευνοϊκή για την ζωή με μέση τιμή περίπου 15°C. Η άμεση θέρμανσή της από τον ήλιο μαζί με μια μικρή συνεισφορά θερμότητας από το εσωτερικό του πλανήτη δικαιολογούν μία μέση θερμοκρασία που δεν ξεπερνά τους -18°C. Η διαφορά των 33°C οφείλεται στη φυσική διεργασία που ονομάζεται «φαινόμενο θερμοκηπίου» και η οποία θερμαίνει την κατώτερη ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα) και συμβάλλει στην δημιουργία ενός περιβάλλοντος πιο φιλικού για την ζωή. Συντελεστές του φαινομένου είναι ορισμένα ιχνοαέρια της γήινης ατμόσφαιρας που συχνά αναφέρονται ως «αέρια θερμοκηπίου». Αυτά είναι σχετικά διαπερατά για την προσπίπτουσα ορατή και υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία αλλά απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την θερμαινόμενη επιφάνεια της Γης.

Ενδεχόμενη αύξηση της παρουσίας των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα θα προκαλούσε αλλαγή στο ισοζύγιο της ακτινοβολίας και συνακόλουθη διατάραξη της υφιστάμενης θερμικής ισορροπίας, με συνέπεια να αυξηθεί η ποσότητα ενέργειας που παγιδεύεται στην τροπόσφαιρα και να μεταβληθεί το κλίμα του πλανήτη. Υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι η ρύπανση της ατμόσφαιρας από τις ανθρώπινες δραστηριότητες προκαλώντας τέτοιες αλλαγές αυξάνει την ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου το οποίο ενώ στο παρελθόν ήταν ένα φυσικό φαινόμενο τώρα τείνει να γίνει ένα πολύ σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα (Δουκάκης, 2007).

1.2.1. Τα Αέρια του Θερμοκηπίου

Το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί (H₂O). Ο ρόλος τους όμως στη θέρμανση της ατμόσφαιρας είναι πολύπλοκος, διότι αφ' ενός μεν ενδυναμώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου αφ' ετέρου δε σχηματίζουν τα νέφη τα οποία αυξάνουν την ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας προς το διάστημα. Εξ' άλλου η ανθρώπινη δραστηριότητα δεν ασκεί μεγάλη επίδραση στη μέση υγρασία της ατμόσφαιρας και επομένως δεν επηρεάζει πολύ την ποσότητα των υδρατμών. Έτσι μεταξύ των αερίων θερμοκηπίου των οποίων η αύξηση είναι ανθρωπογενής την πρώτη θέση κατέχει το CO₂ (μερίδιο γύρω στο 60%), την δεύτερη οι χλωροφθοράνθρακες CFC (μερίδιο της τάξεως του 20%), ενώ ακολουθούν το CH₄, το N₂O και το O₃ της τροπόσφαιρας.

Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ οφείλεται στην διαταραχή του βιογεωχημικού κύκλου του άνθρακα από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων και την αποδάσωση. Οι εκπεμπόμενες ποσότητες ανθρωπογενούς CO₂ είναι στην πραγματικότητα τριπλάσιες από αυτές που αντιστοιχούν στην παρατηρούμενη αύξηση της συγκέντρωσής του στην ατμόσφαιρα, αλλά απορροφώνται κατά τα 2/3 περίπου από τη θάλασσα και την χερσαία βλάστηση. Επισημαίνεται ότι οι καύσεις συμβάλλουν στη θέρμανση της ατμόσφαιρας έμμεσα, με την εκπομπή CO₂, ενώ είναι αμελητέα η άμεση θέρμανση της ατμόσφαιρας που προκαλούν με την εκπομπή θερμότητας. Το ίδιο παρατηρείται και με τις εκπομπές CO₂ και θερμότητας από τα οικοσυστήματα. Οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) έχουν αποκλειστικά ανθρωπογενή προέλευση και δεν υπήρχαν στην ατμόσφαιρα πριν το 1930. Θεωρούνται υπεύθυνοι για χημικές αντιδράσεις στην στρατόσφαιρα που προκαλούν μείωση της στοιβάδας του όζοντος, αλλά είναι επίσης ισχυρότατα αέρια θερμοκηπίου. Η συγκέντρωση του CH₄ στην ατμόσφαιρα έχει αρχίσει να αυξάνεται με την έναρξη της βιομηχανικής εποχής και έχει σήμερα υπερδιπλασιαστεί. Κύριες πηγές του θεωρούνται οι κάθε είδους αναερόβιες διεργασίες κυρίως από τις ρυζοκαλλιέργειες και την εκτροφή βοοειδών καθώς και η εξόρυξη και χρησιμοποίηση ορυκτών καυσίμων κυρίως του φυσικού αερίου.

Τα οξειδία του αζώτου με κυριότερο το N_2O , καθώς και το O_3 της τροπόσφαιρας θεωρούνται αέρια θερμοκηπίου με δευτερεύουσα σημασία. Η προέλευση του N_2O είναι αμφισβητούμενη αλλά αποδίδεται κυρίως στην χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και ίσως στην καύση ορυκτών καυσίμων. Η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος οφείλεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση των πόλεων, σε δασικές πυρκαγιές, πιθανώς δε και σε άλλες αιτίες. Σημειώνεται ότι οι σχέσεις μεταξύ του φαινομένου του θερμοκηπίου και της μείωσης της στοιβάδας του O_3 δεν περιορίζονται στην δράση των CFC που επιδεινώνει και τα δύο προβλήματα. Οι μεγάλης κλίμακας διαταραχές των φυσικοχημικών συνθηκών της στρατόσφαιρας και της τροπόσφαιρας συνδέονται μεταξύ τους με διάφορους τρόπους και η σχετική γνώση παραμένει ακόμα ανεπαρκής. Η αύξηση για παράδειγμα της έντασης της υπεριώδους ακτινοβολίας κοντά στην επιφάνεια της Γης συνεπάγεται αύξηση της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού O_3 και επίσης μείωση της φωτοσύνθεσης των θαλασσιών αλγών. Και οι δύο αυτές αλλαγές συνεπάγονται ενδυνάμωση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

1.2.2. Ιστορική Εξέλιξη του Φαινομένου του Θερμοκηπίου

- 1824-Ο Ζοζέφ Φουριέ θέτει το θέμα του ρόλου που παίζει η ατμόσφαιρα της Γης στη θερμοκρασία του πλανήτη καθώς και τις επιπτώσεις της βιομηχανίας στο κλίμα.
- 1896-Ο Σουηδός Σβάντε Αρρένιους υποστηρίζει ότι η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζεται από τα αέρια που συγκρατούν τη θερμότητα.
- 1941-Ο Σέρβος Μιλουτίν Μιλάνκοβιτς υποστηρίζει ότι η μεταβολή της τροχιάς της Γης μας φέρνει κάθε 40.000 χρόνια την εποχή των παγετώνων.
- 1957-Ο Τσαρλς Ντίβιντ Κίλινγκ μετράει την συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα από ένα παρατηρητήριο στη Χαβάη. Σε περίοδο έξι ετών φαίνεται καθαρά η αύξηση της συγκέντρωσης του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.
- 1980-Ο Σουηδός Μπερτ Μπολίν διαπιστώνει πως η θερμοκρασία της Γης αυξάνεται εδώ και ένα αιώνα.
- 1988-Ο ΟΗΕ και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας συστήνουν την Διακυβερνητική Ομάδα Ειδικών για την εξέλιξη του κλίματος (IPCC).
- 1992-Στη σύνοδο του Ρίο 167 κράτη υπογράφουν τη μη δεσμευτική συνθήκη-πλαίσιο για τις κλιματικές αλλαγές.
- 1997-Στο Κιότο της Ιαπωνίας 38 βιομηχανικές χώρες δεσμεύονται να μειώσουν ως το 2010 τις εκπομπές αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 5.2% (μέσος όρος) σε σχέση με το 1990. Το πρωτόκολλο αυτό δεν έχει επικυρωθεί.
- 2001-Στη Βόννη της Γερμανίας γίνεται το πρώτο βήμα για την επικύρωση του πρωτοκόλλου του Κιότου χωρίς τη συμμετοχή των ΗΠΑ αλλά με την συμμετοχή της Ιαπωνίας, της Ρωσίας, των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και συνολικά 178 χωρών.

1.3. Ο Κίνδυνος από την Κλιματική Αλλαγή

Η συστηματική παρακολούθηση της θερμοκρασίας σε ολόκληρο τον πλανήτη από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα αποδεικνύει ότι η μέση θερμοκρασία έχει αυξηθεί κατά 0,6°C τα τελευταία 100

χρόνια. Η μεταβολή αυτή είναι συμβατή με τη θέρμανση που θα προκαλούσε η παρατηρηθείσα αύξηση των αερίων θερμοκηπίου κατά την ίδια περίοδο. Ωστόσο κάποιοι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι η διαπίστωση αυτή δεν είναι αρκετή για να αποδείξει ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει ήδη εκδηλωθεί διότι προς το παρόν οι μεταβολές βρίσκονται ακόμη στα πλαίσια του «κλιματικού θορύβου» και θα μπορούσαν να αποδοθούν σε φυσική διακύμανση.

Σχετικά με το μέλλον η εκδήλωση ενός εντεινόμενου φαινομένου θερμοκηπίου (enhanced greenhouse effect) αποτελεί σοβαρή επιστημονική πρόβλεψη. Υπάρχουν όμως μεγάλες αβεβαιότητες ως προς τις αλλαγές που θα επιφέρει τόσο στο παγκόσμιο όσο ακόμη περισσότερο στο κατά τόπους κλίμα. Κύριοι παράγοντες αβεβαιότητας που εμποδίζουν μια ακριβέστερη πρόβλεψη για την αναμενόμενη κλιματική αλλαγή είναι:

- Η μελλοντική εξέλιξη των συγκεντρώσεων των αερίων και η συνεπαγόμενη ισχυροποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου.
- Η ευαισθησία του κλιματικού συστήματος δηλαδή ο βαθμός απόκρισής του στην αύξηση της ποσότητας της παγιδευμένης ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα.
- Η «θερμική αδράνεια» της θάλασσας η οποία επιβραδύνει τον ρυθμό θέρμανσης της ατμόσφαιρας.

Τα περισσότερα αέρια θερμοκηπίου θα έχουν πιθανότατα αυξημένες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα τις επόμενες δεκαετίες. Όμως οι προβλέψεις είναι αβέβαιες λόγω ανεπάρκειας γνώσεων σχετικά με τους βιογεωχημικούς κύκλους αλλά κυρίως σχετικά με τις μελλοντικές πολιτικές για την ενέργεια, τη γεωργία και τα δάση. Ειδικότερη σημασία έχουν οι συγκεντρώσεις των CFC που ελπίζεται να μειωθούν μεσοπρόθεσμα με την εφαρμογή των διεθνών συμφωνιών για την προστασία της στοιβάδας του όζοντος. Οι προβλέψεις αναφέρονται συνήθως στην «ισοδύναμη» συγκέντρωση CO₂, η οποία συμπεριλαμβάνει και τις συνεισφορές των υπολοίπων αερίων θερμοκηπίου. Μία συμβολική χρονολογία είναι αυτή κατά την οποία το «ισοδύναμο» CO₂ θα διπλασιαστεί σε σχέση με την συγκέντρωσή του πριν από την βιομηχανική εποχή. Οι εκτιμήσεις τοποθετούν το συμβολικό αυτό γεγονός μεταξύ του 2015 και του 2050 με μεγαλύτερη πιθανότητα γύρω στο 2030.

Η εκτίμηση της ευαισθησίας του κλίματος γίνεται μέσω των Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας (General Circulation Models ή GCM) της ατμόσφαιρας που αποτελούν απλοποιημένες αναπαραστάσεις της λειτουργίας του κλιματικού συστήματος και λειτουργούν πάνω στους μεγαλύτερους σύγχρονους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Με βάση αυτές τις τεχνικές προβλέπεται ότι ο διπλασιασμός του ισοδύναμου CO₂ θα προκαλέσει πιθανόν αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης κατά 1,5°C έως 6°C. Η περιορισμένη ακρίβεια αυτού του συμπεράσματος αντανακλά την υπάρχουσα αβεβαιότητα στις παραμέτρους και τους υπολογισμούς. Όσον αφορά τις προβλέψεις για τις υπόλοιπες κλιματικές μεταβλητές (βροχόπτωση, καταιγίδες), η απροσδιοριστία είναι πολύ μεγαλύτερη. Το ίδιο συμβαίνει με τις προβλέψεις σχετικά με την κατανομή των αλλαγών στο χώρο. Θεωρείται πάντως ότι οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (βροχή, χιόνι, πάχνη) συνολικά θα αυξηθούν και ότι η θερμοκρασία θα αυξηθεί περισσότερο σε τόπους και χρόνους (υψηλά γεωγραφικά πλάτη, χειμώνες) που είναι χαμηλότερη παρά εκεί (ισημερινός, καλοκαιρία) που είναι υψηλότερη (Δουκάκης, 2007).

Οι μεταβολές στις κλιματικές παραμέτρους συμβαίνουν σταδιακά και με καθυστέρηση σε σχέση με την αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου. Η ολοκλήρωσή τους θα απαιτήσει πιθανώς ορισμένες δεκαετίες διότι ένα μέρος της θερμότητας απορροφάται από την

θάλασσα και η αργή διαδικασία θέρμανσής της καθυστερεί την τελική θέρμανση της ατμόσφαιρας. Έτσι το κλιματικό σύστημα αργεί να φτάσει σε ισορροπία και υπάρχει συνεχώς μία σημαντική διαφορά ανάμεσα στην κλιματική μεταβολή που είναι προσωρινή και παρατηρείται και σε αυτήν στην οποία το σύστημα υπόκειται σε μία μόνιμη μεταβολή εφόσον αντιστοιχεί σε ισορροπία την ίδια χρονική στιγμή. Για παράδειγμα ο πλανήτης υπόκειται σε άνοδο θερμοκρασίας 0,3-1,9°C εάν τα αέρια θερμοκηπίου παραμείνουν σταθερά στις τιμές του 1990. Αντίστοιχα κατά τη χρονολογία διπλασιασμού του ισοδύναμου CO₂ (πιθανή άνοδος 1,5-6°C στην κατάσταση ισορροπίας), η μεταβολή θερμοκρασίας που θα παρατηρηθεί θα κυμαίνεται πιθανόν από 0,5°C έως 2,5°C. Για να ισορροπήσει το κλιματικό σύστημα θα πρέπει να σταθεροποιηθούν οι συγκεντρώσεις των αερίων θερμοκηπίου και να περάσει αρκετός χρόνος ώστε να ολοκληρωθεί η διαδικασία θέρμανσης του ζεύγους θάλασσα-ατμόσφαιρα.

1.4. Πιθανές Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής

Η πιθανή άνοδος της θερμοκρασίας είναι μία μόνο από τις επιπτώσεις που θα έχει η ενδεχόμενη παγκόσμια θέρμανση. Η μεταβολή θα είναι μεν σταδιακή αλλά με ρυθμό πρωτοφανή για τα γεωλογικά δεδομένα. Η πλειοψηφία των επιστημονικών επιτροπών πιστεύει ότι η θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 1,5 με 6°C περίπου μέσα στον 21^ο αιώνα. Οι αλλαγές της θερμοκρασίας αλλά ακόμα περισσότερο οι μεταβολές των υπολοίπων κλιματικών παραμέτρων, θα έχουν ανομοιόμορφη κατανομή σε παγκόσμιο επίπεδο. Με την υπόθεση ότι θα υλοποιηθούν οι μεγαλύτερες από τις παραπάνω τιμές για την άνοδο της θερμοκρασίας και γενικότερα ότι το φαινόμενο θα συνεχιστεί, οι συνέπειες για την ανθρωπότητα θα είναι σοβαρές δεδομένου μάλιστα ότι μεγάλο ποσοστό του ανθρώπινου πληθυσμού ζει σε απόσταση μέχρι 60 Km από την ακτή και ο ενδεχόμενος κατακλυσμός σημαντικών λιμανιών και παραλιακών εκτάσεων θα αυξήσει τις ζημιές από τις παλίρροιες και τα παλιρροϊκά κύματα, θα οδηγήσει στην αλλοίωση και διάβρωση των ακτών, στην υφαλμύρωση του υδροφόρου ορίζοντα και στην υποβάθμιση των υγροτόπων. Η αντιμετώπιση τέτοιων κινδύνων απαιτεί δαπανηρά μέτρα προστασίας τα οποία τουλάχιστον για τις χώρες του Τρίτου Κόσμου θεωρούνται ανέφικτα. Μια σειρά από άλλες συνέπειες προβλέπονται ως πιθανές, όπως η μετατόπιση δασών εγγύτερα προς τις πολιτικές περιοχές, η διατάραξη πολλών φυσικών οικοσυστημάτων, η υποβάθμιση των συνθηκών ζωής (ζέστη, υγρασία, δυσφορία) σε πόλεις με τροπικό ή μεσογειακό κλίμα, η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας για συστήματα κλιματισμού και η αχρήστευση ή η δυσχέρεια λειτουργίας πολλών τεχνικών έργων (φράγματα, ταμιευτήρες, αρδευτικά συστήματα). Πάντως το σημερινό επίπεδο των γνώσεων γύρω από το φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν επιτρέπει συγκεκριμένες ακριβείς προβλέψεις (Δουκάκης, 2007).

• Ο Κίνδυνος μίας Νέας Περιόδου Παγετώνων

Ορισμένοι επιστήμονες επιχειρηματολογούν ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη θα έχει μια ακόμη πιο καταστροφική επίπτωση οδηγώντας σε μια νέα περίοδο Παγετώνων. Καθώς οι Αρκτικοί πάγοι θα λιώνουν, η επιπλέον ποσότητα των υδάτων στο Βόρειο Ατλαντικό ωκεανό θα επηρεάσει τα θαλάσσια ρεύματα περιλαμβανομένου και του Ρεύματος του Κόλπου το οποίο διατηρεί σχετικά θερμή την Ευρώπη. Στο ταξίδι αυτού του ρεύματος μέρος των υδάτων θα εξατμίζεται και ό,τι απομένει θα περιέχει περισσότερο αλάτι και θα είναι μεγαλύτερης πυκνότητας.

- **Οι Επιπτώσεις στο Φαινόμενο της Ερημοποίησης**

Η πληθυσμιακή αύξηση και η ανισοκατανομή της γης οδηγούν εκατομμύρια εξαθλιωμένους από την πείνα αγρότες σε οριακά εδάφη ευπρόσβλητα από τη διάβρωση τα οποία αδυνατούν να στηρίξουν μακρόχρονη καλλιέργεια, ενώ σε άλλες περιπτώσεις οι σταθεροί κύκλοι καλλιέργειας και αγρανάπαυσης διαταράσσονται λόγω της εντατικής εκμετάλλευσης του εδάφους με αποτέλεσμα την εξάντλησή του.

Πιθανόν πολύ σοβαρές αναμένεται να είναι οι αλλαγές που θα γίνουν στην ατμόσφαιρα της Μεσογειακής Λεκάνης. Επειδή πολλά μέρη της περιοχής είναι εξαιρετικά άνυδρα οι πρώτες αλλά και δριμύτερες επιπτώσεις θα γίνουν αισθητές πάνω στο έδαφος, καθώς αυτό θα θερμαίνεται και θα διαβρώνεται και καθώς η εξάτμιση θα επιβραδύνει την ανανέωση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

- **Οι Αλλαγές στις Κατακρημνίσεις**

Καθώς αναμένεται να είναι υψηλότερη η συγκέντρωση των υδρατμών στον αέρα σε μια πιο ζεστή ατμόσφαιρα, πιθανόν θα αναμένονταν αυξημένες κατακρημνίσεις και μια εξισορροπούμενη αυξημένη εξάτμιση επίσης. Μια τέτοια επιφερόμενη γενική αύξηση στην ένταση του υδρολογικού κύκλου δε συνεπάγεται αναγκαστικά και αύξηση της υγρασίας παντού.

Η αλλαγή στις βροχοπτώσεις δεν μπορεί να υπολογιστεί από τώρα με ακρίβεια συνεπώς δεν είναι απολύτως γνωστό ποιες περιοχές θα επηρεαστούν περισσότερο. Πάντως ορισμένες μελέτες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι βροχοπτώσεις θα αυξηθούν στη Βόρεια Ευρώπη και αρκετά περισσότερο σε τροπικά κλίματα ενώ σε περιοχές όπως η Μεσόγειος θα μειωθούν.

- **Οι Επιπτώσεις στους Υδατικούς Πόρους**

Μια έμμεση επίπτωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη θα αφορά στη διαθεσιμότητα του νερού η οποία αναμένεται να ελαττωθεί. Στις φτωχές χώρες όπου οι συνθήκες υγιεινής δεν είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένες, η ενδεχόμενη ελάττωση του διαθέσιμου νερού αναμένεται να εντείνει τα ήδη υπαρκτά προβλήματα αυξάνοντας τα κρούσματα διάρροιας και θανάτων από μολυσμένα νερά. Αλλά και στις αναπτυγμένες βιομηχανικά χώρες η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να έχει επιπτώσεις όχι μόνο στη διαθεσιμότητα του νερού αλλά και στην ποιότητά του. Σε περιοχές που υδρεύονται από επιφανειακά ύδατα ευνοείται η ανάπτυξη αλγών ιδιαίτερα όταν υπάρχει περίσσεια θρεπτικών στοιχείων λόγω της ρύπανσης. Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας αναμένεται να ευνοήσει την ανάπτυξη αυτών των αλγών τα οποία προσδίδουν έντονη γεύση και οσμή στο νερό καθιστώντας το πολλές φορές ακατάλληλο προς πόση.

Σύμφωνα με την Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων η ενδεχόμενη μείωση των υδατικών πόρων μπορεί να επηρεάσει και τα ακόλουθα:

- 1) Τη διαθεσιμότητα ύδατος για ανθρώπινη κατανάλωση. Το νερό είναι ήδη δυσεύρετο αγαθό αν και καλύπτει το 70% περίπου της επιφάνειας της Γης. Από τους υδατικούς πόρους μόνο το 2,5% είναι γλυκό νερό κι από αυτό μόνο το 1% είναι διαθέσιμο στον άνθρωπο.
- 2) Την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

3) Την αραίωση των λυμάτων και τη ναυσιπλοΐα.

- **Οι Επιπτώσεις στη Γεωργία και στις Καλλιέργειες**

Πολύ σημαντικές θα ήταν και οι συνέπειες για την παγκόσμια γεωργική παραγωγή αν και η πολυπλοκότητα των φαινομένων δεν επιτρέπει ασφαλή συμπεράσματα. Γενικά πάντως η γεωργία είναι στενά προσαρμοσμένη στις υπάρχουσες κλιματικές συνθήκες και κάθε κλιματική αλλαγή θα ήταν πιθανότατα επιζήμια. Η αυξημένη παρουσία CO₂ στην ατμόσφαιρα και η αύξηση των βροχοπτώσεων είναι πιθανό να ευνοήσουν την ανάπτυξη των γεωργικών φυτών λόγω της εντονότερης φωτοσυνθετικής διαδικασίας, αλλά επίσης και των παρασίτων.

Οι αλλαγές στον κύκλο του νερού μάλλον θα εντείνουν τα ήδη μεγάλα προβλήματα ερημοποίησης και διάβρωσης των εδαφών και θα φέρουν επέκταση των ζωνών λειψυδρίας με αρνητικές συνέπειες για την γεωργία των αντίστοιχων περιοχών. Η αυξημένη συχνότητα φυσικών καταστροφών όπως καύσωνες, ξηρασίες, πλημμύρες, θύελλες, πυρκαγιές θα αποτελέσει επίσης σημαντικό αρνητικό παράγοντα για τη γεωργική παραγωγή.

Η αναμενόμενη κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει αναμφισβήτητα την αγροτική παραγωγή κυρίως εξαιτίας των μεταβολών στα επίπεδα θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων σε ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές. Στον τομέα όμως αυτό οι επιπτώσεις από το φαινόμενο του θερμοκηπίου δημιουργούν ένα δίπολο που ανάλογα με την περιοχή και το είδος της καλλιέργειας, οι επιπτώσεις μπορεί να είναι είτε θετικές είτε αρνητικές. Οι υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ μπορούν να έχουν θετικό αποτέλεσμα για την ανάπτυξη των φυτών. Κι επειδή τα φυτά με τη φωτοσύνθεση μετατρέπουν το CO₂ σε ζωντανό ιστό, περισσότερη βλάστηση σημαίνει λιγότερο CO₂ στην ατμόσφαιρα, με πιθανό αποτέλεσμα να επιβραδυνθεί η αύξηση της θερμοκρασίας της Γης.

Επιπλέον οι επιπτώσεις στη γεωργία αναμένεται να επηρεάσουν τις τοπικές κοινότητες, τις περιφερειακές και εθνικές οικονομίες, μέσω των μεταβολών του εισοδήματος και της αποδοτικότητας των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, του περιφερειακού κόστους παραγωγής, της περιφερειακής και εθνικής παραγωγής τροφίμων, της ανισοκατανομής του περιφερειακού γεωργικού εισοδήματος και των μεταβολών των περιφερειακών οικονομικών δραστηριοτήτων και της απασχόλησης.

- **Οι Κίνδυνοι για την Βιοποικιλότητα**

Οι πιθανές διαταραχές στα φυσικά οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα θα είναι αρκετά σημαντικές αλλά και πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν αφού ποικίλλουν ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των οικοσυστημάτων και των έμβιων όντων που επηρεάζουν. Εκτιμάται ότι χιλιάδες ζωικά και φυτικά είδη απειλούνται ευθέως από την αποσταθεροποίηση του κλίματος. Σε αυτά περιλαμβάνονται είδη υπό εξαφάνιση, αποδημητικά πουλιά, απομονωμένοι πληθυσμοί, είδη που περιορίζονται σε παράκτιες περιοχές και είδη με μειωμένη γενετική ικανότητα προσαρμογής δεδομένου ότι η χωρική κατανομή των οικοσυστημάτων είναι συνάρτηση των κλιματικών συνθηκών, μια αλλαγή του κλίματος θα άλλαζε όχι μόνο τη σύσταση των οικοσυστημάτων αλλά και τη γεωγραφική κατανομή τους.

Οι αλλαγές στη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις θα αλλάξουν τις υδάτινες απορροές,

την υγρασία του εδάφους, τους ρυθμούς διάβρωσης και την ανακύκλωση της οργανικής ύλης και των θρεπτικών συστατικών. Αυτά με τη σειρά τους θα επηρεάσουν την παραγωγικότητα, τον ανταγωνισμό των ειδών, τη βιοποικιλότητα, την εξάπλωση των ζιζανίων, διαμορφώνοντας έτσι μια ολόπλευρα διαφορετική κατάσταση στα διάφορα οικοσυστήματα.

- **Οι Επιπτώσεις στην Υγεία**

Η αποσταθεροποίηση του κλίματος μπορεί να επηρεάσει την υγεία με πολλούς τρόπους. Σε ένα θερμότερο κλίμα με έντονα καιρικά φαινόμενα (π.χ. συχνότερα κύματα καύσωνα), αναμένεται να αυξηθούν για παράδειγμα οι καρδιαγγειακές παθήσεις και τα κρούσματα θερμοπληξίας.

Ακόμα η αυξημένη θερμοκρασία ευνοεί την ανάπτυξη και διάδοση μεταδοτικών νόσων όπως η ελονοσία, ο κίτρινος πυρετός και η δυσεντερία. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η αναμενόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη θα οδηγήσει στην εκδήλωση επιπλέον εκατομμυρίων επεισοδίων ελονοσίας σε ετήσια βάση.

Οι επιπτώσεις θα είναι εντονότερες στις αναπτυσσόμενες χώρες και ιδιαίτερα στις πλέον ευπαθείς στη κλιματική αλλαγή νησιωτικές περιοχές. Μια έμμεση επίπτωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι η διαθεσιμότητα του νερού η οποία αναμένεται να ελαττωθεί. Στις φτωχές χώρες όπου οι συνθήκες υγιεινής δεν είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένες η ελάττωση διαθέσιμου νερού αναμένεται να εντείνει τα ήδη υπαρκτά προβλήματα. Αλλά και στις αναπτυγμένες βιομηχανικά χώρες η αύξηση της θερμοκρασίας ενδέχεται να έχει επιπτώσεις και στην ποιότητα του νερού καθιστώντας το σε πολλές περιπτώσεις ακατάλληλο προς κατανάλωση (Δουκάκης, 2007).

- **Πιθανή Άνοδος της Στάθμης της Θάλασσας**

Το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας καθορίζεται από πολλούς περιβαλλοντικούς παράγοντες σε πολύ διαφορετικές χρονικές κλίμακες που κυμαίνονται από μερικές ώρες όπως είναι για παράδειγμα η περίπτωση της παλίρροιας, μέχρι μερικά εκατομμύρια χρόνια με την τροποποίηση των λεκανών απορροής των ωκεανών ως αποτέλεσμα των τεκτονικών κινήσεων και καθιζήσεων. Σε κλίμακα δεκαετίας και αιώνα ορισμένοι από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν το μέσο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας εξαρτώνται από το κλίμα και τις κλιματικές αλλαγές. Το θαλασσινό νερό υπόκειται με την θέρμανση σε διαστολή. Σύμφωνα με τις αναλύσεις των θερμοκρασιών των ωκεανών και των αποτελεσμάτων τους, η θερμική διαστολή φαίνεται να είναι πιθανόν μία από τις κύριες αιτίες των ιστορικών αλλαγών του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας και αναμένεται να διαδραματίσει κυρίαρχο ρόλο στην αύξηση του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας για τα επόμενα 100 χρόνια. Στους ωκεανούς η θερμοκρασία μεταβάλλεται με πολύ αργούς ρυθμούς και η θερμική διαστολή θα συνεχιστεί για πολλούς αιώνες ακόμη και αν οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σταθεροποιηθούν. Η αύξηση της θερμοκρασίας και το πάχος του υδατικού στρώματος εξαρτώνται από την υπό εξέταση περιοχή. Επιπλέον για μια δεδομένη μεταβολή της θερμοκρασίας το ζεστό νερό διαστέλλεται πιο εύκολα από το κρύο νερό.

Η γεωγραφική κατανομή των πιθανών μεταβολών του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας εξαρτάται από τις γεωγραφικές διακυμάνσεις της θερμικής διαστολής, από τα

επίπεδα υφαλμύρωσης των υδάτων και από την κυκλοφορία των ανέμων και των ωκεανών. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η έκταση των μεταβολών της ανόδου στάθμης της θάλασσας σε περιφερειακό επίπεδο είναι σαφώς μεγαλύτερη από τον μέσο όρο της ανόδου της στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η στάθμη της θάλασσας εξαρτάται από την αύξηση ή την μείωση της υδάτινης μάζας των ωκεανών. Μια τέτοια περίπτωση είναι η είσοδος του θαλάσσιου νερού στο έδαφος. Επίσης τα αποθέματα νερού είναι τα παγωμένα νερά των παγετώνων ή των φύλλων πάγου. Αυτός ήταν ο κύριος λόγος για την πτώση της στάθμης της θάλασσας κατά την τελευταία παγετώδη περίοδο όταν μεγάλες ποσότητες νερού είχαν αποθηκευθεί σε φύλλα πάγου μεγάλης έκτασης που κάλυπταν τις ηπείρους του βορείου ημισφαιρίου.

Μετά τη θερμική διαστολή, το λιώσιμο των παγετώνων και των πάγων αναμένεται να είναι μια από τις σημαντικότερες αιτίες της πιθανής ανόδου της στάθμης της θάλασσας τον 21^ο αιώνα. Οι παγετώνες και οι πάγοι αντιπροσωπεύουν ένα μικρό ποσοστό των εκτάσεων πάγου που βρίσκονται συνολικά πάνω στη γη, αλλά είναι πιο ευαίσθητοι στην κλιματική αλλαγή από τους παγετώνες της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας, οι οποίοι βρίσκονται σε περιοχές με πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες, με χαμηλές βροχοπτώσεις και αργό ρυθμό τήξης. Επομένως θεωρείται ότι τα μεγάλα έκτασης φύλλα πάγου θα συμβάλλουν ελάχιστα στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας τις επόμενες δεκαετίες.

Το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας εξαρτάται επίσης από τις διαδικασίες που δεν είναι άμεσα συνδεδεμένες με τις κλιματικές αλλαγές. Έτσι τα χερσαία αποθέματα νερού και συνεπώς το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας επηρεάζονται από την άντληση υπογείων υδάτων, από την κατασκευή δεξαμενών και φραγμάτων και από την χρησιμοποίηση νερού για άρδευση. Οι παράγοντες αυτοί θα μπορούσαν να αντισταθμίσουν σε μεγάλο βαθμό την αναμενόμενη και σύμφωνα με τις εκτιμήσεις άνοδο της στάθμης της θάλασσας εξαιτίας της θερμικής διαστολής και της τήξης των πάγων.

Επιπλέον τα φαινόμενα καθίζησης των ακτών σε περιοχές που γειτνιάζουν με δέλτα ποταμών μπορούν επίσης να επηρεάσουν την στάθμη της θάλασσας σε τοπικό επίπεδο. Οι τεκτονικές κατακόρυφες κινήσεις ξηράς και οι μεταβολές ακτών και ακτογραμμών μπορούν να επηρεάσουν την στάθμη της θάλασσας σε τοπικό επίπεδο και μπορούν να έχουν συγκρίσιμα αποτελέσματα με αυτά που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή. Τέλος το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας ανάλογα με την χρονική κλίμακα (εποχική, διαχρονική ή δεκαετίας), επηρεάζεται από τις μεταβολές στον υδρολογικό κύκλο και στα ατμοσφαιρικά φαινόμενα με κύριο παράδειγμα το φαινόμενο του El Nijo.

Επομένως σύμφωνα με τα παραπάνω η πιθανή άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα οφείλεται κυρίως στη θερμική διαστολή λόγω της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας και δευτερευόντως στην τήξη των παγετώνων και τη μετατόπισή τους στη θάλασσα κάτι που προσθέτει επιπλέον μάζες νερού στις θάλασσες (Δρίτσας, 2005).

Συνέπειες της Ανόδου της Στάθμης της Θάλασσας στις Παράκτιες Περιοχές

Η γνωστότερη από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι η πιθανή άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Πρόκειται για περιβαλλοντικό φαινόμενο που εξελίσσεται προοδευτικά σε βάθος χρόνου, θα πλήξει τις παράκτιες και νησιωτικές περιοχές καθώς και τις περιοχές που γειτνιάζουν με δέλτα ποταμών προκαλώντας υποχρεωτικές μετακινήσεις πληθυσμιακών ομάδων.

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους ωκεανούς θα οδηγήσουν στην αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας και της μέσης στάθμης της θάλασσας, στον περιορισμό της έκτασης των θαλάσσιων πάγων, στην τροποποίηση της αλατότητας των θαλάσσιων υδάτων, της κατάστασης των κυμάτων και της κυκλοφορίας των υδάτων στους ωκεανούς. Οι ωκεανοί αποτελούν βασική συνιστώσα του κλιματικού συστήματος με σημαντικές φυσικές και βιοχημικές αλληλεπιδράσεις στο κλίμα. Αρκετά θαλάσσια οικοσυστήματα επηρεάζονται από τις κλιματικές αλλαγές. Είναι πλέον επιστημονικά αποδεκτό ότι η εξέλιξη και η μεταβλητότητα του κλίματος που εξηγούνται από την σχέση που υπάρχει μεταξύ του κλίματος και του ωκεανού με φαινόμενα πολυετούς διάρκειας και από τις περιοδικές μεταβολές, επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την επάρκεια των αλιευμάτων και έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις δυναμικές ανάπτυξης των πληθυσμών τους και κατά συνέπεια προκαλούν σοβαρότατες συνέπειες στους κατοίκους που εξαρτώνται από αυτή την πηγή.

Ως αποτέλεσμα της αλλαγής του κλίματος πολλές παράκτιες περιοχές που οι περισσότερες από αυτές είναι πολυπληθείς θα πρέπει να αντιμετωπίσουν τον μόνιμο κατακλυσμό και την μετακίνηση των ζωνών αιγιαλού και παραλίας, την παράκτια διάβρωση εξαιτίας της έντασης του φαινομένου των κυματικών καταιγίδων, την απώλεια των υγροτόπων και την υφαλμύρωση του παράκτιου υδροφόρου ορίζοντα εξαιτίας της εισβολής των θαλάσσιων υδάτων. Η επιδείνωση της κλιματικής αλλαγής με συνέπεια την πιθανή άνοδο της στάθμης της θάλασσας θα προκαλέσει αύξηση των καταιγίδων και ειδικότερα των πλημμυρών εξαιτίας της συχνότερης πρόκλησης ακραίων καιρικών φαινομένων, καθώς και την αυξανόμενη διάβρωση των παράκτιων περιοχών.

Οι επιπτώσεις στα παράκτια οικοσυστήματα τα οποία παρουσιάζουν έντονες διαφορές ως προς την παραγωγική διαδικασία όπως οι κοραλλιογενείς ύφαλοι, οι κοραλλιογενείς νήσοι, οι ύφαλοι των νήσων και οι αλυκές εξαρτώνται από τον ρυθμό της ανόδου της στάθμης της θάλασσας σε σχέση με την ταχύτητα της ανάπτυξης και προσθήκης ιζημάτων στις παράκτιες περιοχές, την έκταση που προορίζεται για την οριζόντια από βιότοπο σε βιότοπο ή κάθετη εντός των ορίων του ίδιου βιοτόπου μετανάστευση των πτηνών ή των εντόμων και τους παράγοντες που εμποδίζουν αυτή, τις μεταβολές στη σχέση κλίμα-ωκεανός-συμπεριλαμβανομένων της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας και της δραστηριότητας των θυελλών-και τους περιορισμούς στους οποίους υπόκεινται οι παράκτιες περιοχές από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τις δύο τελευταίες δεκαετίες τα φαινόμενα λεύκανσης των κοραλλίων προκλήθηκαν από διάφορες αιτίες και κυρίως από την αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών. Στην περίπτωση που συνεχιστεί η αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας θα οδηγήσει στην περαιτέρω επιδείνωση του φυσικού περιβάλλοντος των κοραλλιογενών υφάλων καθώς και στην αύξηση των κρουσμάτων θαλάσσιων ασθενειών.

Οι αξιολογήσεις των στρατηγικών προσαρμογής των παράκτιων περιοχών στα νέα κλιματικά δεδομένα οδήγησαν στον παραγκωνισμό των έργων για την προστασία αυτών των περιοχών όπως είναι για παράδειγμα τα φράγματα, προς όφελος της λήψης πιο ευέλικτων προστατευτικών μέτρων όπως είναι η περιβαλλοντική διαχείριση των ακτών, ο κατευθυνόμενος και προγραμματισμένος περιορισμός ανθρώπινων δραστηριοτήτων και η βελτίωση της ανθεκτικότητας των βιοφυσικών και κοινωνικοοικονομικών συστημάτων των παράκτιων περιοχών.

Οι πολιτικές προσαρμογής των παράκτιων περιοχών στα νέα κλιματικά δεδομένα σε σχέση με την διαχείριση των ακτών και του θαλάσσιου περιβάλλοντος θα είναι πιο

αποτελεσματικές εάν συνδυαστούν με την εφαρμογή συγκεκριμένων πολιτικών σε άλλους τομείς, όπως είναι οι πολιτικές προστασίας των παράκτιων περιοχών, οι πολιτικές περιορισμού των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών, τα ολοκληρωμένα σχέδια διαχείρισης των χρήσεων γης, καθώς και η λήψη θεσμικών μέτρων για τον χωροταξικό σχεδιασμό των παράκτιων περιοχών (Δρίτσας, 2005).

2. Αντιπλημμυρική Προστασία

2.1. Εισαγωγή

Πλημμύρα ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία περιοχές, που συνήθως είναι στεγνές καλύπτονται από ποσότητες νερού για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι πλημμυρικοί όγκοι νερού προέρχονται από:

- Την τοπική βροχόπτωση.
- Την υπερχείλιση ποταμού.
- Την εισροή της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές.
- Από τη θραύση φράγματος.
- Από λιώσιμο χιονιού.

Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα (αφού συνήθως προέρχονται από μετεωρολογικές καταστάσεις), όμως συμβαίνουν όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης (φυσικού ή ανθρωπογενούς) δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση. Τα φυσικά φαινόμενα που προκαλούν πλημμύρες δεν μπορούν να ελεγχθούν αλλά οι γεωλογικές, γεωμορφολογικές και εδαφολογικές συνθήκες της λεκάνης απορροής είναι δυνατόν να τροποποιηθούν με την ανθρώπινη επέμβαση (Μαμάσης, 2009).

Ο πλημμυρικός κίνδυνος είναι συνάρτηση της πιθανότητας εμφάνισης του φυσικού φαινομένου και της επίδρασης που θα έχει στην ανθρώπινη κοινωνία. Σε μια δεδομένη βροχόπτωση οι ζημιές που θα προκληθούν λόγω πλημμύρας, εξαρτώνται από τρεις κύριους παράγοντες:

- την παρουσία αντιπλημμυρικών έργων,
- την αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος που έχει αποτέλεσμα την αύξηση του πλημμυρικού όγκου και τη μείωση του χρόνου συρροής των νερών και
- την ένταση της ανθρώπινης δραστηριότητας σε περιοχές που αποτελούν πεδία πλημμυρών με κάποια πιθανότητα.

Οι πλημμύρες από την υπερχείλιση ποταμού ποικίλλουν σημαντικά ως προς το μέγεθος και τη διάρκειά τους. Στην περίπτωση μεγάλων ποταμών οι πλημμύρες μπορεί να εμφανιστούν αρκετό χρόνο μετά τη βροχόπτωση και να διαρκέσουν ημέρες, εβδομάδες ή ακόμη και μήνες. Σε μικρότερα ποτάμια είναι δυνατόν να εμφανιστούν στιγμιαίες πλημμύρες (flash floods) που συνήθως οφείλονται σε πολύ έντονη τοπική βροχόπτωση. Αυτές είναι λιγότερο προβλέψιμες και μπορεί να προκαλέσουν εκτεταμένες καταστροφές ιδίως όταν η έντονη βροχόπτωση προκαλεί κατολισθήσεις εδάφους ή ιλύος. Δεδομένου ότι συμβαίνουν ξαφνικά και με ελάχιστη προειδοποίηση είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες για τους ανθρώπους.

Τα προστατευτικά μέτρα σχεδιάζονται για να παρέχουν προστασία σε ένα επίπεδο πλημμύρας. Το επίπεδο προστασίας που επιλέγεται εξαρτάται από το κόστος, την επιθυμία της κοινωνίας, την εν δυνάμει ζημία, την επίδραση στο περιβάλλον και άλλους παράγοντες. Η προστασία από τις πλημμύρες δεν είναι ποτέ απόλυτη. Τα ερωτήματα που τίθενται είναι:

1. πόσο ασφαλείς θέλουμε να είμαστε,
2. με τι κόστος,
3. τι αποδοχή έχει στη κοινωνία η πιθανότητα που απομένει εμφάνισης εξαιρετικά

ακραίων γεγονότων.

Η αντιμετώπιση των πλημμυρών γίνεται με μια σειρά μέτρων που διακρίνονται ανάλογα με:

- την κατασκευή ή όχι τεχνικών έργων (κατασκευαστικά-μη κατασκευαστικά μέτρα),
- το αν προστατεύουν συγκεκριμένες κατασκευές ή μεγαλύτερες περιοχές,
- το αν έχουν σκοπό:
 1. να διαφοροποιήσουν την πλημμύρα,
 2. να μειώσουν την ευπάθεια σε πλημμύρα και
 3. να μειώσουν την επίδραση της πλημμύρας.

Η προστασία από τις πλημμύρες πρέπει να αντιμετωπίζεται κατά συνδυασμένο και συντονισμένο τρόπο σε όλη τη λεκάνη απορροής του ποταμού δεδομένου ότι τα τοπικά μέτρα προστασίας που λαμβάνονται σε ένα μέρος μπορεί να έχουν έμμεσο αντίκτυπο στις ανάντη και κατάντη περιοχές. Το σημείο αυτό γίνεται σημαντικό στις περιπτώσεις ποταμών που διέρχονται από διαφορετικά κράτη όπου θα πρέπει να υπάρχει αλληλεγγύη στο χειρισμό των πλημμυρών. Η γενική στρατηγική έχει τρία κύρια βήματα: κατακράτηση, αποθήκευση και αποστράγγιση. Οι βαθύτερες αιτίες των πλημμυρών (βροχόπτωση, στάθμη της θάλασσας) είναι φυσικά φαινόμενα τα οποία δεν μπορούν κατ' ουσία να ελεγχθούν. Εντούτοις το εάν μια δεδομένη βροχόπτωση θα προκαλέσει ζημιές λόγω πλημμύρας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ανθρώπινες ενέργειες, όπως (1) η αστικοποίηση, (2) η αποδάσωση τμημάτων της λεκάνης απορροής, (3) η ευθυγράμμιση του ρου των ποταμών, (4) η εξάλειψη των φυσικών πεδίων κατάκλισης, (5) η ανεπαρκής αποστράγγιση και (6) η οικοδόμηση κτιρίων και κατασκευών σε επικίνδυνα πεδία κατάκλισης.

Οι άνθρωποι που ζουν σε περιοχές με υψηλό κίνδυνο πλημμυρών πρέπει να παίρνουν προσωπικά μέτρα για την περιουσία τους. Ακόμη θα πρέπει να υπάρχει μηχανισμός ασφαλειών ώστε να αποζημιώνονται οι ζημιές.

Η πλημμύρα παράκτιων περιοχών μπορεί να προκληθεί από καταιγίδες στη θάλασσα λόγω των ανέμων που κατακλύζουν την ξηρά με πλημμυρίδες. Σε πολλές περιοχές, η ευπάθεια στις πλημμύρες έχει αυξηθεί λόγω της παράκτιας διάβρωσης. Όταν οι θαλάσσιες καταιγίδες συμπίπτουν με ανύψωση της στάθμης του νερού στις εκβολές ποταμών τότε είναι πιθανό να προκληθούν εκτεταμένες ζημιές.

Δύο σημεία υποδεικνύουν αύξηση του κινδύνου πλημμυρών στην Ευρώπη: (α) το μέγεθος και η συχνότητα των πλημμυρών που είναι πιθανόν να αυξηθούν στο μέλλον λόγω κλιματικών διακυμάνσεων (οι οποίες θα προκαλέσουν εντονότερη βροχόπτωση και ανύψωση της στάθμης της θάλασσας) και (β) η αισθητή αύξηση του αριθμού των ατόμων και οικονομικών αγαθών που είναι εγκατεστημένα σε ζώνες που κινδυνεύουν από πλημμύρες.

Τα τελευταία χρόνια συνειδητοποιείται όλο και περισσότερο η επίδραση των πλημμυρών από την υπερχείλιση ποταμών στην ανθρώπινη υγεία. Όταν τα πλημμυρικά νερά παρασύρουν ρύπους ή αναμειγνύονται με ρυπασμένα νερά από αποστραγγίσεις και γεωργικές γαίες μπορεί να προκαλέσουν υγειονομικές συνέπειες.

2.1.1. Επιπτώσεις Σημαντικών Πλημμυρικών Επεισοδίων

Μεταξύ του 1998 και του 2002 η Ευρώπη επλήγη από περισσότερες από 100 μεγάλες

ζημιογόνες πλημμύρες συμπεριλαμβανομένων των καταστρεπτικών πλημμυρών των ποταμών Δούναβη και Έλβα το 2002.

Από το 1998 οι πλημμύρες έχουν προκαλέσει περίπου 700 θανάτους, τον εκτοπισμό σχεδόν μισού εκατομμυρίου ατόμων και τουλάχιστον 25 GEuro σε ασφαλισμένες οικονομικές απώλειες.

Πάνω από 10 εκατομμύρια άτομα ζουν σε περιοχές εκτεθειμένες στον κίνδυνο μεγάλων πλημμυρών κατά μήκος του Ρήνου και οι δυνητικές ζημιές από πλημμύρες ανέρχονται σε 165 GEuro.

Οι παραθαλάσσιες περιοχές διατρέχουν επίσης τον κίνδυνο να κατακλυστούν. Η συνολική αξία των οικονομικών αγαθών που βρίσκονται εντός 500 μέτρων από τις ευρωπαϊκές ακτές συμπεριλαμβανομένων των παραλιών, γεωργικών γαιών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων, εκτιμάται σήμερα σε 500 έως 1000 GEuro.

Οι πλημμύρες μπορούν να έχουν σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις όταν: (α) κατακλύζονται εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, (β) πλήττονται εργοστάσια στα οποία υπάρχουν μεγάλες ποσότητες τοξικών χημικών προϊόντων και (γ) καταστρέφονται υγρότοποι και μειώνεται η βιοποικιλότητα (Μαμάσης, 2009).

2.2. Κυματικά Φαινόμενα στο Θαλάσσιο και Παράκτιο Περιβάλλον

Η ταυτόχρονη δράση δυνάμεων απομακρύνσεως των υδάτινων σωματιδίων της θαλάσσιας μάζας από τη θέση ηρεμίας τους (γενεσιουργές δυνάμεις) και δυνάμεων επαναφοράς των σωματιδίων στις αρχικές θέσεις τους (επαναφέρουσες δυνάμεις) σε συνδυασμό με τη μεγάλη κινητικότητα των σωματιδίων προκαλεί κάτω από ορισμένες συνθήκες τη δημιουργία ταλαντώσεων στα σωματίδια. Η συνισταμένη διαταραχή της θαλάσσιας μάζας από τις ταλαντώσεις των σωματιδίων οδηγεί στο θαλάσσιο κυματισμό (Μουτζούρης, 1996).

Ως κυματισμός ορίζεται κάθε περιοδική ή μη περιοδική διαταραχή της επιφάνειας της θάλασσας. Βασικό χαρακτηριστικό των κυματισμών αποτελεί η περίοδος T η οποία ορίζεται ως ο χρόνος μιας πλήρους ταλαντώσεως των σωματιδίων η διαφορετικά ως ο χρόνος που μεσολαβεί από την διέλευση δύο διαδοχικών κορυφών ή κοιλιών του κύματος από ένα ορισμένο σημείο.

Η συνηθέστερη διάκριση στους κυματισμούς γίνεται με βάση την περίοδο ταλαντώσεως των σωματιδίων. Για περιόδους ταλαντώσεων μεγαλύτερες από 5 λεπτά οι κυματισμοί ονομάζονται μεγάλης περιόδου. Οι κυματισμοί μικρότερων περιόδων και ιδιαίτερα περιόδων μικρότερων από 30 δευτερόλεπτα ονομάζονται κυματισμοί μικρής περιόδου.

Η χρονική κλίμακα μεταβολής της στάθμης της επιφάνειας (περίοδος T , για τους περιοδικούς κυματισμούς) ποικίλει ανάλογα με την προέλευση γένεσης του κυματισμού από μερικά δευτερόλεπτα σε μερικές ώρες.

Στο θαλάσσιο περιβάλλον εξελίσσεται ταυτόχρονα ένα πλήθος κυματικών φαινομένων, αρκετά από τα οποία βρίσκονται σε ουσιώδη σύζευξη μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό γίνεται καλύτερα κατανοητό αν λάβουμε υπ' όψη μας ότι:

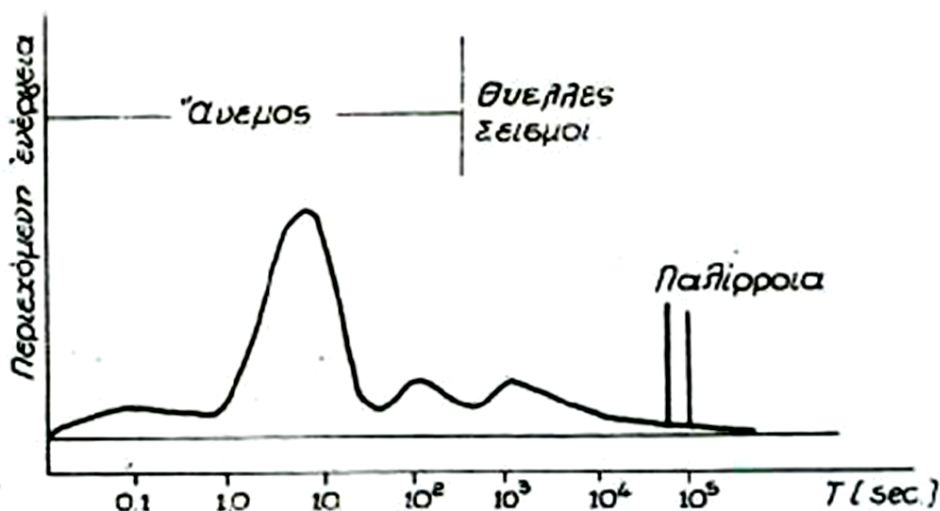
- Το θαλασσινό νερό είναι ένα ελαφρά ανομοιογενές και αγωγίμο υγρό το οποίο εδράζεται πάνω σε ένα πολυστρωματοποιημένο παραμορφώσιμο στερεό πυθμένα και περατώνεται σε μία ελεύθερη επιφάνεια (free surface) δια της οποίας δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία και την επίδραση του υπερκείμενου πεδίου του ανέμου και

- Η μάζα του θαλάσσιου νερού βρίσκεται πάνω σε μία ελαφρά μαγνητισμένη, περιστρεφόμενη, περίπου σφαιρική μάζα (Γη), η οποία αλληλεπιδρά μέσω δυνάμεων βαρύτητας με άλλα ουράνια σώματα (κυρίως με τη Σελήνη και τον Ήλιο).

Επιπλέον μπορούμε να διακρίνουμε τις ακόλουθες κύριες κατηγορίες κυματικών φαινομένων στη θάλασσα:

- Επιφανειακά κύματα (surface waves).
- Εσωτερικά κύματα (internal waves).
- Γυροσκοπικά κύματα (inertial or gyroscopic waves).
- Πλανητικά κύματα (planetary or Rossby waves).
- Παλίρροιες (tides).
- Ακουστικά κύματα, που διαδίδονται στο εσωτερικό της υδάτινης μάζας (hydroacoustic waves) και είναι συζευγμένα με ακουστικά και ελαστικά κύματα που διαδίδονται στα υποστρώματα του πυθμένα.

Μία γενική εικόνα όλων των ανωτέρω φαινομένων δίνεται μέσω του γενικού φάσματος των θαλάσσιων κυματισμών (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. Κατάταξη κυματισμών.

(Πηγή: Καραμπάς Θ. (2004). Υπολογιστική Κυματομηχανική και Ακτομηχανική Θεωρητική Προσέγγιση. Εκπαιδευτικό και Επιχειρησιακό Λογισμικό. Διδακτικό Βοήθημα Τμήματος Επιστημών Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.)

Όπως διακρίνουμε από το σχήμα αυτό οι επιφανειακοί θαλάσσιοι κυματισμοί αφ' ενός μεν καταλαμβάνουν πολύ σημαντικό τμήμα του φάσματος θαλασσίων κυματισμών από σκοπιάς ενεργειακής πυκνότητας, αφ' ετέρου δε αντιστοιχούν σε περιόδους πολύ σχετικές με την πλειονότητα των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στο θαλάσσιο και στο παράκτιο περιβάλλον.

Εξετάζοντας αναλυτικότερα τους επιφανειακούς θαλάσσιους κυματισμούς διακρίνουμε τις εξής κύριες κατηγορίες ανάλογα με το αίτιο δημιουργίας τους:

- Ανεμογενείς κυματισμοί δηλαδή κύματα ανέμου (wind waves) και αποθάλασες (swell), οι οποίοι καταλαμβάνουν ένα μεγάλο τμήμα του φάσματος που αντιστοιχεί σε

περιόδους από $T=1$ sec έως $T=20$ sec και 25 sec περίπου.

- Κύματα παραγόμενα από κινήσεις επιπλεόντων ή βυθισμένων αντικειμένων (body generated waves) τα οποία γενικώς αντιστοιχούν στις ίδιες περιόδους με τους ανεμογενείς κυματισμούς.
- Κυματώγη (surf beat) και κύματα ιδιοταλαντώσεων λιμανιών και υφαλοκρηπίδας (harbour resonance, seiche, shelf waves) που αντιστοιχούν σε περιόδους από $T=1$ min έως $T=40$ min περίπου.
- Σεισμογενείς κυματισμοί (σεισμικά κύματα, tsunamis), οι οποίοι καταλαμβάνουν μεγάλο τμήμα του φάσματος που αντιστοιχεί σε περιόδους από $T=5$ min έως $T=2$ h, περίπου.
- Κυματισμοί που οφείλονται σε γρήγορες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσεως (seiches).
- Κυματισμοί που οφείλονται στην έλξη της σελήνης (παλίρροια).

Εκτός των ανωτέρω προς την πλευρά των πολύ μικρών περιόδων (μεγάλων συχνοτήτων) του φάσματος των επιφανειακών θαλασσίων κυματισμών διακρίνουμε τα κύματα επιφανειακής τάσης (capillary waves), τα οποία καταλαμβάνουν το τμήμα του φάσματος που αντιστοιχεί σε περιόδους από $T=0.05$ sec έως $T=1$ sec περίπου. Η ενεργειακή πυκνότητα των κυμάτων επιφανειακής τάσεως είναι πολύ μικρή συγκριτικά με την πυκνότητα ενέργειας που μεταφέρουν οι ανεμογενείς κυματισμοί.

Πέραν αυτού όμως οι ανεμογενείς κυματισμοί διαδίδοντας μεγάλα ποσά ενέργειας (και δευτερευόντως μάζας) από την ανοικτή θάλασσα όπου δημιουργούνται προς τις ακτές, αποτελούν ένα πολύ σημαντικό παράγοντα που επιδρά στην διαμόρφωση των ακτών, στην ισορροπία του οικοσυστήματος, στην παράκτια ζώνη και στην ρύπανση των ακτών. Επομένως η μελέτη των μηχανισμών διάδοσης των κυματισμών αυτών και η εξέταση της αλληλεπίδρασης τους με το παράκτιο περιβάλλον αποτελεί θέμα ζωτικής σημασίας από οικονομική και κοινωνική άποψη.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ανεμογενείς θαλάσσιοι κυματισμοί και ιδιαίτερα τα κύματα ανέμου λόγω της φύσεως του διεγείροντος αιτίου χαρακτηρίζονται από έντονη έλλειψη κανονικότητας τόσο χωρικά όσο και χρονικά.

2.2.1. Βασική Θεωρία Κυματισμών-Παράκτιων Διεργασιών

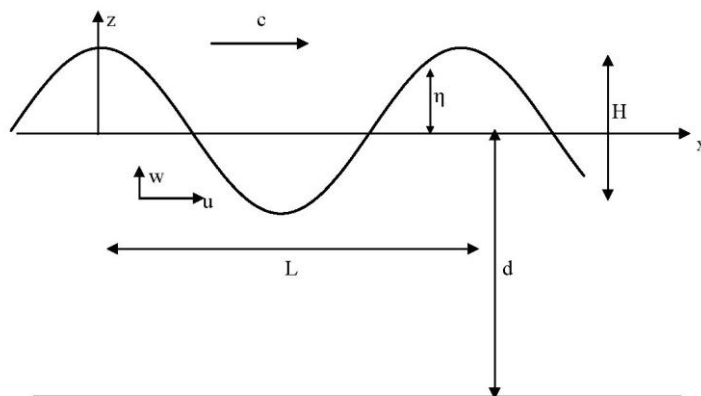
Η βασική μαθηματική θεωρία περιγραφής των κυματισμών είναι η γραμμική θεωρία κυματισμών που βασίζεται στην παραδοχή ότι το ύψος του κύματος H είναι πολύ μικρότερο του βάθους d και του μήκους L καθώς και στην παραδοχή αστρόβιλης ροής (Καραμπάς, 2004).

Ορίζοντας τον άξονα x στη στάθμη ηρεμίας (Εικόνα 7) η στιγμιαία ανύψωση της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας η δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = (H/2) \cdot \cos(k \cdot x - \sigma \cdot t) \quad (1)$$

όπου

L : το μήκος κύματος



Εικόνα 7. Τυπική διατομή κύματος.

(Πηγή: Καραμπάς Θ. (2004). *Υπολογιστική Κυματομηχανική και Ακτομηχανική Θεωρητική Προσέγγιση. Εκπαιδευτικό και Επιχειρησιακό Λογισμικό. Διδακτικό Βοήθημα Τμήματος Επιστημών Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.*)

k: αριθμός κύματος, $k=2\pi/L$

T: η περίοδος του κύματος

σ : η κυκλική συχνότητα, $\sigma=2\pi/T$

H: το ύψος του κύματος

ενώ η στάθμη ηρεμίας ταυτίζεται με τη μέση στάθμη της θάλασσας.

Επιπλέον ορίζεται η φασική ταχύτητα ή ταχύτητα διάδοσης του κυματισμού c ως:

$$c=L/T \quad (2)$$

2.2.2. Διαμόρφωση Κυματισμών στον Παράκτιο Χώρο

2.2.2.1. Επίδραση του Πυθμένα

Ο θαλασσιάς πυθμένας επιδρά στους κυματισμούς. Η επίδραση εκδηλώνεται κατά κύριο λόγο στην υφή και την μορφή των κυμάτων καθώς και στη διεύθυνση μεταδόσεως. Η επίδραση του πυθμένα γίνεται αισθητή από τα κύματα όταν μειωθεί αισθητά το βάθος του νερού. Οι κυριότερες μορφές επιδράσεως του πυθμένα στους θαλάσσιους κυματισμούς είναι οι παραμορφώσεις της διατομής του κύματος, η θραύση και η διάθλαση των κυματισμών. Η γνώση των μεταβολών αυτών είναι απαραίτητη για τον σωστό σχεδιασμό των αντιπλημμυρικών έργων παράκτιας προστασίας (Καραμπάς, 2004).

- Παραμορφώσεις Διατομής Κύματος

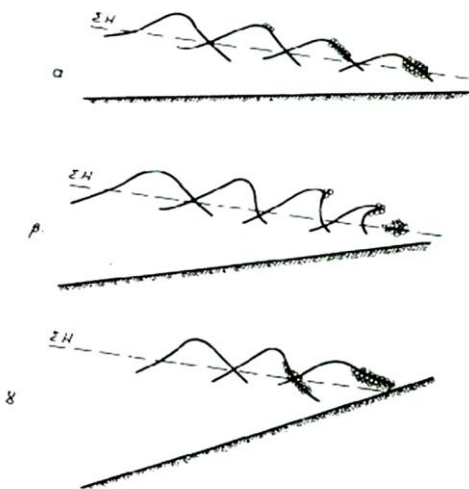
Η διατομή του κύματος μεταβάλλεται ριζικά στην περιοχή των μικρών σχετικά βαθών. Οι σημαντικότερες μεταβολές σε μία διατομή είναι η μείωση του μήκους κύματος, η μείωση και στη συνέχεια αύξηση του ύψους κύματος, η αύξηση της καμπυλότητας, η σταδιακή μετατροπή της ημιτονοειδούς καμπύλης σε τροχοειδή διατομή και στη συνέχεια σε

διατομή μακρού κύματος.

- Θραύση Κυματισμών

Όταν οι παραμορφώσεις που εμφανίζονται στη διατομή ενός κύματος υπερβούν ορισμένα όρια το κύμα θραύεται. Η θραύση οφείλεται στις μεγάλες παραμορφώσεις της διατομής υπό την επίδραση του πυθμένα.

Η θραύση οφείλεται είτε στην αύξηση της καμπυλότητας H/L πέρα από ένα επιτρεπόμενο όριο (θραύση στην ανοιχτή θάλασσα, whitewatering), είτε στην επίδραση της ρηχότητας που επίσης οδηγεί τον κυματισμό στο γεγονός ότι η κορυφή τους διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα από την κοιλιά τους οδηγώντας σε κατάσταση υδροδυναμικής αστάθειας (Εικόνα 8).



Εικόνα 8. Διάφορες μορφές θραύσης κυματισμών.

(Πηγή: Καραμπάς Θ. (2004). Υπολογιστική Κυματομηχανική και Ακτομηχανική Θεωρητική Προσέγγιση. Εκπαιδευτικό και Επιχειρησιακό Λογισμικό. Διδακτικό Βοήθημα Τμήματος Επιστημών Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.)

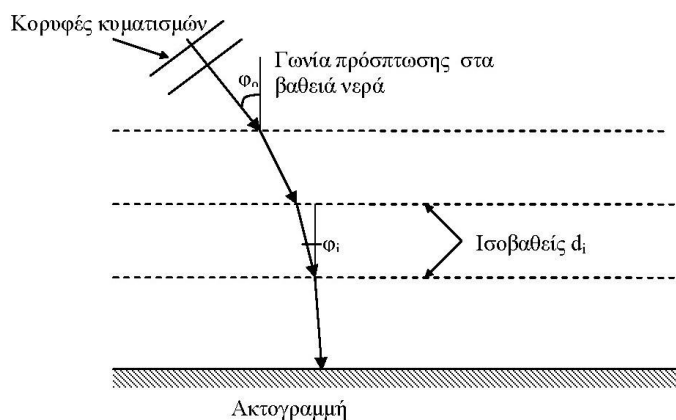
Στα ρηχά νερά κατά τη μετάδοσή του προς την ακτή ο κυματισμός αυξάνει το ύψος του λόγω της επίδρασης της ρηχότητας αφού η μείωση του μήκους οδηγεί στην αύξηση του ύψους του κυματισμού ώστε να διατηρηθεί η ενέργεια σταθερή. Όταν όμως ο λόγος του ύψους H προς το βάθος d ξεπεράσει μία οριακή τιμή ο κυματισμός θραύεται.

- Διάθλαση Κυματισμών

Οι θαλάσσιοι κυματισμοί αλλάζουν εν γένει διεύθυνση μεταδόσεως καθώς προσεγγίζουν την ακτή αφού η γωνία μεταξύ των καθέτων στο μέτωπο του κύματος και στις ισοβαθείς του πυθμένα συνεχώς μειώνεται. Η ορθογωνική του κύματος τείνει να κινηθεί κάθετα προς τις ισοβαθείς και να καμπυλωθεί. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διάθλαση των κυματισμών. Μία ποσοτική εξήγηση του φαινομένου οφείλεται στην ανομοιόμορφη κατανομή των ταχυτήτων των υγρών σωματιδίων καθ' ύψος της διατομής του κύματος με αποτέλεσμα τα βαθύτερα σημεία που κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες προς την ακτή σε σχέση με τα ρηχότερα σημεία να καμπυλώνουν το μέτωπο (Εικόνα 9).

Το φαινόμενο της διάθλασης των κυματισμών οφείλεται στην διαφοροποίηση της

ταχύτητας διάδοσης c σε διαφορετικά βάθη. Αναγκαία συνθήκη για την εμφάνισή της είναι η λοξότητα της διάδοσης των κυμάτων σε σχέση με τις ισοβαθείς. Οι κυματοκορυφές (γραμμές που ενώνουν τις κορυφές) από ευθύγραμμες γίνονται καμπύλες όπως επίσης και οι ορθογώνιες των κυμάτων (οι κάθετες στις κυματοκορυφές).



Εικόνα 9. Διάθλαση κυματισμών.

(Πηγή: Καραμπάς Θ. (2004). *Υπολογιστική Κυματομηχανική και Ακτομηχανική Θεωρητική Προσέγγιση. Εκπαιδευτικό και Επιχειρησιακό Λογισμικό. Διδακτικό Βοήθημα Τμήματος Επιστημών Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.*)

2.2.2.2. Επίδραση Μετώπου

Η ύπαρξη ενός μετώπου στο πεδίο ροής των κυματισμών διαταράσσει τη ροή. Το βασικό χαρακτηριστικό της διαταραχής είναι ότι το μέτωπο λειτουργεί σαν πηγή δημιουργίας άλλων κυματισμών που μεταδίδονται σε διαφορετική κατεύθυνση από την αρχική. Οι κυριότερες επιδράσεις ενός μετώπου είναι η ανάκλαση και η περίθλαση του κυματισμού (Καραμπάς, 2004).

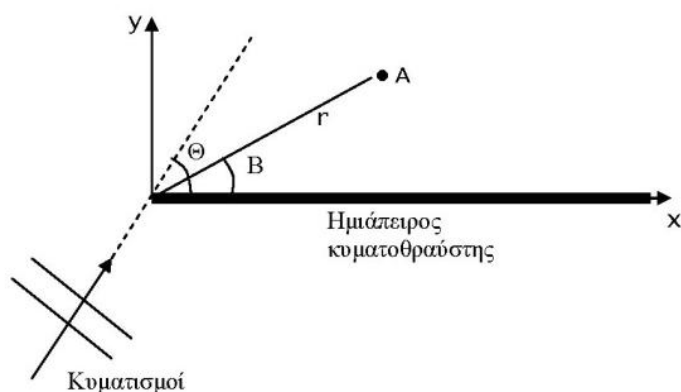
- Ανάκλαση

Η ενέργεια ενός κυματισμού που προσπίπτει σε ένα στερεό μέτωπο υφίσταται ανάκλαση. Η ανάκλαση είναι ολική ή μερική ανάλογα αν το μέτωπο καλύπτει κατακόρυφα όλο ή μέρος του πεδίου ροής, αν το μέτωπο είναι κατακόρυφο ή κεκλιμένο και τέλος αν είναι σημαντικές ή όχι οι απώλειες ενέργειας. Η ανάκλαση ενέργειας δημιουργεί το ανακλώμενο κύμα το οποίο αθροιζόμενο με το αρχικό προσπίπτον παράγει ένα νέο κύμα το οποίο ονομάζεται στάσιμο κύμα.

- Περίθλαση

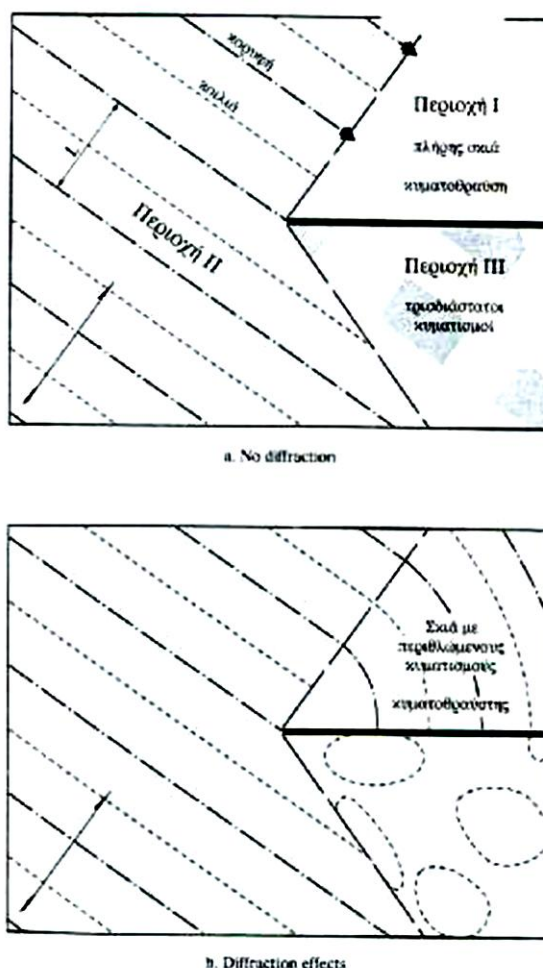
Η περίθλαση των κυματισμών είναι φυσικός μηχανισμός στον οποίο λαμβάνει χώρα μετάδοση ενέργειας κατά μήκος των κορυφογραμμών του προσπίπτοντος κύματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εμφάνισης του φαινομένου της περίθλασης είναι οι κυματισμοί με μειούμενο ύψος και αλλαγή κατεύθυνσης που υπάρχουν σε θαλάσσια περιοχή προστατευμένη από θαλάσσιο τεχνικό έργο και η οποία θα ηρεμούσε εφόσον δεν θα εμφανιζόταν αυτή η μετάδοση ενέργειας και που οφείλεται στην επίδραση του μετώπου της κατασκευής. Με την περίθλαση είναι δυνατή η είσοδος κυματικής διαταραχής στο

εσωτερικό των λιμενολεκανών (Εικόνα 10, 11).



Εικόνα 10. Περίθλαση κυματισμών και συμβολισμοί.

(Πηγή: Καραμπάς Θ. (2004). Υπολογιστική Κυματομηχανική και Ακτομηχανική Θεωρητική Προσέγγιση. Εκπαιδευτικό και Επιχειρησιακό Λογισμικό. Διδακτικό Βοήθημα Τμήματος Επιστημών Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.)



Εικόνα 11. Περίθλαση κυματισμών.

(Πηγή: Καραμπάς Θ. (2004). Υπολογιστική Κυματομηχανική και Ακτομηχανική Θεωρητική Προσέγγιση. Εκπαιδευτικό και Επιχειρησιακό Λογισμικό. Διδακτικό Βοήθημα Τμήματος Επιστημών Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.)

2.3. Η Μεταβολή των Ακτογραμμών

Ο ρυθμός μεταβολής των ακτογραμμών είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που χρησιμοποιείται από τους επιστήμονες που ασχολούνται με τη δυναμική της παράκτιας ζώνης. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο ρυθμός μεταβολής των ακτογραμμών αναμένεται να απεικονίσει μια αθροιστική επίδραση από τα γεγονότα που έχουν συμβεί διαχρονικά στην ακτή και προφανώς την έχουν επηρεάσει. Η ακρίβεια με την οποία ο ρυθμός μεταβολής εκφράζει την επίδραση αυτή εξαρτάται από (Δουκάκης, 2007):

1. την ακρίβεια των μετρήσεων στις ακτογραμμές,
2. το μέγεθος της διαχρονικής μεταβολής της ακτογραμμής,
3. τον αριθμό των δεδομένων σημείων (μετρημένες θέσεις ακτογραμμών) που χρησιμοποιούνται,
4. την χρονική εγγύτητα κάθε παρατήρησης στο χρόνο μιας πραγματικής αλλαγής,
5. το χρονικό διάστημα μεταξύ των μετρήσεων στις ακτογραμμές,
6. τη συνολική χρονική έκταση των δεδομένων των ακτογραμμών και
7. τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί ο ρυθμός.

Η μετακίνηση της ακτογραμμής διαχρονικά αποτελείται συνήθως από ένα προβλέψιμο κομμάτι μεταβολής που μπορεί να θεωρηθεί ως σήμα ή τάση και από ένα βραχυπρόθεσμο κομμάτι μεταβολής ή «θόρυβο». Τα μακροπρόθεσμα φαινόμενα όπως η άνοδος της στάθμης της θάλασσας ή η μετακίνηση των φυσικών ιζημάτων εμφανίζονται με το πέρασμα πολλών δεκαετιών και δίνουν τις πιο προβλέψιμες τάσεις. Γενικά η βραχυπρόθεσμη μεταβολή εμφανίζεται κατά τη διάρκεια χρονικών περιόδων που κυμαίνονται από μερικές ημέρες μέχρι πολλά χρόνια. Αυτό δείχνει ότι τόσο οι μακροπρόθεσμες όσο και οι βραχυπρόθεσμες τάσεις είναι ανιχνεύσιμες. Μερικές επιστημονικές ομάδες που ασχολούνται με τις ακτές και τα φαινόμενα που παρατηρούνται σ' αυτές στηρίζονται σε μακροπρόθεσμες τάσεις μεταβολής των ακτογραμμών για να βγάλουν συμπεράσματα όσον αφορά τη διαχείριση παράκτιων περιοχών, ενώ άλλες στηρίζονται σε σχετικά βραχυπρόθεσμες τάσεις.

2.3.1. Οι Δυνάμεις Μεταβολής της Ακτογραμμής

2.3.1.1. Γενικά

Οι ακτές είναι από τα πιο ευμετάβλητα φυσικά συστήματα της φύσης. Ο χαρακτήρας της ακτής που κάθε φορά εμφανίζεται καθώς και οι μεταβολές οι οποίες υπεισέρχονται σε αυτήν εξαρτώνται από ποικίλους παράγοντες όπως από τους κυματισμούς, τις παλίρροιας, τη μεταβολή της στάθμης της θάλασσας, την τροφοδοσία ιζημάτων, το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής, το κλίμα, την επιφανειακή απορροή λόγω των βροχών και τους βιολογικούς δείκτες. Βεβαίως πέρα από τη φυσική προέλευση των αιτιών που προκαλούν μεταβολές στην ακτή σημαντική είναι και η επίδραση του ανθρώπου κύρια με την κατασκευή έργων στη ζώνη της παραλίας αλλά και έξω απ' αυτήν. Έτσι κατασκευές όπως οι προβλήτες, οι προκυμαίες, οι κυματοθραύστες και τα φράγματα σε παρακείμενους ποταμούς μπορούν να επιφέρουν μεγάλες αλλαγές στη μορφή και τη λειτουργία της παραλίας. Ακόμη η αμμοληψία αποτελεί έναν άλλο τρόπο μέσω του οποίου ο άνθρωπος επιδρά αρνητικά στις ακτές. Στους πίνακες που ακολουθούν δίνονται τα φυσικά και τα ανθρωπογενή αίτια μεταβολής της

ακτογραμμής και της παραλίας σε σχέση με την κλίμακα χρόνου και χώρου στις οποίες αυτά συμβαίνουν. Παρακάτω γίνεται μια αναφορά σε καθέναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που αναφέρθηκαν (Δουκάκης, 2007).

2.3.1.2. Παλίρροιες

Οι παλίρροιες είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακές στα αβαθή. Για παράδειγμα στη Βόρεια Θάλασσα της Γερμανίας η θάλασσα καταλαμβάνει μια ζώνη πλάτους 10-20 km για λίγες ώρες και μετά επανέρχεται στο χέρσο. Έτσι δημιουργείται μια αμφίβια ζώνη γκρι χρώματος από λάσπη και υγρή άμμο η οποία περιοδικά είναι στεριά και πυθμένας. Όταν η θαλάσσια επιφάνεια ανέρχεται σε ασυνήθιστα υψηλές παλίρροιες καταλαμβάνει μια τεράστια έκταση της στεριάς με μεγάλες καταστροφές. Όταν κατέρχεται δημιουργούνται εκτάσεις «υγρής στεριάς» και μεγάλα ποτάμια στα οποία μπορούν να πλεύσουν ακόμη και πλοία. Όταν όμως η ακτή έχει απότομες κλίσεις η εικόνα είναι πολύ διαφορετική. Η παλίρροια εμφανίζεται μόνο σαν κατακόρυφη μετατόπιση μια και η οριζόντια μετακίνηση είναι πρακτικά μηδενική. Τα μεγαλύτερα λιμάνια βρίσκονται στις εκβολές ποταμών και σε αβαθή νερά όπου όμως οι παλίρροιες είναι σημαντικές. Ευνόητο είναι ότι στα λιμάνια αυτά, η θαλάσσια κυκλοφορία πρέπει να περιμένει την πλημμυρίδα για την προσέγγιση. Στους Πίνακες 1 και 2 εμφανίζονται τα φυσικά και τα ανθρωπογενή αίτια που συμβάλλουν στην μεταβολή της ακτογραμμής αντίστοιχα.

Πίνακας 1. Φυσικά αίτια μεταβολής ακτογραμμής.

Κλίμακα (χρονική – χωρική)	Φυσικά αίτια
Αιώνες ή Χιλιετηρίδες-περισσότερο των 100 km	Διαθεσιμότητα σε ιζήματα. Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης. Κατακόρυφες κινήσεις του πυθμένα. Γεωλογικό υπόβαθρο. Γεωλογικής κλίμακας κλιματικές αλλαγές. Παλαιομορφολογία.
Δεκάδες χρόνια έως μερικούς αιώνες- 10 έως 100 km	Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης. «Κύματα άμμου». Τοπικές κλιματικές μεταβολές. Ακραία καιρικά φαινόμενα.
1 έως 10 χρόνια-1 έως 5 km	Κλιματικές μεταβολές κυμάτων. Μεταβολή του αναβαθμού της ζώνης κυματοαγωγής. Ακραία καιρικά φαινόμενα.
Ωρες έως 1 έτος-10 m έως 1 km	Κύματα, παλίρροιες και καταιγίδες. Εποχιακές κλιματικές αλλαγές.

(Πηγή: Δουκάκης Ε. (2007). *Μέθοδοι Προσδιορισμού του Ρυθμού Μεταβολής των Ακτογραμμών*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.)

Το λιμάνι του Αμβούργου είναι ένα πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα. Τα πλοία περιμένουν την πλημμυρίδα για να προσαράξουν και μόνο με την βοήθεια από ρυμουλκά πλοία από έμπειρους πιλότους.

Πίνακας 2. Ανθρωπογενή αίτια μεταβολής ακτογραμμής.

Κλίμακα (χρονική – χωρική)	Ανθρωπογενή αίτια
Αιώνες ή Χιλιετηρίδες-περισσότερο των 100 km	Κλιματικές αλλαγές προκαλούμενες από ανθρώπινες δραστηριότητες. Μεταβολή στην απορροή μεγάλων ποταμών (φράγματα κλπ). Μεγάλες παράκτιες κατασκευές. Αναμορφώσεις της παράκτιας ζώνης σε μεγάλη κλίμακα. (Μη) Διαχείριση παρακτίων ζωνών με σειρά από τεχνικά έργα.
Δεκάδες χρόνια έως μερικούς αιώνες- 10 έως 100 km	Μεταβολή στην απορροή ποταμών (φράγματα κλπ). Παράκτια τεχνικά έργα. Αναμορφώσεις της παράκτιας ζώνης. Παράκτια (μη) διαχείριση. Υπερεκμετάλλευση φυσικών πόρων.
1 έως 10 χρόνια-1 έως 5 km	Κατασκευές στη ζώνη κυματαγωγής. Ανατροφοδότηση παραλιών με άμμο.
Ώρες έως 1 έτος-10 m έως 1 km	Κατασκευές στη ζώνη κυματαγωγής. Ανατροφοδότηση παραλιών με άμμο.

(Πηγή: Δουκάκης Ε. (2007). *Μέθοδοι Προσδιορισμού του Ρυθμού Μεταβολής των Ακτογραμμών*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.)

Σε ακτές με πολύ μικρές παλίρροιες η μορφολογία τους διαμορφώνεται κύρια από τη δράση των κυμάτων και τη μεταφορά ιζημάτων. Σε ακτές με μέσο εύρος παλίρροιας η επίδραση των κυμάτων συνεχίζει να είναι σημαντική αλλά ταυτόχρονα επιδρά σε κάποιο βαθμό και το φαινόμενο της παλίρροιας. Τέλος στην περίπτωση που παρατηρούνται παλίρροιες άνω των 2-3 m, η μορφή της παραλίας είναι αποτέλεσμα τόσο των κυμάτων όσο και της παλίρροιας. Σε αυτές τις ακτές καθώς τα νερά μετακινούνται παλινδρομικά σε μεγάλες αποστάσεις μέσα σε λίγες ώρες προκαλούν τη μεταφορά σημαντικής ποσότητας ιζημάτων.

2.3.1.3. Διάβρωση

Η διάβρωση των ακτών είναι από τις σημαντικότερες αιτίες αλλαγής της μορφής τους αφού το 70% των αμμωδών ακτών παγκοσμίως διαβρώνεται. Γενικά εντάσσεται στις διεργασίες που επηρεάζουν την ακτογραμμή μακροπρόθεσμα σε αντίθεση για παράδειγμα με τις παλίρροιες οι οποίες μέσα σε ελάχιστες ώρες αλλάζουν τελείως την εικόνα της.

2.3.1.4. Κύματα Καταιγίδας

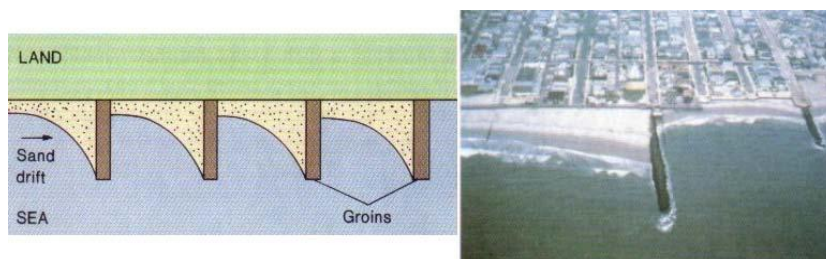
Τα κύματα καταιγίδας (storm surges) αποτελούν έναν μεγάλο κίνδυνο ιδίως για τις περιοχές του πλανήτη που οι θύελλες και οι καταιγίδες είναι συχνές και μεγάλης εντάσεως. Κατά τις ώρες του φαινομένου πλημμυρίζουν με νερό οι σχεδόν επίπεδες παράκτιες περιοχές ενώ

ταυτόχρονα συμβαίνει και ισχυρή διάβρωση στις αμμώδεις ακτές μεταλλάσσοντας τη μορφή τους ανάλογα με την ένταση αλλά και τη διάρκεια της καταιγίδας.

2.3.1.5. Παράκτιες Κατασκευές

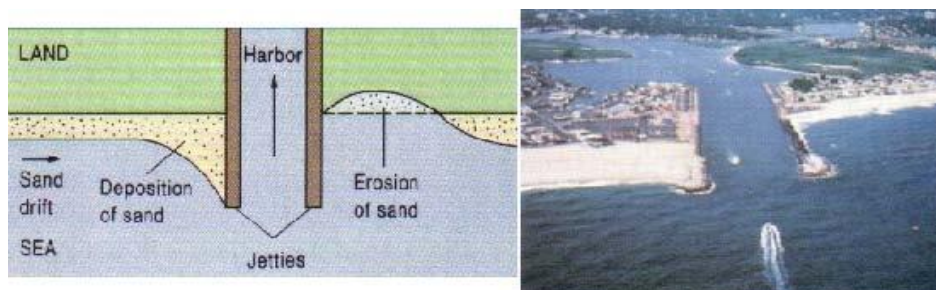
Οι παράκτιες κατασκευές μπορούν να χωριστούν σε αυτές που έχουν κάθετη διάταξη προς την ακτή και σε αυτές που έχουν παράλληλη. Οι πρώτες περιλαμβάνουν τους βραχίονες (groins) και τους μώλους (jetties), ενώ οι δεύτερες τους κυματοθραύστες (breakwaters) και τους τοίχους προστασίας (seawalls).

Οι βραχίονες είναι συνήθως ευθύγραμμες κατασκευές οι οποίες τοποθετούνται κάθετα στην ακτή προκειμένου να τις προστατέψουν από τις απώλειες των ιζημάτων που συμβαίνουν κατά τη μεταφορά τους από ρεύματα κατά μήκος της ακτογραμμής (longshore current). Το υλικό κατασκευής τους ποικίλει και μπορεί να είναι πέτρα, σκυρόδεμα ή ξύλο. Χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια με την πρώτη εμφάνισή τους κατά πάσα πιθανότητα τον 17^ο αιώνα στο λιμάνι του Dover στη νοτιοανατολική Αγγλία. Ανάντι των βραχιόνων παρατηρείται συγκέντρωση ιζημάτων ενώ κατάντι διάβρωση (Εικόνα 12). Επίσης η ύπαρξη βραχιόνων είναι δυνατόν να επισπεύσει την απώλεια άμμου σε διεύθυνση κάθετη προς την ακτή όταν η διεύθυνση του ανέμου ευνοεί αυτή τη διαδικασία. Οι βραχίονες που σχηματίζουν γωνία αποτελούμενοι έτσι από δύο ευθύγραμμα τμήματα αποτελούν μια λύση για αυτό το πρόβλημα. Σε πολλές χώρες του κόσμου γίνεται χρήση αυτών των κατασκευών με την Ιαπωνία να έχει κατασκευάσει περίπου 10.000 βραχίονες σε ανάπτυγμα ακτών 32.000 km. Στο New Jersey των ΗΠΑ μάλιστα αυτός ο τρόπος διαχείρισης των ακτών είναι τόσο συχνός που έχει καθιερωθεί με τον όρο "newjerseysation".



Εικόνα 12. Η επίδραση των βραχιόνων στις αμμώδεις ακτές. (Ocean City, New Jersey).

(Πηγή: Δουκάκης Ε. (2007). *Μέθοδοι Προσδιορισμού του Ρυθμού Μεταβολής των Ακτογραμμών*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.)



Εικόνα 13. Η επίδραση των μώλων στη μορφή των αμμωδών ακτών.

(Πηγή: Δουκάκης Ε. (2007). *Μέθοδοι Προσδιορισμού του Ρυθμού Μεταβολής των Ακτογραμμών*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.)

Οι μώλοι είναι όμοιες κατασκευές με τους βραχίονες αλλά κατασκευάζονται συνήθως σε εισόδους λιμανιών για την κατακράτηση της άμμου εκτός της εισόδου και την προστασία από τα κύματα. Επίσης απαντώνται σε στόμια εκβολών ποταμών και χειμάρρων για την προστασία τους από προσαμμώσεις οι οποίες προκαλούν φράξιμο και πρόκληση ανυψώσεως της στάθμης του νερού ανάντη και πλημμυρών (Εικόνα 13). Και στην περίπτωση των μώλων παρατηρείται πρόσχωση ανάντι και διάβρωση κατάντι λόγω του κατά μήκος της ακτής ρεύματος.

Οι τοίχοι προστασίας είναι τοίχοι αντιστήριξης παράλληλοι προς τις ακτές. Η κατασκευή τους προκαλεί περιορισμό της διατομής διάχυσης της ενέργειας οπότε η ενέργεια των κυμάτων συγκεντρώνεται σε μικρή σχετικά επιφάνεια. Η ανακλώμενη ενέργεια από τα κύματα επιδρά με την εισερχόμενη και έτσι προκαλείται διάβρωση της ακτής με μετακίνηση της άμμου κάθετα στην ακτογραμμή προς τον πυθμένα της θάλασσας. Έτσι, προκαλείται το στένεμα και το χαμήλωμα των παραλιών. Η διάβρωση δημιουργεί την ανάγκη για την κατασκευή περισσότερων έργων προστασίας προς το εσωτερικό της θάλασσας το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την μετακίνηση του προβλήματος βαθύτερα προς τη θάλασσα. Οι τοίχοι προστασίας έχουν τη τάση να αλλάζουν τις φυσικές διαδικασίες στις ακτές αλλά δεν μπορούν να τις σταματήσουν εντελώς.

Οι κυματοθραύστες τοποθετούνται παράλληλα προς την ακτή χωρίς σημείο επαφής με αυτήν. Σαν πρώτη σκέψη δεν εμποδίζουν την κατά μήκος της ακτογραμμής κίνηση των ιζημάτων οπότε δεν επιφέρουν τις αλλαγές στην μορφή της ακτογραμμής σαν αυτές των βραχιόνων και των μώλων. Στο υπήνεμο όμως μέρος του κυματοθραύστη παρατηρείται συγκέντρωση άμμου λόγω της μειωμένης ενέργειας των κυμάτων σε αυτό το σημείο. Επιπροσθέτως σε πολλές περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί έντονη διάβρωση στα τμήματα της ακτής τα οποία δεν προστατεύονται από τέτοια κατασκευή λόγω της δημιουργίας στροβίλων. Έτσι αρκετές φορές δαπανώνται επιπλέον χρήματα για την απομάκρυνση των κυματοθραυστών (Δουκάκης, 2007).

Τα φράγματα επίσης αν και δεν αποτελούν παράκτια κατασκευή αναφέρονται σε αυτό το σημείο διότι έχουν πολύ μεγάλη επίδραση στη διαμόρφωση των δέλτα των ποταμών και εμμέσως σε παρακείμενες αμμώδεις ακτές. Παρόλο που ένα φράγμα μπορεί να είναι απαραίτητο για πολλούς λόγους (έλεγχος πλημμυρών, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αποθέματα νερού) επιφέρει μεταβολή στην ποσότητα των φερτών υλικών που φθάνουν στη θάλασσα. Αυτά κατακρατούνται στα ήρεμα νερά πίσω από το φράγμα με αποτέλεσμα να διαβρώνεται έντονα το δέλτα του ποταμού. Τέτοιες εικόνες είναι συνήθεις τις τελευταίες δεκαετίες σε πολλά μέρη του κόσμου. Στο δέλτα του ποταμού Αρνο στην Ιταλία παρατηρήθηκε διάβρωση τα τελευταία χρόνια έως 20 m/έτος. Επίσης, ανεπανόρθωτες συνέπειες έχει υποστεί το δέλτα του Νείλου όπου μετά την κατασκευή του φράγματος του Ασσουάν το 1964 η ακτογραμμή έχει υποχωρήσει κατά αρκετά χιλιόμετρα.

2.3.1.6. Αμμοληψία

Η αφαίρεση άμμου από την παραλία είναι ένα σύνηθες φαινόμενο παγκοσμίως. Οι επιπτώσεις που έχει αυτό στη μελλοντική διαμόρφωση της ακτής ανάγκασε τα αναπτυγμένα κράτη του κόσμου ανάμεσά τους και η Ελλάδα, να χαρακτηρίσουν την αμμοληψία ως ποινικά διωκόμενη πράξη. Η αφαίρεση της άμμου μπορεί να γίνει από την ζώνη παφλασμού του κύματος, από τις αμμοθίνες και τους αμμόλοφους που σχηματίζονται πίσω από την παραλία, από τον πυθμένα της θάλασσας ή ακόμη και από τους ποταμούς. Σε όλες τις περιπτώσεις

προκαλείται βραχυπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη διάβρωση της ακτής αφού διαταράσσεται η ισορροπία των αποθεμάτων. Η άμμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δομικό υλικό ή για την τροφοδοσία άλλης παραλίας. Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν επίσημα στοιχεία για την αμμοληψία από τις ακτές. Πάντως έχουν αναφερθεί περιπτώσεις παράνομης μεταλλείας άμμου όπου εξορύσσεται και πωλείται σε άλλη περιοχή (για παράδειγμα παραλίες μπροστά σε μεγάλες ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις), παρά το γεγονός ότι οι ακτές της χώρας μας είναι γενικά φτωχές σε άμμο σε σχέση με άλλα μέρη του κόσμου. Στο παρελθόν χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτέλεσαν οι αμμοληψίες των Γερμανών στην περιοχή του αεροδρομίου του Μάλεμε των Χανίων με αποτέλεσμα την αναπόφευκτη διάβρωση της ακτής.

2.3.1.7. Τεκτονικές Μετακινήσεις

Η ακτογραμμή συνεχώς αλλάζει θέση και σχήμα. Οι τεκτονικές διεργασίες σε μια παράκτια περιοχή αναγκάζουν την ακτογραμμή να μετακινείται προς το μέρος της θάλασσας ή της στεριάς, αναλόγως με το αν η περιοχή αναδύεται ή βυθίζεται αντιστοίχως. Η ανύψωση και η βύθιση τμημάτων του στερεού φλοιού της γης μπορεί να συμβαίνει ταυτόχρονα σε διαφορετικά μέρη της ίδιας παράκτιας περιοχής (Εικόνα 14). Οι ακτές οι οποίες ανυψώνονται τεκτονικά χαρακτηρίζονται από βραχώδεις απότομες ακτογραμμές και ακρωτήρια που διακόπτονται από στενούς και ακανόνιστου σχήματος κόλπους. Όσο πιο σκληρή και βραχώδης είναι η σύνθεση του εδάφους τόσο πιο ακανόνιστο είναι το σχήμα της ακτογραμμής. Στα μαλακότερα εδάφη οι κλίσεις είναι πιο ομαλές.

Όπου υπάρχει βύθιση της ακτής τα ιζήματα τείνουν να επαναφέρουν την ακτογραμμή στην αρχική της θέση. Οι παράκτιες ζώνες σε αυτή την περίπτωση χαρακτηρίζονται από μικρές κλίσεις, πλατιές αμμώδεις παραλίες και μεγάλης επιφάνειας περιοχές χαμηλού υψομέτρου στο τμήμα της ξηράς όπου υπάρχουν σχετικά πρόσφατα (γεωλογικής κλίμακας) ιζήματα. Τυπικοί σχηματισμοί σε τεκτονικά βυθιζόμενες παράκτιες περιοχές είναι μικρά αμμώδη νησιά κοντά στην ακτογραμμή και ακριβώς πίσω και κατά μήκος αυτής πολύ συχνά σχηματίζονται σωροί άμμου (αμμοθίνες), αλλά και περιοχές της στεριάς οι οποίες καλύπτονται από τα νερά των παλιρροιών. Φαίνεται δηλαδή να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της ποσότητας του υλικού που διαβρώνεται λόγω της καθίζησης της ακτής και αυτής που επικάθεται μέχρι κάποιο βάθος για να καλύψει τη διαφορά που δημιουργείται από την τεκτονική βύθιση.



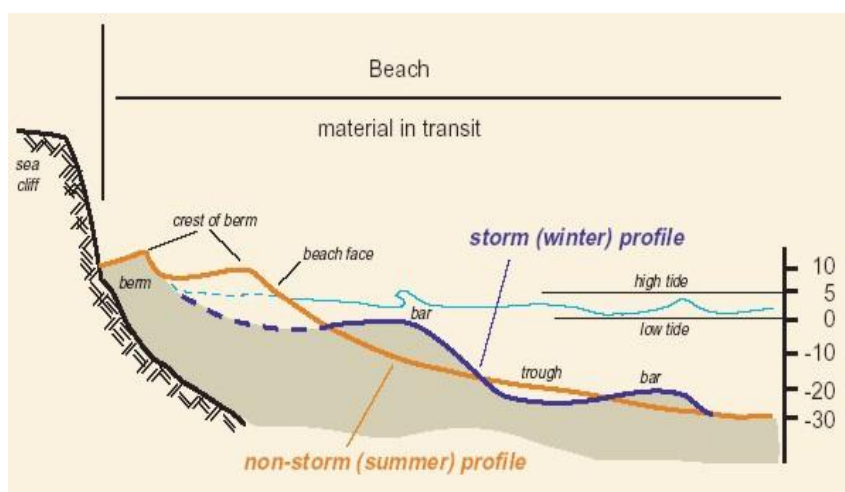
Εικόνα 14. Ανύψωση τμήματος του στερεού φλοιού της γης στη Βόρεια Καλιφόρνια.

(Πηγή: Δουκάκης Ε. (2007). *Μέθοδοι Προσδιορισμού του Ρυθμού Μεταβολής των Ακτογραμμών*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.)

Στην παραπάνω εικόνα η επίπεδη επιφάνεια που φαίνεται διαβρώθηκε στο παρελθόν από τη δράση των κυμάτων και έπειτα ανήλθε πάνω από το επίπεδο της θαλάσσιας στάθμης λόγω τεκτονικής ανύψωσης.

2.3.1.8. Εποχιακές Αλλαγές

Η εικόνα των παραλιών διαφέρει μεταξύ της θερινής και της χειμερινής περιόδου. Τον χειμώνα όταν οι καταιγίδες ή θύελλες δημιουργούν μεγαλύτερα κύματα και μεγαλύτερη ζώνη κυματαγωγής (surf zone) τα κύματα διαβρώνουν τις παραλίες μεταφέροντας την ύλη έξω από την ακτή όπου σχηματίζουν παράκτιες αμμώδεις προσχώσεις ως αποτέλεσμα της διαδικασίας ανασχέσεως της ενέργειας των κυμάτων και οι αμμώδεις παραλίες τείνουν να γίνουν στενότερες (Εικόνα 15). Αντιθέτως το καλοκαίρι τα κύματα μετακινούν προοδευτικά την άμμο προς την κατεύθυνση της παραλίας και οι ακτές τείνουν να γίνουν πλατύτερες και με ομαλότερες κλίσεις.



Εικόνα 15. Σχηματική αναπαράσταση της αλλαγής της διατομής της ακτής μεταξύ θερινής και χειμερινής περιόδου.

(Πηγή: Δουκάκης Ε. (2007). *Μέθοδοι Προσδιορισμού του Ρυθμού Μεταβολής των Ακτογραμμών*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.)

2.3.1.9. Ιζήματα Παραλίας

Μέσα στο νερό της ζώνης της κυματαγωγής αιωρούνται μεγάλες ποσότητες ιζημάτων. Όταν η μετακίνηση του νερού ελαττωθεί τα ιζήματα κατακάθονται σαν άμμος. Η κίνηση του νερού γίνεται είτε με τη μορφή κυμάτων είτε με τη μορφή ρευμάτων. Οι κάβοι και οι άκρες των κόλπων είναι συνήθως βραχώδεις και χωρίς ιζήματα αφού τα κύματα που θραύονται τις διαβρέχουν και τις καθαρίζουν τα δε μικρά ιζήματά τους παρασύρονται από το νερό, αιωρούνται στη συνέχεια μέσα σ' αυτό και μεταφέρονται σε άλλη περιοχή. Αντιθέτως οι όρμοι χαρακτηρίζονται συνήθως από αμμώδεις παραλίες λόγω της σχετικά μικρής ενέργειας των κυμάτων που φθάνουν μέσα σ' αυτούς. Η μετακίνηση των ιζημάτων στην ακτή είναι ένα περίπλοκο φαινόμενο. Είναι αποτέλεσμα πολλών υδροδυναμικών διεργασιών οι οποίες περιλαμβάνουν:

- Τις τροχιακές κυματικές επιδράσεις με τα κατώτερα ιζήματα και τα ρεύματα κατά μήκος της ακτής (longshore current) τα οποία προκαλούνται από τα κύματα.

- Τα κατά μήκος της ακτής ρεύματα τα δημιουργούνται από τον αέρα.
- Τα ρεύματα διαφυγής (rip currents).
- Τα παλιρροϊκά ρεύματα.
- Τα ρεύματα τα οποία προκαλούνται από τα κύματα καταιγίδας.
- Τα ρεύματα βαρύτητας.
- Τα ρεύματα ανάδυσης και κατάδυσης τα οποία προκαλούνται από τον άνεμο.
- Τα ρεύματα ανάδυσης και κατάδυσης τα οποία προκαλούνται από τα κύματα.
- Η μεταφορά ιζημάτων προς χαμηλότερου επιπέδου πυθμένα λόγω της βαρύτητας.

Ελάχιστες παραλίες έχουν σταθερή ακτογραμμή κατά τη διάρκεια ενός ολοκληρωμένου από φυσικές διεργασίες χρονικού διαστήματος π.χ. μερικά χρόνια. Η εισαγωγή και εξαγωγή άμμου από την παραλία είναι μια συνεχής διαδικασία. Όταν υπερτερεί η πρώτη τότε έχουμε πρόσχωση της ακτογραμμής δηλαδή μετακίνησή της προς τη μεριά της θάλασσας, ενώ όταν υπερτερεί η εξαγωγή άμμου τότε έχουμε διάβρωση η οποία μπορεί να οδηγήσει ακόμη και στον αφανισμό των αμμωδών παραλιών.

Η εισαγωγή ιζήματος στην ακτή μπορεί να γίνει μέσω της διάβρωσης των βράχων η οποία αποτελεί μια μακροχρόνια διαδικασία μέσω των ρευμάτων κατά μήκος της ακτογραμμής από γειτονικές ακτές, ή από τη μεταφορά της από τον αβαθή σχετικά πυθμένα μέσω των κυμάτων. Κύρια όμως τροφοδότηση με ιζήματα γίνεται μέσω των ποταμών που μεταφέρουν τεράστιες ποσότητες οι οποίες εν τούτοις μειώνονται σε ορισμένες περιπτώσεις σημαντικά με την κατασκευή φραγμάτων. Ο ποταμός μπορεί να εναποθέτει απ' ευθείας τα ιζήματα στην παραλία ή εμμέσως με τη μεταφορά τους από τα ρεύματα. Οι απώλειες της παραλίας σε άμμο είναι δυνατόν να υπάρξουν λόγω της δράσης των μεγάλων κυμάτων και των ρευμάτων διαφυγής τα οποία μεταφέρουν ιζήματα στον πυθμένα της θάλασσας. Τα ιζήματα στη θέση αυτή είναι δυνατόν να επανέλθουν στην παραλία όταν επικρατήσουν οι κατάλληλες συνθήκες (κυρίως κατά τη θερινή περίοδο), αλλά στην περίπτωση της μεγάλης κλίσης του πυθμένα είναι πολύ δύσκολο. Επιπλέον ο άνεμος μπορεί να μεταφέρει σημαντικές ποσότητες άμμου πίσω από την παραλία προς τη μεριά της στεριάς σχηματίζοντας αμμοθίνες (dunes) ενώ και αυτές ενδέχεται να επιστρέψουν σε κάποια περίοδο τμήμα της ποσότητάς τους στην παραλία. Τέλος οι παράκτιες κατασκευές συνήθως επιφέρουν αλλαγή στη μορφή της παραλίας αφού προκαλούν μη φυσική και έντονη μεταφορά ιζημάτων.

2.3.1.10. Ρεύματα στη Ζώνη της Παραλίας

Τα ρεύματα δημιουργούνται μέσα στη ζώνη της κυματαγωγής (surf zone) καθώς και σε περιοχές οι οποίες πρόσκεινται σε αυτή από τα κύματα τα οποία προσεγγίζουν τις ισοβαθείς με γωνία επίσης δε και από τις ανωμαλίες του βυθού. Όταν τα κύματα προσεγγίζουν την ακτή υπό κάποια γωνία τότε έχουμε το σχηματισμό επιμήκους ρεύματος κατά μήκος της ακτογραμμής (longshore current) παράλληλο προς την παραλία μέσα στη ζώνη της κυματαγωγής. Τα ρεύματα αυτά είναι περισσότερο κοινά κατά μήκος ευθυγράμμων παραλιών. Οι ταχύτητές τους αυξάνουν με την αύξηση του ύψους θραύσεως των κυμάτων, την ελάττωση της περιόδου των, την αύξηση της γωνίας μεταξύ της γραμμής θραύσεως και της παραλίας και τέλος με την αύξηση της κλίσεως των πρηνών της παραλίας.

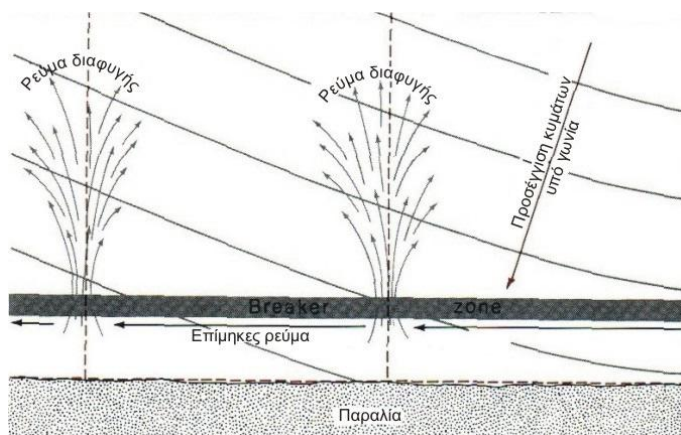


Εικόνα 16. Το ρεύμα κατά μήκος της ακτής και το ρεύμα έκχυσης όπως φαίνεται σε δορυφορική εικόνα.

(Πηγή: Δουκάκης Ε. (2007). *Μέθοδοι Προσδιορισμού του Ρυθμού Μεταβολής των Ακτογραμμών*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.)

Ένα άλλο ρεύμα το οποίο δημιουργείται πολύ πιο κοντά στην ακτογραμμή οφείλεται στην έκχυση ή ξέσπασμα (uprush) του κύματος που συμβαίνει μετά τη θραύση του και στην αντίστροφη έκχυση (backrush) δηλαδή κατά την μετακίνηση και επαναφορά του νερού από την παραλία προς το εσωτερικό της θάλασσας. Καθώς το κύμα φθάνει υπό κάποια γωνία παρά τη διάθλασή του στην ακτή η έκχυσή του προκαλεί ένα ρεύμα το οποίο έχει και αυτό την αντίστοιχη γωνία του κύματος. Κατά την αντίστροφη έκχυση όμως, τα νερά επιστρέφουν στη θάλασσα με μια διεύθυνση κάθετη περίπου στην ακτογραμμή. Έτσι το ρεύμα αυτό κάνει μια κίνηση ζικ-ζακ με μια γενική διεύθυνση η οποία είναι παράλληλη στην παραλία όπως και το προηγούμενο ρεύμα που περιγράφηκε (longshore current) αλλά σαφώς πιο κοντά στην ακτογραμμή (Εικόνα 16).

Ένα τρίτο σημαντικό ρεύμα που δημιουργείται στη ζώνη της παραλίας είναι το ρεύμα διαφυγής (rip current). Κατά τη διάρκεια του κυματισμού σε κάποια σημεία της ακτογραμμής θα δημιουργηθούν ρεύματα κάθετα σε αυτή τα οποία επαναφέρουν το νερό των κυμάτων προς το εσωτερικό της θάλασσας (Εικόνα 17). Είναι δύσκολο να προβλεφθεί σε ποια σημεία θα εμφανιστούν τα ρεύματα διαφυγής και η έντασή τους, αφού η όλη διαδικασία εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, όπως την γωνία με την οποία τα κύματα φθάνουν στην ακτή, το ύψος και την περίοδό τους, καθώς και την τοπογραφία της παραλίας (Δουκάκης, 2007).



Εικόνα 17. Τα ρεύματα διαφυγής.

(Πηγή: Δουκάκης Ε. (2007). *Μέθοδοι Προσδιορισμού του Ρυθμού Μεταβολής των Ακτογραμμών*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.)

2.4. Όμβρια Ύδατα

2.4.1. Εισαγωγή

Όπως τα περισσότερα υδρολογικά μεγέθη και η παροχή των ομβρίων Q , έχει ένα έντονα τυχαίο χαρακτήρα και κατά συνέπεια η ποσοτική περιγραφή της μπορεί να γίνει στη βάση της θεωρίας πιθανοτήτων. Απαιτείται λοιπόν να προσδιοριστεί η συνάρτηση $Q(T)$, όπου $T=1/F_1=1/(1-F)$ είναι η περίοδος επαναφοράς, F_1 η πιθανότητα υπέρβασης και F η συνάρτηση κατανομής της Q . Ο καθορισμός της παροχής σχεδιασμού προϋποθέτει την επιλογή μιας αποδεκτής πιθανότητας υπέρβασης (αστοχίας) F_1 ή της αντίστοιχης περιόδου επαναφοράς T .

Βεβαίως η κατάρτιση της σχέσης $Q(T)$ απαιτεί ένα επαρκές στατιστικό δείγμα της μεταβλητής Q , το οποίο όμως δεν είναι δυνατόν να υπάρχει αφού προφανώς η παροχή σχεδιασμού ενός αγωγού πρέπει να εκτιμηθεί πριν από την κατασκευή του. Επισημαίνεται ότι η κατασκευή δικτύου ομβρίων επιταχύνει την απορροή και κατά συνέπεια τροποποιεί τη δίαιτα της τελευταίας ακόμη και στα υδατορεύματα τα οποία ενδεχομένως αποτελούν συλλεκτήρες ή αποδέκτες των ομβρίων της περιοχής. Έτσι ακόμα και αν υπάρχουν μετρήσεις παροχής στα υδατορεύματα αυτά, αυτές δεν μπορούν να αποτελέσουν ασφαλή βάση για την εκτίμηση της παροχής σχεδιασμού τους εφόσον στην περιοχή μελετάται η κατασκευή δικτύου ομβρίων. Αναγκαστικά λοιπόν η υδρολογική πληροφορία που μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την εκτίμηση των παροχών ομβρίων είναι η βροχομετρική. Πιο συγκεκριμένα επειδή οι συνήθεις κρίσιμοι χρόνοι βροχής είναι της τάξης λίγων λεπτών ενώ σπάνια υπερβαίνουν τη μία ώρα, είναι απαραίτητη η γνώση των εντάσεων βροχής πολύ μικρής διάρκειας, η οποία μπορεί να αποκτηθεί μόνο από δεδομένα βροχογράφων (Κουτσογιάννης, 1999).

2.4.2. Περίοδος Επαναφοράς

Ο βαθμός προστασίας που παρέχει ένα δίκτυο αποχέτευσης περιγράφεται από την περίοδο επαναφοράς του επεισοδίου βροχής που μπορεί το δίκτυο να παροχετεύσει χωρίς προβλήματα. Όσο μεγαλύτερη είναι η περίοδος επαναφοράς για την οποία έχει σχεδιαστεί το δίκτυο, τόσο μεγαλύτερη είναι η προστασία που αυτό παρέχει. Για παράδειγμα ένα δίκτυο που έχει σχεδιαστεί με περίοδο επαναφοράς $T=5$ έτη σημαίνει ότι μεσολαβούν κατά μέσο όρο 5 υδρολογικά έτη ανάμεσα σε δύο διαδοχικές εμφανίσεις της εκάστοτε υδρολογικής μεταβλητής-στη συγκεκριμένη περίπτωση της παροχής σχεδιασμού-με τιμή μεγαλύτερη ή ίση της παροχής σχεδιασμού που αντιστοιχεί στην περίοδο επαναφοράς. Επισημαίνεται ότι η αστοχία του δικτύου σημαίνει ανεπαρκή αποχέτευση του συνόλου της απορροής και όχι καταστροφή του δικτύου. Είναι προφανές ότι η αύξηση της περιόδου επαναφοράς σχεδιασμού συνεπάγεται αύξηση του κόστους του δικτύου, με παράλληλη μείωση των καταστροφών που προκαλούνται σε περίπτωση αστοχίας, καθώς και της συχνότητας των καταστροφών αυτών. Έτσι η επιλογή της εφαρμοστέας περιόδου επαναφοράς στην ουσία είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης του αθροίσματος του κόστους κατασκευής και του κόστους επανόρθωσης των ζημιών. Στην πράξη όμως είναι αρκετά δύσκολη η εκτίμηση του κόστους των ζημιών και για το λόγο αυτό συνήθως υιοθετούνται κάποιες τυπικές τιμές που είναι προϊόντα μακροχρόνιας εμπειρίας των μελετητών. Οι τυπικές αυτές τιμές της περιόδου επαναφοράς είναι:

1. Για αγωγούς σε οικιστικές περιοχές 2 έως 15 χρόνια, με πιο συχνή τιμή 5 χρόνια.
2. Για αγωγούς σε εμπορικές περιοχές και κεντρικούς συλλεκτήρες 10 έως 50 χρόνια.

3. Για αντιπλημμυρικά έργα και διευθετήσεις υδατορευμάτων 50 χρόνια ή περισσότερο.

Ορισμένοι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της περιόδου επαναφοράς μπορούν να κωδικοποιηθούν στα ακόλουθα:

1. Σε υφιστάμενους αγωγούς που ελέγχεται η επάρκεια τους χρησιμοποιούνται μικρές τιμές της περιόδου επαναφοράς π.χ. 2 χρόνια.
2. Σε μελλοντικούς αγωγούς όταν κρίνεται ότι δεν θα είναι εύκολη η ενίσχυση τους χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες τιμές της περιόδου επαναφοράς.
3. Σε κεντρικούς συλλεκτήρες υπάρχει η τάση να υιοθετούνται μεγαλύτερες περίοδοι επαναφοράς από τις αντίστοιχες των δευτερευόντων αγωγών. Για παράδειγμα σε μια περιοχή όπου υιοθετείται γενικά για το δίκτυο η τιμή $T=5$ έτη, για τους συλλεκτήρες μπορεί να υιοθετηθεί η τιμή $T=10$ έτη.
4. Σε παντορορικά δίκτυα αποχέτευσης χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες περίοδοι επαναφοράς παρά σε χωριστικά, δεδομένου ότι οι καταστροφές που θα προκληθούν σε περίπτωση αστοχίας των πρώτων είναι σαφώς μεγαλύτερες (π.χ. πλημμυρίσματα υπογείων).
5. Σε αγωγούς που τοποθετούνται κάτω από κύριες οδικές αρτηρίες και κόμβους υιοθετούνται μεγαλύτερες τιμές της περιόδου επαναφοράς. Ιδιαίτερα όταν οι αρτηρίες ή οι κόμβοι τοποθετούνται σε όρυγμα οπότε δημιουργούνται αυξημένοι κίνδυνοι για αυτούς που τις χρησιμοποιούν, υιοθετούνται περίοδοι επαναφοράς αρκετά μεγαλύτερες από τα παραπάνω όρια ανάλογα με το βαθμό του κινδύνου.
6. Σε βασικά αντιπλημμυρικά έργα όπως στη διευθέτηση υδατορευμάτων μέσα στην περιοχή μελέτης των οποίων η αστοχία θα μπορούσε να προκαλέσει απώλεια ανθρώπινων ζωών, θα πρέπει να υιοθετούνται πολύ αυξημένες τιμές της περιόδου επαναφοράς π.χ. $T=1.000$ έως 10.000 έτη. Σε ακραίες περιπτώσεις όπου η αστοχία θα οδηγούσε σε μείζονες καταστροφές με μαζική απώλεια ζωών συνήθως εγκαταλείπεται η πιθανοτική προσέγγιση και ακολουθείται η μέθοδος της πιθανής μέγιστης κατακρήμνισης και πλημμύρας. Σημειώνεται πάντως ότι σύμφωνα με τις νεότερες επιστημονικές μελέτες η πιθανή μέγιστη κατακρήμνιση δεν είναι ένα απόλυτα μέγιστο φυσικό όριο (δεν υπάρχει τέτοιο), αλλά αντιστοιχεί και αυτή σε μια πιθανότητα υπέρβασης της τάξης του $1/10.000-1/100.000$ (Κουτσογιάννης, 1999).

2.4.3. Μέθοδοι Εκτίμησης Παροχών Ομβρίων

Παλιότερα οι μηχανικοί για την εκτίμηση των παροχών σχεδιασμού των αγωγών ομβρίων υδάτων χρησιμοποιούσαν εμπειρικούς τύπους βασισμένους σε συσχετισμούς της παροχής με μια σειρά από παραμέτρους που είχαν επίδραση σε αυτή. Αυτή η προσέγγιση έχει σήμερα εγκαταλειφτεί, ενώ κατά κανόνα χρησιμοποιείται η ορθολογική μέθοδος η οποία εξετάζει χωριστά την επίδραση (α) της επιφάνειας που αποχετεύεται η οποία προκύπτει από χάρτες, (β) της έντασης βροχής που προκύπτει μετά από στατιστική ανάλυση βροχογραφικών δεδομένων στην περιοχή μελέτης και κατάρτιση ομβρίων καμπυλών και (γ) μιας σειράς άλλων τοπογραφικών, φυσιογραφικών και πολεοδομικών μεγεθών που περιγράφονται από μια μοναδική παράμετρο τον συντελεστή απορροής. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ορθολογική μέθοδος είναι κατάλληλη μόνο για την εκτίμηση της μέγιστης παροχής που αναμένεται να πραγματοποιηθεί κάτω από πολύ συγκεκριμένες συνθήκες βροχόπτωσης, τις συνθήκες σχεδιασμού. Προφανώς για κάθε άλλη περίπτωση όπως για την παρακολούθηση

της χρονικής εξέλιξης της παροχής ομβρίων, η μέθοδος είναι ακατάλληλη. Το κενό αυτό καλύπτουν άλλες πιο σύγχρονες μέθοδοι κατάλληλες όχι μόνο για την εκτίμηση των παροχών σχεδιασμού αλλά και για την προσομοίωση της λειτουργίας ενός δικτύου ομβρίων κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες βροχόπτωσης. Οι μέθοδοι αυτές περιγράφουν αναλυτικά τη διεργασία μετατροπής της βροχόπτωσης σε απορροή, παίρνοντας υπόψη όλες τις φυσικές μεταβλητές που συνδέονται με αυτή (κατακράτηση, διήθηση) καθώς και τα φαινόμενα διόδευσης που παρατηρούνται είτε κατά τη διαδρομή της ροής στους αγωγούς είτε κατά τη διέλευση μέσω δεξαμενών ανάσχεσης (Κουτσογιάννης, 1999).

2.5. Μέτρα Αντιπλημμυρικής Προστασίας

Τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας διακρίνονται σε κατασκευαστικά και σε μη κατασκευαστικά (Μαμάσης, 2009).

2.5.1. Κατασκευαστικά Μέτρα

1. Αντιπλημμυρικοί ταμιευτήρες στα ανάντη της λεκάνης.
2. Αναχώματα και προστατευτικοί τοίχοι.
3. Λεκάνες κατάκλυσης δίπλα στο ποτάμι και στις χαμηλές περιοχές.
4. Δίκτυα ομβρίων.
5. Εκτροπές ποταμών.
6. Παράκτια προστασία.
7. Αύξηση της παροχετευτικότητας των ποταμών με καθαρισμό, εκβάθυνση και διάνοιξη των διατομών.
8. Εισαγωγή πρόσθετων διαδρομών παράλληλα με το ποτάμι.
9. Υπερχειλιστές σε ταμιευτήρες.

Τα κατασκευαστικά μέτρα έχουν ως κύριους στόχους την αποθήκευση του νερού και την αύξηση της ικανότητας μεταφοράς του. Δεδομένου ότι οι κατασκευές είναι τρωτές στις πλημμύρες αφού έχουν σχεδιαστεί για κάποια πιθανότητα υπέρβασης, θα πρέπει να συνοδεύονται και από άλλα μη κατασκευαστικά μέτρα.

2.5.2. Μη κατασκευαστικά Μέτρα

1. Διατήρηση και επέκταση των δασών στις ορεινές περιοχές της λεκάνης.
2. Διατήρηση των υγροτόπων και των πλημμυρικών πεδίων από ανθρώπινες επεμβάσεις και χρήσεις ώστε οι φυσικές ζώνες πλημμυρών να καθυστερούν τη ροή.
3. Προσαρμογή των χρήσεων των πλημμυρικών πεδίων στη πιθανότητα καταστροφής και χωροθέτηση των σημαντικών εγκαταστάσεων σε ακίνδυνες περιοχές.
4. Διατήρηση των μαιάνδρων των ποταμών και των φυσικών συνδέσεων τους με τις πλημμυρικές περιοχές.
5. Έλεγχος και συντήρηση των αποχετευτικών συστημάτων στις αστικές περιοχές.

6. Χρήση ιστορικών πληροφοριών, ανάπτυξη συστημάτων πρόγνωσης καταιγίδων και μοντέλων βροχής-απορροής.
7. Συστήματα ειδοποίησης του κοινού.
8. Μηχανισμός διαρκούς ενημέρωσης του κοινού και αναίρεση της εσφαλμένης αντίληψης για απόλυτη προστασία.
9. Οργάνωση φορέων για πρόληψη και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών.

Τα ατομικά μέτρα που λαμβάνονται για την μείωση του κινδύνου στις κατοικίες είναι τα παρακάτω:

1. Ανύψωση κατασκευής.
2. Στεγανοποίηση κατασκευών.
3. Κατασκευή τοίχου ή αναχώματος γύρω από την κατοικία.
4. Διευκόλυνση μελλοντικών εκκενώσεων.
5. Ασφάλεια για πλημμύρα.

2.6. Συμπεράσματα

Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα που συμβαίνουν από την πραγματοποίηση ακραίων μετεωρολογικών φαινομένων, εντείνονται από την αλλοίωση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής, ενώ η επίδρασή τους αυξάνεται όσο εντείνεται η ανθρώπινη δραστηριότητα σε πλημμυρικά πεδία.

Στη χώρα μας οι πλημμύρες των τελευταίων 40 ετών έχουν προκαλέσει πολύ περισσότερα θύματα σε ανθρώπινες ζωές από ότι οι σεισμοί στο ίδιο χρονικό διάστημα ενώ το ίδιο συμβαίνει σε πολλές περιοχές της γης.

Τα προστατευτικά μέτρα σχεδιάζονται για να παρέχουν προστασία από πλημμύρα κάποιας πιθανότητας. Το επίπεδο προστασίας που επιλέγεται εξαρτάται από την επιθυμία της κοινωνίας για ασφάλεια σε συνδυασμό με το κόστος των αντιπλημμυρικών έργων και των πιθανών ζημιών.

Συμπερασματικά η πλημμύρα είναι και ατομικό πρόβλημα αφού μπορεί να συμβεί και σε ένα μόνο σπίτι. Οι πολίτες που ζουν σε πλημμυρικά πεδία πρέπει να παίρνουν και ατομικά μέτρα για την προστασία των περιουσιών τους.

3. Η Περίπτωση της Ολλανδίας

3.1. Γενική Περιγραφή

3.1.1. Γενικά

Οι Κάτω Χώρες (Ολλανδικά: Nederland) ή Ολλανδία είναι το ευρωπαϊκό μέρος του Βασιλείου των Κάτω Χωρών (Ολλανδικά: Koninkrijk der Nederlanden) και είναι Κοινοβουλευτική Δημοκρατία με συνταγματικό μονάρχη. Στο βασίλειο ανήκουν η Αρούμπα και οι Ολλανδικές Αντίλλες. Λέγεται συχνότερα Ολλανδία αν και αυτό το όνομα αναφέρεται συγκεκριμένα σε δύο μόνο από τις δώδεκα επαρχίες της, τη Βόρεια Ολλανδία (Ολλανδικά: Noord Holland) και τη Νότια Ολλανδία (Ολλανδικά: Zuid Holland). Η χώρα βρίσκεται στην βορειοδυτική Ευρώπη και περιβάλλεται από τη Βόρεια Θάλασσα, το Βέλγιο και την Γερμανία (Εικόνα 18). Περίπου το 40% της χώρας βρίσκεται κάτω από την στάθμη της θάλασσας με 3.000 χιλιόμετρα φραγμάτων να προστατεύουν τη χώρα. Πρωτεύουσα της χώρας είναι το Άμστερνταμ ενώ διοικητικά αποτελείται από 12 επαρχίες (Εικόνα 19). Το νόμισμά της πριν την είσοδο της χώρας στην ευρωζώνη ήταν το φιορίνι. Η Ολλανδία κατατάσσεται στην 16^η θέση της παγκόσμιας οικονομίας με το κατά κεφαλήν της ακαθάριστο εγχώριο προϊόν να βρίσκεται στην 7^η θέση της παγκόσμιας κατάταξης (<http://el.wikipedia.org/wiki/Ολλανδία>).



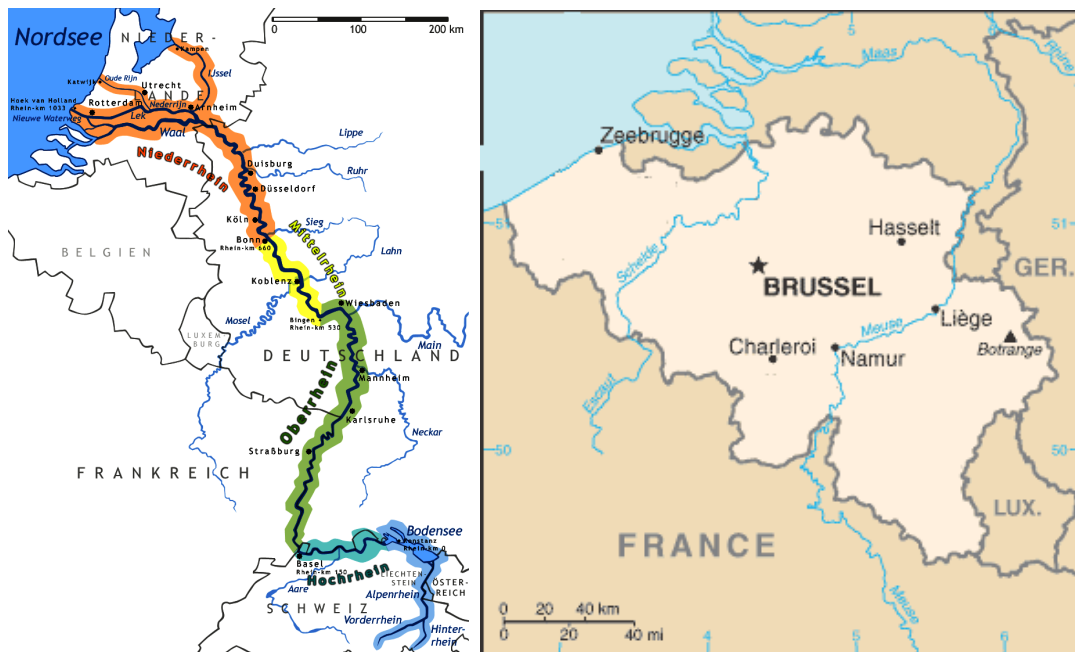
Εικόνα 18. Χάρτης της Ολλανδίας.

(Πηγή: http://www.reisenett.no/map_collection/europe/Netherlands.jpg)



Εικόνα 19. Διοικητική διάρθρωση χώρας σε επαρχίες.

(Πηγή: http://www.reisenett.no/map_collection/europe/Netherlands.jpg)



Εικόνα 20. Αριστερά: ποταμός Ρήνος. Δεξιά: ποταμοί Μεύσης και Σελντ.

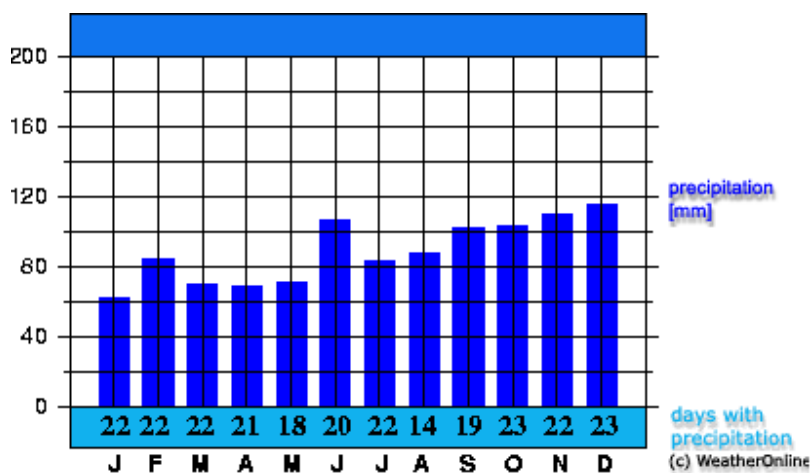
(Πηγή: http://www.reisenett.no/map_collection/europe/Netherlands.jpg)

3.1.2. Γεωγραφία και Κλίμα

Η Ολλανδία έχει έκταση 33.491 Km² ξηράς και αν ληφθεί υπ' όψιν και το 20% της θάλασσας έκτασης προκύπτει συνολική επιφάνεια 41.526 Km². Η μισή χώρα βρίσκεται λιγότερο από ένα μέτρο πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ το 40% κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Το ψηλότερο σημείο της χώρας είναι το Φάαλσερμπερχ (Vaalseberg) στα νότια της χώρας, στα σύνορα με το Βέλγιο και τη Γερμανία και έχει υψόμετρο μόλις 321 m. Το χαμηλότερο σημείο της χώρας βρίσκεται στο δήμο Νίουερκερκ ααν ντερ Άισελ (Ολλανδικά: Nieuwerkerk aan den IJssel) και βρίσκεται 6,76 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το τοπίο είναι γενικά πιο λοφώδες στα ανατολικά και νότια της χώρας (<http://el.wikipedia.org/wiki/Ολλανδία>).

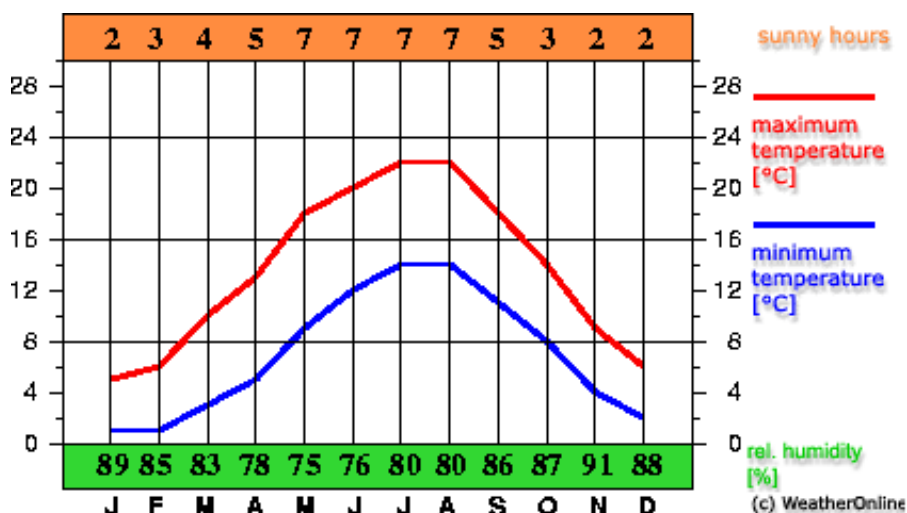
Πολλά τμήματα της Ολλανδίας όπως ολόκληρη η επαρχία Φλέβολαντ (Ολλανδικά: Flevoland) δεν ήταν πάντα στεριά αλλά θάλασσα που οι Ολλανδοί προσπαθούσαν να δημιουργήσουν ως στεριά και ονομάζονταν πόλντερ (polder). Το 18,4% της συνολικής έκτασης της Ολλανδίας είναι υδάτινες επιφάνειες. Η λίμνη Άισελμεερ (IJsselmeer) χωρίζεται από την θάλασσα με ένα μεγάλο φράγμα μήκους 29 Km το οποίο χτίστηκε το 1932. Οι σημαντικότεροι ποταμοί της χώρας είναι ο Ρήνος, ο Μεύσης και ο Σελντ (Scheldt) (Εικόνα 20). Η Ολλανδία είναι επί της ουσίας το δέλτα που δημιουργούν αυτά τα τρία ευρωπαϊκά ποτάμια. Εκτός από τη γεωγραφική τους σημασία αυτά τα ποτάμια χωρίζουν τη χώρα σε γενικές γραμμές-πολιτιστικά και θρησκευτικά σε βόρεια και νότια (<http://itia.ntua.gr/~nikos/holland/genika.htm>).

Το κλίμα είναι ωκεάνιο με δυτικούς ανέμους ως επί το πλείστον. Οι βροχές είναι άφθονες όλο τον χρόνο (εκτός του χειμώνα), ενώ οι θερμοκρασίες είναι σχετικά ήπιες το χειμώνα και δροσερές το καλοκαίρι. Χιονοπτώσεις συμβαίνουν κυρίως από τις αρχές Δεκεμβρίου έως και τα τέλη Φεβρουαρίου. Βροχές υπάρχουν όλο τον υπόλοιπο χρόνο και κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από -1,-2 έως 4-5°C το χειμώνα και από 11-12 έως 20-22°C το καλοκαίρι. Παρατηρείται πως η διαφορά καλοκαίρι και χειμώνα είναι σχετικά μικρή και αυτό συμβαίνει διότι το χειμώνα ένα ζεστό ρεύμα το οποίο έρχεται κάθε χρόνο από τον κόλπο του Μεξικού επηρεάζει τη θερμοκρασία της θάλασσας με αποτέλεσμα να μην παγώνει σχεδόν ποτέ. Εάν δεν συνέβαινε αυτό υπολογίζεται πως το Άμστερνταμ το χειμώνα θα είχε μέση θερμοκρασία γύρω στους -10°C. Στα παρακάτω διαγράμματα (Εικόνα 21, 22) φαίνεται η μηνιαία κατανομή της βροχόπτωσης, των ημερών βροχόπτωσης, της μέγιστης-ελάχιστης θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και των ωρών ηλιοφάνειας.



Εικόνα 21. Μηνιαία κατανομή βροχόπτωσης σε mm.

(Πηγή: Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, <http://itia.ntua.gr/~nikos/holland/genika.htm>)



Εικόνα 22. Μηνιαία κατανομή μέγιστης, ελάχιστης θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ηλιοφάνειας.

(Πηγή: Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, <http://itia.ntua.gr/~nikos/holland/genika.htm>)



Εικόνα 23. Γεωλογικός χάρτης Ολλανδίας.

(Πηγή: Arnold G., Kielen N., Bos H., Luijn F., Doef R. and Goud R. (2009). *Water Management in the Netherlands*. Amsterdam, Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water and Rijkswaterstaat, Centre for Water Management, pp. 1-80.)

3.1.3. Δημογραφία

Η Ολλανδία με συνολικό πληθυσμό-σύμφωνα με το CIA World Factbook-16.715.999 κατοίκους (εκτίμηση 2009) κατατάσσεται στην 23^η θέση των χωρών ανά πυκνότητα πληθυσμού, με 395 κατοίκους/Km² ή 482 κατοίκους/Km² αν δεν ληφθεί υπ' όψιν το 20% της θαλάσσιας έκτασης με ετήσια ποσοστιαία αύξηση πληθυσμού 1% κατά την χρονική περίοδο 1961-2003. Αποτελεί την πιο πυκνοκατοικημένη χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η χώρα δεν διαθέτει καμία πόλη με πληθυσμό άνω του ενός εκατομμυρίου, ωστόσο οι τέσσερις μεγαλύτερες πόλεις (Άμστερνταμ, Ρότερνταμ, Χάγη και Ουτρέχτη) καθώς και άλλες περιοχές των περιχώρων, θεωρούνται συχνά ως ένα ενιαίο πολεοδομικό σύμπλεγμα, το οποίο ονομάζεται Ράντσαντ (Randstad) και περιλαμβάνει περίπου 7 εκατομμύρια κατοίκους.

Οι Ολλανδοί έχουν προσδόκιμο ζωής με βάση εκτιμήσεις το 2009, τα 76,8 χρόνια οι άνδρες και τα 82,14 οι γυναίκες με το σύνολο του πληθυσμού να ζει 79,4 χρόνια (<http://el.wikipedia.org/wiki/Ολλανδία>).

3.1.4. Πολιτικό Σύστημα

Από το τέλος της Γαλλικής Κατοχής το 1815, η Ολλανδία αποτελεί Βασιλευόμενη Κοινοβουλευτική Δημοκρατία με τον βασιλικό οίκο Οράγγης-Νάσσαου στην εξουσία.

Αρχηγός κράτους από το 1980 είναι η βασίλισσα Βεατρίκη. Ο γιος της Γουλιέλμος-Αλέξανδρος είναι ο διάδοχος του θρόνου. Μαζί με την γυναίκα του Μαξίμα έχουν 3 κόρες. Σύμφωνα με το Σύνταγμα η Βεατρίκη είναι μέλος της Κυβέρνησης.

Το Ολλανδικό Κοινοβούλιο αποτελείται από δύο σώματα. Η εκλογή των 150 μελών του δεύτερου σώματος γίνεται κάθε 4 χρόνια. Αυτό το σώμα είναι ουσιαστικά το Κοινοβούλιο, η εκπροσώπηση του λαού στην κυβέρνηση. Το πρώτο σώμα που ονομάζεται γερουσία, αποτελείται από 75 αντιπροσώπους όλων των κοινοβουλίων των επαρχιών, οι οποίοι εκλέγονται επίσης κάθε 4 χρόνια. Η δουλειά του πρώτου σώματος είναι να παρακολουθεί και να αξιολογεί τους νόμους τους οποίους έχει επεξεργαστεί το δεύτερο σώμα. Εκλογές για το δεύτερο σώμα (Tweedekamer) έγιναν στις 9 Ιουνίου 2010 (<http://el.wikipedia.org/wiki/Ολλανδία>).

3.1.5. Η Ολλανδία και το Νερό

Το νερό από πάντα έπαιξε έναν κεντρικό ρόλο στην ιστορία της Ολλανδίας. Από την μία πλευρά έφερε πλούτο στην Ολλανδία μέσω του εμπορίου και της αλιείας ενώ από την άλλη προκάλεσε και μια σειρά απωλειών μέσα από μεγάλες πλημμύρες. Σήμερα το νερό είναι σημαντικό για την Ολλανδία. Από γεωγραφικής άποψης η Ολλανδία βρίσκεται σε πλεονεκτική θέση, στη θάλασσα και στο δέλτα τεσσάρων μεγάλων ποταμών. Η Ολλανδική επιφάνεια σχεδόν διπλασιάστηκε ανά τους αιώνες με τη βοήθεια αποξηράνσεων (περιοχές αποστραγγισμένες έτοιμες για καλλιέργεια), λιμνών και τμημάτων θάλασσας. Ως αποτέλεσμα αυτών των αποξηράνσεων σχεδόν το 40% της γης σήμερα βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Η εν λόγω γη περιλαμβάνει μεγάλα κομμάτια πυκνοκατοικημένων και οικονομικά σημαντικών περιοχών της Δύσης όπως το Άμστερνταμ και το Ρότερνταμ. Για να διατηρηθούν οι περιοχές αυτές ανέπαφες από την θάλασσα, το πλεονάζον νερό αντλείται συνεχώς από τις προσχωμένες περιοχές. Έτσι η Ολλανδία προστατεύεται από ένα συνδυασμό αναχωμάτων, αμμόλοφων, φραγμάτων και αντιπλημμυρικών υδραυλικών έργων.

Μετά τη μεγάλη πλημμύρα του 1953 αποφασίστηκε η ίδρυση της επιτροπής "Deltaworks" ενός από τα μεγαλύτερα προγράμματα διαχείρισης νερού στον κόσμο.

3.2. Η Ακτογραμμή της Ολλανδίας

3.2.1. Γενική Περιγραφή

Η ακτογραμμή των Κάτω Χωρών αποτελεί μέρος της ελαφρώς αμμώδους ακτής που βρέχεται νοτιοδυτικά από την Βόρεια Θάλασσα και βόρεια οριοθετείται από το νότιο τμήμα της Δανίας. Η ακτή υποδιαιρείται σε τρεις τύπους ακτών την ακτή των Δέλτα των ποταμών του Ρήνου, του Μεύση και του Σελντ, την ακτή Holland και την ακτή Wadden (Εικόνα 24). Το υφιστάμενο καθεστώς κυμάτων και ρευμάτων, το αιολικό δυναμικό, οι αποθέσεις των ιζημάτων από τα ποτάμια και τις τεχνικές κατασκευές (φράγματα που εμποδίζουν την κίνηση φερτών υλών) έχουν οδηγήσει στα παρόντα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της ολλανδικής ακτής (Sisternans and Nieuwenhuis, 2010).

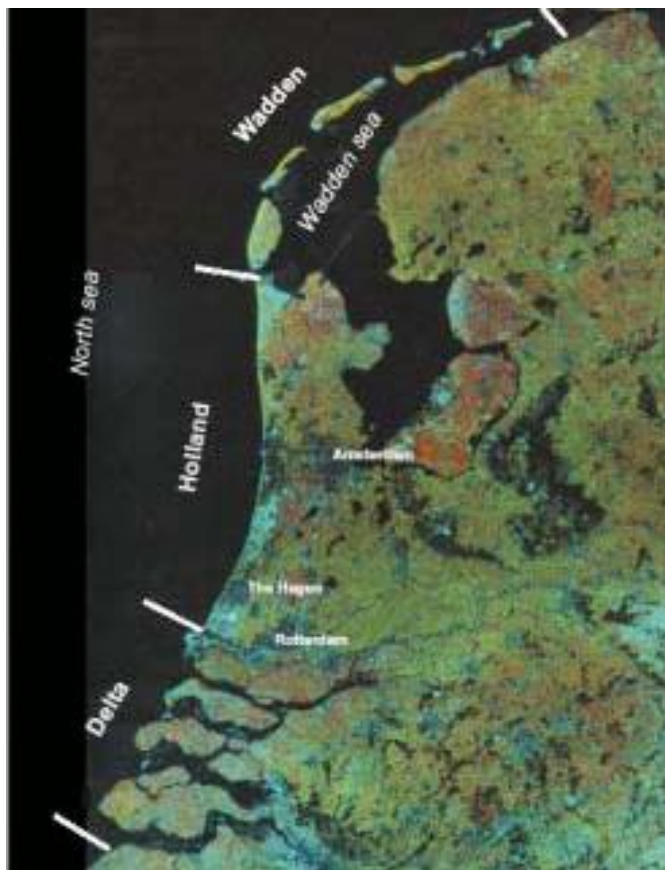
Η ζώνη μεταξύ ξηράς και θαλάσσης στην Ολλανδία είναι η πιο δυναμική περιοχή της χώρας. Η κοινωνία αλληλεπιδρά συνεχώς με τη θάλασσα, η μορφή της οποίας διαμορφώνεται από τις δυνάμεις της φύσης αλλά και από τις τεχνολογικές εξελίξεις. Η ενδοχώρα της Ολλανδίας η οποία περιλαμβάνει περίπου 55% της έκτασης της χώρας, μεγάλο μέρος της βρίσκεται κάτω από μέση στάθμη της θάλασσας με τα βαθύτερα σημεία σε απόλυτο υψόμετρο σχεδόν στο -7 m. Περίπου το 40% των Κάτω Χωρών βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Παρ'όλα αυτά η χώρα θεωρείται ασφαλής από τις πλημμύρες και από τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Οκτώ εκατομμύρια άνθρωποι που αντιστοιχούν περίπου στο 60% του συνολικού πληθυσμού ζουν σε παράκτιες περιοχές. Το 65% του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος αποκτάται στην περιοχή αυτή και η εκτιμώμενη αξία των επενδύσεων σε κεφάλαια είναι της τάξης των 2.500 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Η ακτογραμμή της Ολλανδίας έχει μήκος 350 Km περίπου. Τα 290 Km αποτελούνται από αμμόλοφους και περιοχές παραλιών, ενώ τα υπόλοιπα 60 Km προστατεύονται από φράγματα, αναχώματα και άλλες κατασκευές από τα κύματα καταιγίδας.

Οι παραλίες και το μέτωπο της ακτής στην πραγματικότητα που αποτελούν την ολλανδική παράκτια ζώνη, σχεδόν εξ ολοκλήρου αποτελούνται από άμμο. Περισσότερο από το ήμισυ της ακτογραμμής υπόκειται σε διάβρωση των ακτών ενώ το υπόλοιπο μέρος δεν υπόκειται.

Στην περιοχή του Δέλτα στα νοτιοδυτικά η παράκτια ζώνη κυριαρχείται από φράγματα, τα τεχνικά έργα που παρέχουν προστασία από τα κύματα καταιγίδας και την διάβρωση, έργα αποστράγγισης και θυροφράγματα που φράζουν την είσοδο των παλιρροιών.

Στο κεντρικό τμήμα της παράκτιας ζώνης η οποία περιλαμβάνει την παραλιακή ζώνη στις ακτές των επαρχιών της Νότιας Holland και της Βόρειας Holland, αποκτιέται περίπου το ήμισυ του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος. Η αντιπλημμυρική προστασία εγγυάται ότι σε περίπτωση κυμάτων καταιγίδας μπορεί να ανταπεξέλθει αυτή-η οποία έχει πιθανότητα υπέρβασης (αστοχίας) $1/10.000$ έτη⁻¹.

Τέλος στην περιοχή Wadden στον βορρά, τα νησιά Wadden υποφέρουν από σημαντική απώλεια άμμου στην ομώνυμη θάλασσα.



Εικόνα 24. Μορφολογία της ακτογραμμής της Ολλανδίας (Δορυφορική Εικόνα).

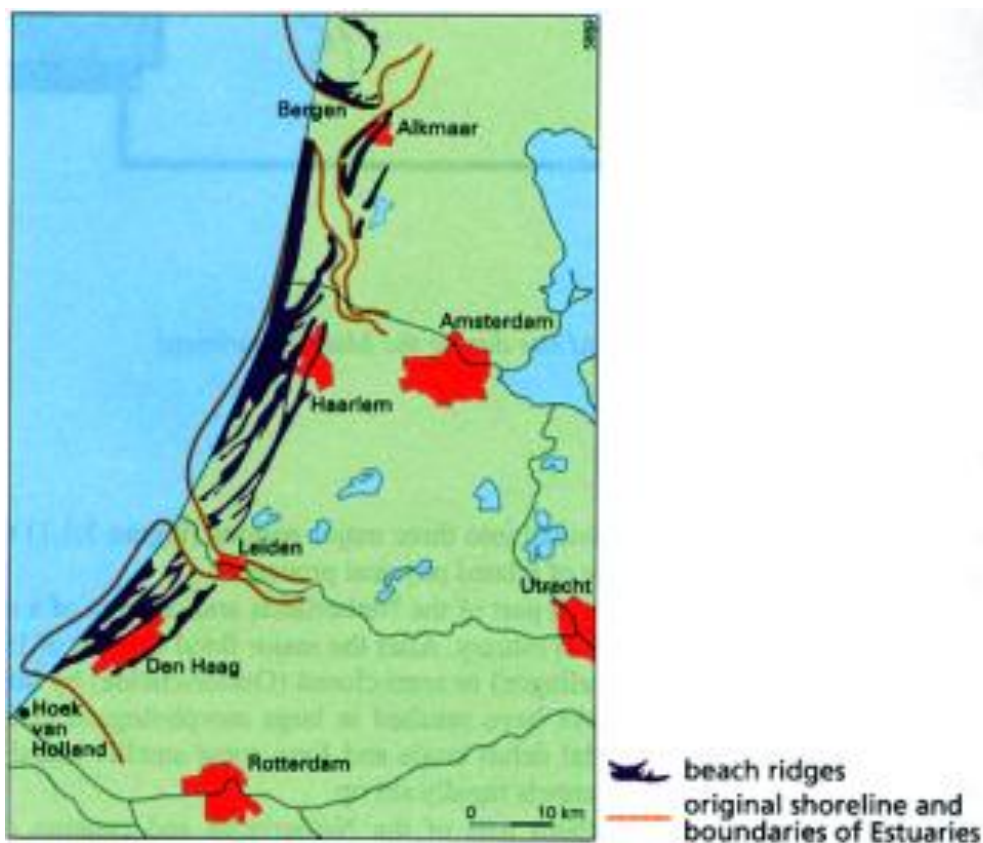
(Πηγή: Sisternans P. and Nieuwenhuis O. (2010). Holland Coast (The Netherlands). EuroSION Case Study. *Journal of National Institute for Coastal and Marine Management-RIKZ*, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Netherlands, pp. 1-17.)

3.2.2. Γεωλογία

Στο τέλος της τελευταίας περιόδου παγετώνων (Πλειστόκαινο) 10.000 χρόνια πριν η νότια περιοχή της Βορείου Θάλασσας ήταν εντελώς ξηρά. Με το λιώσιμο των πάγων υπήρξε άνοδος της στάθμης της θάλασσας και η ακτογραμμή μετατοπίστηκε προς την ανατολή, έως την σημερινή θέση της όπως τελικά μορφοποιήθηκε.

Η ακτή αποτελείται από άμμο από το βυθό της θάλασσας. Μεταξύ του 5.000 και του 4.000 π.Χ. διάφοροι παράγοντες επέδρασαν κατά τέτοιο τρόπο ώστε το παλιρροϊκό κύμα σταδιακά να μετακινείται από το νότο προς το βορρά. Μεταξύ του 3.500 και 3.000 π.Χ. κατά τη διάρκεια της στασιμότητας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας μειώθηκε η μεταφορά άμμου και σταμάτησε ο σχηματισμός παραλιών. Τότε στις παραλίες άρχισε ο σχηματισμός χαμηλών αμμόλοφων. Μεταξύ του 3.000 π.Χ. και 1.800 π.Χ. διαμορφώθηκαν μικροί αμμόλοφοι πάνω από τους παλιούς και υπήρξε μία αντιστροφή της μετακίνησης της ακτογραμμής. Αργότερα όταν το θαλασσινό νερό άρχισε να διεισδύει μέσα από τη ζώνη των αμμόλοφων κατά τη διάρκεια καταιγίδων, οι άνθρωποι άρχισαν να προστατεύουν τη γη τους με την οικοδόμηση πρωτόγονων αναχωμάτων και τειχών.

Το ίζημα της ακτής Holland είναι καλά διαβαθμισμένο και αποτελείται από λεπτή άμμο με μέσο μέγεθος κόκκων μεταξύ 250 και 350 μm (Εικόνα 25) (Sisternans and Nieuwenhuis, 2010).



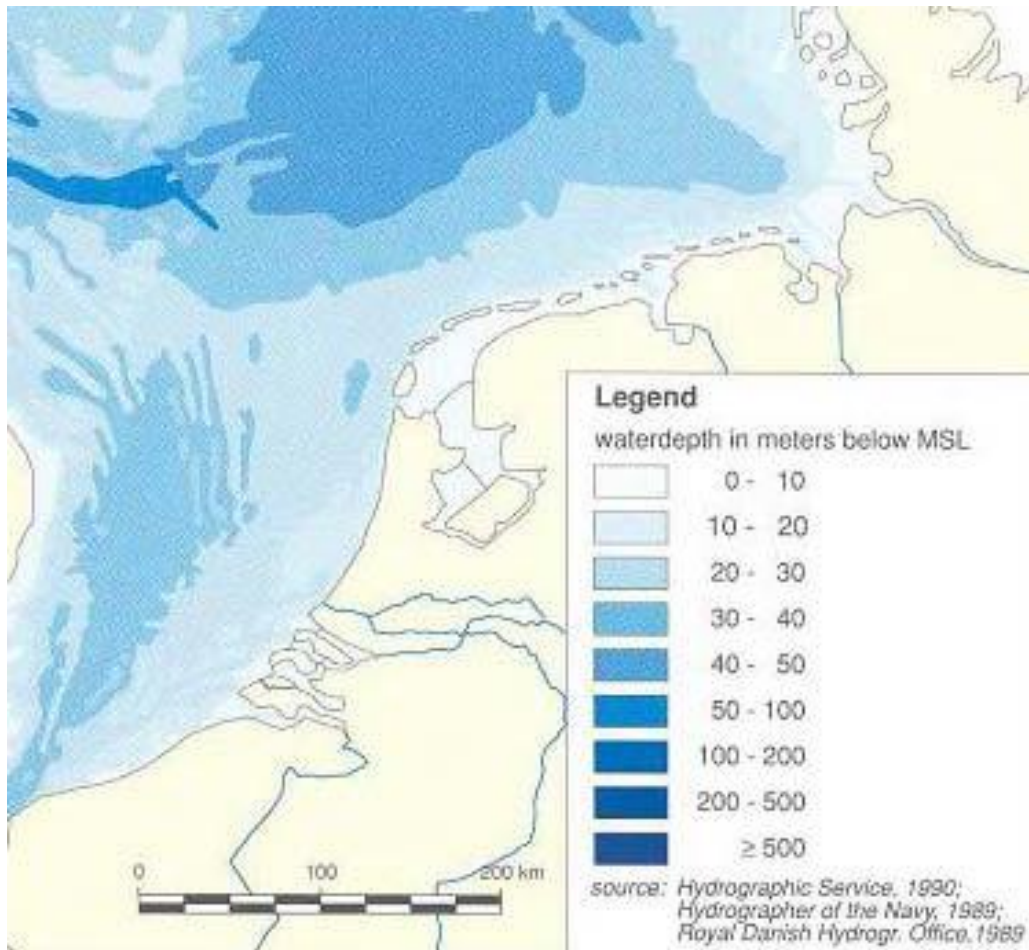
Εικόνα 25. Γεωλογική δομή της Ολλανδικής ακτογραμμής.

(Πηγή: Sisternans P. and Nieuwenhuis O. (2010). Holland Coast (The Netherlands). Euroasion Case Study. *Journal of National Institute for Coastal and Marine Management-RIKZ*, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Netherlands, pp. 1-17.)

3.2.3. Μορφολογία της Ακτής

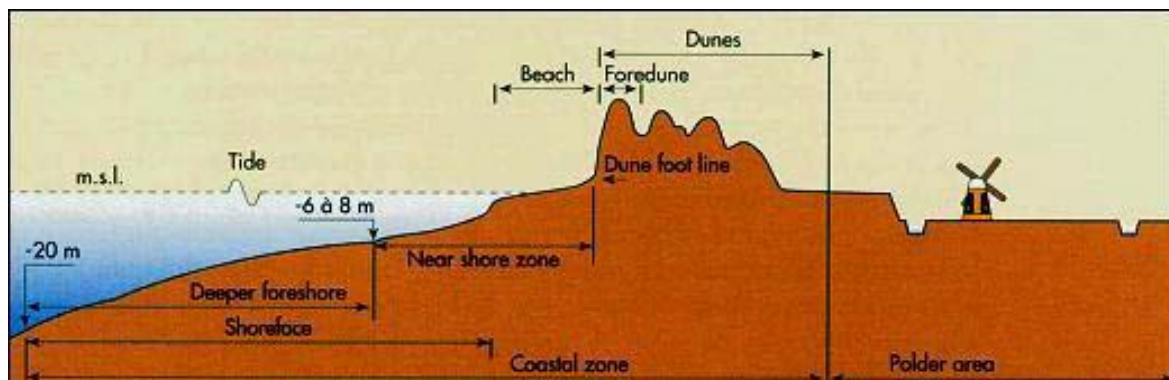
Η μορφολογία της περιοχής επηρεάζεται από την εκβολή των τριών ποταμών και αποτελείται από ένα πλήρες ανεπτυγμένο σύστημα καναλιών και αντιπλημμυρικών έργων ως μέρος του σχεδίου Δέλτα (Εικόνα 26). Η μορφή της εγκάρσιας τομής στην περιοχή μειώνεται εκθετικά από τις εκβολές του ποταμού έως τις εκβολές στην θάλασσα (Εικόνα 27). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το μέσο βάθος μειώνεται από περίπου 15 m στην περιοχή Vlissingen σε μόνο 3 m κοντά στην περιοχή Gent. Το πλάτος των εκβολών μειώνεται αρχικά από τα 6 Km στα 2-3 Km κοντά στην περιοχή Bath και τελικά σε λιγότερο από 100 m κοντά στην περιοχή Gent. Η εκβολή μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα σύστημα πολλαπλών καναλιών που χωρίζονται από επιμήκη παλιρροϊκά τμήματα. Τα μεγάλα κανάλια μορφοποιούν ένα περισσότερο ή λιγότερο συνεχές μαιανδρικό κανάλι που περιορίζεται από σταθερά σημεία κατά μήκος των εκβολών (φράγματα, αναχώματα). Λόγω των μαιανδρισμών των καναλιών σχηματίζονται αβαθείς περιοχές-τα αποκαλούμενα διαφράγματα που βρίσκονται σε μεταβάσεις μεταξύ των αλλαγών διευθύνσεων των καναλιών. Απαιτείται τακτική βυθοκόρηση σε αυτές τις περιοχές για να εξασφαλιστεί η ασφαλή πλοήγηση στον λιμένα της Αμβέρσας. Επί του παρόντος τα πλοία με βύθισμα περίπου 14 m μπορούν να φτάσουν στο λιμάνι του Antwerp από την περιοχή Vlissingen κατά τη διάρκεια ενός παλιρροϊκού κύκλου (Sisternans and Nieuwenhuis, 2010).

Κατά μήκος της ακτογραμμής αλυκές είναι παρούσες σε διάφορες τοποθεσίες. Η περιοχή «Verdronken Land van Saefthinghe» κοντά στα βελγικά σύνορα αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες υφάλμυρες αλυκές στην Ευρώπη περίπου έκτασης 3.500 εκταρίων.



Εικόνα 26. Βαθυμετρία της Βόρειας Θάλασσας.

(Πηγή: Sisternans P. and Nieuwenhuis O. (2010). Holland Coast (The Netherlands). Euroision Case Study. *Journal of National Institute for Coastal and Marine Management-RIKZ*, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Netherlands, pp. 1-17.)



Εικόνα 27. Τυπική εγκάρσια τομή της Ολλανδικής ακτογραμμής.

(Πηγή: Sisternans P. and Nieuwenhuis O. (2010). Holland Coast (The Netherlands). Euroision Case Study. *Journal of National Institute for Coastal and Marine Management-RIKZ*, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Netherlands, pp. 1-17.)

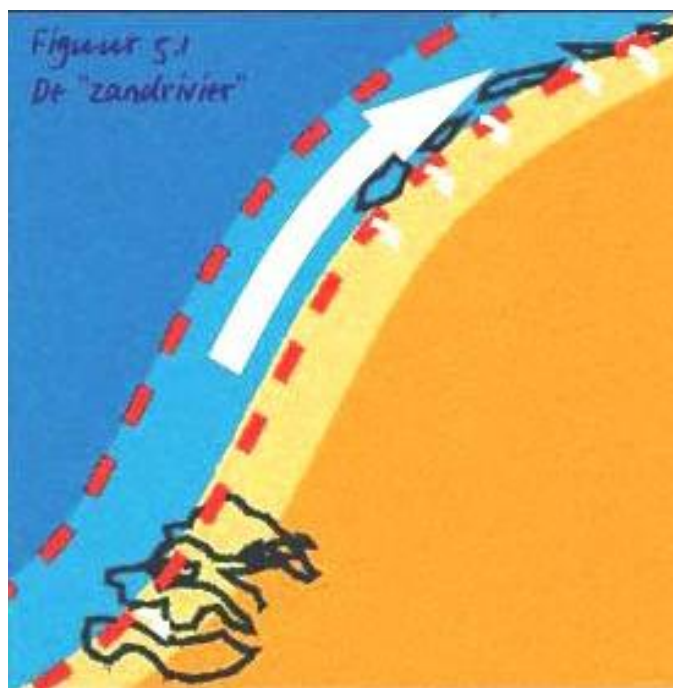
3.2.4. Φυσικές Διεργασίες

Το κυματικό κλίμα κυριαρχείται από τα κύματα στη θάλασσα με μέσο ετήσιο ύψος κύματος περίπου 1,1 m. Η πλειοψηφία των ανέμων κατά μήκος της ακτής στο δέλτα προέρχονται από τη Βόρεια Θάλασσα. Η κατεύθυνση των ανέμων είναι κυρίως νοτιοδυτική (23%), ακολουθούμενη από δυτικούς (16%), ανατολικούς (13%) και βορειοδυτικούς (12%). Οι καταιγίδες ανέμων οι οποίες προκαλούν το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό κατά μήκος της ακτής προέρχονται από τα βορειοδυτικά.

Η κύρια κινητήρια δύναμη του συστήματος είναι η παλίρροια και τα κύματα καταιγίδας. Το παλιρροϊκό πρίσμα στην εκβολή έχει περίπου όγκο 1 δισεκατομμύριο m³. Η μέση κλίμακα των ημι-ημερήσιων παλιρροϊκών ρευμάτων κυμαίνεται από περίπου 3,8 m στην περιοχή Vlissingen σε περίπου 5,2 m στην Αμβέρσα (78 Km ανάντι). Ως αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος της εκβολής είναι μέσο-παλιρροϊκό. Οι ταχύτητες των ρευμάτων στο μέσο εύρος παλίρροιας κυμαίνονται μεταξύ 1-2 m/sec στα κύρια κανάλια. Λόγω του συνδυασμού της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και της αλλαγής της μορφολογίας στις εκβολές του δέλτα, ενισχύεται η διάδοση των παλιρροϊκών κυμάτων με αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης στάθμης των υδάτων.

Η ολλανδική ακτή αποτελείται κυρίως από άμμο η οποία χρησιμεύει ως υπόστρωμα της ακτής. Το γεωλογικό υπόστρωμα της παρουσιάζει μία δυναμική εξέλιξη και μεταβάλλεται συνεχώς ως προς την θέση και το σχήμα. Περίπου 12 εκατομμύρια m³ άμμου μεταφέρονται ετησίως από τη Βόρεια Θάλασσα προς την ακτή Wadden ως αποτέλεσμα της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και της διάβρωσης των ακτών (Εικόνα 28).

Οι καθιζήσεις στην Ολλανδία προκαλούνται από την άντληση των υπόγειων υδάτων ενώ κατά τον τελευταίο αιώνα το ένα τέταρτο της σχετικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας μπορεί να αποδοθεί στις καθιζήσεις του εδάφους (Sisternans and Nieuwenhuis, 2010).



Εικόνα 28. Στερεομεταφορά στην Ολλανδική ακτογραμμή.

(Πηγή: Sisternans P. and Nieuwenhuis O. (2010). Holland Coast (The Netherlands). Euroasion Case Study. *Journal of National Institute for Coastal and Marine Management-RIKZ*, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Netherlands, pp. 1-17.)

3.2.4.1. Πιθανά Σενάρια Ανόδου της Στάθμης της Θάλασσας

Η ακριβής έκταση της αναμενόμενης αλλαγής του κλίματος είναι ακόμη αβέβαιη. Ανάλογα με την πολιτική και τη διαχείριση του προβλήματος της παράκτιας ζώνης της Ολλανδίας προβλέπονται τρία πιθανά σενάρια ανόδου της στάθμης της θάλασσας τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

1. «Σενάριο χαμηλής ανόδου»: Στο σενάριο αυτό προβλέπεται άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά 20 cm/αιώνα. Αυτό το σενάριο υπάρχει προκειμένου να ληφθούν αποφάσεις σχετικά με τον σχεδιασμό έργων σε σύντομο χρονικό διάστημα (περίπου 5 έτη) και απαιτούν περιορισμένες επενδύσεις και ευέλικτες λύσεις όπως η αναπλήρωση άμμου.
2. «Ενδιάμεσο σενάριο»: Στο σενάριο αυτό προβλέπεται άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά 60 cm/αιώνα. Το σενάριο αυτό εφαρμόζεται για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τον σχεδιασμό πιο μακροπρόθεσμων έργων με μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας (50-100 χρόνια) που απαιτούν μεγάλες επενδύσεις και μικρή ευελιξία όπως η κατασκευή αναχωμάτων και των φραγμάτων κυμάτων καταιγίδας.
3. «Σενάριο υψηλής ανόδου»: Στο σενάριο αυτό προβλέπεται άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά 85 cm/αιώνα και μια αύξηση κατά 10% στο αιολικό δυναμικό. Αυτό το σενάριο διατυπώθηκε για την πολιτική αντιπλημμυρικής προστασίας που πρέπει να ακολουθηθεί και εφαρμόζει μία πολιτική διαχείρισης του προβλήματος για τα επόμενα 200 χρόνια σύμφωνα με τα πρακτικά του τρίτου παράκτιου συμποσίου καθώς και τις συστάσεις της Τεχνικής Συμβουλευτικής Επιτροπής για τις κατασκευές αντιπλημμυρικής προστασίας. Το σενάριο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την αποκάλυψη τυχόν αδυναμιών της εφαρμοζόμενης πολιτικής.

3.2.5. Διάβρωση

Τόσο φυσικοί όσο και ανθρωπογενείς παράγοντες έχουν καθορίσει την παρούσα κατάσταση στην περιοχή του Δέλτα. Σε γενικές γραμμές η επιφάνεια των εκβολών έχει μειωθεί κυρίως από την ανάκτηση εδαφών στην στεριά. Από το 1800 έχουν ανακτηθεί περίπου 15.000 εκτάρια της παλιρροϊκής περιοχής. Μεταξύ του 1960 και του 1990 στις περιοχές των αβαθών ζωνών νερού, στις παλιρροϊκές αλυκές και στις περιοχές λάσπης μειώθηκε η συνολική επιφάνεια σε περίπου 3.200 εκτάρια, εν μέρει λόγω της αποκατάστασης της γης, της ενίσχυσης των αναχωμάτων αλλά και λόγω της διάβρωσης που προκαλείται από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, την αλλαγή του κλίματος και τους παλιρροϊκούς κύκλους.

Μία άλλη ανθρώπινη παρέμβαση που έχει μεγάλη σημασία στις εκβολές είναι η βυθοκόρηση. Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και στο τέλος της δεκαετίας του 1990, η φλαμανδική κυβέρνηση βάθυνε και διεύρυνε το κανάλι ναυσιπλοΐας στην Αμβέρσα. Ως αποτέλεσμα η ετήσια ποσότητα των χωματουργικών όγκων της βυθοκόρησης έχει αυξηθεί από 4 Mm³ το 1970 σε 8-10 Mm³ το 1995 με τελική πρόβλεψη τα 14 Mm³ το 2002. Το μεγαλύτερο ποσοστό βυθοκόρησης έγινε στο ανατολικό τμήμα των εκβολών.

Επιλέχθηκε μια στρατηγική βυθοκόρησης έτσι ώστε το αφαιρούμενο υλικό από τα κύρια κανάλια να απορριφθεί στα πλευρικά κανάλια. Με τον τρόπο αυτό η βυθοκόρηση και η απόρριψη των εδαφικών υλικών απειλεί την ύπαρξη του συστήματος πολλαπλών καναλιών και μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των παλιρροϊκών ζωνών και σε ρηχές υδάτινες περιοχές, οι οποίες παρέχουν οικότοπο για διάφορα πολύτιμα είδη ζωής. Εκτός από αυτές τις

δραστηριότητες που προκαλούν ανακατανομή των ιζημάτων, πραγματοποιείται εκσκαφή άμμου που γίνεται στα δυτικά των εκβολών. Από το 1955 έχουν εκσκαφεί περίπου 90 Mm³ ιζημάτων. Η επιφάνεια των καναλιών και των υψηλότερων περιοχών αναμένεται να αυξηθεί σε περίπου 500 εκτάρια.

Στο μέλλον η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης μπορεί να προκαλέσει επιπλέον απώλειες στις παλιρροϊκές περιοχές ενώ θα προκαλέσει σχετικά υψηλότερα επίπεδα νερού στο εσωτερικό των εκβολών (Sisternans and Nieuwenhuis, 2010).

Σε τοπικό επίπεδο οι μαϊανδροί αποτελούν αίτια διάβρωσης των αλυκών της τάξης των πολλών μέτρων ανά έτος. Σε διαφορετικές θέσεις οι μαιανδρισμοί των καναλιών προκαλούν κρίσιμες καταστάσεις καθώς τα κανάλια έχουν μετακινηθεί προς τα αναχώματα στη θάλασσα και η περαιτέρω μετακίνηση θα μπορούσε να προκαλέσει βλάβες στα αναχώματα.

Κατά τη διάρκεια των 30 τελευταίων ετών η απώλεια άμμου υπολογίζεται σε περίπου 1 εκατομμύριο m³/έτος που έχει συμβεί από την ακτή Holland προς τα βαθιά νερά. Στις περισσότερες βόρειες παράκτιες ζώνες σημειώνονται φαινόμενα διάβρωσης στα βαθιά νερά και στην ζώνη κοντά στην ακτή. Στις περισσότερες νότιες περιοχές εμφανίζονται καθιζήσεις στην περιοχή κοντά στην ακτή και φαινόμενα διάβρωσης στα βαθιά νερά. Η διάβρωση στις κατασκευές οφείλεται στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας και σε ορισμένα σημεία αυτή συμβαίνει εξαιτίας της κατασκευής των κρηπιδωμάτων του λιμανιού. Η ακτή Holland ως μία ενιαία μονάδα δείχνει διαβρωτική συμπεριφορά (-9,6x10⁵ m³/yr) (de Ruig Joost, 1998).

Ως αποτέλεσμα των τακτικών μετρήσεων της βαθυμετρίας του πυθμένα κατά μήκος των ολλανδικών ακτών, μπορεί να υπολογιστεί η μεγάλης κλίμακας αλλαγής του όγκου κατά τα τελευταία 30 χρόνια. Στο βόρειο τμήμα της ακτής Holland (της επαρχίας Noord-Holland), η διάβρωση της παράκτιας ζώνης υπολογίζεται περίπου σε -0,5-0,7x10⁶ m³/έτος και σε μεγάλα βάθη έως -0,3-0,1x10⁶ m³/έτος. Στην περιοχή IJmuiden η καθίζηση που συμβαίνει υπολογίζεται σε 0,6 έως 0,9x10⁶ m³/έτος. Στα βαθιά νερά του νότιου τμήματος της ακτής Holland (της επαρχίας της Zuid-Holland) σημειώνονται φαινόμενα διάβρωσης (-0,6-μέχρι 0,4x10⁶ m³/έτος) ενώ η παράκτια ζώνη αυξάνει την ποσότητα ιζήματος (-0,2-μέχρι 0,05x10⁶ m³/έτος). Αυτές οι τάσεις δίνουν μια ένδειξη για τη συμπεριφορά της ακτογραμμής (Εικόνα 29).

Μέχρι το 1990 η παράκτια προστασία κατευθυνόταν προς τη διατήρηση της δομής προστασίας της ακτογραμμής ενάντια στη δράση της θάλασσας και ασχολούταν μόνο με την επίλυση των πιο σοβαρών προβλημάτων διάβρωσης όπως τις μεγάλες απώλειες ιζημάτων και την εξαφάνιση οικισμών στο παρελθόν. Ιδιαίτερα τον 17^ο και 18^ο αιώνα, σημειώθηκε παράκτια υποχώρηση σε πολλά σημεία όπως για παράδειγμα στη Βόρεια Ολλανδία. Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 ήταν γενικά κατανοητό ότι όλες οι λειτουργίες της παράκτιας ζώνης που επιδρούν στην ανθρώπινη κοινωνία επηρεάζονται από τη μακροχρόνια διάβρωση των ακτών. Συνεπώς αναπτύχθηκε μια νέα εθνική αμυντική πολιτική της παράκτιας ζώνης. Το 1990 η ολλανδική κυβέρνηση αποφάσισε να περιορίσει την περαιτέρω υποχώρηση των παράκτιων περιοχών. Η απόφαση για αυτή την ενέργεια σημαίνει ότι η ακτογραμμή θα πρέπει τουλάχιστον να διατηρηθεί στη θέση που είχε κατά το έτος 1990 ενώ θα πρέπει να εμποδιστεί κάθε περαιτέρω μελλοντική διάβρωση. Η πολιτική αυτή αποσκοπεί πρωτίστως στο συνδυασμό της ασφάλειας από τις πλημμύρες και στη βιώσιμη διατήρηση των περιβαλλοντικών αξιών των αμμόλοφων και των παραλιών, προκειμένου να διατηρηθεί μέρος της φυσικής δυναμικής των παράκτιων περιοχών. Η επιλεγμένη εναλλακτική λύση καθιερώθηκε ως "δυναμική διαφύλαξη".

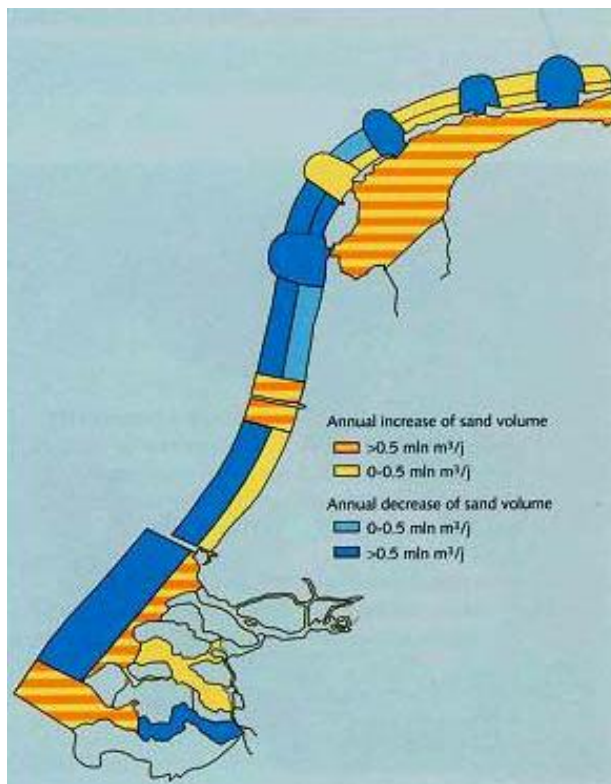
Η πιο σημαντική πτυχή της "δυναμικής διαφύλαξης" είναι ότι το θαλάσσιο σύνορο της Ολλανδίας διατηρείται στη θέση της ακτογραμμής που υπήρχε κατά το έτος 1990, δημιουργώντας έτσι μία προαπαιτήση χώρου για άλλες μορφές χρήσης της παράκτιας ζώνης, όπως τη στέγαση, την ψυχαγωγία, την ύπαρξη πόσιμου νερού και τη διατήρησης της φύσης. Η κύρια μέθοδος για την εξουδετέρωση της μακροχρόνιας διάβρωσης είναι ο εμπλουτισμός της παραλίας με άμμο, δηλαδή η προσθήκη άμμου στην παραλία. Με τον τρόπο αυτό τα παράκτια τμήματα που παρουσιάζουν έντονη διάβρωση, μπορούν να υποστηρίξουν με ευέλικτο τρόπο διατηρώντας την φυσική δυναμική τους σε μεγάλο βαθμό.

Για την εφαρμογή της "δυναμικής διαφύλαξης" έχει αναπτυχθεί η έννοια της "βασικής ακτογραμμής". Η βασική ακτογραμμή είναι στην πραγματικότητα η ακτογραμμή που υπήρχε κατά το έτος 1990 και έχει υπολογιστεί για το σύνολο της ολλανδικής ακτογραμμής. Σε ετήσια βάση καταγράφεται η πραγματική θέση της ακτογραμμής ανά διαστήματα 250 m και στη συνέχεια συγκρίνεται με τη θέση της βασικής ακτογραμμής. Τα αποτελέσματα των ετήσιων αξιολογήσεων παρουσιάζονται σε χάρτες που απεικονίζουν λεπτομερώς την πραγματική θέση της ακτογραμμής της χώρας. Οι χάρτες επιτρέπουν την ταχεία κατανόηση των αλλαγών της θέσης της ακτογραμμής και ειδικότερα την τάση μεταβολής της για κάθε τμήμα της ακτής. Η σύγκριση χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της διάβρωσης εάν και εφόσον αυτό είναι απαραίτητο και για την αναπλήρωση της παραλίας αφού τοποθετείται άμμος σε μέρη όπου έχουν διαβρωθεί. Το κόστος της παρακολούθησης, των παράκτιων μελετών και ο εμπλουτισμός της παραλίας κοστίζουν περίπου 60 εκατομμύρια NLG ετησίως (Εικόνα 30).

Η δεύτερη δράση σχετικά με την παράκτια διάβρωση καλούμενη ως «Kustbalans 1995», υποβλήθηκε τον Απρίλιο του 1996. Η κυβερνητική αυτή απόφαση αξιολόγησε την πολιτική της "δυναμικής διατήρησης" και διαπίστωσε ότι είναι επιτυχής. Σε γενικές γραμμές ο εμπλουτισμός με άμμο είναι μια αποτελεσματική μέθοδος διατήρησης της ακτογραμμής η οποία εξυπηρετεί επίσης και άλλες χρήσεις της παραλίας και της περιοχής των αμμολόφων. Η προσθήκη άμμου μπορεί να προγραμματιστεί με ένα ευέλικτο τρόπο για τις πλέον επείγουσες περιοχές και χρονικές στιγμές, μειώνοντας το κόστος της συντήρησης των προστατευτικών αναχωμάτων. Επιπλέον η θάλασσα μπορεί να λειτουργεί ως σύμμαχος του ανθρώπου αφού ο πυθμένας της τροφοδοτεί με εκατομμύρια m³ άμμου που χρησιμοποιούνται για να αντισταθμιστεί η διάβρωση των ακτών που οφείλεται στα κύματα και τα ρεύματά της. Το κόστος ανά m³ άμμου συμπεριλαμβανομένης της εκβάθυνσης και του εμπλουτισμού ανέρχεται σε περίπου 5 δολάρια.

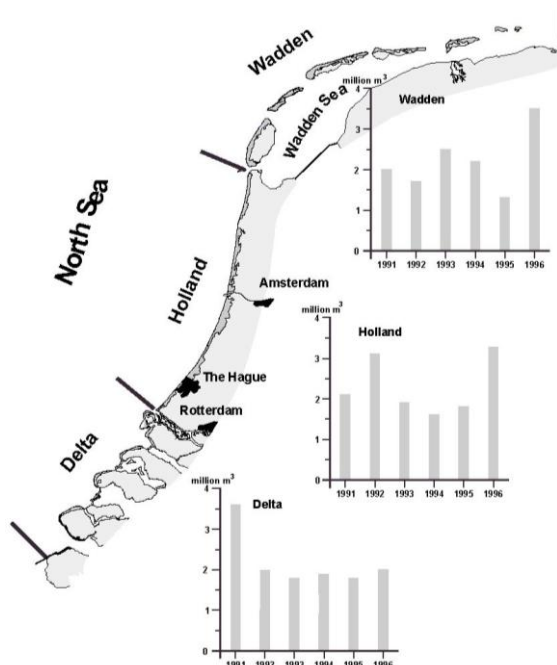
3.2.6. Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού

Η παράκτια ζώνη στο σύνολό της εμφανίζει μια μικρή αύξηση του πληθυσμού κατά την περίοδο 1980-1999. Μεγάλες διαφορές εντοπίζονται σε τοπικό επίπεδο, αφού στη Χάγη (Den Haag) μειώνεται ο πληθυσμός κατά 22.300 κατοίκους (5%) κατά την περίοδο αυτή και στην περιοχή IJmuiden αυξάνεται ο πληθυσμός κατά περισσότερους από 10.000 (7%) ενώ προβλέψεις δείχνουν μείωση του συνολικού πληθυσμού κατά 2% το 2020 σε σχέση με 2000 (Εικόνα 31) (Sisternans and Nieuwenhuis, 2010).



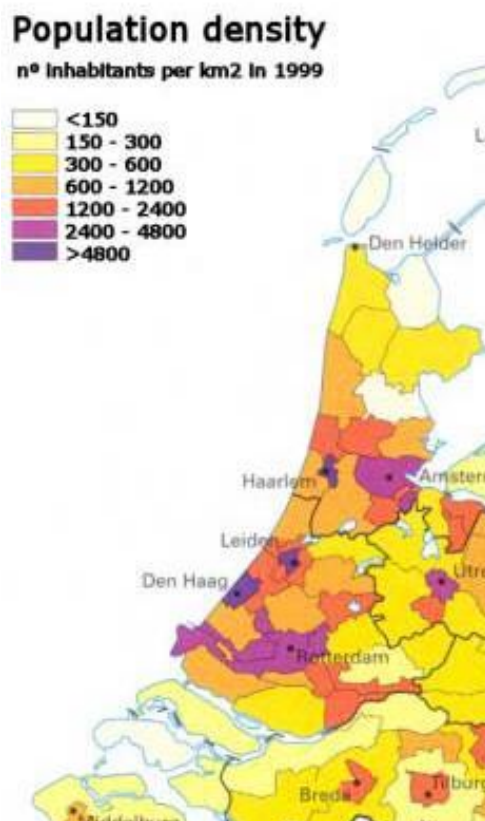
Εικόνα 29. Ετήσια μεταβολή όγκου άμμου της Ολλανδικής ακτογραμμής.

(Πηγή: Sisternans P. and Nieuwenhuis O. (2010). Holland Coast (The Netherlands). EuroSION Case Study. *Journal of National Institute for Coastal and Marine Management-RIKZ*, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Netherlands, pp. 1-17.)



Εικόνα 30. Όγκος εμπλουτισμού άμμου κατά μήκος της Ολλανδικής Ακτής κατά τα έτη 1991-1996.

(Πηγή: de Ruig Joost H.M. (1998). Coastline Management in the Netherlands: Human Use Versus Natural Dynamics. *Proceedings of Journal of Coastal Conservation 4*, Sweden, November, pp. 127-134.)



Εικόνα 31. Πυκνότητα πληθυσμού Ολλανδικής ακτογραμμής.

(Πηγή: Sistermans P. and Nieuwenhuis O. (2010). Holland Coast (The Netherlands). EuroSION Case Study. *Journal of National Institute for Coastal and Marine Management-RIKZ*, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Netherlands, pp. 1-17.)

3.2.7. Σημαντικές Λειτουργίες της Παράκτιας Ζώνης

Οι σημαντικότερες λειτουργίες της παράκτιας ζώνης εντοπίζονται στα παρακάτω σημεία:

- Γεωργία και Κηπευτική. Στη βόρεια και τη νότια παράκτια ζώνη της Ολλανδίας οι κύριες εξειδικευμένες γεωργικές εκτάσεις είναι η αναπτυσσόμενη βιομηχανία καλλιέργειας του βολβού και η καλλιέργεια σε θερμοκήπια. Επί του παρόντος η Ολλανδία εξακολουθεί να είναι ένας μεγάλος εξαγωγέας γεωργικών προϊόντων. Ωστόσο η εξαγωγή προϊόντων αποτελείται κυρίως από λουλούδια, λαχανικά και γαλακτοκομικά προϊόντα ενώ βασικά προϊόντα διατροφής εισάγονται σε μεγάλο βαθμό.
- Αλιεία και Υδατοκαλλιέργεια. Η αλιεία της ανοικτής θάλασσας κυρίως περιορίζεται στη Βόρεια Θάλασσα και ο τομέας αυτός έχει αυξήσει την παραγωγικότητα της Ε.Ε. και κατέχει μια ισχυρή εξαγωγική θέση. Τα αντίστοιχα είδη ψαριών είναι ρέγγα, σκουμπριά, μπακαλιάρος, γαρίδες, οστρακοειδή και πλατύψαρα.
- Αστικοποίηση. Η πίεση στην παράκτια ζώνη εξακολουθεί να αυξάνεται και ως αποτέλεσμα η χρήση χώρου γίνεται πιο έντονη στην παράκτια ζώνη της περιοχής Holland αφού υπάρχει μια αυξανόμενη ανάγκη για υψηλής ποιότητας αστικές τοποθεσίες με υψηλής ποιότητας περιβάλλοντος και ζωής και η παράκτια ζώνη καλείται και μπορεί να προσφέρει αυτή τη δυνατότητα αποτελώντας την κύρια ώθηση για την αστικοποίηση στη ζώνη αυτή.

- Διαχείριση των Υδάτων. Το νερό έχει μεγάλη οικονομική σημασία για τις Κάτω Χώρες. Επενδύοντας στην αποτελεσματική διαχείριση των υδάτων (προστασία και την εκμετάλλευση), θα τεθούν τα θεμέλια για την ανάπτυξη μίας υψηλής ποιότητας βιομηχανοποιημένης κοινωνίας.
- Βιομηχανία, Μεταφορές και Ενέργεια. Η ολλανδική βιομηχανία είναι τόσο υψηλής τεχνολογίας και ποικίλη αφού σχεδόν κάθε τομέας εκπροσωπείται στις Κάτω Χώρες. Παρ'όλα αυτά υπάρχουν δύο τομείς αυτοί της χημικής και της βιομηχανίας επεξεργασίας τροφίμων που σαφώς κυριαρχούν όσον αφορά τον όγκο παραγωγής. Οι Κάτω Χώρες επίσης έχουν μακρά παράδοση στις μεταφορές. Τα ποντοπόρα πλοία μεταφέρουν ετησίως δεκάδες εκατομμύρια τόνους εμπορευμάτων από και προς το Ρότερνταμ το μεγαλύτερο λιμάνι του κόσμου ενώ και το αεροδρόμιο Schiphol κοντά στο Άμστερνταμ, είναι ο τέταρτος μεγαλύτερος αερολιμένας της Ευρώπης για μεταφορά εμπορευμάτων και επιβατών. Επίσης η χώρα εφοδιάζει ενεργειακά την Ευρώπη ενώ είναι ελεύθερη από δασμούς των πετρελαϊκών προϊόντων για το σύνολο της βορειοδυτικής Ευρώπης και αποτελεί έναν διεθνή πρωτοπόρο της ανανεώσιμης ενέργειας.
- Τουρισμός και Αναψυχή. Η ακτή Holland είναι μία από τους πιο σημαντικούς τουριστικούς προορισμούς στις Κάτω Χώρες. Το 30% των περιορισμένης διάρκειας διακοπών δαπανώνται στην ακτή ενώ η ανάπτυξη του παράκτιου τουρισμού έχει μειωθεί εξαιτίας του διεθνούς ανταγωνισμού, της έλλειψης καινοτομίας καθώς και της απουσίας παράκτιων θέρετρων (Sisternans and Nieuwenhuis, 2010).

3.2.8. Αξιολόγηση των Κινδύνων

Σύμφωνα με τους κλιματολόγους το κλίμα αλλάζει. Πιθανόν η συχνότητα των καταιγίδων θα αυξηθεί ενώ θα συμβεί άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Χωρίς παρέμβαση ο κίνδυνος πλημμυρών θα αυξηθεί σημαντικά. Ως αποτέλεσμα της αστικοποίησης της παράκτιας ζώνης και της παρουσίας ενός μεγάλου μέρους του ολλανδικού πληθυσμού και της οικονομικής δραστηριότητας στην χαμηλού υψομέτρου προσχωμένη περιοχή-κάτω από το επίπεδο της θάλασσας-πίσω από τους αμμόλοφους, η ζημιά θα είναι τεράστια. Λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα για την έκταση της αλλαγής του κλίματος, η ακριβής πρόβλεψη του κινδύνου είναι αβέβαιη απαιτώντας περαιτέρω διερεύνηση για να γίνουν κατανοητές οι αλλαγές του κλίματος και υπό την προϋπόθεση ότι οι αλλαγές αυτές κατανοηθούν πλήρως τότε μόνο μπορεί να εκτιμηθεί η πρόβλεψη του κινδύνου με ακρίβεια.

Η καταστροφή στη νοτιοδυτική Ολλανδία το 1953 οδήγησε σε 1.835 θύματα και προκάλεσε συνολικά ζημιά ύψους περίπου 0,7 δισεκατομμυρίων Ευρώ. Η συνολική απώλεια οικονομικού δυναμικού της παράκτιας ζώνης της ακτής Holland υπολογίστηκε ότι ήταν περίπου 300 δις ευρώ. Λόγω αυτής της μεγάλης οικονομικής επίπτωσης δεν υπήρχε καμία ασφαλιστική εταιρία που να καλύπτει οικονομικά τους θιγόμενους από πλημμύρες μετά από την πλημμύρα του 1953 λόγω μη δυνατής ασφαλιστικής κάλυψης και πιθανής πτώχευσης των ασφαλιστικών εταιρειών ενώ επί του παρόντος ο νόμος περί αποζημίωσης από συμφορές Calamities Compensation Act' (WTS) αντισταθμίζει το μεγαλύτερο μέρος της ζημίας από τις πλημμύρες.

3.2.9. Ιστορική Εξέλιξη του Δέλτα

Το κεφάλαιο αυτό περιέχει στοιχεία για την χρονολογική εξέλιξη του δέλτα. Η εξέλιξη

μορφοποίησης του δέλτα υποβοηθήθηκε από τη χρήση της μυϊκής δύναμης αρχικά και της αιολικής και της υδραυλικής-δυναμικής ενέργειας μεταγενέστερα κατά την διάρκεια περιόδων που χαρακτηρίστηκαν από τεχνικά επιτεύγματα όπως τον άνεμο-νερόμυλο ενώ κατά την χρονική περίοδο 1800-2000 παρατηρείται μία περαιτέρω εξέλιξη στο δέλτα λόγω της δύναμης του ατμού και της ηλεκτρικής ενέργειας.

3.2.9.1. Προϊστορία της περιοχής του Δέλτα

Οι πρώτοι κάτοικοι του δέλτα των μεγάλων ευρωπαϊκών ποταμών του Ρήνου και του Μεύση άφησαν τα ίχνη τους περίπου 250.000 χρόνια πριν κατά τη διάρκεια της εποχής Saalien των παγετώνων, στην άκρη μιας ελώδους περιοχής πλημμυρισμένη από τον Μεύση. Η χώρα έγινε κατοικήσιμη κατά τη διάρκεια μιας μεταγενέστερης θερμής περιόδου και ανόδου της στάθμης της θάλασσας, ακολουθούμενη από την εποχή των παγετώνων Weichselien που ολοκληρώθηκε περίπου 12.000 χρόνια πριν. Στο τέλος της τελευταίας περιόδου παγετώνων η θερμοκρασία του αέρα τον Ιούλιο σταδιακά αυξήθηκε από 0-5°C στους 15-20°C. Το 7.000 π.Χ. η περιοχή του δέλτα μεταξύ των ποταμών Ρήνου και Μεύση βρισκόταν μεταξύ μιας περιοχής με υψηλά ποσοστά κάλυψης άμμου και αποθέσεων κατά το πλειστόκαινο ενώ στη συνέχεια χαρακτηρίστηκε από τους μαιανδρισμούς των ποταμιών, εκβάλλοντας σε περιοχές με μεγάλες ποσότητες τύρφης πίσω από αμμόλοφους παράλληλους προς την ακτή σε απόσταση εκατοντάδων χιλιομέτρων. Σε πολλά σημεία των ποταμών διασταυρώνονταν με τους αμμόλοφους εκβάλλοντας στη Βόρεια Θάλασσα. Η περιοχή ήταν καλυμμένη με πυκνά δάση και-καθώς ορισμένοι επιστήμονες υποθέτουν-η περιοχή παρέμεινε ανενόχλητη από τη βοσκή.

Αρχαιολογικά ευρήματα από τη Νέα Εποχή του Λίθου 6.300 χρόνια πριν το παρόν αποκάλυψαν ομάδες κυνηγών και αλιείς στην περιοχή του δέλτα με απολιθώματα του ίδιου είδους για τα υδρόβια πτηνά και τα ψάρια όπως τα γνωρίζουμε έως σήμερα. Από στοιχεία που χρονολογούνται 2.700 χρόνια πριν το παρόν, θα μπορούσαν να δημιουργηθούν υγρότοποι με πλούσια βλάστηση και πλημμυρισμένες πεδιάδες δασών που να μοιάζουν πάρα πολύ με την σημερινή σύνθεση των δασών. Τα πρώτα μέτρα διαχείρισης του νερού των προϊστορικών ετών χρονολογούνται από την εποχή του Χαλκού 3.500 χρόνια πριν, που αποτελούνταν από ένα σύστημα τάφρων για την αποστράγγιση των αροτραίων καλλιεργειών που περιέβαλλαν τις περιοχές εκμετάλλευσης. Πρόσφατες αρχαιολογικές ανασκαφές δείχνουν ότι τα παλαιότερα τεχνητά φράγματα που χρονολογούνται από το 100-200 π.Χ. και τα παλαιότερα έργα του δέλτα-αναχώματα και οχετοί με βαλβίδες ανάκρουσης-χρονολογούνται στο έτος 100 μ.Χ.

Η ρωμαϊκή εποχή από το 15 π.Χ. έως περίπου το 400 μ.Χ. σήμανε την έναρξη καταγραφής ιστορικών αρχείων. Ο ποταμός Ρήνος ήταν το βόρειο σύνορο της αυτοκρατορίας και οι Ρωμαίοι επέδρασαν σημαντικά στα φυσικά υδάτινα συστήματα αφού προσαρμοσαν τις πλωτές οδούς καθώς επίσης προχώρησαν στην κατασκευή και εκμετάλλευση λιμανιών, ναυπηγείων και στην αποθήκευση εμπορευμάτων ενώ δημιούργησαν οχυρωμένες πόλεις και φρούρια. Η προοδευτική αποψίλωση των δασών που αναφέρεται από την εποχή του Σιδήρου, έγινε ώστε να κρατήσουν τα χυτήρια σιδήρου στην επιθυμητή θερμοκρασία μέσω της λήψης μεγάλων ποσοτήτων άνθρακα. Ρωμαϊκές περιγραφές αναφέρουν το έργο της «Υδρευσης των Corbulo και Δρούσου» αποτελούμενο από κανάλια νερού και την κατασκευή φραγμάτων που εκτρέπανε την πορεία των κύριων ποταμών, ωστόσο υπάρχει διαφωνία σχετικά με την ακριβή θέση της υδροληψίας παραμένοντας το φράγμα και η διώρυγα του Δρούσου να είναι ίσως τα πρώτα μεγάλα υδραυλικά έργα στο δέλτα.

Η περίοδος 300-800 μ.Χ. χαρακτηρίζεται από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και από τις δράσεις της, καθιστώντας το μεγαλύτερο μέρος του δέλτα μη κατοικήσιμο ενώ ταυτόχρονα η περιοχή του δέλτα είχε ερημωθεί αφού υπήρξαν κρούσματα πανώλης με το υπόλοιπο μέρος των αγροτών να ζουν σε τεχνητές κατοικίες στις περιοχές των πλημμυρών. Ο 10^{ος} αιώνας γενικά θεωρείται ως ο αιώνας έναρξης κατασκευής των έργων και μέτρων διαχείρισης του νερού στο δέλτα των ποταμών Ρήνου και Μεύση. Πρόσφατα αρχαιολογικά ευρήματα ωστόσο έδειξαν ότι οι δράσεις για την διαχείριση του νερού είναι πολύ μεγαλύτερης ηλικίας και ότι περιλαμβάνουν μια συνεχή και προοδευτική διαδικασία από την προ-Ρωμαϊκή εποχή έως την παρούσα στιγμή. Οι Ρωμαίοι έδωσαν πράγματι μία προηγμένη ώθηση στη διαχείριση των υδάτων, ενώ τα μέτρα αυτά συνεχίστηκαν από τους μεταγενέστερους κατοίκους του δέλτα. Από το 800 μ.Χ. και μετά πραγματοποιήθηκε μία σταδιακή αλλά και συνεχής μετατροπή στο φυσικό τοπίο, αλλάζοντας το περιβάλλον σε αυτό που σήμερα αναγνωρίζουμε ως ημι-φυσικό ή πολιτιστικό τοπίο της περιοχής του δέλτα των ποταμών Ρήνου και του Μεύση. Η έναρξη αυτής της διαδικασίας είναι πιθανότερο να οδηγήθηκε από την κλιματική αλλαγή και την επιβράδυνση της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Οι αλλαγές αυτές χαρακτηρίζονται από μια σταθερή αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού από 0,1 εκατομμύρια το 800 μ.Χ. έως 16.000.000 το 2000, με ταυτόχρονα αυξανόμενη καλλιέργεια των πεδιάδων κατάκλισης για γεωργικούς σκοπούς, τη συνεχιζόμενη αποψίλωση των δασών και προστασία των ποταμών με τη δημιουργία αναχωμάτων (Nienhuis, 2008).

3.2.9.2. Η περιοχή του Δέλτα στον Μεσαίωνα

Κατά την περίοδο 800-1500 μ.Χ. μορφοποιήθηκε το όριο του ποταμού στο δέλτα καθώς έκλεισαν τα αναχώματα γύρω από τις περιοχές προσχώσεων των ποταμών που περικλείονταν εξολοκλήρου από τους ποταμούς καθώς ολοκληρώθηκε η εκμετάλλευση των τυρφωδών υψιπέδων του κεντρικού δέλτα. Ωστόσο πολύ λίγα τεκμηριώνονται στην εν λόγω περίοδο και οι γνώσεις βασίζονται κυρίως σε αρχαιολογικά ευρήματα και στην μεταγενέστερη μεσαιωνική περίοδο των ιστορικών ανακατασκευών. Τα φυσικά αναχώματα και οι αμμώδεις ζώνες των καναλιών ήταν σχετικά πυκνοκατοικημένες στις αρχές του Μεσαίωνα. Πολυάριθμες πόλεις και χωριά που όμως εξακολουθούν να υπάρχουν, χρονολογούνται στην μετά-ρωμαϊκή εποχή. Εντυπωσιακά ρωμαϊκά και γοτθικά κτίρια από τούβλα επισημαίνουν την ευημερία σε μια έντονη περίοδο αστικοποίησης και εκμετάλλευσης των πεδιάδων πλημμυρών του ποταμού. Όλες οι μεσαιωνικές εμπορικές αγορές βασίζονται στο ποτάμι. Στον Μεσαίωνα η αυξανόμενη ποσότητα ξύλου χρησιμοποιήθηκε ως οικοδομικό υλικό και για καύσιμα, δράσεις που όμως αποδεκάτισαν τα δάση στις λεκάνες των ποταμών και στα ρυάκια.

Λόγω των συνεχών δράσεων αποκατάστασης οι κοίτες σταδιακά περιορίστηκαν μεταξύ των τεχνητών χωμάτινων αναχωμάτων. Οι μεγάλοι ποταμοί (IJssel, Waal, Merwede, Nederrijn, Lek, Maas) έχασαν μεγάλες εκτάσεις των πεδιάδων κατάκλισης τους από τις δράσεις του ανθρώπου, ενισχύοντας τις επιπτώσεις από τις μεγάλες ποσότητες νερού. Το πρόβλημα έγινε έμμονο αμέσως μετά το πρώτο κλείσιμο των αναχωμάτων γύρω από τις προσχώσεις, στο τέλος του 13^{ου} αιώνα. Στο τέλος του Μεσαίωνα η αξιοποίηση των κοιτών των ποταμών και ιδίως το κλείσιμο των αναχωμάτων γύρω από τις προσχώσεις των ποταμών, ήταν τόσο προχωρημένα ώστε οι λεκάνες απορροής των ποταμών του Ρήνου και του Μεύση κατείχαν περίπου την ίδια γεωγραφική θέση στην περιοχή του δέλτα όπως και σήμερα. Περίπου 1.350 βασικοί παραπόταμοι του Ρήνου και του Μεύση περιχώθηκαν και κατά συνέπεια σταμάτησε

η απρόσκοπτη αποστράγγιση των πλεοναζόντων νερών από τον ποταμό. Στη συνέχεια οι όχθες του ποταμού προστατεύονταν από τις ανεπιθύμητες πλημμύρες ποταμών από τα επιφανειακά ύδατα, αλλά την ίδια στιγμή το πρόβλημα από τα εσωτερικά νερά επιδεινωνόταν από την ύπαρξη των υπόγειων υδάτων.

Μεταξύ του 10^{ου} και του 14^{ου} αιώνα αποικιοκρατήθηκαν οι μεγάλοι χερσότοποι και οι υψηλές περιοχές του δυτικού τμήματος του δέλτα. Μεγάλα τμήματα των τυρφωδών περιοχών αξιοποιήθηκαν συστηματικά σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα μεταξύ του 950 και του 1150. Η νέα τεχνική καλλιεργειών μετέτρεψε την υπάρχουσα τυρφώδη περιοχή από μια ερημιά σε έναν υγρότοπο. Η δραστική αλλαγή στη δομή του τοπίου περίπου τον 10^ο αιώνα πρέπει να αποδοθεί στην αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού. Μεταξύ του 800 και του 1250 ο πληθυσμός του δέλτα αυξήθηκε από 100.000 σε 800.000 κατοίκους. Αργότερα ο μαύρος θάνατος εξαπλώθηκε μέσω των εστιών της πανώλης περίπου το 1350 που αργότερα χαρακτηρίστηκε ως το μεγαλύτερο βιολογικό-περιβαλλοντικό γεγονός στις αρχές της ιστορίας του δέλτα. Λόγω της μαζικής αποστράγγισης και εκσκαφής της τύρφης στο κεντρικό δέλτα, μεγάλες εκτάσεις γης συμπίεστηκαν και υποχώρησαν, διαβρώθηκαν από την δράση των κυμάτων και εξαφανίστηκαν κάτω από το νερό δημιουργώντας μεγάλες ρηχές λίμνες. Η ανάπτυξη των εν λόγω λιμνών με τύρφη που δημιουργήθηκαν μετά από αιώνες λόγω της έντονης εξόρυξης τύρφης, αποτελεί ένα από τα γνωστότερα παραδείγματα της τεράστιας οικολογικής ζημιάς προκαλούμενη από τον άνθρωπο με μια σταδιακή διαδικασία εξέλιξης, στην οποία το φαινόμενο δεν ήταν αρχικά αντιληπτό ως μια καταστροφή που είχε ήδη ξεκινήσει.

Οι παράκτιες τυρφώδεις υψηλές περιοχές υπέστησαν την ίδια τύχη. Η μακραίωνη καλλιέργεια και αποστράγγιση των παράκτιων περιοχών με τύρφη προκάλεσαν σε μεγάλες εκτάσεις συμπίεση και υποχώρηση, η επιφάνεια μειώθηκε σταδιακά σε απόσταση μερικών μέτρων, καθώς επίσης μεγάλες περιοχές έπεσαν θύμα των ισχυρών παλιρροϊκών δυνάμεων. Μεταξύ του 800 και του 1250 χάθηκαν μεγάλες εκτάσεις γης τόσο στο βορειοδυτικό όσο και στο νοτιοδυτικό τμήμα του δέλτα εξαιτίας ενός συνδυασμού παραγόντων εκ των οποίων η ανθρώπινη εργασία ήταν ο πιο σημαντικός. Είναι κοινή πεποίθηση ότι το μεγαλύτερο μέρος των παράκτιων περιοχών στο δέλτα αποτελούνται από γη που δημιουργήθηκε στη θάλασσα, αλλά τελικά αποδεικνύεται το αντίθετο. Στην πραγματικότητα η ανθρώπινη δράση αθέλητα επέτρεψε στην θάλασσα να εισβάλλει σε τεράστιες εκτάσεις που αρχικά βρίσκονταν πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Η απώλεια των περιχωματικών εκτάσεων που πρέπει να αποδοθεί στην υπερεκμετάλλευση των κορεσμένων με αλάτι περιοχών με τύρφη, ήταν υπερβολικά μεγάλη και αποτέλεσε σημαντικό πρόβλημα για την μεταγενέστερη εποχή της μεσαιωνικής περιόδου. Πριν από το 1500 ο άνθρωπος δεν μπορούσε να αντιμετωπίσει τις δυνάμεις της φύσης και το συνεχώς μεταβαλλόμενο τοπίο στις εκβολές του ποταμού λόγω έλλειψης γνώσης και απουσίας της τεχνογνωσίας, όμως η επινόηση μιας νέας τεχνολογίας του ανέμου-νερόμυλου στις αρχές του 14^{ου} αιώνα εγκαινίασε μια νέα εποχή εγγείων βελτιώσεων (Nienhuis, 2008).

3.2.9.3.Τεχνικά Επιτεύγματα, οι Νερόμυλοι στη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων

Από τη στρατιωτική και την θρησκευτική ιστορία φαίνεται ότι από τη Ρωμαϊκή εποχή και μετά, οι κοινωνικές δυνάμεις συνέβαλαν σημαντικά στο επίπεδο της οικονομικής ευημερίας της περιοχής και ως εκ τούτου και στα μέτρα που ελήφθησαν στο πλαίσιο της διαχείρισης των υδάτων. Η περίοδος 1500-1800 χαρακτηρίζεται από τεχνικά επιτεύγματα, σημαντική πρόοδο, αλλά και αποτυχίες και πάνω απ' όλα την δημιουργία και εκμετάλλευση των υδραυλικών και

λιμενικών έργων. Κατά τη διάρκεια της ευημερίας πραγματοποιήθηκαν μεγάλα έργα με την υπόθεση ότι παράλληλα στις τεχνολογικές καινοτομίες υπήρξε και μεγάλη προθυμία για επενδύσεις. Από το 1450 και μετά οι γαιοκτήμονες στην περιοχή του δέλτα εντατικοποίησαν τη διαχείριση των υδάτων βελτιστοποιώντας τα οφέλη από τη νέα τεχνολογία των νερόμυλων. Οι αποστραγγισμένες λίμνες και οι προσχώσεις που περιβάλλονταν από τα αναχώματα οφείλουν την ύπαρξή τους καθώς και την ανάπτυξή τους στην αποστραγγιστική ικανότητα των ανεμόμυλων. Η ρυθμιζόμενη ροή του νερού άλλαξε τις λεκάνες απορροής των ποταμών διαμορφώνοντας τους σε πολιτιστικούς τόπους-ή στην καλύτερη περίπτωση σε ημιφυσικά τοπία και τοπία με νερό. Μέχρι την καθιέρωση της δύναμης του ατμού στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, η μυϊκή αντοχή των ανθρώπων και των ζώων (άλογα), που υποστηρίζονταν από την αιολική και την υδραυλική-δυναμική ενέργεια του νερού ήταν οι μόνες πηγές ενέργειας που είχαν τη δυνατότητα να μετατρέψουν το φυσικό τοπίο στο δέλτα σε πολιτιστικό τοπίο νερού.

Στις περιοχές του κεντρικού και του βορειοδυτικού δέλτα χάθηκαν μεγάλες εκτάσεις λόγω της μαζικής βυθοκόρησης της τύρφης. Η αιολική επίδραση και η κυματική δράση επιτάχυναν τη διαδικασία της απώλειας γης και επομένως τη δημιουργία τυρφωδών λιμνών. Στην ευημερούσα Χρυσή Εποχή τον 17^ο αιώνα, κατέστη εφικτό από τεχνική άποψη να δημιουργηθούν εκ νέου μεγάλες εκτάσεις τύρφης και να μετατραπούν οι τυρφώδεις λίμνες σε εύφορη γη. Η συνεχής μάχη προσθήκης και απώλειας γης στα παράκτια τμήματα του δέλτα χαρακτηρίζεται από την αντιμετώπιση των δυνάμεων της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και της υποχώρησης της γης κυρίως λόγω της εξόρυξης της αλμυρής τύρφης ενώ περίπου το 1500 ένα μεγάλο μέρος του παράκτιου δέλτα υποβιβάστηκε υπό το επίπεδο της θάλασσας. Η διαδικασία περιελάμβανε τόσο βήματα προς τα εμπρός όπως την ανάκτηση εδάφους όσο και βήματα προς τα πίσω με την απώλεια εδαφών. Δεκάδες χιλιάδες εκτάρια γης είχαν επιτυχώς αποκατασταθεί κατά τον ευημερούντα 17^ο αιώνα, είτε εφαρμόζοντας νέες τεχνικές δημιουργίας αναχωμάτων, ή με τη μερική ανάκτηση των προσφάτων συσσωρευμένων εδαφών.

Το παράδοξο της διαχείρισης των υδάτων έγινε εμφανές με την αποστράγγιση και την εκβάθυνση των εδαφών με τύρφη, καθώς και την αξιοποίηση των ποταμών μεταξύ των υψηλότερων και ισχυρότερων φραγμάτων που αποκάλυψαν τις μεγάλες φυσικές δυνάμεις που δεν είχαν προβλεφθεί και δεν είχαν ξανά βιωθεί με κυριότερες συνέπειες τη καθίζηση του εδάφους, την επέκταση των λιμνών με τύρφη από τον αέρα και τις δυνάμεις του νερού και την αύξηση των κινδύνων των πλημμυρών των ποταμών. Τα προβλήματα αυτά είχαν επισημανθεί από τον 17^ο και τον 18^ο αιώνα. Η κατασκευή των αναχωμάτων του ποταμού δημιούργησε κανάλια στα ποτάμια και μείωσε το περιθώριο χώρου που υπήρχε κατά τους προηγούμενους αιώνες. Τα αναχώματα επίσης παρεμπόδισαν τη δυνατότητα διαχείρισης των ποταμών με αποτέλεσμα οι πλημμύρες των ποταμών να γίνουν πιο καταστροφικές και πιο συχνές από ό, τι πριν ενώ η συντήρηση των διόδων του νερού και των αναχωμάτων δεν θεωρήθηκε ως μία περιφερειακή δημόσια αποστολή για την περιοχή.

Το υδρολογικό καθεστώς των υδάτων με υψηλές ποσότητες το χειμώνα και χαμηλές το καλοκαίρι, έγινε αποδεκτό ως ένα φυσικό φαινόμενο και οι δημόσιες αρχές δεν ήταν σε θέση να παρέμβουν στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού. Απεναντίας τα ποτάμια έγιναν ανεξέλεγκτα λόγω της μακρόχρονης παραμέλησης του ποταμού, εξουδετερώνοντας τα πλεονεκτήματα και εμφανίζοντας αστοχία των λύσεων για τα προβλήματα από τις πλημμύρες. Η ναυσιπλοΐα κατέστη αδύνατη και απρόβλεπτη, οι τακτικές πλημμύρες άλλαξαν την γεωγραφία του ποταμού και τους μαιάνδρους αυτού όπου εμφανίζονταν και η ξηρασία το καλοκαίρι αποκάλυπτε λασπώδεις περιοχές. Η τοπική βυθοκόρηση δεν μπορούσε να

αντιμετωπίσει το πρόβλημα απλώς πραγματοποιήθηκε μόνο μια μετατόπιση της περιοχής καθίζησης ενώ η κατασκευή του σταθμού Kanaal Pannerdens το 1707 ήταν το πρώτο μεγάλης κλίμακας έργο για τον έλεγχο και την εκτροπή της εκβολής του Ρήνου.

Οι πλωτές οδοί ήταν αρτηρίες για τη μεταφορά ανθρώπων και αγαθών που συγκρίνονται στη σημερινή εποχή με τις οδικές αρτηρίες και τους κύριους άξονες ενώ οι περισσότερες μεσαιωνικές πόλεις αναπτύχθηκαν στο κομβικό σημείο σύνδεσης ενός κύριου ποταμού και του παραποτάμου του σε μια στρατηγική θέση από την οποία η ενδοχώρα θα μπορούσε να εφοδιαστεί με αγαθά και υπηρεσίες επιτρέποντας παράλληλα στη διοίκηση της περιοχής να εισπράττει τέλη για τη διέλευση των εμπορευμάτων. Η οχύρωση των πόλεων είχε γίνει πράξη από την αρχαιότητα, αλλά κατά τον 10^ο αιώνα οι φεουδάρχες άρχισαν να αναπτύσσουν ιδιωτικές κατοικίες-φρούρια-γνωστές ως κάστρα. Μετά από τα διάφορα όπλα όπως το μπαρούτι και τα κανόνια που κατέστησαν διαθέσιμα στα τέλη του Μεσαίωνα, τα δύο κάστρα και τα τείχη της πόλης έγιναν πολύ πιο ευάλωτα ενώ υπήρχε πλέον μικρότερο ενδιαφέρον στο κάστρο να λειτουργεί ως οχυρό. Σταδιακά τα μεσαιωνικά κάστρα κατεδαφίστηκαν ή ανακαινίστηκαν και μετατράπηκαν σε τόπους που συχνά περιβάλλονταν από κήπους και αυτοί με τη σειρά τους περιβάλλονταν από κανάλια νερού. Στη χώρα κατασκευάστηκαν πολλές νέες κατοικίες κατά την περίοδο 1600-1800 κατά μήκος όλων των παραπόταμων των κύριων ποταμών και ιδίως κατά μήκος των περιοχών Kromme Rijn, Ουτρέχτης, Vecht και Amstel από τους πλούσιους μεγαλεμπόρους από το Άμστερνταμ και την Ουτρέχτη. Το δέλτα έγινε πλέον ένα σύστημα με ολοένα και περισσότερο ρυθμιζόμενους και ελεγχόμενους διόδους νερού. Κατά τον 18^ο αιώνα, κατασκευάστηκαν χιλιάδες χιλιόμετρα πλωτών οδών δημιουργώντας το πιο εκτεταμένο και αξιόπιστο δίκτυο για τη μεταφορά ανθρώπων και αγαθών. Το εμπορικό σκάφος και το σκάφος των επιβατών είχε εφαρμοστεί κατά την περίοδο 1630-1700 και παρέμεινε σε χρήση μέχρι τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, με εκατοντάδες χιλιόμετρα γραμμών καναλιών να έχουν εκσκαφεί συνδεδεμένες με τις ήδη υπάρχουσες διόδους.

Οι διαφορές των φυσικών χαρακτηριστικών μεταξύ των πεδινών παραποτάμων του Ρήνου σε σύγκριση με τους παραποτάμους του IJssel και του Μεύση ήταν και παραμένουν ακόμα σημαντικές. Οι παραπόταμοι των ποταμών IJssel και Μεύση έχουν τις πηγές τους σε εδάφη με μεγαλύτερα υψόμετρα σε μερικές δεκάδες έως εκατοντάδες μέτρα πάνω από το επίπεδο των κύριων ποταμών. Τέλος από το τέλος του μεσαίωνα μέχρι τον 20^ο αιώνα πολύ αργότερα από την εισαγωγή της ατμομηχανής, η φυσική πτώση των υδάτων αυτών των ποταμών είχε χρησιμοποιηθεί για την κίνηση πολλών νερόμυλων (Nienhuis, 2008).

3.2.9.4. Διαχείριση Υδάτων Μετά το 1800: Πλήρης Έλεγχος Υδατικών Πόρων

Οι απειλές των πλημμυρών και των συνακόλουθων προληπτικών μέτρων ασφαλείας που έπρεπε να ληφθούν είχαν διαμορφώσει τη ζωή των κατοίκων του δέλτα. Πειραματισμοί και λάθη έχουν χαρακτηρίσει τις προσπάθειες να επιλύσουν αυτά τα προβλήματα κατά τη διάρκεια της προϊστορικής εποχής καθώς και στην ιστορική περίοδο μέχρι το τέλος του μεσαίωνα. Αμυντικά χωμάτινα αναχώματα κατασκευάζονταν συνεχώς και μετά από ένα επεισόδιο πλημμύρας τα αναχώματα ενισχύονταν και γίνονταν όλο και ψηλότερα. Από το έτος 1550 και μετά, κατέστησαν διαθέσιμοι λεπτομερείς χάρτες των κυριότερων ποταμών ενώ η αποτύπωση των καναλιών και των υδραυλικών χαρακτηριστικών της ροής μπορούσαν να παραχθούν από αυτούς τους χάρτες με πρόσθετα δεδομένα για τα τοπικά βάθη, ενώ προστέθηκαν μετρήσεις και εκτιμήσεις της απορροής ενώ επιπλέον από το 1700 και μεταγενέστερα μπορούσαν να εκτελεστούν μετρήσεις της ταχύτητας ροής. Από τον 19^ο

αιώνα κατέστη διαθέσιμος ένας συνεχώς αυξανόμενος αριθμός δεδομένων για τη διαχείριση των ποταμών με τις πλέον προχωρημένες για την εποχή εκείνη μεθόδους μέτρησης. Η πρόοδος αυτή επέτρεψε στους διαχειριστές του νερού να υπολογίσουν την πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας σε συνδυασμό με τις δυνατές επιπτώσεις αυτής με συνεχώς αυξανόμενη ακρίβεια υπολογισμού.

Με το πέρασμα πολλών αιώνων τα ποτάμια κυριάρχησαν στην ζωή των κατοίκων στην περιοχή αυτή. Οι ποταμοί λειτουργούσαν ως αρτηρίες μεταφοράς από τη μία πλευρά με τις κοίτες από πηλό, αλλά από την άλλη πλευρά προκαλούσαν μεγάλη δυστυχία κατά τη διάρκεια των επαναλαμβανόμενων πλημμυρών ενώ παράλληλα ήταν ένα μέσο διαβίωσης για πολλές γενιές αλιέων καθώς παρείχαν στους κατοίκους πόσιμο νερό και νερό για την παραγωγή μπύρας. Τα τελευταία 150 χρόνια η ζωή σταδιακά στράφηκε μακριά από το ποτάμι, η μεταφορά των ατόμων και των εμπορευμάτων ελαχιστοποιήθηκε στο νερό ως κύρια λειτουργία, ενώ το ποτάμι ως κύριο μέσο αλιείας έγινε πλέον συνήθεια του παρελθόντος και η απειλή να κατακλυστεί ξανά είχε ξεθωριάσει από την μνήμη των κατοίκων.

Στην παραδοσιακή αγροτική κοινωνία της περιοχής του δέλτα η βιομηχανική επανάσταση εξελίχτηκε σχετικά αργά γύρω στο 1850. Ως εκ τούτου οι εξελίξεις στη διαχείριση των ποταμών στις αρχές του 19^{ου} αιώνα αφορούσαν στη συνέχιση μιας στρατηγικής που υπήρχε για χιλιετίες. Η χρήση, συντήρηση και βελτίωση των διόδων νερού ως οικονομικής φύσεως αρτηρίες για τις μεταφορές των ανθρώπων και των αγαθών συνεχίστηκε. Η ασφάλεια και η πλευστότητα ήταν σημαντικά κίνητρα για την βελτίωση του ποταμού. Η ύπαρξη ασφάλειας για την αποφυγή πλημμυρών απαιτούσε ελεγχόμενα ποτάμια, ανθεκτικά και υψηλά αναχώματα και ευθύγραμμα κανάλια χωρίς εμπόδια ειδικά για την αποφυγή των ζημιών από τον πάγο. Οι αποτελεσματικές μεταφορές απαιτήσαν επίσης ασφαλή συνεχή πλωτά κανάλια ναυτιλίας, τόσο κατά την άμπωτη όσο και κατά την πλημμυρίδα.

Ελήφθησαν αυστηρά μέτρα ιδιαίτερα κατά τον 19^ο και στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, για την «εξομάλυνση», δηλαδή τη ρύθμιση και τη δημιουργία καναλιών στις κοίτες των ποταμών Ρήνου και Μεύση. Η μη λειτουργία των πολυάριθμων μαιάνδρων, η κατασκευή εκατοντάδων προβόλων για να περιορίσουν το πλάτος και να βαθύνουν τα κανάλια, το σκάψιμο των πλευρικών καναλιών και των παρακάμψεων τους καθώς και η κατασκευή υπερχειλιστών οδήγησαν τελικά στη δημιουργία καναλιών στον Μεύση και σε μεγάλα τμήματα του Ρήνου. Η εκτέλεση των έργων ευνοούνταν από τη βελτίωση της οικονομικής κατάστασης κατά το δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα. Οι κύριοι ποταμοί Ρήνος και Μεύσης διαχωρίζονται το 1904 από τη κατασκευή του υπερχειλιστή στη θέση Bergse Maas καθώς και από το κλείσιμο των υπερχειλιστών στην περιοχή Heerewarden. Ο Beerse Maas ήταν ένας υπερχειλιστής του Μεύση που χρονολογούνταν από τον Μεσαίωνα που σταμάτησε η λειτουργία του το 1943.

Τα συστήματα ρύθμισης και διαχείρισης των ποταμών είναι έργα πολιτικού μηχανικού που θα έπρεπε οπωσδήποτε να εκτελεστούν στο μέλλον για την αντιμετώπιση του προβλήματος των πλημμυρών ώστε να ενισχύσουν και τη διεθνή ναυτιλία. Η συστηματική ομαλοποίηση άλλαξε το χαρακτήρα των ποταμών με πλήρη έλεγχο και ρύθμιση της ροής τους. Η εξάλειψη των μικρότερων εκτάσεων ήταν σημαντική αφού αναχώματα από άμμο αφαιρέθηκαν, οι παραπόταμοι ήταν αποκομμένοι ώστε να μετατραπούν σε στεριά και τα φυσικά λιμάνια πληρώθηκαν με λάσπη. Η προώθηση των συμφερόντων στην επαναδημιουργία και τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος στο πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα δεν έπαιξε κανένα ρόλο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων βασισμένη στην ομαλοποίηση των ποταμών.

Δεν ήταν μόνο τα μεγάλα ποτάμια του Ρήνου και του Μεύση που υπέστησαν μεγάλες

επεμβάσεις από τον άνθρωπο. Πολλοί παραπόταμοι, ρυάκια και μικρά ποτάμια είχαν καταστεί προβληματικά επίσης. Ιδιαίτερα στον 20^ο αιώνα, η εκτέλεση αποστράγγισης των γεωργικών γαιών με αποτέλεσμα τον υποβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα είχε στερήσει σε πολλά ρυάκια την ύπαρξή τους και είχε οδηγήσει σε ξηρασία το καλοκαίρι τα παρακείμενα λιβάδια και την καλλιεργήσιμη γη. Από την άλλη πλευρά, η κατασκευή έργων για την αντιμετώπιση της συνεχούς απειλής των πλημμυρών αύξησε τα διαβρωτικά χαρακτηριστικά σε πολλά ρυάκια με αποτέλεσμα τη διάβρωση και την αποκόλληση του πυθμένα κατά τη διάρκεια μεγάλων πλημμυρών. Ως αποκορύφωμα όλων αυτών των μεταβολών, η απόρριψη των οργανικών φορτίων, τα λύματα από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και η απρογραμμάτιστη απόρριψη των ανεπεξέργαστων λυμάτων επιδείνωσαν ακόμα περισσότερο το περιβάλλον των ρεμάτων και των ρυακιών.

Ο 19^{ος} και οι αρχές του 20^{ου} αιώνα ήταν μια έντονη περίοδος σκαψίματος καναλιών αρχικώς χειρονακτικά αλλά στη συνέχεια όλο και περισσότερο με τη διευκόλυνση που παρεχόταν από την ισχύ του ατμού. Σκάφτηκαν εκατοντάδες χιλιόμετρα καναλιών ναυσιπλοΐας ενώ οι εναλλακτικές τεχνητές λύσεις σε περίπτωση εμφάνισης απρόβλεπτων καταστάσεων ως προς τις μεταφορές σχεδόν κατέστησαν άχρηστες στα φυσικά ποτάμια. Η ανάκτηση των τυρφοδών λιμνών συνεχίστηκε κατά τον 19^ο αιώνα. Λόγω της εφαρμογής της νέας τεχνολογίας άντλησης με τη χρήση ατμού η περιοχή του Haarlemmermeer έγινε στεριά το 1852 και προστέθηκαν επιπλέον 18.000 εκτάρια νέας γης. Ο στόχος του έργου ήταν η προστασία από τις πλημμύρες και όχι η απόκτηση επιπλέον γης. Ως προς τις καταστροφικές πλημμύρες του 1916 η περιοχή Zuiderzee ήταν κλειστή το 1932 και η ανάκτηση των περιοχών της λίμνης IJsselmeer μεταξύ του 1927 και του 1968 ξεπέρασε όλα τα προηγούμενα σχέδια. Το σχέδιο αυτό είχε τρεις στόχους, την ανάκτηση 205.000 εκταρίων νέας καλλιεργήσιμης έκτασης, την αύξηση του μήκους της ακτογραμμής κατά 300 km και τη παροχή ενός μεγάλου ταμειυτήρα γλυκού νερού. Το 1980 έλαβε χώρα μια σημαντική αλλαγή στην πολιτική διαχείρισης μέσω της απόκτησης περισσότερων γεωργικών εκτάσεων με σκοπό την ανάπτυξη φυσικών εκτάσεων και υποδομών (Nienhuis, 2008).

3.2.9.5. Περίοδος μεταξύ 1953 και 1995: Το Σχέδιο Δέλτα

Η καταστροφή από τις πλημμύρες την 1^η Φεβρουαρίου του 1953 προκάλεσε το σχέδιο Δέλτα. Στο πλαίσιο του συνθήματος «ποτέ ξανά», με πάνω από 1.850 ανθρώπινες απώλειες, ανυπολόγιστες ζημιές για τα ανθρώπινα αγαθά και την κινητή περιουσία, επιβαλλόταν οι ανοικτές δίοδοι των εκβολών των ποταμών στα νοτιοδυτικά του δέλτα ότι θα έπρεπε να κλείνουν με τη βοήθεια μεγάλων θαλάσσιων τοίχων-εμποδίων και οι εκβολές των ποταμών θα έπρεπε να μετατραπούν σε λίμνες γλυκών νερών. Η δράση Δέλτα εφαρμόστηκε ήδη από το 1957 καθώς οι εκβολές των ποταμών έκλειναν διαδοχικά μία προς μία το 1960 και το 1970. Το μεγαλύτερο μέρος των αρχικών λασπότοπων, τα αλατούχα έλη και οι οικολογικές ζώνες στα σκληρά γεωλογικά υποστρώματα εξαφανίστηκαν και μετατράπηκαν σε τμήματα θάλασσας και διαμερισμάτων γλυκού νερού που σφραγίζονταν από μεγάλα θαλάσσια φράγματα. Από την έναρξη λειτουργίας του σχεδίου Δέλτα πολλά μακροπρόθεσμα περιβαλλοντικά προβλήματα απαιτούσαν λύσεις όπως για παράδειγμα η συσσώρευση ρυπασμένων ιζημάτων από τα νερά του Μεύση και κυρίως του Ρήνου στις περιοχές Hollandse Diep, Nieuwe Merwede, Biesbosch καθώς και η συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων από τις γεωργικές απορροές, προκαλώντας τη μαζική ανάπτυξη αλγών και την διόγκωση του φαινομένου του ευτροφισμού στην περιοχή του φράγματος Volkerak. Το 1986 ολοκληρώθηκε η κατασκευή του φράγματος ενάντια στα κύματα καταιγίδας στις εκβολές του

ποταμού Σελντ. Το φράγμα θεωρήθηκε ως το πλέον σημαντικότερο έργο του σχεδίου Δέλτα καθώς και η όλη σύλληψη της ιδέας και υλοποίησής του θεωρείται στα έργα του πολιτικού μηχανικού ως σύγχρονο θαύμα.

Όμως ένα τόσο εκτεταμένο έργο έχει και αρνητικά στοιχεία. Από την πλευρά της οικολογίας η εξαφάνιση ενός μοναδικού παλιρροϊκού δέλτα υπέρ της ασφάλειας για τον ανθρώπινο πληθυσμό ήταν στην πραγματικότητα το αποτέλεσμα των γεγονότων μετά την τρομακτική καταστροφή του 1953. Οι οικολόγοι βέβαια ανησυχούσαν για τις συνέπειες του σχεδίου Δέλτα και τα επιχειρήματά τους είχαν διαδραματίσει αποφασιστικό ρόλο στην πολιτική επιλογή διατήρησης των αλατούχων περιοχών του φράγματος Grevelingen καθώς και στη κατασκευή φράγματος για τη διατήρηση της ημι-παλίρροιας στην περιοχή ανατολικά του ποταμού Σελντ. Τα οικολογικά ζητήματα δεν έπαιξαν κανένα ρόλο στην αρχική διαδικασία λήψης αποφάσεων τη δεκαετία του 1950, αλλά τα τελευταία 30 χρόνια η αλλαγή νοοτροπίας για την οικολογία ως επιστήμη και την σημαντικότητα των οικολογικών αξιών είναι ιδιαίτερα έντονη. Εν τω μεταξύ τα νερά του Δέλτα εξελίχθηκαν δύσκολα στη διαχείρισή τους και επηρεάστηκαν από περιβαλλοντικά προβλήματα. Μόνο 20 χρόνια έχουν περάσει από την κατασκευή του φράγματος στην περιοχή Oosterschelde-το σημαντικότερο έργο του Δέλτα-και η αρχική θετική αποτίμηση σχετικά με την επιλεγμένη λύση αρχίζει και αποδυναμώνεται. Τα υδρογραφικά χαρακτηριστικά των εκβολών του έχουν αλλάξει προς την αρνητική πλευρά με αποτέλεσμα τη διάβρωση και τη μόνιμη πλημμύρα των σημαντικών παλιρροϊκών περιοχών με άμμο και των περιοχών με έλη. Η επιστροφή της δυναμικής της παλίρροιας καθώς και η ανασυγκρότηση των φυσικών δεσμών μεταξύ των διαχωρισμένων υδάτινων μαζών είναι επί του παρόντος μια επιλογή που συζητείται, υπό την προϋπόθεση της πλήρους τήρησης της ασφάλειας για τον ανθρώπινο πληθυσμό. Η αποφυγή καταστροφών το 1993 και το 1995 από τις πλημμύρες ποταμών ενισχύουν αυτές τις απόψεις. Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να οδηγήσει πιθανόν σε αύξηση της απορροής των ποταμών ενώ στη νοτιοδυτική περιοχή του Δέλτα του Ρήνου και του Μεύση είναι απαραίτητη η κατασκευή έργων ακριβώς όπως και το 1953 για την ασφαλή παροχέτευση των πλεονασματικών ποσοτήτων νερού των ποταμών προς τη θάλασσα.

Τα πλημμυρικά επεισόδια του 1993 και του 1995 με τα εξαιρετικά υψηλά επίπεδα υδάτων στους μεγάλους ποταμούς προκάλεσαν τα ίδια αρνητικά αποτελέσματα όπως το 1953 με την κοινωνία να απαιτεί επιπλέον δράσεις που να συνοψίζονται στο ίδιο διαχρονικό σύνθημα "αυτό ποτέ ξανά". Σε αντίθεση με την κατάσταση του 1950 όταν η οικολογία δεν έπαιξε κανένα ρόλο, τώρα η οικολογική σημασία των σπάνιων ειδών χλωρίδας και πανίδας και η θέση τους στο χώρο πρέπει οπωσδήποτε να ληφθούν υπόψη. Η ασφάλεια φυσικά παραμένει το κύριο επιχείρημα αλλά όπου είναι δυνατόν θα καταβληθεί προσπάθεια διατήρησης του τοπίου και των ιστορικών πολιτιστικών αξιών. Εν τω μεταξύ η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων του κλίματος αποκάλυψε ανησυχητικά αποτελέσματα αφού πιθανόν θα αλλάξει η εποχική διακύμανση των απορροών των ποταμών και η συχνότητα εμφάνισης υψηλής στάθμης υδάτων θα αυξηθεί στο μέλλον καθώς επίσης ένα από τα σενάρια του κλίματος που είναι υπό επεξεργασία θεωρεί ότι πραγματοποιείται σημαντική αλλαγή στο υδρολογικό καθεστώς των μεγάλων ποταμών (Nienhuis, 2008).

4. Ιστορικό Πλημμυρών

4.1. Εισαγωγή

Κατά τα τελευταία 2000 χρόνια οι κάτοικοι των Κάτω Χωρών συχνά έπρεπε να αντιμετωπίσουν τις καταστροφές από τις πλημμύρες. Η ονομασία «Κάτω Χώρες» δίνει μια ένδειξη του προβλήματος αφού «Κάτω» σημαίνει «χαμηλή» και σημαίνει κυριολεκτικά «Οι Κάτω Χώρες». Όταν αναπτύσσεται μια καταιγίδα και ο άνεμος εγείρει τα κύματα η ολλανδική παράκτια περιοχή μπορεί να πλημμυρίσει. Η τελευταία φορά που συνέβη αυτό σε μεγάλη κλίμακα ήταν πριν από πενήντα επτά χρόνια. Σχεδόν 2.000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους από τις πλημμύρες του 1953. Παρακάτω περιγράφεται το ιστορικό των πλημμυρικών επεισοδίων όπως αυτό προκύπτει από αρχεία, τι ακριβώς συνέβη και τι έγινε στη συνέχεια για να μην επαναληφθεί ξανά.

4.2. Οι Πρώτες Πλημμύρες

Στις 26 Δεκεμβρίου του 838 μία μεγάλη έκταση στα βορειοδυτικά της Ολλανδίας χτυπήθηκε από ένα κύμα θύελλας. Ο κύριος παράγοντας που συνέβαλε στη σοβαρότητα αυτής της καταστροφής ήταν η έλλειψη αποτελεσματικών αναχωμάτων. Υπάρχουν πολύ λίγα διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με αυτήν την καταστροφή επειδή υπάρχουν μόνο δύο γνωστές εκθέσεις έως τώρα. Η πρώτη έκθεση προέρχεται από τον Επίσκοπο Prudentius της Τρουά. Στα χρονικά του η οποία καλύπτει την περίοδο 835-861, έγραψε ότι το σύνολο της περιοχής «Frisia» είχε πλημμυρίσει από τη θάλασσα. Άνθρωποι, ζώα και σπίτια καταστράφηκαν από το νερό ενώ το νερό έφτασε στο ύψος των αμμόλοφων και σύμφωνα με μετρήσεις υπήρξαν 2.437 θύματα. Με το περιστατικό της Frisia ο Επίσκοπος Prudentius δεν αναφέρεται αποκλειστικά και μόνο στο σημερινό χώρο της Friesland, αλλά στο σύνολο της ολλανδικής παράκτιας περιοχής. Η δεύτερη πηγή προέρχεται από τη λεγόμενη «Annales Xantenses». Την ίδια ημέρα στις 26 Δεκεμβρίου, τα χρονικά αναφέρουν έναν μεγάλο ανεμοστρόβιλο ο οποίος προκάλεσε την απότομη αύξηση του νερού πάνω από τις ακτές με αποτέλεσμα τις πλημμύρες που κατέστρεψαν έναν μεγάλο αριθμό οικισμών.

Η επόμενη γνωστή καταστροφή είναι αυτή της 28 Σεπτεμβρίου του 1014. Για πρώτη φορά δεν ήταν αρκετό το μερικό κλείσιμο της παραλιακής γραμμής. Μία από τις πηγές ανέφερε ότι η περιοχή "Walcheren" υπέστη ιδιαίτερα μεγάλες ζημιές και απαιτήθηκαν χρόνια πριν οι άνθρωποι καταφέρουν να επαναφέρουν τη ζωή τους στους φυσιολογικούς ρυθμούς. Το χρονικό της μονής Quedlinburg στη Σαξονία αναφέρει ότι χιλιάδες άνθρωποι χάθηκαν εκεί (<http://www.deltawerken.com/The-first-floods/302.html>).

4.3. Οι Πλημμύρες της Αγίας Ελισάβετ

Στις 19 Νοεμβρίου του 1404 μεγάλες περιοχές της Φλάνδρας, της Ζηλανδίας καθώς και της περιοχής Holland είχαν πλημμυρίσει. Η παλιρροϊκή καταιγίδα ήταν υπεύθυνη ενώ έγινε γνωστή ως η πρώτη από τις πλημμύρες της Αγίας Ελισάβετ αφού η ζημιά ήταν καταστροφική. Η περιοχή της Zeeland-Φλάνδρας είχε ήδη πλημμυρίσει 20 χρόνια νωρίτερα το 1375 και μέσω αυτής δημιουργήθηκε η περιοχή Zuudzee. Γύρω από την περιοχή Zuudzee στις αποξηραμένες περιοχές έγιναν αναχώματα και εντός αυτών των εκτάσεων προέκυψαν νέες κοινότητες. Δυστυχώς το 1404 οτιδήποτε καταστράφηκε πάλι αφού μία έκταση στην οποία υπήρχαν μία σειρά από μικρές πόλεις όπως η Ijzendijke και Hugenliet, που γλίτωσαν το 1375, είχαν υποστεί τις καταστροφικές συνέπειες της πλημμύρας.

Το 1421 οι σημαντικές πλημμύρες προκάλεσαν θανάτους και καταστροφές στην επαρχία Zeeland για δεύτερη φορά. Θεωρείται ότι η πλημμύρα προκλήθηκε από μία ιδιαίτερα μεγάλη καταιγίδα που κατευθυνόταν από τα βορειοδυτικά, που ακολουθήθηκε από μια εξαιρετικά υψηλή παλιρροϊκή καταιγίδα. Μια ανοιξιάτικη παλίρροια δεν ήταν υπεύθυνη όπως το 1953 αλλά αντιθέτως ο έντονα υγρός καιρός οδήγησε στην αύξηση των επιπέδων των υδάτων των ποταμών. Τα κενά στην παράκτια γραμμή της «Grote Waard» (στη νότια πλευρά της σημερινής επαρχίας της Νότιας Ολλανδίας) που προέκυψαν από προηγούμενες πλημμύρες, οδήγησαν σε σοβαρές επιπτώσεις από τις πλημμύρες. Ως αποτέλεσμα οι πλημμύρες επεκτάθηκαν στην περιοχή μεταξύ της Νότιας Ολλανδίας και της Ζηλανδίας καταστρέφοντας την περιοχή Grote Waard. Η Grote Waard ποτέ δεν θα επιστρέψει στο αρχικό σχήμα και μορφή της. Στο χαμηλότερο σημείο της χώρας όπου τα νερά των πλημμυρών κατάφεραν και έφθασαν τα οποία πέρασαν από την πόλη του Dordrecht παραμένουν ακόμα και σήμερα. Σε αυτό το σημείο σύμφωνα με την μυθολογία γεννήθηκε ο "Biesbosch". Δεν αναπτύχθηκε σε περίοδο μιας ημέρας όπως ο μύθος αναφέρει, αλλά στην πραγματικότητα επί σειρά δεκαετιών. Ευτυχώς οι επιπτώσεις των πλημμυρών στην περιοχή του Zeeland σε γενικές γραμμές δεν ήταν πολύ βλαβερές. Το δυτικό τμήμα της περιοχής του Zeeland-Φλάνδρα είχε επηρεαστεί ελάχιστα αυτή τη φορά, αλλά από την άλλη πλευρά το βόρειο τμήμα του Beveland καταστράφηκε ολοσχερώς. Το νησί επλήγη τόσο σοβαρά ώστε ο κυβερνήτης της περιοχής Jan van Beieren αποφάσισε να μειώσει τους φόρους έτσι ώστε οι άνθρωποι να είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν σε ζωτικής σημασίας επισκευές. Η περιοχή του νότιου-Beveland επίσης επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό. Οι Ενορίες των Beoosten και Yerseke διέτρεχαν τον κίνδυνο να πλημμυρίσουν και πάλι στην περίπτωση μίας άλλης καταιγίδας. Στα χρόνια που ακολούθησαν τις πλημμύρες της Αγίας Ελισάβετ, οι Ενορίες του Schouwen και Duiveland ήταν σε θέση να πληρώσουν τις εισφορές τους στον επίσκοπο της Ουτρέχτης αφού και αυτοί ήταν αναγκασμένοι να πραγματοποιήσουν δαπανηρές επισκευές αφού στις 19 Νοεμβρίου του 1421 χάθηκαν συνολικά τριάντα χωριά και 2.000 ζωές από τις πλημμύρες ([http://www.deltawerken.com/St.-Elizabeth-floods-\(1404,-1421\)/303.html](http://www.deltawerken.com/St.-Elizabeth-floods-(1404,-1421)/303.html)).

4.4. Η Πλημμύρα του 1530

Στις 5 Νοεμβρίου 1530, η περιοχή Zeeland επλήγη από κύματα καταιγίδας προκαλώντας καταστροφικές συνέπειες. Για άλλη μια φορά μεγάλα τμήματα της περιοχής Zeeland παρασύρθηκαν από το νερό. Η περιοχή ανατολικά του Yerseke που εκείνη την εποχή ήταν γνωστή ως Oost, είχε εντελώς καταστραφεί. Δεκαοκτώ χωριά και η πόλη της Reimerswaal βρισκόταν στην περιοχή. Η πλημμύρα οδήγησε στην τελική κατάρρευση της πόλης του Reimerswaal διότι η πόλη βρισκόταν υψηλότερα από την υπόλοιπη περιοχή οπότε έμεινε απομονωμένη ως ένα μικρό νησί. Η περιοχή γύρω από την πόλη δεν μπορούσε να προστατευτεί παρά τις πολυάριθμες προσπάθειες να κατασκευαστούν φράγματα στην περιοχή. Η περιοχή που πλημμύρισε είναι πλέον γνωστή ως «η πλημμυρισμένη περιοχή του Νότιου Beveland». Οι περιοχές Oost, Noord-Beveland και Schouwen-Duiveland επλήγησαν επίσης ιδιαίτερα σκληρά από τις πλημμύρες του 1530. Η περιοχή Noord-Beveland είχε εντελώς πλημμυρίσει αφήνοντας ανέπαφο από το νερό μόνο τον πύργο του Kortgene. Ευτυχώς το νησί σώθηκε αλλά μετατράπηκε σε περιοχή με αλυκές. Η περιοχή Noord-Beveland σταδιακά ανέκτησε την λειτουργία της μετά το 1530, ενώ σχεδόν εβδομήντα χρόνια μετά το συμβάν της πλημμύρας η πρώτη αποξηραμένη περιοχή φρασσόταν και πάλι από ένα φράγμα.

Η πρώην περιοχή Oost που πλημμύρισε το 1530, παρέχει πλέον έναν ιδανικό χώρο για την

καλλιέργεια οστρακοειδών στην περιοχή Zeeland. Τα μύδια είναι σε θέση να επιβιώσουν στην άμμο και στην ιλύ πάνω από το σκληρό στρώμα της τύρφης από την οποία σχηματίζεται το έδαφος αφού το έδαφος με αυτή τη σύσταση με την ταυτόχρονη παρουσία γλυκού νερού παρέχει μια εξαιρετική περιοχή για να επιβιώσουν τα μύδια ([http://www.deltawerken.com/St.-Felixflood-\(1530\)/497.html](http://www.deltawerken.com/St.-Felixflood-(1530)/497.html)).

4.5. Η Πλημμύρα των Αγίων Πάντων (1570)

Η χειρότερη καταστροφή στην προ-σύγχρονη εποχή ήταν η πλημμύρα των "Αγίων Πάντων" που συνέβη το 1570. Εκείνο το έτος την 1^η Νοεμβρίου το νερό ανέβηκε ακόμη υψηλότερα από τα επίπεδα του 1953. Σε αντίθεση με το παρελθόν αυτή ήταν η πρώτη φορά που δεν υπήρχε από πριν καμία προειδοποίηση. Το πρωί της πλημμύρας το τοπικό διοικητικό συμβούλιο στην περιοχή Bergen op Zoom ανακοίνωσε μια προειδοποίηση για μία εξαιρετικά υψηλή πλημμύρα. Κατά ειρωνικό τρόπο η προειδοποίηση δεν είχε καμία επίδραση στους κατοίκους αφού θα ήταν η χειρότερη καταστροφή από τις πλημμύρες στην ιστορία της Ολλανδίας.

Τα πολυάριθμα αναχώματα στην ολλανδική ακτή κατέρρευσαν και το νερό εξακολουθούσε να σπέρνει τον όλεθρο. Το σύνολο της ακτής μεταξύ της Φλάνδρας και της περιοχής Groningen ακόμα και μέχρι τα βορειοδυτικά της Γερμανίας πλημμύρισε. Στην Αμβέρσα στην γη της Saefthinge, τέσσερα χωριά θάφτηκαν σε ένα παχύ στρώμα ιλύος ενώ στην περιοχή Friesland περισσότεροι από 3.000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους και η περιοχή της Ζηλανδίας επλήγη ιδιαίτερα έντονα. Ήταν μια καταστροφή που επηρέασε όλο το έθνος και σε επιστολή του προς τον βασιλιά Φίλιππο II ο Δούκας της Alfa ανέφερε ότι δεν είναι λιγότερο από τα πέντε έκτα της συνολικής έκτασης της Ολλανδίας που βρίσκονταν κάτω από το νερό. Ο ακριβής αριθμός των θυμάτων δεν είναι γνωστός αλλά δεν υπάρχει αμφιβολία ότι ο αριθμός υπερβαίνει τις 2.000 με δεκάδες χιλιάδες ανθρώπους να μένουν άστεγοι ενώ το ζωικό κεφάλαιο και οι προμήθειες του χειμώνα καταστράφηκαν ([http://www.deltawerken.com/All-Saints-flood-\(1570\)/304.html](http://www.deltawerken.com/All-Saints-flood-(1570)/304.html)).

4.6. Η Πλημμύρα των Χριστουγέννων του 1717

Κατά τη διάρκεια της νύχτας των Χριστουγέννων το 1717 οι παράκτιες περιοχές των Κάτω Χωρών, της Γερμανίας και της Σκανδιναβίας είχαν πληγεί πολύ σοβαρά από μια βορειοδυτική καταιγίδα. Εκτιμάται ότι 14.000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους ενώ ήταν η χειρότερη από τις πλημμύρες τους τελευταίους τέσσερις αιώνες και η τελευταία μεγάλη πλημμύρα που είχε πλήξει στα βόρεια της Ολλανδίας.

Στην ύπαιθρο στα βόρεια της Ολλανδίας, η στάθμη του νερού ανέβηκε έως λίγα μέτρα και στην πόλη του Γκρόνινγκεν μέχρι και λίγα πόδια. Στην επαρχία του Groningen, τα χωριά που βρίσκονταν αρκετά κοντά πίσω από τα φράγματα είχαν εντελώς παρασυρθεί. Έπρεπε όμως να ληφθεί άμεση δράση κατά εκείνων οι οποίοι λήστευαν τα σπίτια και τα αγροκτήματα με το πρόσχημα της διάσωσης των θυμάτων των πλημμυρών. Συνολικά οι πλημμύρες προκάλεσαν 2.276 θύματα στο Groningen και 1.455 σπίτια είχαν καταστραφεί ή είχαν υποστεί εκτεταμένες ζημιές ενώ και πολλά ζώα χάθηκαν επίσης.

Το νερό επίσης εξέβαλλε στο Άμστερνταμ και στο Χάρλεμ καθώς και στις περιοχές γύρω από τις περιοχές Dokkum και Stavoren. Πάνω από 150 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους στην επαρχία Friesland ενώ μεγάλα τμήματα της Βόρειας Ολλανδίας καθώς και οι γύρω περιοχές

Zwolle και Kampen έμειναν κάτω από το νερό προκαλώντας μόνο υλικές ζημιές. Στην περιοχή Vlieland ωστόσο, η θάλασσα που εξέβαλλε πάνω στους αμμόλοφους παρέσυρε ολοκληρωτικά το ήδη κατεστραμμένο χωριό της Δυτικής Vlieland ([http://www.deltawerken.com/Christmas-flood-\(1717\)/305.html](http://www.deltawerken.com/Christmas-flood-(1717)/305.html)).

4.7. Η Πλημμύρα της Περιοχής Zuiderzee (1916)

Οι πλημμύρες στην περιοχή Zuiderzee το 1916 δεν ήταν τόσο σοβαρές χωρίς όμως να σημαίνει ότι δεν υπήρξαν καταστροφικές συνέπειες επηρεάζοντας άμεσα την απόφαση για την κατασκευή των Zuiderzeewerks δηλαδή την εκ νέου αποκατάσταση της περιοχής Zuiderzee.

Η καταιγίδα είχε αρχίσει κάποιες ημέρες πριν με αποκορύφωμα την 14^η Ιανουαρίου του 1916. Εκείνη την ημέρα οι άνεμοι αυξήθηκαν σε ταχύτητα πάνω από τα 100 km/h που όμως συνήθως αυτό δεν ήταν πρόβλημα. Δυστυχώς όμως αυτή τη φορά η στάθμη του νερού ήταν ήδη πολύ υψηλή λόγω της συνεχιζόμενης θύελλας. Ορισμένες περιοχές είχαν ήδη ελαφρώς πλημμυρίσει και τα αναχώματα είχαν διαβρωθεί και στις δύο πλευρές. Στην περιοχή "Waterland του Seadike" η οποία βρισκόταν στην δυτική πλευρά-αυτή που κάποτε ήταν το νησί της Marken-είχαν παρασυρθεί τα πάντα σε μια απόσταση 1,5 Km. Το ανάχωμα κοντά στην περιοχή Edam επίσης κατέρρευσε με αποτέλεσμα οι γύρω περιοχές συμπεριλαμβανομένων των Purmerend και Broek στην Waterland και Durgerdam να πλημμυρίσουν ενώ κατέρρευσαν και τα αναχώματα κοντά στην αποξηραμένη περιοχή Anna Paulowna.

Επίσης επλήγη μέρος της περιοχής του «Gelderse Vallei» (Κοιλιάδα του Gelder) και ιδιαίτερα η περιοχή μεταξύ Eemnes, Spakenburg και Bunschoten. Η περιοχή Amersfoort επίσης πλημμύρισε. Η καταστροφή που προκλήθηκε ως επί το πλείστον αφορούσε υλικές ζημιές αλλά σκοτώθηκαν δεκαέξι άνθρωποι στο νησί του Marken. Το Marken προστατευόταν μόνο από χαμηλές προκουμαίες και έτσι το νερό ήταν σε θέση να καταποντίσει το νησί με ευκολία με διάφορα αλιευτικά σκάφη που παρασύρθηκαν εσωτερικά στην περιοχή και πολλοί άνθρωποι απλώς αδυνατούσαν να ξεφύγουν.

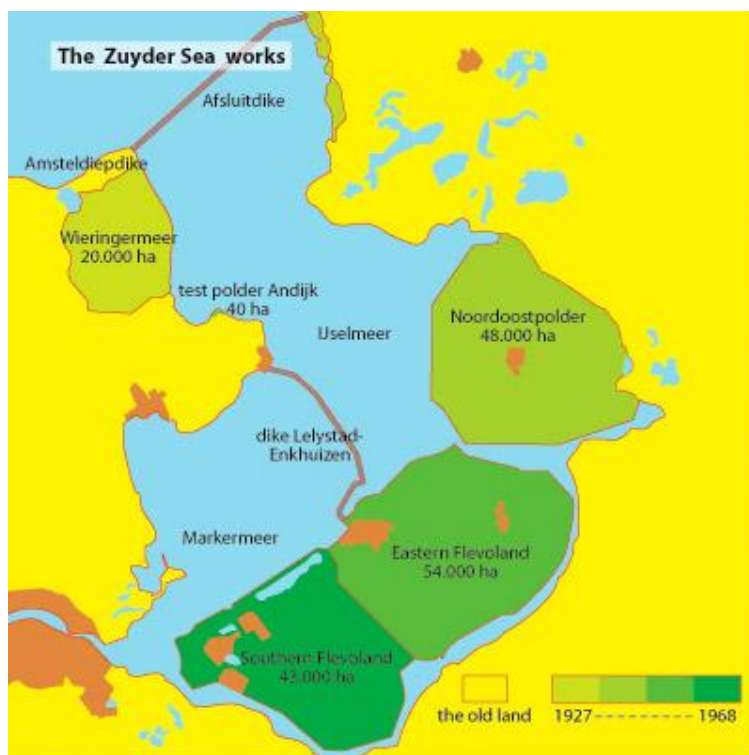
Το νερό προκάλεσε επίσης προβλήματα εκτός της περιοχής της βόρειας Holland. Τα αναχώματα κατέρρευσαν στην περιοχή Friesland που οδηγούσαν στην περιοχή κοντά στο Tjeukemeer και στην περιοχή γύρω από το Wolvega που είχε ήδη πλημμυρίσει.

Η σημασία της καταστροφής δεν οφείλεται μόνο λόγω στον αριθμό των θυμάτων και το επίπεδο των υλικών ζημιών, αλλά επειδή υπήρξε η αφορμή για την έναρξη της συζήτησης σχετικά με την αποκατάσταση των περιοχών Zuiderzee. Στο Mansholt ένας αγρότης από το Groningen σκέφτηκε ότι αν φράξει το Zuiderzee την θεωρούσε τόσο περιπτή και επικίνδυνη ενέργεια που ήταν πιθανό να οδηγήσει σε νέες καταστροφές.

Το σχέδιο για το φράγμα του Zuiderzee προήλθε από τον C. Lely, ο οποίος εργαζόταν στο Υπουργείο Δημοσίων Έργων. Ακολουθώντας τη συμβουλή του Lely, η βασίλισσα Wilhelmina ανακοίνωσε επίσημα στην ομιλία της το 1913 ότι είχε έρθει η ώρα για να ξεκινήσει η αποκατάσταση των περιοχών Zuiderzee. Λόγω όμως του Πρώτου Παγκοσμίου Πολέμου τέθηκε ένα ξαφνικό τέλος σε αυτό το σχέδιο, αλλά στις 13 Ιουνίου του 1918 το ολλανδικό κοινοβούλιο ψήφισε ένα νομοσχέδιο για να αρχίσουν επιτέλους την αποκατάσταση των περιοχών Zuiderzee ([http://www.deltawerken.com/Zuider-Zee-flood-\(1916\)/306.html](http://www.deltawerken.com/Zuider-Zee-flood-(1916)/306.html)).

4.7.1. Το Ανάχωμα Afsluitdijk και τα Έργα Αποξήρανσης στην περιοχή Zuiderzee

Ο Hendrik Stevin μαζί με άλλους είχαν την ιδέα του κλεισίματος της περιοχής Zuider Zee τον 17^ο αιώνα. Αυτό έγινε λόγω των πολλών υπερπηδήσεων των αναχωμάτων από το θαλασσινό νερό που οδηγούσε στο γεγονός ότι η γεωργική έκταση γινόταν όλο και πιο υφάλμυρη ενώ η γη θα αποστραγγίζονταν με τη συγκέντρωση οικονομικών πόρων. Παρόλα αυτά η ιδέα του Stevin δεν ήταν εφικτή την εποχή εκείνη. Το νερό δεν θα μπορούσε να αντληθεί από τα μπαζώματα χωρίς τη βοήθεια των ατμό-κινητήρων άντλησης. Στις Κάτω Χώρες οι εν λόγω ατμοκινητήρες άντλησης δεν είχαν χρησιμοποιηθεί παρά μόνο μέχρι την αποξήρανση της περιοχής Haarlemmermeer την περίοδο (1848-1852), συνεπώς οι ιδέες του Stevin δεν ήταν σε θέση να τεθούν σε εφαρμογή (<http://www.deltawerken.com/The-Afsluitdijk/119.html>).



Εικόνα 32. Τα έργα στην περιοχή Zuider Zee.

(Πηγή: [http://www.deltawerken.com/Zuider-Zee-flood-\(1916\)/306.html](http://www.deltawerken.com/Zuider-Zee-flood-(1916)/306.html))

Γύρω στο 1880 ξεκίνησαν πάλι οι συζητήσεις σχετικά με την αποξήρανση της περιοχής Zuider Zee. Οι ιδιοκτήτες των εδαφών στην περιοχή αυτή ήξεραν ότι δεν θα είναι σε θέση να χρηματοδοτήσουν το σύνολο του έργου χωρίς την υποστήριξη από την κυβέρνηση. Για να σχηματιστεί μια ισχυρή ένωση, το 1886 ιδρύθηκε η εταιρία με το όνομα Zuider Zee Association (Zuiderzeevereniging) και ο μηχανικός Cornelis Lely διορίστηκε ως σύμβουλος. Το 1891 ο Lely έγινε Υπουργός Μεταφορών και Δημοσίων Έργων και την ίδια χρονιά ολοκλήρωσε τα σχέδιά του για την αποστράγγιση της περιοχής Zuider Zee. Δυστυχώς όμως τα σχέδιά του δεν πραγματοποιήθηκαν ποτέ αφού δεν ήταν βέβαιο αν τα πλεονεκτήματα του έργου θα υπερκάλυπταν τα μειονεκτήματα και ειδικά το κόστος κατασκευής.

Το 1913 η βασίλισσα αποφάσισε ότι έφτασε επιτέλους η στιγμή να αρχίσει να κατασκευάζεται το σχέδιο. Όμως το 1914 λόγω του Πρώτου Παγκοσμίου Πολέμου τα σχέδια για άλλη μια φορά τέθηκαν σε αναμονή. Κατά τη διάρκεια του πολέμου κατέστη σαφές πόσο

σημαντικό είναι για τις Κάτω Χώρες να είναι σε θέση να προμηθεύει τον πληθυσμό ανελλιπώς με επαρκή παραγωγή σιτηρών, δεδομένου ότι οι γραμμές εφοδιασμού των ολλανδικών λιμένων θα μπορούσαν εύκολα να αποκοπούν.

Όταν οι Κάτω Χώρες είχαν πληγεί από ένα πολύ μεγάλο παλιρροϊκό κύμα το 1916 κατέστη σαφές ότι η αποστράγγιση των περιοχών Zuider Zee θα έχει πλεονεκτήματα και έτσι το σχέδιο του Cornelis Lely είχε αναβιώσει ξανά. Το σχέδιο Cornelis Lely προέβλεπε την οικοδόμηση ενός αναχώματος από την περιοχή Noord-Holland (βόρεια-Holland) έως την Friesland μέσω των υφιστάμενων νησιών Wieringen. Μετά την κατασκευή του αναχώματος που ονομάστηκε Afsluitdijk, η λίμνη IJsselmeer θα μπορούσε πλέον να αποξηρανθεί. Η δεύτερη φάση του σχεδίου Lely περιελάμβανε την κατασκευή ενός επιπλέον αναχώματος που θα εκτεινόταν από την περιοχή Ντεν Χέλντερ μέχρι το νησί του Terschelling και στη συνέχεια σε όλη την περιοχή προς τα νησιά Ameland, Schiermonnikoog και Rottum (ή Waddenzee ή Frisian Islands) αφού σε ένα τεράστιο μέρος της περιοχής Waddenzee θα κατασκευαζόταν το ανάχωμα. Το 1918 ψηφίστηκε το νομοσχέδιο για την αποστράγγιση της περιοχής Zuider Zee από το Κοινοβούλιο και το 1920 ξεκίνησε η κατασκευή του έργου (Εικόνα 32, 33).



Εικόνα 33. Τοποθέτηση άμμου.

(Πηγή: [http://www.deltawerken.com/Zuider-Zee-flood-\(1916\)/306.html](http://www.deltawerken.com/Zuider-Zee-flood-(1916)/306.html))

Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης κατασκευάστηκαν οι αποξηραντικοί αγωγοί. Κατά την άμπωτη οι αποξηραντικοί αγωγοί θα επέτρεπαν την περίσσεια νερού της λίμνης IJsselmeer από τις υπάρχουσες ποσότητες της λίμνης IJsselmeer και τα όμβρια ύδατα, να παροχετεύονται στην περιοχή Waddenzee. Πέντε ομάδες από πέντε αποξηραντικούς αγωγούς χρησιμοποιούνταν στο ανάχωμα Afsluitdijk εκτός από μία που δεν ήταν σε θέση να εγκατασταθεί στην προαπαιτούμενη θέση. Η κατεύθυνση του αναχώματος έπρεπε να προσαρμοστεί προς τα βόρεια όπου θα έπρεπε να διασχίσει την περιοχή Middelgronden (Middlegrounds), σε ένα κανάλι βάθους 12 m. Αποφασίστηκε να διασχίσει το κανάλι στο ρηχότερο δυνατό βάθος που αποτέλεσε και τον λόγο για την πτώση στην κατασκευή στο ανάχωμα Afsluitdijk. Στο τέλος τρεις ομάδες αποξηραντικών αγωγών εγκαταστάθηκαν στην περιοχή Den Oever και οι δύο ομάδες είχαν ήδη κατασκευαστεί στην περιοχή Kornwerderzand. Το ανάχωμα Afsluitdijk με συνολικό μήκος 32 Km ολοκληρώθηκε στις 28 Μαΐου του 1932.

Ορισμένα τεχνικά στοιχεία και αριθμοί για το ανάχωμα Afsluitdijk παρατίθενται παρακάτω:

- Το ανάχωμα Afsluitdijk έχει συνολικό μήκος 32 Km.
- 2,5 Km του αναχώματος βρίσκεται μεταξύ της περιοχής της βόρειας Holland και της περιοχής Wieringen και τα υπόλοιπα 30 Km αναχώματος βρίσκονται μεταξύ των περιοχών Wieringen και Friesland.
- Στην στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας του νερού, το Afsluitdijk έχει πλάτος 90 m και έχει ύψος στέψης στο +6,80 - +7,50 m πάνω από την μέση στάθμη θάλασσας της Ολλανδίας.
- Κάθε αποξηραντικός αγωγός έχει πλάτος 12 m και βάθος 4 m.
- Η κατασκευή του Afsluitdijk απαίτησε 15 εκατομμύρια m³ από ογκόλιθους από πηλό και 27 εκατομμύρια m³ άμμου.

Η κατασκευή ενός αναχώματος όπως το Afsluitdijk δεν είχε ξανά επιχειρηθεί στο παρελθόν, οπότε δεν υπήρχε προηγούμενη εμπειρία για να στηριχθούν οι μηχανικοί. Κατασκευάζοντας το Afsluitdijk επετεύχθη η ανακάλυψη μιας σειράς νέων εφευρέσεων και τεχνικών. Μετά την κατασκευή του φράγματος στο Amsteldiep το 1920, η υπηρεσία Rijks Geologische Dienst (Γεωλογική Υπηρεσία) έκανε μια νέα ανακάλυψη, τους ογκόλιθους από πηλό. Οι πήλινοι ογκόλιθοι είναι ένα στερεό και σκληρό υλικό που σχηματίστηκαν στην Σκανδιναβία κατά τη δεύτερη τελευταία εποχή των παγετώνων. Οι ογκόλιθοι παρέχουν την δυνατότητα κατασκευής με ρυθμό έως και 4 m ανά δευτερόλεπτο οπότε το υλικό κρίθηκε κατάλληλο για την αποστράγγιση των περιοχών Zuider Zee. Οι ογκόλιθοι εξήχθησαν από το βυθό της θάλασσας χρησιμοποιώντας μηχανή βυθοκόρησης η οποία εκείνη την εποχή ήταν μια σχετικά νέα τεχνική (<http://www.deltawerken.com/The-construction/308.html>).



Εικόνα 34. Το ανάχωμα Afsluitdijk.

(Πηγή: [http://www.deltawerken.com/Zuider-Zee-flood-\(1916\)/306.html](http://www.deltawerken.com/Zuider-Zee-flood-(1916)/306.html))

Το πρώτο τμήμα του αναχώματος Afsluitdijk ήταν μήκους 2,5 Km από πήλινους ογκόλιθους, κατασκευασμένο στην περιοχή Amsteldiep. Με αυτό τον τρόπο το νησί Wieringen συνδέθηκε με την ηπειρωτική χώρα. Το ανάχωμα κατασκευάστηκε γύρω από την περιοχή Wieringermeer και η περιοχή αποστραγγίστηκε εντελώς από τα νερά με την βοήθεια μηχανών άντλησης κοντά στις περιοχές Medemblik και Den Oever ενώ μέχρι το 1930 ήταν εντελώς αποξηραμένη.

Παράλληλα το 1927 ξεκίνησε η κατασκευή του αναχώματος Afsluitdijk (Εικόνα 34).

Χρησιμοποιήθηκαν στρώσεις από πέτρες για να καταστήσουν πιο ανθεκτική την κατασκευή οπότε το ανάχωμα είχε κατασκευαστεί τελικά από πηλό, άμμο και πέτρες. Τον Μάρτιο του 1931 οι εργασίες υπέστησαν ένα μεγάλο πλήγμα αφού δύτες ανακάλυψαν ότι είχε εισβάλει ένας μικροοργανισμός στο σώμα της κατασκευής που καταστρέφει το ξύλο. Επιπλέον το θαλασσινό νερό είχε διαβρώσει σε μεγάλο βαθμό το γαλβανισμένο χαλύβδινο σύρμα που συγκρατούσε τα μέρη της κατασκευής. Για να αποτραπεί η κατάρρευση του φράγματος, το υλικό έπρεπε να αντικατασταθεί το ταχύτερο δυνατόν με την χρήση του βαρίτη, ενός ορυκτού που έπρεπε να εισαχθεί από τη Γερμανία και επελέγη ως το νέο υλικό αντικατάστασης με την επιλογή του βαρίτη να κρίνεται επιτυχής αφού το φράγμα επιδιορθώθηκε.

4.8. Η Πλημμύρα του 1953

Το 1953 οι Ολλανδοί βρέθηκαν για μια ακόμη φορά αντιμέτωποι με τη δύναμη της θάλασσας αφού η τεράστια καταστροφή συνέβη την 1^η Φεβρουαρίου. Πρόκειται για μια από τις μεγαλύτερες πλημμύρες στην ιστορία της Ολλανδίας.

Από την παρακάτω ανάλυση φαίνεται ποιοι παράγοντες επηρέασαν τις πλημμύρες, σε ποιες περιοχές σημειώθηκαν ζημιές από τις πλημμύρες, και ποια ήταν τα τελικά αποτελέσματά της.

4.8.1. Πριν από την Πλημμύρα του 1953

Πριν από την καταστροφή του 1953, οι εμπειρογνώμονες είχαν ήδη προειδοποιήσει ότι έπρεπε να ληφθεί άμεσα δράση σχετικά με την κατάσταση και την επιδιόρθωση των προβληματικών αναχωμάτων. Παρ'όλα αυτά η πλημμύρα συνέβη και ερευνήθηκε το γεγονός γιατί κανείς δεν έλαβε υπόψη τις προειδοποιήσεις των ειδικών (<http://www.deltawerken.com/Before-the-flood-of-1953/90.html>).

4.8.1.1. Κατάσταση των Αναχωμάτων

Το 1929, η Υπηρεσία Οδών και Δημοσίων Έργων (Rijkswaterstaat) ξεκίνησε την μελέτη με τίτλο «Μελέτη των Ποταμών, των Θαλάσσιων Περιοχών και των Ακτών» (Studiedienst van de Benedenrivieren, Zeearmen en Kusten). Στα αρχικά στάδια η υπηρεσία αυτή μελέτησε κυρίως την προώθηση της κίνησης των πλοίων μέσω των πλωτών οδών ενώ μεταγενέστερα ασχολήθηκε με τη μελέτη της κατάστασης και την αντοχή των αναχωμάτων.

Το 1934 η υπηρεσία μελέτησε τις συνέπειες της αποξήρανσης της περιοχής Biesbosch. Η έρευνα έδειξε ότι οι συνέπειες από μία ενδεχόμενη πλημμύρα για την περιοχή Dordrecht θα ήταν καταστροφικές αφού σχεδόν όλα τα φράγματα φάνηκαν να είναι πολύ χαμηλά. Μια έκθεση από το 1928 είχε ήδη δείξει ότι τα αναχώματα στην περιοχή West-Brabant δεν πληρούσαν τις απαιτήσεις ασφάλειας, αλλά δεν προτάθηκε να δαπανηθούν τεράστια χρηματικά ποσά για την αύξηση του ύψους των αναχωμάτων. Και οι δύο έρευνες έδειξαν πάντως ότι έπρεπε οπωσδήποτε να ληφθούν δράσεις για την κατάσταση των αναχωμάτων κατά μήκος των ποταμών.

Ο Muralt επινόησε ένα φθηνό τρόπο για να λύσει το πρόβλημα. Πρότεινε την αύξηση του ύψους των αναχωμάτων με την κατασκευή τσιμεντένιων τοιχίων ύψους μερικών εκατοστών πάνω από τα αναχώματα.



Εικόνα 35. Περιοχές υπό την θαλάσσια επιφάνεια πριν την πλημμύρα.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Before-the-flood-of-1953/90.html>)

Ειδικότερα στις περιοχές Schouwen και Zuid-Beveland κατασκευάστηκαν συνολικά 120 Km αναχωμάτων μεταξύ του 1906 και του 1935 με την κατασκευή του "Φράγματος Muralt".

4.8.1.2. Τα Υψηλά Επίπεδα νερού το 1943

Το 1943, η στάθμη του νερού ήταν εξαιρετικά υψηλή. Το νερό υπερπήδησε πάνω από τα φράγματα σε πολλά σημεία ενώ ξανά απαιτήθηκε περαιτέρω έρευνα για να ελεγχθούν τα ύψη και τα πλάτη των αναχωμάτων και ακριβώς όπως πριν, το αποτέλεσμα δεν ήταν καθόλου ικανοποιητικό. Τα αναχώματα αποδείχθηκαν ιδιαίτερα ανεπαρκή και σύμφωνα με την Υπηρεσία Οδών και Δημοσίων Έργων, ήταν πολύ πιθανόν να συμβούν σοβαρά προβλήματα μετά από μια πλημμυρίδα-καιαίγίδα.

Το ξέσπασμα του Β' Παγκοσμίου Πολέμου σήμαινε ότι τα σχέδια για τη βελτίωση της κατάστασης των αναχωμάτων γύρω από την περιοχή Dordrecht θα αναβάλλονταν. Η επιτροπή που ήταν υπεύθυνη για τις παλιρροϊκές θύελλες και την αντιμετώπισή τους που ιδρύθηκε το 1939, διέκοψε την έρευνα της κατά τη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου. Η Υπηρεσία Οδών και Δημοσίων Έργων ως εκ τούτου δεν έλαβε πραγματικά

σχέδια της Επιτροπής και προτίμησε να εστιάσει την προσοχή της στην ανάκτηση της περιοχής Zuiderzee έτσι ώστε να αποκατασταθεί περισσότερη γη αφού περισσότερη γη σήμαινε περισσότερος χώρος για τη γεωργία και την κατοικία και αυτό θα είχε οικονομική σημασία.

Κατά τη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, η περιοχή Zeeland υπέστη τεράστια ζημιά. Τα αναχώματα βομβαρδίστηκαν και η γη πλημμύρισε ενώ οι επισκευές ξεκίνησαν τον Μάρτιο του 1945 όπου μέχρι τον Φεβρουάριο του 1946 όλα τα ρήγματα είχαν επιδιορθωθεί.

4.8.1.3. Πρόβλημα Υφάλμυρων Νερών

Η υπηρεσία μελετών συνέχισε να τονίζει την ανάγκη για αύξηση των αναχωμάτων αλλά οι οικονομικοί πόροι ήταν περιορισμένοι. Ο γεωργικός τομέας στην περιοχή του δέλτα είχε να αντιμετωπίσει πρόβλημα υφάλμυρων υδάτων το οποίο κόστιζε στους αγρότες πολλά χρήματα, έτσι ώστε η Υπηρεσία Οδών και Δημοσίων Έργων τελικά να αποφασίσει να εστιάσει την προσοχή της σε αυτό. Εξαιτίας των βαθύτερων καναλιών κοντά στην ακτή, ήταν πιο εύκολο να εισβάλλει η θάλασσα στην ενδοχώρα. Ως αποτέλεσμα τα υπόγεια ύδατα θα μετατρέπονταν σε υφάλμυρα που θα δυσχέραιναν τις αροτραίες καλλιέργειες. Πολλές γεωργικές καλλιέργειες δεν ήταν σε θέση να αναπτυχθούν σε υφάλμυρο περιβάλλον και καταστράφηκαν (Εικόνα 36). Καταρτίστηκαν διάφορα σχέδια ως συνέπεια των υφάλμυρων νερών όλα με τον ίδιο στόχο να προστατέψουν τα υπόγεια ύδατα από την υφαλμύρωση και μια μεγάλη έκταση από τις παλιρροϊκές καταιγίδες. Ωστόσο ήταν σημαντικό για την περιοχή Nieuwe Waterweg να παραμείνει ανοιχτή καθώς ήταν ζωτικής σημασίας για τις ναυτιλιακές μεταφορές. Στα σχέδια αυτά όμως η επιδιόρθωση των αναχωμάτων δεν είχε την υψηλότερη προτεραιότητα και ήταν επιτακτικό να κλείσει η περιοχή Zuid-Sloe και Brielse Maas.

Εύκολα μπορούσε να γίνει αντιληπτό ότι οι άνθρωποι δεν ήταν πρόθυμοι να δαπανήσουν πόρους για τη βελτίωση των αναχωμάτων αφού δεν είχε συμβεί πλημμύρα για χρόνια και τα χρήματα θα μπορούσαν να δαπανηθούν για την ανάπτυξη του γεωργικού τομέα. Η γεωργική γη που είχε ρυπανθεί από το αλάτι αποτελούσε αντικείμενο περαιτέρω μελέτης, διότι οι ελλείψεις των καλλιεργειών εξακολουθούσαν να κοστίζουν στους αγρότες πολλά χρήματα. Οι ζημιές που υπέστησαν κατά τη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου έπρεπε να επισκευαστούν και για να αποφευχθούν οι ελλείψεις τροφίμων ήταν απαραίτητη περισσότερη γεωργική γη οπότε χρησιμοποιώντας βελτιωμένες τεχνικές, ήταν δυνατόν να αποξηρανθούν και να κατασκευαστούν αναχώματα σε χαμηλότερα εδάφη οδηγώντας σε αυξημένη γεωργική παραγωγή καταλήγοντας τελικά στο γεγονός τα ανασφαλή αναχώματα και η επιδιόρθωσή τους να βρεθούν σε χαμηλή προτεραιότητα για την κοινωνία.

Μετά τον πόλεμο άρχισε η ανασυγκρότηση της χώρας και ενώ όλα φαίνονταν να είναι σε εξαιρετική λειτουργία και πάλι παρ'όλα αυτά, το 1953 αποδεικνύεται ότι η θάλασσα εξακολουθούσε να απειλεί τη χώρα.

4.8.2. Μετεωρολογικές Συνθήκες-Επιπτώσεις της Πλημμύρας του 1953

Εκτός από την κακή κατάσταση πολλών αναχωμάτων στην περιοχή του δέλτα, η πλημμύρα οφειλόταν σε μεγάλο βαθμό σε έναν ατυχή συνδυασμό μετεωρολογικών συνθηκών (<http://www.deltawerken.com/Climatic-circumstances/483.html>).



Εικόνα 36. Χάρτης τιμών συγκέντρωσης αλατότητας υδάτων.

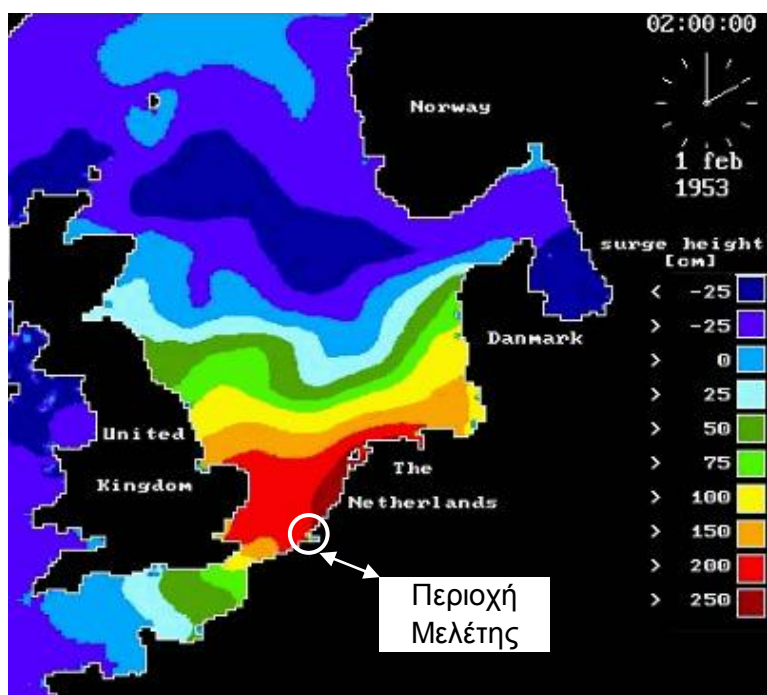
(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Before-the-flood-of-1953/90.html>)

Στις 30 Ιανουαρίου προέκυψε καταιγίδα στα νότια της Ισλανδίας. Η καταιγίδα αυξανόταν και κινήθηκε προς την κατεύθυνση της Σκωτίας. Μέχρι τις μία πρωινή εκείνο το βράδυ υπήρχε ένα μεγάλο πεδίο καταιγίδας πίσω από την κακοκαιρία. Αρχικά η κακοκαιρία μετακινήθηκε προς τα ανατολικά αλλά η βορειοδυτική καταιγίδα οδηγήθηκε στην νοτιοανατολική κατεύθυνση. Σύντομα ο χώρος της καταιγίδας κάλυπτε το σύνολο της Βόρειας Θάλασσας. Η καταιγίδα συνέχισε να γίνεται χειρότερη κοντά στη Σκωτία και στη συνέχεια το απόγευμα της 31^{ης} του Ιανουαρίου, αναπτύχθηκε ένας τυφώνας βορειοανατολικά. Ο τυφώνας κινήθηκε προς τις Κάτω Χώρες στις οποίες εκείνη τη χρονική στιγμή είχε ήδη αναπτυχθεί υψηλή παλίρροια (Εικόνα 37). Η υψηλή παλίρροια εντάθηκε από την επιρροή του τυφώνα και σε ορισμένες περιοχές εντός των Κάτω Χωρών το νερό άρχισε να εισβάλλει στα αναχώματα.

Μέσω της Δανίας και της Γερμανίας η καταιγίδα έφτασε πιο κοντά στις ολλανδικές ακτές. Τη νύχτα της 31^{ης} Ιανουαρίου, η καταιγίδα πάνω από τη Βόρεια Θάλασσα έγινε ακόμη πιο ισχυρή δημιουργώντας έντονες θύελλες. Η ολλανδική ακτή είχε πληγεί παράλληλα με πολύ ισχυρούς ανέμους. Η καταιγίδα συνεχίστηκε και στη νότιο-δυτική Ολλανδία με ταχύτητες ανέμου 9 Bf ενώ καταγράφονταν για 20 συνεχείς ώρες. Η δύναμη της θύελλας οδήγησε το νερό τόσο ψηλά που ήταν αδύνατο να υποχωρήσει.

Λίγο μετά τα μεσάνυχτα, μετρήθηκε η στάθμη του νερού στην οποία ο άνεμος οδήγησε το νερό μέχρι και 3,1 m ψηλότερα. Τρεις ώρες αργότερα υπήρξε μια παλίρροια και μέσω του συνδυασμού της παλίρροιας και της τεράστιας ανύψωσης του νερού στις 3:24 π.μ., είχε καταγραφεί η υψηλότερη στάθμη στα +4,55 m πάνω από την μέση στάθμη νερού στην

Ολλανδία (NAP).



Εικόνα 37. Ύψη κυμάτων της πλημμύρας του 1953.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Climatic-circumstances/483.html>)



Εικόνα 38. Υποσκαφή αναχώματος.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Climatic-circumstances/483.html>)

Τα αναχώματα δεν ήταν σχεδιασμένα για να αναχαιτίσουν τόσο υψηλά επίπεδα υδάτων και περίπου στις 3:00 π.μ. το βράδυ τα πρώτα αναχώματα έσπασαν (Εικόνα 38). Τα αναχώματα στις αποξηραμένες περιοχές έσπασαν από την αρχή, δεδομένου ότι είχαν δεχτεί την

μικρότερη συντήρηση. Το νερό υπερπήδησε πάνω από τα αναχώματα καταλήγοντας στο να τα διαλύσει. Τα φράγματα κοντά στις περιοχές Kortgene, Kruiningen και Oude tonge ήταν από τα πρώτα που κατέρρευσαν, ενώ ακολούθησαν τα φράγματα κοντά στις περιοχές Willemstad, Heijningen, Fijnaart, Gravendeel, Strijen, και Numansdorp. Πολλά περισσότερα φράγματα καταστράφηκαν και συνολικά 89 φράγματα διαλύθηκαν ολοσχερώς ενώ οι ζημιές εκτείνονταν σε μια συνολική απόσταση 187 Km (Εικόνα 39).



Εικόνα 39. Καταστροφή αναχώματος στην περιοχή Schelphoek.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Climatic-circumstances/483.html>)

Θα μπορούσε ωστόσο να έχουν συμβεί πολύ χειρότερες καταστάσεις αν η μέγιστη ανύψωση του νερού είχε συμβεί κατά τη διάρκεια της παλίρροιας και όχι τρεις ώρες αργότερα, όπως συνέβη τελικά αφού η στάθμη των ποταμών ήταν σχετικά χαμηλά και η παλίρροια δεν είχε ακόμα φθάσει στο μέγιστο ύψος της, παρόλα αυτά τα αναχώματα καταστράφηκαν εντελώς.

Πολλοί ήταν εκείνοι που ξύπνησαν εκείνο το βράδυ λόγω του νερού αφού είχαν κλειστεί στα σπίτια τους και έπρεπε να προσπαθήσουν να σωθούν. Τα σπίτια κατέρρευσαν λόγω της τρομακτικής δύναμης του νερού, το τηλέφωνο και οι ραδιοεπικοινωνίες είχαν αποκοπεί.

Το πρωί της 1^{ης} Φεβρουαρίου η παλίρροια τελικά υποχώρησε και η στάθμη του νερού έπεσε. Μερικοί άνθρωποι είχαν την ευκαιρία να φτάσουν σε υψηλότερες περιοχές, ενώ άλλοι συνέχισαν να καταφεύγουν στις στέγες των σπιτιών τους. Υπήρξαν μεμονωμένες επιχειρήσεις διάσωσης που έλαβαν χώρα. Οι χωρικοί σε βάρκες έψαχναν για διασωθέντες βοηθώντας τους να φτάσουν σε υψηλότερες περιοχές. Όμως η σοβαρότητα της κατάστασης

δεν ήταν ακόμα γνωστή στον έξω κόσμο λόγω της απώλειας των οδικών συνδέσεων και επομένως απαιτήθηκε χρόνος πριν από την έναρξη μεγάλης κλίμακας επιχείρησης διάσωσης (<http://www.deltawerken.com/Devastating-Powers/484.html>).



Εικόνα 40. Εισροή θάλασσας σε ανάχωμα.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Devastating-Powers/484.html>)

Η κατάσταση επιδεινώθηκε όταν συνέβη μια δεύτερη πλημμύρα το απόγευμα της 1^{ης} Φεβρουαρίου. Αυτή η πλημμύρα κόστισε ακόμα περισσότερες ζωές επειδή τα αναχώματα είχαν ήδη αποδυναμωθεί οπότε το νερό διέρρευσε στις αποξηραμένες περιοχές με ευκολία (Εικόνα 40, 41) (τα σημεία με κόκκινα βέλη στην Εικόνα 41 είναι οι θέσεις στις οποίες αστόχησαν τα αναχώματα το 1953). Πολλά σπίτια που διασώθηκαν από το πρώτο κύμα κατέρρευσαν κατά τη διάρκεια του δεύτερου κύματος. Άνθρωποι και ζώα παρασύρθηκαν από το νερό ενώ οι άνθρωποι πιάνονταν απεγνωσμένα από οτιδήποτε θα μπορούσε να επιπλέει στο νερό, ελπίζοντας είτε να σωθούν ή να φθάσουν σε υψηλότερες περιοχές. Για πολλούς ανθρώπους όμως η βοήθεια ήρθε πολύ αργά οδηγώντας στην απώλεια 1.835 ζωών.

Μετά την κατάρρευση πολλών θαλάσσιων φραγμάτων και αναχωμάτων, το ανάχωμα κατά μήκος του ποταμού Hollandse IJssel ήταν το μόνο που είχε απομείνει για την προστασία των τριών εκατομμυρίων ανθρώπων που ζούσαν σε εξαιρετικά χαμηλές περιοχές, στην βόρεια και την νότια Ολλανδία. Ειδικότερα σε μία θέση που ονομάζεται Groenendijk, η κατάσταση έγινε πολύ κρίσιμη αφού τα προστατευτικά έργα εκεί δεν ενισχύθηκαν επαρκώς με στρώσεις από πέτρα που παρά τις προσπάθειες των εθελοντών για τη βελτίωσή της αντοχής τους τελικά κατέρρευσαν (<http://www.deltawerken.com/Rescue-and-consequences/309.html>).



Εικόνα 41. Χάρτης πλημμυρισμένων περιοχών.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Devastating-Powers/484.html>)



Εικόνα 42. Το πλοίο de Twee Gebroeders.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Rescue-and-consequences/309.html>)

Στις 5:30 π.μ. το πρωί της 1^{ης} Φεβρουαρίου, η τεράστια πίεση του νερού οδήγησε στο να σπάσουν τα αναχώματα. Με τον κίνδυνο αύξησης των ανυπεράσπιστων περιοχών και την ταχεία μετακίνηση του νερού στην ενδοχώρα ο δήμαρχος της Nieuwerkerk αποφάσισε να χρησιμοποιήσει το πλοίο de Twee Gebroeders ως εμπόδιο που έπρεπε να πλεύσει στο ρήγμα και να το σφραγίσει με αυτόν τον τρόπο (Εικόνα 42) με τον καπετάνιο Aire Evegroen να κινεί με επιτυχία το πλοίο του μέσα στο ρήγμα ώστε να σταθεροποιήσει το ανάχωμα.

Τη Δευτέρα 2 Φεβρουαρίου, η ανακούφιση ήρθε πολύ αργά και η σοβαρότητα της κατάστασης κατέστη σαφής. Εξοπλισμένα ελικόπτερα πέταξαν πάνω από την περιοχή που επλήγη και άρχισαν να ρίχνουν προμήθειες και σακούλες άμμου. Επίσης προσφέρθηκε ενίσχυση και από το εξωτερικό από χώρες όπως το Βέλγιο, η Αγγλία, οι Ηνωμένες Πολιτείες, ο Καναδάς, η Δανία και η Γαλλία που έστειλαν υλικά και στρατιώτες. Οι πρώτες εκκενώσεις περιοχών άρχισαν προσεκτικά ενώ στις 3 Φεβρουαρίου, υπήρχαν 12.000 άνδρες σε εγρήγορση καθώς εκείνη τη νύχτα εμφανίστηκαν οι χειρότερες συνέπειες της καταστροφής. Σε ορισμένα μέρη όμως οι άνθρωποι ήταν ακόμα εγκλωβισμένοι στη λάσπη αλλά μπόρεσαν να διασωθούν σύντομα. Μέσα σε λίγες ημέρες ολοκληρώθηκαν οι εκκενώσεις των πλημμυρισμένων και επικίνδυνων περιοχών και οι άνθρωποι ήταν σε θέση να ξεκινήσουν την επιθεώρηση των ζημιών ώστε να αρχίσει η επιδιόρθωση των αναχωμάτων.

Οι συνέπειες της πλημμύρας ήταν τεράστιες αφού 1.836 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους ως άμεση συνέπεια της πλημμύρας. Υπήρξαν 846 θύματα στην επαρχία Zeeland, 247 στην επαρχία της βόρειας-Brabant, 677 στην επαρχία της νότιας Holland και 7 στην επαρχία της βόρειας Holland ενώ υπολογίζεται ότι περίπου 40 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους στη συνέχεια ως αποτέλεσμα της πλημμύρας σε άλλες περιοχές. 200.000 αγελάδες, άλογα, γουρούνια και άλλα βοοειδή πέθαναν μέσα στο νερό και σχεδόν πλημμύρισαν 200.000 εκτάρια γης. Η υφαλμύρωση των υδάτων είχε ως αποτέλεσμα το άλλοτε πρόσφορο έδαφος να είναι ακατάλληλο προς χρήση για πολλά χρόνια. 3.000 σπίτια και 300 αγροκτήματα καταστράφηκαν ενώ 40.000 σπίτια και 3.000 αγροκτήματα είχαν υποστεί βλάβες. Περίπου 72.000 άνθρωποι αναγκάστηκαν να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους αφού εκκενώθηκαν σε άλλες περιοχές (Εικόνα 43).



Εικόνα 43. Απομεινάρια κατοικίας.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Rescue-and-consequences/309.html>)

Στην περιοχή της νότιας-Holland τα αναχώματα είχαν καταστραφεί σε μια απόσταση 91 Km και υπήρχαν ρήγματα σε μια απόσταση 17,5 Km και τα ρήγματα είχαν συνολικό μήκος 1 Km. Στην περιοχή της βόρειας-Brabant, πάνω από 10 Km αναχωμάτων είχαν σπάσει και υπήρξαν ρήγματα σε μια απόσταση 6,7 Km. Στην περιοχή Zeeland, τα ρήγματα ήταν περίπου 3,5 Km σε πλάτος και 38 Km αναχωμάτων είχαν υποστεί ζημιές ενώ τα ρήγματα βρίσκονταν σε μια απόσταση 17,7 Km.

4.8.2.1. Επιπτώσεις σε άλλες Χώρες

Πριν το κύμα καταιγίδας φθάσει στις Κάτω Χώρες είχε ήδη προκαλέσει καταστροφές στο

Ηνωμένο Βασίλειο. Κατά μήκος της ακτογραμμής του πάνω από 1.600 χιλιόμετρα ακτογραμμής και θαλασσιών φραγμάτων είχαν υποστεί ζημιές. Σε πολλά σημεία υπήρχαν ρήγματα πλημμυρίζοντας μία έκταση 1.000 km². Περισσότερα από 24.000 ακίνητα υπέστησαν σοβαρές ζημιές και πάνω από 30.000 άτομα αναγκάστηκαν να εκκενώσουν την περιοχή.

Στο Felixstowe στην περιοχή Suffolk πολλοί άνθρωποι σκοτώθηκαν όταν τα προκατασκευασμένα σπίτια τους καταστράφηκαν από το νερό. Αυτό προκάλεσε την απώλεια 38 ανθρώπων ενώ στο Έσσεξ η ζημιά ήταν ακόμη μεγαλύτερη. Το νησί Canvey πλημμύρισε εντελώς και χάθηκαν πάνω από 58 ζωές. Στο παραλιακό χωριό του Jaywick κοντά στο Clacton χάθηκαν 37 κάτοικοι όταν πλημμύρισε.



Εικόνα 44. Παροχή βοήθειας.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Rescue-and-consequences/309.html>)

Στο Ηνωμένο Βασίλειο σύμφωνα με εκτιμήσεις έχασαν τη ζωή τους 307 άνθρωποι κατά τη διάρκεια της πλημμύρας του 1953. Οι περισσότεροι από αυτούς πνίγηκαν όταν το πλοίο Princess Victoria βυθίστηκε στην ανοιχτή θάλασσα στην οποία χάθηκαν 224 ζωές.

Κατά μήκος της ακτής του Βελγίου ευτυχώς η ζημιά ήταν μικρότερης έκτασης. Παρ' όλα αυτά πλημμύρισαν 4.400 εκτάρια εδάφους κυρίως στην περιοχή γύρω από την Αμβέρσα. Συνολικά 25 άνθρωποι έχασαν την ζωή τους σε διάφορα μικρότερα πλημμυρικά επεισόδια κατά μήκος της ακτής του Βελγίου.

Τόσο από τις Κάτω Χώρες όσο και από το εξωτερικό συνέχισαν να καταφτάνουν εμπορευματικές ενισχύσεις και βοήθεια. Υπήρξε τόσο μεγάλη κινητοποίηση ώστε μέσα σε λίγες ημέρες ο αποθηκευτικός χώρος δεν επαρκούσε για όλες τις προμήθειες. Εκτός αυτού ορισμένες παραδόσεις προϊόντων δεν ήταν κατάλληλες για τις τοπικές ανάγκες, επομένως δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το σύνολο της στήριξης. Ως αποτέλεσμα στις 4 Φεβρουαρίου ο Ερυθρός Σταυρός ζήτησε από τους ανθρώπους να σταματήσουν την αποστολή ρούχων και επίπλων ενώ για τα υπόλοιπα εμπορεύματα βρέθηκαν άλλοι προορισμοί. Ορισμένα εμπορεύματα απεστάλησαν στις απομονωμένες πόλεις του Δυτικού Βερολίνου και κάποια στην Κορέα όπου ο πόλεμος είχε ξεκινήσει εκείνη τη χρονική στιγμή (Εικόνα 44).

Η οικονομική βοήθεια για τους ανθρώπους στις πλημμυρισμένες περιοχές ήταν απαραίτητη μετά την καταστροφή. Αντικαταστάθηκε το σύνολο των επίπλων των οικογενειών που επλήγησαν που για μερικούς ανθρώπους αυτό σήμαινε βελτίωση στον τρόπο ζωής σε

σύγκριση με την κατάστασή τους πριν από την πλημμύρα. Ωστόσο αν και οι άνθρωποι αποζημιώθηκαν οικονομικά ή όχι παρ'όλα αυτά η συναισθηματική βλάβη παραμένει έως σήμερα (<http://www.deltawerken.com/Rescue-and-consequences/309.html>).

4.8.3. Η Ανάκαμψη της Πληγείσας Περιοχής

Η καταστροφή από τις πλημμύρες του 1953 οδήγησε τελικά στην σκέψη ότι η κατάσταση των αναχωμάτων έπρεπε να βελτιωθεί δραστικά. Στις 4 Φεβρουαρίου 1953, ο υπουργός Drees ανακοίνωσε ότι η αποκατάσταση των αναχωμάτων θα λάβει την ύψιστη προτεραιότητα. Ορίστηκε μια επιτροπή για το Δέλτα με τον κ. Maris διευθυντή του Υπουργείου Οδών και Δημοσίων Έργων ως επικεφαλής. Τον Αύγουστο του 1953, η επιτροπή του Δέλτα έδωσε συμβουλές-γνωμοδοτήσεις για την αποκατάσταση των αναχωμάτων που απαιτούνταν να επισκευαστούν άμεσα όπως το ανάχωμα του Schouwen και τα κινητά φράγματα στην περιοχή του ποταμού IJssel (Hollandse IJssel) (Εικόνα 45) (<http://www.deltawerken.com/Recovery-of-the-area-afflicted/93.html>).

Εν τω μεταξύ οι εθελοντές και οι εργαζόμενοι στα αναχώματα δούλευαν ανελλιπώς για να κλείσουν τα ρήγματα στα αναχώματα. Μέσα σε μια εβδομάδα 30.000 εθελοντές είχαν εγγραφεί για να συμβάλουν στην αποκατάσταση των αναχωμάτων με το Υπουργείο Οδών και Δημοσίων Έργων να διευθύνει τις εργασίες αποκατάστασης οι οποίες χρηματοδοτούνταν από την κυβέρνηση.

Οι εργασίες αποκατάστασης κατανεμήθηκαν μεταξύ των διαφόρων τμημάτων. Στην βόρεια περιοχή του Brabant, το περιφερειακό συμβούλιο του Υπουργείου Οδών και Δημοσίων Έργων φρόντισε για την αποκατάσταση μαζί με το νεοσυσταθέν τμήμα βελτίωσης των αναχωμάτων. Στην περιοχή της νότιας Holland, το μεγαλύτερο μέρος των έργων εκτελέστηκε από την επαρχιακή υπηρεσία του Υπουργείου Οδών και Δημοσίων Έργων, ενώ στην περιοχή Zeeland συστάθηκε τμήμα αποκατάστασης των αναχωμάτων.



Εικόνα 45. Φράξιμο με αμμόσακους.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Recovery-of-the-area-afflicted/93.html>)



Εικόνα 46. Επιδιόρθωση αναχωμάτων.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Recovery-of-the-area-afflicted/93.html>)

Οι πολλές και διιστάμενες απόψεις των διαφόρων τμημάτων σήμαινε ένα δύσκολο ξεκίνημα. Το τμήμα αποκατάστασης των αναχωμάτων για παράδειγμα προτίμησε να χρησιμοποιήσει τσιμεντένια μπλοκ για να κλείσει τα ρήγματα στα αναχώματα. Τα τσιμεντένια μπλοκ είναι μεγάλοι τσιμεντόλιθοι οι οποίοι μπορούν να σταματήσουν τη ροή του νερού πολύ γρήγορα ενώ άλλες υπηρεσίες προτίμησαν να κλείσουν τα αναχώματα με χρήση υλικών όπως πηλός και πέτρα (Εικόνα 46).

4.8.3.1. Δυσκολία Αποκατάστασης Ρηγμάτων Αναχωμάτων

Από τις αρχές του Απριλίου του 1953, το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής της πλημμύρας ήταν ήδη στεγνό αλλά εξακολουθούσαν να υπάρχουν ορισμένα ρήγματα που ήταν δύσκολο να αποκατασταθούν όπως αυτά κοντά στις περιοχές Bath, Kruiningen, Schelphoek και Ouwkerk (Εικόνα 47).



Εικόνα 47. Κλείσιμο κενών.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Recovery-of-the-area-afflicted/93.html>)

Το ρήγμα που υπήρχε στην περιοχή Bath επιδιορθώθηκε στις 23 Απριλίου του 1953 με τη βοήθεια ενός σκάφους, αφού απέτυχε η χρήση της μεθόδου με την ανύψωση της άμμου λόγω των ισχυρών ρευμάτων. Κοντά στην περιοχή Kruieningen έπρεπε να κλείσουν τρία ρήγματα το δυτικό ρήγμα, το ανατολικό και το ρήγμα στο λιμάνι. Μετά το κλείσιμο των εσωτερικών αναχωμάτων το δυτικό ρήγμα θα μπορούσε να κλείσει με πηλό βυθίζοντας πέτρες και έξι ομοιόμορφα τσιμεντένια μπλοκ. Το ανατολικό ρήγμα ήταν πιο δύσκολο έργο αφού έπρεπε να κατασκευαστεί ένα ανάχωμα σε μορφή δαχτυλιδιού στην περιοχή, στο οποίο χρησιμοποιήθηκαν σαράντα στοιχεία από τσιμεντένια κιβώτια. Κατά συνέπεια είχε χρησιμοποιηθεί μια πλωτή γέφυρα με ομοιόμορφα τσιμεντένια μπλοκ με μήκος 33 m ενώ το ρήγμα έκλεισε τελικά στις 8 Ιουλίου 1953. Στις 24 Ιουλίου, έκλεισαν τα τελευταία ρήγματα και το ρήγμα στο λιμάνι και πλέον θα μπορούσε να συνεχιστεί η σιδηροδρομική κυκλοφορία.

Την 18 Αυγούστου 1953, έκλεισε το μεγαλύτερο ρήγμα που υπήρχε στην πληγείσα περιοχή κοντά στην περιοχή Schelphoek. Διοχετεύθηκαν περίπου 125 εκατομμύρια m³ νερού μέσω αυτού του ρήγματος κατά τη διάρκεια της άμπωτης και της πλημμυρίδας. Ως αποτέλεσμα δημιουργήθηκαν οκτώ κανάλια πίσω από το ρήγμα που έκλεισαν με διάφορους τύπους τσιμεντένιων μπλοκ και επομένως ολοκληρώθηκε το νέο ανάχωμα.

Το κλείσιμο των ρηγμάτων κοντά στην περιοχή Ouwkerk ήταν μια δύσκολη εργασία. Μια καλοκαιρινή μπόρα παρεμπόδισε την πρόοδο του έργου και προσωρινά φάνηκε να καταστρέφεται στη θάλασσα. Η ροή των υδάτων ήταν τόσο υψηλή κοντά στην περιοχή Ouwkerk που δεν ήταν δυνατό να τοποθετηθούν τα βαριά τσιμεντένια μπλοκ στη σωστή θέση με αποτέλεσμα να διαπιστωθεί ότι τα τσιμεντένια μπλοκ δεν είχαν τοποθετηθεί σωστά, παρ'όλα αυτά στις 24 Νοεμβρίου το ανάχωμα ολοκληρώθηκε.



Εικόνα 48. Καταστροφή αναχώματος.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Recovery-of-the-area-afflicted/93.html>)



Εικόνα 49. Προστασία με τοποθέτηση αμμόσακων.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Recovery-of-the-area-afflicted/93.html>)

4.8.3.2. Βάση για τον Νόμο στο Δέλτα

Οι εργαζόμενοι στα αναχώματα ήταν υπερήφανοι μετά το επιτυχές κλείσιμο των προβληματικών ρηγμάτων που είχαν δημιουργηθεί. Μέχρι το τέλος του 1953, η περιοχή κηρύχθηκε επισήμως ξανά αποκατεστημένη. Οι εργαζόμενοι στα αναχώματα είχαν αποκομίσει πολύτιμη εμπειρία από τις εργασίες επισκευής όπως για παράδειγμα, ότι τα τσιμεντένια μπλοκ έπρεπε να επιτρέπουν να διέρχεται όσο το δυνατόν περισσότερη ποσότητα νερού μέσα από αυτά πριν από τη τοποθέτηση τους στις τελικές θέσεις. Με αυτό τον τρόπο δεν θα δημιουργούνταν ισχυρό ρεύμα στο τελευταίο κενό που απέμενε να κλείσει και αυτό διευκόλυνε την τοποθέτηση των υπολοίπων τσιμεντένιων μπλοκ. Για να καταστεί δυνατή η όσο το δυνατόν περισσότερη ροή νερού μέσω των τσιμεντένιων μπλοκ, είχαν εγκατασταθεί διαπερατές επιφάνειες σε αυτά. Οι διαπερατές αυτές επιφάνειες θα μπορούσαν στη συνέχεια να κλείσουν ή να αδρανοποιηθούν μετά την τελική τοποθέτηση των τσιμεντένιων μπλοκ.

Η επιτροπή του δέλτα επέκτεινε τα σχέδια για την κατασκευή των μεγάλων έργων αποκατάστασης. Κατά τα έτη 1953, 1954, 1955 η επιτροπή έδωσε εκτεταμένες γνωμοδοτήσεις-συμβουλές οι οποίες θα αποτελούσαν τη βάση της νομοθεσίας για το Δέλτα της 8^{ης} Μαΐου του 1958 (<http://www.deltawerken.com/Recovery-of-the-area-afflicted/93.html>).

4.8.4. Το Μουσείο Watersnoodmuseum

Το μουσείο προσπαθεί να απεικονίσει τις συνθήκες των πλημμυρών που σημειώθηκαν την 1^η Φεβρουαρίου 1953 (Εικόνα 50). Βρίσκεται σε ένα από τα τέσσερα τσιμεντένια μπλοκ (caissons) που χρησιμοποιήθηκαν για να κλείσουν το τελευταίο ρήγμα στο ανάχωμα. Το κλείσιμο πραγματοποιήθηκε στις 6 Νοεμβρίου 1953. Αυτά τα τσιμεντένια μπλοκ ήταν υδατοστεγείς θάλαμοι από σκυρόδεμα. Οι διαστάσεις τους είναι 60 m μήκος, 20 m πλάτος και 20 m ύψος. Αφού τοποθετήθηκαν στην σωστή θέση, στην συνέχεια πληρώθηκαν με άμμο και έτσι ακόμα και τώρα οι επισκέπτες του μουσείου περπατούν πάνω σε 13 m άμμου. Βρίσκονται στο παλιό θαλάσσιο ανάχωμα κοντά στην πόλη Ouwerkerk στην περιοχή Schouwen-Duiveland. Το μουσείο άνοιξε επίσημα στις 2 Απριλίου του 2001. Η δημιουργία του έγινε δυνατή χάρη στην μεγάλη προσπάθεια των εθελοντών και των δωρεών από διάφορες οργανώσεις.



Εικόνα 50. Το μουσείο Watersnoodmuseum.

(Πηγή: Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, <http://itia.ntua.gr/~nikos/holland/genika.htm>)

Στην πρώτη αίθουσα τονίζονται τα γεγονότα από την καταστροφική νύχτα των πλημμυρών της 1^{ης} Φεβρουαρίου 1953 καθώς και η βοήθεια που χορηγείται κατά τις πρώτες ημέρες. Στη δεύτερη αίθουσα δίνεται έμφαση στους ανθρώπους-τα θύματα, τα συναισθήματα και τις προσωπικές εμπειρίες. Στην τρίτη αίθουσα παρουσιάζονται οι προσπάθειες ανοικοδόμησης της πληγείσας περιοχής ώστε να καταστεί γρήγορα κατοικήσιμη. Η τέταρτη αίθουσα περιλαμβάνει τρεις ξεχωριστές θεματικές ενότητες που παρουσιάζουν καινοτομίες και λύσεις που βοηθούν στην διαχείριση του νερού σήμερα αλλά και μελλοντικά. Το τελευταίο μέρος της έκθεσης συνδέει την δεκαετία του πενήντα με την σημερινή, την συνεχώς μεταβαλλόμενη κοινωνία, τον εκσυγχρονισμό της καθημερινής ζωής και την κατασκευή των έργων του Δέλτα.

Το μουσείο βοηθά να γίνει κατανοητή η κατάσταση που επικρατούσε όταν συνέβη η πλημμύρα και να αποτελέσει παράδειγμα προετοιμασίας από το παρελθόν για το μέλλον. Ο στόχος του είναι να ευαισθητοποιήσει την κοινωνία για το μέλλον, αφού η εναρμόνιση των ανθρώπων με το νερό είναι ένα θέμα που περισσότερο από ποτέ βρίσκεται στην επικαιρότητα. Η περιοχή γύρω από το μουσείο είναι επίσης μέρος του Εθνικού Μνημείου.

4.9. Αξιολόγηση Γεγονότων στη Νοτιοανατολική Ασία και Συσχέτιση με Πιθανότητα Εμφάνισης παρόμοιων στην Ολλανδία

4.9.1. Θαλάσσιος Σεισμός στη Νοτιοανατολική Ασία

Στις 26 Δεκεμβρίου 2004, συνέβη μία από τις μεγαλύτερες φυσικές καταστροφές στην ιστορία στη Νοτιοανατολική Ασία αφού ένας σεισμός με επίκεντρο στην θάλασσα στον Ινδικό Ωκεανό προκάλεσε ένα τεράστιο τσουνάμι που έπληξε πολλές χώρες. Πάνω από 200.000 άνθρωποι δεν κατάφεραν να επιβιώσουν από τις συνέπειες από το καταστρεπτικό παλιρροϊκό κύμα και εκατοντάδες χιλιάδες άνθρωποι έχασαν όλα τα υπάρχοντά τους. (<http://www.deltawerken.com/Tsunami-Asia/773.html>).

4.9.1.1. Προέλευση

Η επιφάνεια της γης αποτελείται από διάφορες πλάκες που μετακινούνται κατά μήκος μεταξύ τους. Κανονικά αυτές οι κινήσεις μπορούν να συμβούν πολύ αργά με ρυθμό ένα έως δύο εκατοστά ανά έτος, όταν όμως αυτές οι πλάκες ξαφνικά αρχίσουν την άνοδο ή την πτώση που οφείλεται στο γεγονός είτε ότι η μία πλάκα τεμαχίζεται πάνω στην άλλη, ή ότι συγκρούονται μεταξύ τους ή να γλιστράει η μία στην άλλη τότε θα συμβεί σεισμός. Τα όρια των πλακών συνυπάρχουν κυρίως κάτω από τη θάλασσα επομένως η ενέργεια του εδάφους που μετακινείται ή διεγείρεται θα μεταφερθεί στο υπερκείμενο νερό προκαλώντας το λεγόμενο τσουνάμι.

4.9.1.2. Επιπτώσεις

Δεν θα υπάρξει ποτέ ακριβής υπολογισμός του αριθμού των θυμάτων που προκλήθηκαν από το τσουνάμι της 26^{ης} Δεκεμβρίου 2004, επειδή πολλοί άνθρωποι αγνοούνται ακόμα και σήμερα και που δεν θα βρεθούν ποτέ. Ο επίσημος αριθμός των θυμάτων ανέρχεται σήμερα στα 289.260 και περιλαμβάνονται και οι αγνοούμενοι. Πολύ περισσότερα θύματα υπήρξαν στο ινδονησιακό νησί της Σουμάτρα και ειδικότερα στη βόρεια επαρχία της Ατjeh που ήταν σε κοντινή απόσταση από το επίκεντρο του σεισμού. Άλλες χώρες που επλήγησαν είναι η Σρι Λάνκα, η Ταϊλάνδη, η Ινδία, η Μαλαισία, η Μιανμάρ, το Μπαγκλαντές, οι Μαλδίβες και μια

σειρά από χώρες της ανατολικής Αφρικής. Επειδή ήταν παρόντες πολλοί τουρίστες κατά τη στιγμή της καταστροφής, υπήρξαν επίσης πολλά ευρωπαϊκά και αμερικανικά θύματα. Στο σύνολο των είκοσι επτά Ολλανδών που πέθαναν από το τσουνάμι, δέκα άνθρωποι εξακολουθούν να αγνοούνται. Πολλοί κάτοικοι των χωρών που επλήγησαν και επέζησαν από την καταστροφή έχασαν την οικογένεια, τους φίλους, τα σπίτια τους, ενώ ορισμένες φορές παρασύρθηκαν ολόκληρα χωριά.

Το τσουνάμι προκάλεσε επίσης συνέπειες στην οικονομία και περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις χώρες που επλήγησαν. Πολλά κτίρια και δρόμοι καταστράφηκαν και πρέπει να ανοικοδομηθούν που θα κοστίσουν πολλά χρήματα. Επιπλέον η οικονομία των χωρών αυτών εξαρτιόνταν σε μεγάλο βαθμό από τον τουρισμό. Μετά την καταστροφή λίγοι τουρίστες ήρθαν στη Νοτιοανατολική Ασία επειδή οι άνθρωποι ήταν φοβισμένοι. Λόγω αυτού του γεγονότος η οικονομία δοκιμάστηκε πολύ σκληρά αλλά ευτυχώς οι χώρες της Νοτιοανατολικής Ασίας έλαβαν βοήθεια από άλλα κράτη συγκεντρώνοντας κεφάλαια που βοήθησαν τις χώρες που είχαν πληγεί.

Το τσουνάμι της 26^{ης} Δεκεμβρίου του 2004 προκάλεσε μεγάλη ζημιά στον τοπικό χαρακτήρα ιδίως στις παράκτιες περιοχές αφού ένα μέρος των κοραλλιογενών υφάλων έχει καταστραφεί. Πολλά ζώα που διαισθάνθηκαν ότι κάτι επρόκειτο να συμβεί κατέφυγαν σε άλλα ασφαλέστερα σημεία. Οι καταστροφές όμως στη φύση δεν ολοκληρώθηκαν αμέσως μετά το τσουνάμι, λόγω του γεγονότος ότι πολλοί άνθρωποι αναγκάστηκαν να ξαναχτίσουν τα σπίτια τους με μεγάλες ποσότητες από ξύλο να είναι απαραίτητες. Λόγω αυτής της ανάγκης έπρεπε να αποψιλωθούν μεγάλες δασικές εκτάσεις ενώ μία δευτερεύουσα ανάγκη που προέκυψε είναι ότι οι άνθρωποι κατανάλωναν περισσότερο κρέας και αυγά από τα απειλούμενα είδη προς εξαφάνιση των ερπετών ως υποκατάστατο για τα ψάρια.

4.9.1.3. Πρόληψη-Προειδοποιητικό Σύστημα

Έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα προειδοποίησης για τα τσουνάμι προκειμένου να προειδοποιήσει αν έχει δημιουργηθεί παλιρροϊκό κύμα ώστε οι άνθρωποι να μπορούν να διαφύγουν σε ασφαλές μέρος. Αυτό το σύστημα αποτελείται από αισθητήρες στο βυθό και από σηματοδότες στην επιφάνεια του νερού που μπορούν να μεταφέρουν πληροφορίες σε δορυφόρους. Οι αισθητήρες μετρούν την πίεση του νερού στο βυθό. Είναι πολύ ακριβείς και μπορούν να παρατηρήσουν ακόμη και ένα κύμα από τσουνάμι ενός εκατοστού σε βάθος 6.000 μέτρων. Όταν ο αισθητήρας καταγράφει ένα τσουνάμι το σήμα μεταφέρεται στην σηματοδότη στην επιφάνεια του νερού. Από τις σηματοδότες το σήμα μεταβιβάζεται σε δορυφόρο ο οποίος είναι συνδεδεμένος σε ένα σταθμό στην ξηρά και έτσι οι κάτοικοι των παράκτιων πόλεων μπορούν να προειδοποιούνται έγκαιρα.

Κατά τη διάρκεια του σεισμού της 26 Δεκεμβρίου 2004 δεν είχε εγκατασταθεί προειδοποιητικό σύστημα στον Ινδικό Ωκεανό. Αν υπήρχε πολλές ζωές θα μπορούσαν πιθανώς να είχαν σωθεί. Ωστόσο η καταστροφή δεν θα μπορούσε να αποφευχθεί διότι μόνο οι απομακρυσμένες από το επίκεντρο παράκτιες πόλεις θα μπορούσαν να είχαν προειδοποιηθεί εγκαίρως από το σύστημα προειδοποίησης. Όμως για το λαό της Σουμάτρα η οποία βρίσκονταν πολύ κοντά στο επίκεντρο του σεισμού η προειδοποίηση είναι πολύ πιθανόν να είχε έρθει πολύ καθυστερημένα διότι το κύμα έφτασε στο νησί σε λίγα λεπτά.

4.9.2. Πιθανότητα εμφάνισης Τσουνάμι στην Ολλανδία

Μετά από την εμφάνιση των τεράστιων παλιρροϊκών κυμάτων στην νοτιοανατολική Ασία, το πρώτο ερώτημα που τίθεται είναι αν μπορεί να συμβεί ένα τσουνάμι στην Ολλανδία. Η απάντηση είναι καθησυχαστική διότι είναι πολύ απίθανο η Ολλανδία να πλημμυρίσει από ένα τσουνάμι. Η πλησιέστερη διαχωριστική γραμμή πλακών η οποία θα μπορούσε να δημιουργήσει ένα σεισμό βρίσκεται στον Ατλαντικό Ωκεανό. Αν ένας σεισμός δημιουργηθεί από αυτά τα ρήγματα, θα είναι λιγότερο έντονος σε σχέση με το σεισμό στον Ινδικό Ωκεανό. Οι πλάκες στον Ινδικό Ωκεανό μετακινούνται η μία πάνω στην άλλη, ενώ οι πλάκες στον Ατλαντικό Ωκεανό απομακρύνονται η μία από την άλλη. Ένας σεισμός στον Ατλαντικό Ωκεανό κατά πάσα πιθανότητα δεν θα ήταν αρκετά ισχυρός για να δημιουργήσει ένα τσουνάμι χωρίς να αποκλείεται εντελώς όμως. Αν όντως συμβεί, θα μπορούσε να πλημμυρίσει μία τεράστια έκταση γης λόγω του γεγονότος ότι η πλειοψηφία της εδαφικής έκτασης της Ολλανδίας βρίσκεται σε υψόμετρο χαμηλότερο ή ίσο με την επιφάνεια της θάλασσας και θα μπορούσε στη συνέχεια να εισβάλει δεκάδες χιλιόμετρα στην ενδοχώρα χωρίς καμία αντίσταση.

5. Το Σχέδιο Δέλτα

5.1. Εισαγωγή

Οι μελέτες που διεξήχθησαν το 1937 από την υπηρεσία Rijkswaterstaat (Υπηρεσία Οδών και Δημοσίων Έργων), έδειξαν ότι δεν μπορούσε να εξασφαλιστεί η ασφάλεια σε πολλές περιοχές των Κάτω Χωρών σε περιόδους καταιγίδων και υψηλής στάθμης της θάλασσας. Στις πυκνοκατοικημένες περιοχές κοντά στις εκβολές του ποταμού Ρήνου, του Μεύση και του Σελντ, η κατασκευή νέων αναχωμάτων ή η ενίσχυση των υπαρχόντων αποδείχθηκε πολύ δύσκολη. Η πρώτη λύση ήταν να κλείσουν όλα τα στόμια εκβολής δηλαδή το δυτικό τμήμα του Σελντ, το ανατολικό τμήμα του Σελντ, ο ποταμός Haringvliet και ο ποταμός Brouwershavense Gat. Η πρόταση αυτή χρησίμησε ως το "Σχέδιο Δέλτα". Το 1950 η εκβολή του ποταμού Gat του Brieles και το Botlek έκλεισαν. Η Brielse Maas έγινε μια λεκάνη γλυκού νερού που δεν καθιστά την περιοχή μόνο ασφαλέστερη, αλλά έδωσε επίσης στην περιοχή Noorne παροχή γλυκού νερού. Το σχέδιο προέβλεπε την κατασκευή των υπολοίπων φραγμάτων στις επόμενες δεκαετίες. Δυστυχώς όμως η περίφημη πλημμύρα του 1953 εμπόδισε να συμβεί αυτό αφού σχεδόν δύο χιλιάδες άτομα έχασαν τη ζωή τους και περισσότερα από 150.000 εκτάρια γης πλημμύρισαν επομένως η κοινωνία σύντομα αντιλήφθηκε ότι κάτι έπρεπε να γίνει άμεσα.



Εικόνα 51. Γενική διάταξη έργων.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Deltaworks/23.html>)

Είκοσι ημέρες μετά την πλημμύρα του 1953 ιδρύθηκε η επιτροπή Δέλτα. Η Επιτροπή θα παρείχε συμβουλές σχετικά με την εκτέλεση του Σχεδίου Δέλτα, που μακροπρόθεσμα θα αύξανε την ασφάλεια της περιοχής του Δέλτα. Αν και η ασφάλεια ήταν η υπ' αριθμόν ένα προτεραιότητα, οι δίοδοι στην περιοχή De Nieuwe Waterweg και στο δυτικό τμήμα του ποταμού Σελντ θα έπρεπε να παραμείνουν ανοιχτοί λόγω της οικονομικής σημασίας των λιμανιών του Ρότερνταμ και της Αμβέρσας. Για να είναι δυνατή η κατασκευή φραγμάτων στις εκβολές των ποταμών θα έπρεπε πρώτα να κατασκευαστούν μερικά βοηθητικά φράγματα στις περιοχές Zandkreek, Krammer, Grevelingen και Volkerak. Τα φράγματα αυτά ήταν γνωστά ως "βοηθητικά-τμηματικά φράγματα" δεδομένου ότι θα διαιρούσαν την μεγάλη λεκάνη απορροής του νερού σε πολλές μικρότερες. Το 1958 ψηφίστηκε ο νόμος Δέλτα προκειμένου να οργανωθεί η κατασκευή των φραγμάτων. Το σχέδιο θα εκτελούνταν για 43 χρόνια ενώ το κόστος εκτιμήθηκε σε 1,5 με 2 δις Ολλανδικές κορόνες (περίπου 680 με 900 εκατομμύρια Ευρώ). Ωστόσο όλα τα έργα του σχεδίου Δέλτα μαζί με τα συνοδευτικά κόστισαν περίπου 5 δις Ευρώ. Η υλοποίηση του «Σχεδίου Δέλτα» (Εικόνα 51) (οι χρονολογίες αφορούν στα έτη ολοκλήρωσης των αντίστοιχων έργων) ήταν τόσο εκτεταμένο έργο που μερικές φορές αναφέρεται ως το «όγδοο θαύμα του κόσμου» και όχι άδικα (<http://www.deltawerken.com/Deltaworks/23.html>).

5.2. Το Πολιτικό Πλαίσιο Υλοποίησης

5.2.1. Η Επιτροπή Δέλτα

Στις 21 Φεβρουαρίου του 1953 ιδρύθηκε η επιτροπή του Δέλτα που διοικούνταν από το γενικό διευθυντή της Υπηρεσίας Οδών και Δημοσίων Έργων, κ. Maris (Εικόνα 52). Στόχος της ήταν να καταρτίσει ένα σχέδιο για να εξασφαλίσει δύο στόχους που θα μπορούσαν να επιτευχθούν:

1. Αποτελεσματική αποστράγγιση των περιοχών που πλημμυρίζουν συχνά σε περιόδους υψηλής στάθμης των υδάτων και την προστασία τους από το νερό.
2. Προστασία της γης από το να καταστεί υφάλμυρη.



Εικόνα 52. Ίδρυση της Επιτροπής Δέλτα.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-Deltaplan-/92.html>)

Ο Υπουργός Δημοσίων Έργων κ. Algera ανέφερε ότι η επιτροπή του Δέλτα είχε να επιλέξει μεταξύ της ενίσχυσης και της αύξησης του ύψους των υφιστάμενων αναχωμάτων ή το κλείσιμο ορισμένων παλιρροϊκών περιοχών-κολπίσκων. Μία προϋπόθεση που έπρεπε να πληρείται κατά την κατάρτιση του σχεδίου ήταν ότι το δυτικό τμήμα του Σελντ και η πλωτή

οδός ναυσιπλοΐας του Ρότερνταμ έπρεπε να παραμείνουν ανοιχτές επειδή αυτά τα ποτάμια ήταν ζωτικής σημασίας για την ναυσιπλοΐα (<http://www.deltawerken.com/The-Deltaplan-/92.html>).

5.2.2. Πρώτη και Δεύτερη Γνωμοδότηση

Στις 16 Μαΐου 1953 η επιτροπή του Δέλτα έδωσε την πρώτη γνωμοδότηση-συμβουλή και αφορούσε στο να αυξηθεί το ύψος του αναχώματος στο Schouwens από 3 μέτρα πάνω από την μέση στάθμη θάλασσας της Ολλανδίας (NAP) σε 5 μέτρα πάνω από την μέση στάθμη θάλασσας της Ολλανδίας (NAP) και δεν συμπεριλαμβάνονταν στο αρχικό σχέδιο.

Η δεύτερη γνωμοδότηση-συμβουλή από την επιτροπή ήταν να κλείσει ο ποταμός Hollandse IJssel. Αυτή η απόφαση ήταν μεγάλης σημασίας γιατί αν τα αναχώματα κατά μήκος του ποταμού IJssel αστοχούσαν σε πιθανή πλημμύρα τότε μια βιομηχανική περιοχή με πάνω από 1,5 εκατομμύρια κατοίκους θα βρίσκονταν σε κίνδυνο. Προτάθηκε να κλείσει ο ποταμός Hollandse IJssel μέσω ενός κινητού φράγματος κοντά στις εκβολές του. Το κινητό φράγμα επιλέχτηκε ως τεχνική λύση λόγω του γεγονότος ότι θα παραμένει κλειστό μόνο κατά την περίπτωση της παλιρροϊκής καταιγίδας έτσι ώστε να μην πληγεί η ναυσιπλοΐα τον υπόλοιπο χρόνο καθώς και να μειωθούν οι επιδράσεις στη χλωρίδα και στην πανίδα του νερού. Η απόφαση για το κλείσιμο του ποταμού Hollandse IJssel πάρθηκε κατά το ίδιο έτος στο οποίο συνέβη η πλημμύρα ενώ ένα χρόνο αργότερα το 1954 ξεκίνησε η κατασκευή του (<http://www.deltawerken.com/First-and-second-advice/315.html>).

5.2.3. Τρίτη Γνωμοδότηση

Στις 27 Φλεβάρη 1954 η επιτροπή του Δέλτα έδωσε την τρίτη γνωμοδότηση-συμβουλή η οποία θα επικεντρωνόταν στην κατασκευή φραγμάτων στη θάλασσα. Το κλείσιμο των παράκτιων περιοχών στη θάλασσα θα μπορούσε να προκαλέσει μείωση των παράκτιων λειτουργιών τέτοια ώστε να μειωθεί ο αριθμός των περιοχών που η θάλασσα θα έχει άμεση επίπτωση. Το φράξιμο της περιοχής Haringvliet, της Brouwerhavense Gat, του ανατολικού τμήματος του Σελντ και της Veerse Gat θα εμπόδιζε να συμβούν ξανά υψηλά επίπεδα στάθμης των υδάτων προκαλώντας καταστροφικές συνέπειες.

Τα πλεονεκτήματα του κλεισίματος των παλιρροϊκών στομιών εισόδου σε σύγκριση με την αύξηση του ύψους και την ενίσχυση των υπαρχόντων φραγμάτων παρατίθενται παρακάτω:

1. Η αύξηση του ύψους των υπαρχόντων αναχωμάτων θα ήταν πιο ακριβή, πιο δύσκολη, πιο επικίνδυνη και λιγότερο αποτελεσματική σε σύγκριση με την κατασκευή φραγμάτων.
2. Η κατασκευή των φραγμάτων θα εμποδίσει το νερό να μετατραπεί σε υφάλμυρο.
3. Η κατασκευή φραγμάτων μεταξύ των διαφορετικών νησιών θα δημιουργήσει συνδέσεις με την υπόλοιπη ενδοχώρα.
4. Αυξάνοντας το ύψος των υπαρχόντων φραγμάτων θα απαιτούνταν μεγάλες εκτάσεις γης για απόληψη υλικών ενώ η κατασκευή φραγμάτων απαιτούσε μικρότερη έκταση γης.
5. Με την εφαρμογή του σχεδίου Δέλτα θα δημιουργηθεί ένας μοναδικός χώρος αναψυχής.

Πρώτον στην περίπτωση της αύξησης του ύψους των αναχωμάτων περίπου 1.000 Km των υπαρχόντων αναχωμάτων θα απαιτούσαν ενίσχυση. Δεδομένου ότι το επίπεδο της θάλασσας αυξάνεται συνεχώς το ύψος του φράγματος θα έπρεπε να αυξηθεί και πάλι μετά από δύο χρόνια σύμφωνα με υπολογισμούς. Όχι μόνο παρέμεινε ο κίνδυνος πλημμυρών, αλλά η αύξηση του ύψους των αναχωμάτων συνεπάγεται επίσης πολλές ακόμη παραμέτρους για τη συντήρησή τους. Με την κατασκευή φραγμάτων στη θάλασσα μερικές δεκάδες χιλιόμετρα από αμμόλοφους, αναχώματα και φράγματα θα παρέμεναν γεγονός που σημαίνει πολύ μικρότερη συντήρηση. Επιπλέον η κατασκευή των φραγμάτων θα ήταν πολύ πιο εύκολη να πραγματοποιηθεί.

Δεύτερον το νερό γύρω από τα νησιά Zeeland θα παρέμεινε υφάλμυρο στην περίπτωση της αύξησης του ύψους των αναχωμάτων. Το σχέδιο Δέλτα με τη μορφή της κατασκευής φραγμάτων, θα αποτρέψει το νερό να καταστεί υφάλμυρο και θα δημιουργηθεί μια μεγάλη υδρολογική λεκάνη γλυκού νερού. Αυτό θα έχει θετικές επιπτώσεις για το σύνολο της υδρολογικής δίκαιας του γλυκού νερού λόγω της επαρκούς και ποιοτικής τροφοδοσίας των υδάτων από τους ποταμούς.

Τρίτον με την κατασκευή των έργων του Δέλτα τα νησιά θα συνδέονταν με την ηπειρωτική χώρα μέσω των δρόμων που θα κατασκευάζονταν πάνω στα φράγματα. Στην περίπτωση της αύξησης του ύψους των αναχωμάτων ή της ενίσχυσής τους τα νησιά θα παρέμειναν απομονωμένα.

Τέταρτον ένα άλλο πλεονέκτημα του σχεδίου είναι η μέτρια απαίτηση σε γη σε σύγκριση με την αύξηση του ύψους των αναχωμάτων. Η αύξηση του ύψους των αναχωμάτων και η διεύρυνση εσωτερικά σε απόσταση εκατοντάδων χιλιομέτρων, θα είχε κοστίσει μια μεγάλη έκταση καλλιεργήσιμης γης λόγω απαιτήσεων υλικών απόληψης και χώρου ενώ με την κατασκευή των φραγμάτων πραγματοποιείται αποκατάσταση γης. Τέλος η υλοποίηση του σχεδίου θα δημιουργήσει επίσης έναν μοναδικό χώρο αναψυχής που δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί με την αύξηση του ύψους των αναχωμάτων.

Η υλοποίηση του σχεδίου φαίνεται αρχικά να εμφανίζει μόνο πλεονεκτήματα. Ωστόσο υπάρχει ένα μεγάλο μειονέκτημα το οποίο αφορά στην αλιεία μαλακοστράκων και οστρακοειδών που θα καταστρέφονταν. Αν έκλεινε το ανατολικό τμήμα του Σελντ με φράγμα, θα τροφοδοτούνταν με γλυκό νερό αντί για αλμυρό. Τα μύδια, στρείδια και τα άλλα οστρακόδερμα και οστρακοειδή δεν μπορούν να επιβιώσουν στο γλυκό νερό επομένως η επιτροπή του Δέλτα συμβούλευσε να διερευνηθεί η δυνατότητα μετακίνησης των πληθυσμών των μαλακοστράκων και οστρακοειδών σε άλλες περιοχές (<http://www.deltawerken.com/Third-advice/316.html>).

5.2.4. Τελευταία Γνωμοδότηση

Στις 18 Οκτωβρίου του 1955 δόθηκε η τέταρτη και τελευταία γνωμοδότηση-συμβουλή. Αυτή η συμβουλή περιελάμβανε τον εκτενή και ακριβή προσδιορισμό του σχεδίου Δέλτα, απαριθμώντας τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα καθώς και τον προϋπολογισμό του εγχειρήματος. Η επιτροπή πίστευε ότι το σχέδιο θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί σε 25 χρόνια με συνολικό κόστος περίπου 1.500.000.000-2.000.000.000 φιορίνια (περίπου 680-900.000.000 ευρώ σε σημερινές τιμές), ωστόσο το τελικό κόστος μετά την υλοποίηση όλων των έργων που απαρτίζουν το Σχέδιο Δέλτα ανέρχεται σε 5 δις Ευρώ.

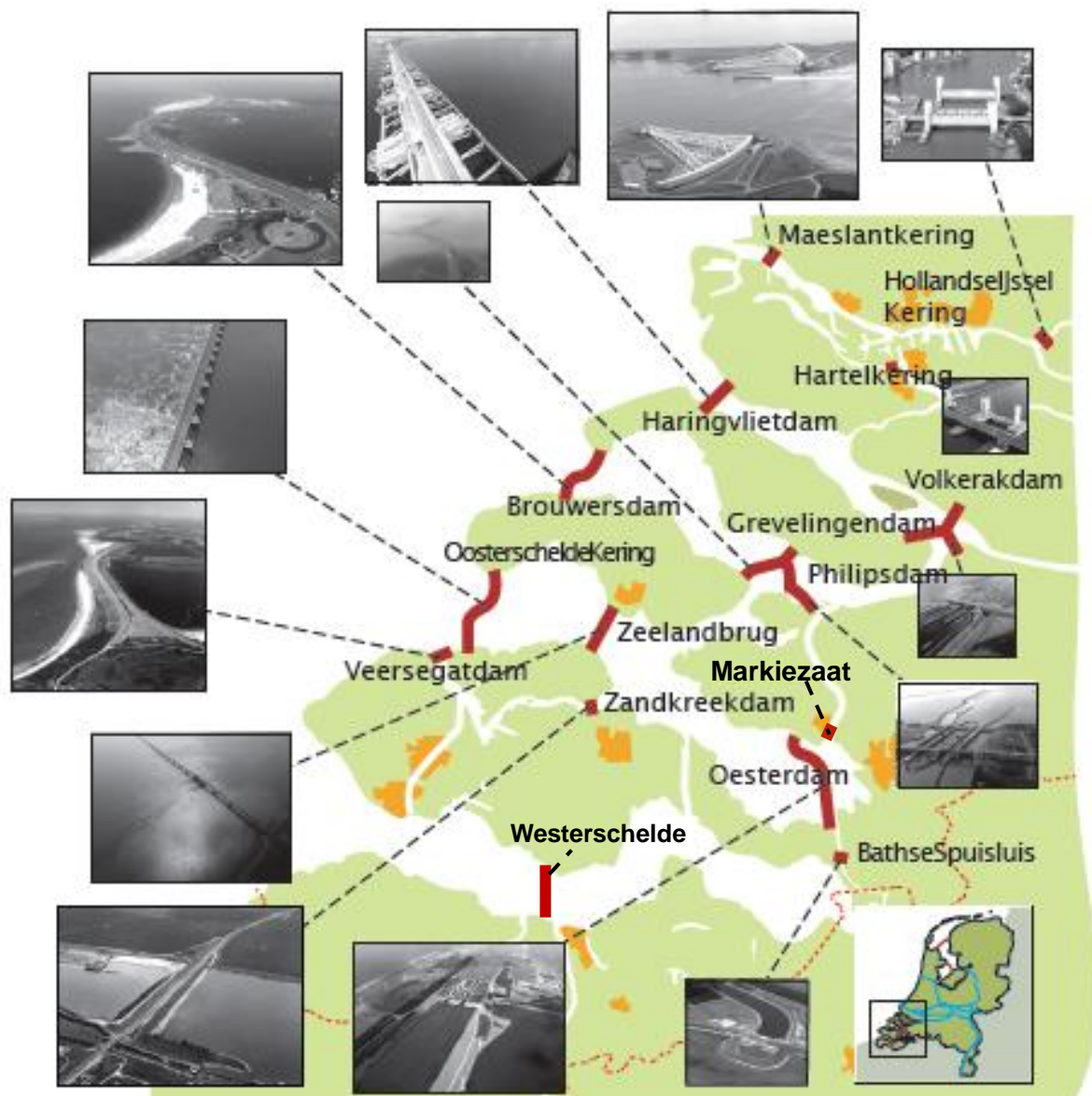
Το σχέδιο μετατράπηκε σε νομοσχέδιο και στις 16 Νοεμβρίου 1955 απεστάλη στην

ολλανδική Κάτω Βουλή. Δύο χρόνια αργότερα ο νόμος εγκρίθηκε και στις 8 Μαΐου 1958 υπεγράφη από την ίδια την Βασίλισσα της Ολλανδίας (<http://www.deltawerken.com/Fourth-and-last-advice/317.html>).

5.3. Τα Έργα στο Δέλτα

Τα διάφορα μέρη του σχεδίου δεν ήταν δυνατόν να ολοκληρωθούν ταυτόχρονα. Η Υπηρεσία Οδών και Δημοσίων Έργων επέλεξε να τα υλοποιήσει σε μια λογική σειρά, από τα μικρότερα προς τα μεγαλύτερα και από τα πιο απλά μέχρι τα πιο πολύπλοκα. Με αυτό τον τρόπο θα αποκτούνταν όσο το δυνατόν περισσότερη εμπειρία κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής που θα ήταν χρήσιμη για την εκτέλεση των πιο πολύπλοκων έργων. Κατά τον καθορισμό της σειράς κατασκευής των έργων, ελήφθησαν υπόψη τα διαθέσιμα υλικά και το εργατικό δυναμικό. Η Υπηρεσία Οδών και Δημοσίων Έργων έλαβε επίσης υπόψη της ότι η προστασία κατά των κυμάτων καταιγίδας θα ήταν η υπ' αριθμόν ένα προτεραιότητα. Με βάση τα ανωτέρω, αποφασίστηκε να πραγματοποιηθούν τα έργα στο Δέλτα με την ακόλουθη χρονολογική σειρά ολοκλήρωσής τους (Εικόνα 53) (<http://www.deltawerken.com/The-Works/318.html>):

1. Κατασκευή φράγματος στον ποταμό Hollandse IJssel (1958).
2. Κατασκευή φράγματος Zandkreek (1960).
3. Κατασκευή φράγματος Veerse Gat (1961).
4. Κατασκευή φράγματος Grevelingen (1965).
5. Κατασκευή φράγματος Volkerak (1969).
6. Κατασκευή φράγματος Haringvliet (1971).
7. Κατασκευή φράγματος Brouwers (1971).
8. Κατασκευή αναχώματος στην περιοχή Markiezaat (1983).
9. Κατασκευή φράγματος στο ανατολικό τμήμα του ποταμού Σελντ (Oosterschelde) (1986).
10. Κατασκευή φράγματος Oester (1986).
11. Κατασκευή φράγματος Philips (1987).
12. Κατασκευή αγωγού εκβολής στην περιοχή Bath (1987).
13. Κατασκευή φράγματος Hartel (1997).
14. Κατασκευή φράγματος Maesland (1997).



Εικόνα 53. Θέση έργων.

(Πηγή: Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, <http://itia.ntua.gr/~nikos/holland/genika.htm>)

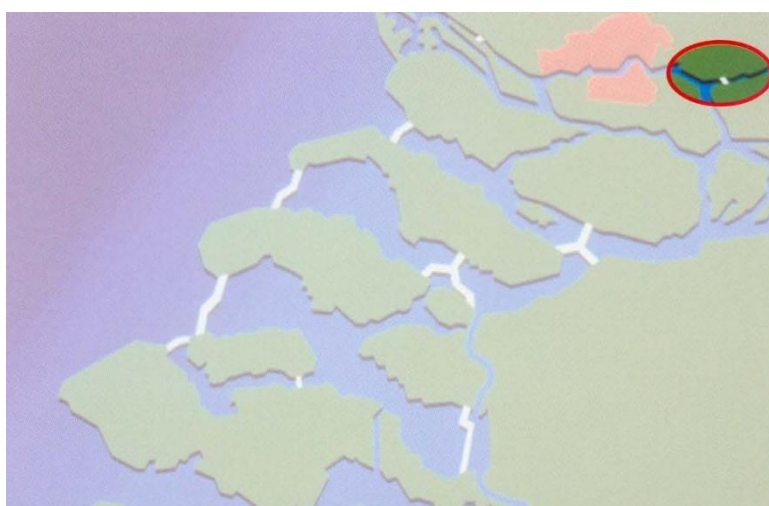
5.3.1. Το φράγμα στον ποταμό Hollandse IJssel

Το φράγμα στον ποταμό Hollandse IJssel συνδέει το Ρότερνταμ με τη Βόρεια Θάλασσα (Εικόνα 54 ,55, 56). Σε περίπτωση πλημμύρας το νερό του ποταμού δεν θα έχει την δυνατότητα να πλημμυρίσει άλλες εκτάσεις επειδή η αύξηση της στάθμης της θάλασσας θα το ανασχέσει. Υπήρχαν δύο κύριοι λόγοι για την εξεύρεση λύσης για τον κίνδυνο πλημμυρών. Πρώτον ο ποταμός Hollandse IJssel διασχίζει το χαμηλότερο σημείο της Ολλανδίας και δεύτερον πρόκειται για μία από τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές της χώρας (<http://www.deltawerken.com/Hollandse-IJssel-storm-barrier/322.html>).



Εικόνα 54. Το φράγμα στον ποταμό Hollandse IJssel.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Hollandse-IJssel-storm-barrier/322.html>)



Εικόνα 55. Σχετική θέση φράγματος στον ποταμό Hollandse IJssel.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)

Αρχικά η κατασκευή ενός μισόκλειστου-μόνιμου φράγματος στον ποταμό Hollandse IJssel δεν ήταν αποτελεσματική ιδέα κυρίως διότι θα καταστούσε αδύνατη τη κυκλοφορία λόγω ναυσιπλοΐας. Επιπλέον έπρεπε να διασφαλιστεί ότι η απορροή από τον ποταμό θα μπορούσε να εκβάλλει στη θάλασσα χωρίς κανένα πρόβλημα και ένα φράγμα αντιμετώπισης των κυμάτων καταιγίδας όπως λειτουργεί στο ανατολικό τμήμα του ποταμού Σελντ, θα έλυνε το πρόβλημα. Αυτό το φράγμα θύελλας θα έκλεινε μόνο σε περίπτωση υψηλής στάθμης του νερού, έτσι ώστε η κίνηση των πλοίων να παραμείνει ανεμπόδιστη σε όλη την υπόλοιπη διάρκεια του έτους. Έχουν κατασκευαστεί δύο πύργοι στις δύο όχθες του ποταμού και έχει αναρτηθεί ζεύγος τεράστιων θυρών με μήκος 80 m μεταξύ των πύργων. Αυτές οι θύρες είναι σε θέση να κινούνται κατακόρυφα και όταν υπάρχει κίνδυνος πλημμύρας, οι θύρες μετακινούνται προς τον ποταμό βυθιζόμενες στο νερό. Εκτός από το κινητό φράγμα κατασκευάστηκε μία διώρυγα ρύθμισης της στάθμης του ύδατος για τα πλοία που είναι πάρα πολύ ψηλά και δεν μπορούν να περάσουν κάτω από τις θύρες.

5.3.1.1. Η Ιστορία του Ποταμού Hollandse IJssel

Ο ποταμός Hollandse IJssel ρέει σε μια κατεύθυνση δυτικά προς τη Βόρεια Θάλασσα μέσω των επαρχιών της Ουτρέχτης και της Νότιας Ολλανδίας. Έως τα τέλη του 13^{ου} αιώνα, ο ποταμός ήταν ένας μεγάλος παραπόταμος του Ρήνου, αλλά μεταξύ του 1285 και του 1292 χωρίστηκε από τον ποταμό Lek με την κατασκευή ενός νέου φράγματος. Ο ποταμός ήταν φραγμένος κοντά στην περιοχή Klarhek κοντά στην Ουτρέχτη, από τον Δούκα Floris τον 5^ο. Το πιθανότερο είναι ότι την εποχή εκείνη ο ποταμός ήταν φραγμένος λόγω του κινδύνου των πλημμύρων στις γύρω περιοχές ωστόσο επειδή το ποτάμι έγινε λασπώδες έχασε την δυνατότητα για την κυκλοφορία των πλοίων (<http://www.deltawerken.com/The-river/450.html>).



Εικόνα 56. Διαφορετική όψη του φράγματος.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-river/450.html>)

Κατά την περίοδο κατά την οποία τα στρατεύματα του Ναπολέοντα κατέλαβαν τις Κάτω

Χώρες (1795-1813), ο επιθεωρητής δημοσίων έργων ανέπτυξε ένα σχέδιο βελτίωσης του ποταμού. Το σχέδιο του ήταν να κατασκευάσει ένα φράγμα στο σημείο όπου το σημερινό φράγμα βρίσκεται αυτή τη στιγμή και συγκεκριμένα μεταξύ των περιοχών Krimpen aan de IJssel και Capelle aan de IJssel. Στο σχέδιό του το φράγμα IJssel θα περιελάμβανε τρεις διώρυγες, μία διώρυγα για τη ναυτιλία και την κυκλοφορία και δύο ακόμη για την βελτίωση της απορροής του ποταμού. Οι διώρυγες ήταν απαραίτητες για την καλύτερη παροχή νερού ώστε να εμποδίσει τις εκβολές του ποταμού Nieuwe Maas από την συσσώρευση άμμου και λάσπης. Οι ιδέες για αυτό το φράγμα υπήρχαν μέχρι τα έτη μετά την πλημμύρα της 15^{ης} Ιανουαρίου 1808 σχεδόν 150 χρόνια πριν από τη διαβόητη καταστροφή του 1953 ωστόσο η τεχνική εφευρετικότητα του φράγματος καταιγίδας δεν μπορεί να συγκριθεί με την άρτια κατασκευή του σήμερα.

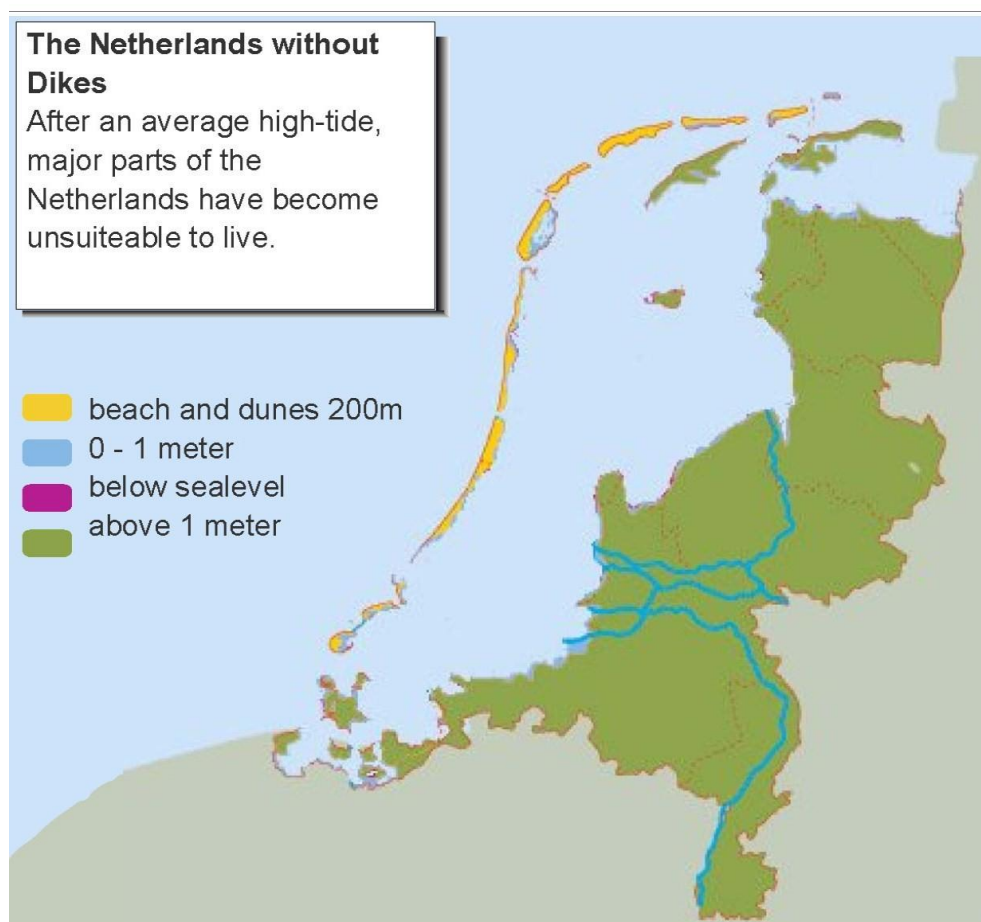
Έναν αιώνα πριν ο ποταμός ήταν φραγμένος κοντά στην περιοχή Γκούντα όπου σε ένα τμήμα μήκους 30 Km κατασκευάστηκαν κανάλια τα οποία αύξησαν την ναυσιπλοΐα. Με την κατασκευή καναλιών και διωρύγων ένα τμήμα του ποταμού είναι πλωτό για πλοία που ζυγίζουν μέχρι 2.000 τόνους ενώ ένα σημαντικό πλεονέκτημα του φράγματος είναι ότι η στάθμη του νερού δεν επηρεάζεται πλέον από τις κινήσεις της παλίρροιας, οπότε το ύψος των αναχωμάτων του ποταμού δεν απαιτούνταν να αυξηθεί.

Εξαιτίας της κατασκευής όλων των φραγμάτων διαχρονικά, η διαφορά στάθμης μεταξύ των χαμηλών και των υψηλών παλιρροιών είναι μόνο 1,7 m. Σήμερα ο ποταμός συνδέεται με τον ποταμό Gouwe-κοντά στην περιοχή Gouda-και εκβάλλει στον ποταμό Nieuwe Maas κοντά στην περιοχή Krimpen aan de IJssel στην περιοχή όπου κατασκευάστηκε το κινητό φράγμα.

5.3.1.2. Σκοπιμότητα του Φράγματος

Τη νύχτα της 31^{ης} Ιανουαρίου 1953 η στάθμη του νερού στον ποταμό Hollandse IJssel ανέβηκε έως το απόλυτο υψόμετρο +3,7 m πάνω από τη μέση στάθμη θάλασσας της Ολλανδίας (NAP). Τα αναχώματα είχαν κατά μέσο όρο απόλυτο υψόμετρο στέψης μόνο στα +4,0 m πάνω από τη μέση στάθμη θάλασσας της Ολλανδίας (NAP) και ήταν σε πολύ άσχημη κατάσταση. Αν τα αναχώματα είχαν σπάσει εκείνο το βράδυ οι συνέπειες θα ήταν καταστροφικές. Κατά τη διάρκεια της καταστροφής στην περιοχή Zeeland, 1 στους 40 κατοίκους έχασαν τη ζωή τους. Αν η ίδια καταστροφή είχε συμβεί στην περιοχή Randstad, ο αριθμός των θυμάτων θα ήταν μεταξύ 25.000 και 35.000 ατόμων, σε σύγκριση με τους 1.835 θανάτους στην περιοχή Zeeland. Αυτό το νούμερο ισούται με 8 έως 12 φορές τον αριθμό των ανθρώπων που πεθαίνουν σε τροχαία ατυχήματα στις Κάτω Χώρες κάθε χρόνο οπότε κάτι έπρεπε να αλλάξει και αυτό ήταν απολύτως σαφές. Η επιτροπή του Δέλτα συμβούλευσε για την κατασκευή ενός κινητού φράγματος καταιγίδας στον ποταμό Hollandse IJssel. Παρόλο που αυτή η κατασκευή συνεπάγεται πολύ υψηλό κόστος, θα εξακολουθούσε να είναι πιο οικονομική σε σχέση με την ενίσχυση και αύξηση του ύψους των υπαρχόντων αναχωμάτων κατά μήκος του ποταμού. Στην Εικόνα 57 φαίνεται ο χάρτης της Ολλανδίας χωρίς την ύπαρξη των αναχωμάτων και η μορφή που θα είχε η χώρα καθώς είναι προφανές ότι το μεγαλύτερο τμήμα της χώρας θα βρισκόνταν κάτω από τη στάθμη της θάλασσας (<http://www.deltawerken.com/Why-a-barrier/451.html>).

Τελικά το σχέδιο που επιλέχθηκε περιελάμβανε την κατασκευή ενός διπλού φράγματος που θα απέτρεπε τα κύματα καταιγίδας με δύο χαλύβδινες θύρες με μήκος 80 m. Αυτές οι θύρες είναι αναρτημένες ανάμεσα σε δύο πύργους-ανελκυστήρες.



Εικόνα 57. Η Ολλανδία χωρίς αναχώματα.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Why-a-barrier/451.html>)

Σε περίπτωση ασυνήθιστων καιρικών συνθηκών οι θύρες μετακινούνται προς τα κάτω και βυθίζονται μέσα στο νερό. Σε φυσιολογικές συνθήκες και για όσο χρονικό διάστημα η στάθμη του νερού δεν αυξηθεί πάνω από το απόλυτο υψόμετρο +2,5 m πάνω από τη μέση στάθμη θάλασσας της Ολλανδίας (NAP), τα πλοία θα είναι σε θέση να πλέουν κάτω από τις θύρες χωρίς πρόβλημα.

Εκτός από το φράγμα κύματος καταϊγίδας, το οποίο ονομάζεται Algerakering, κατασκευάστηκε μια επιπλέον διώρυγα (Εικόνα 58). Αυτή η διώρυγα έχει δύο λειτουργίες. Πρώτον τα πλοία θα μπορούν να πλέουν ακόμη και στην περίπτωση μιας παλιρροϊκής καταϊγίδας και δεύτερον τα πλοία θα μπορούν να πλέουν ακόμη και στην περίπτωση εκτέλεσης εργασιών συντήρησης στο φράγμα επειδή ήταν πολύ σημαντικό να παραμένει ανοιχτός ο ποταμός σε όλες τις περιπτώσεις. Λόγω του μεγέθους και του βάθους του το ποτάμι είναι μία από τις πιο σημαντικές οδούς ναυσιπλοΐας με κατεύθυνση την εσωτερική ναυσιπλοΐα στη Γερμανία.

Η κατασκευή του φράγματος υλοποιήθηκε προκειμένου να αξιοποιηθεί η επιλογή πολλαπλής σύνδεσης στο ποτάμι. Πριν από την κατασκευή του φράγματος, υπήρχε μόνο μια σύνδεση μεταξύ των πορθμείων στον ποταμό Hollandse IJssel.



Εικόνα 58. Διώρυγα στον ποταμό Hollandse IJssel.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Why-a-barrier/451.html>)

Επειδή οι άνθρωποι που ζουν στην περιοχή Krimpenerwaard έπρεπε συχνά να περιμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα προκειμένου να μπορέσουν να διασχίσουν το ποτάμι, κατασκευάστηκε πάνω από το φράγμα μία γέφυρα (Εικόνα 59). Το τμήμα της γέφυρας που βρίσκεται πάνω από τις διώρυγες έχει τη δυνατότητα να μετακινηθεί κατακόρυφα ενώ το τμήμα της γέφυρας πάνω από τις δύο θύρες έχει το ίδιο ύψος με το μέγιστο υψόμετρο των θυρών ώστε η γέφυρα να μην επηρεάσει την κίνηση των πλοίων ενώ διατρέχει ο δρόμος με κωδικό N210 πάνω από τη γέφυρα.



Εικόνα 59. Η γέφυρα στον ποταμό Hollandse IJssel.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Why-a-barrier/451.html>)

5.3.1.3. Μειονεκτήματα

Με την πάροδο των ετών ανέκυψε ένα πρόβλημα. Το αλμυρό θαλασσινό νερό μετακινούνται σταδιακά προς τα δυτικά λόγω της σχετικά μικρής ποσότητας γλυκού νερού που απέρρευε

από τους ποταμούς. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος, η διεπιφάνεια αλμυρού-γλυκού νερού μετακινούνταν όλο και περισσότερο προς τα ανάντι και το φαινόμενο αυτό θα μπορούσε να έχει καταστροφικές συνέπειες για την παροχή πόσιμου νερού. Το νερό των ποταμών Μεύση και Hollandse IJssel χρησιμοποιείται για την παροχή πόσιμου νερού για τους ανθρώπους που ζουν στο Ρότερνταμ και στις γύρω περιοχές. Αν το νερό του ποταμού καταστεί αλμυρό το κόστος για την παροχή πόσιμου νερού είναι μεγάλο δεδομένου ότι το νερό πρέπει αφαλατωθεί (<http://www.deltawerken.com/Drawbacks/452.html>).

Έρευνα έδειξε ότι η κίνηση της παλίρροιας μπορεί να αναγκάσει το νερό να παραμείνει αλμυρό. Η παλίρροια προκαλεί κίνηση στα υδατικά ταμιεύματα γλυκού νερού, χωρίς όμως τη δυνατότητα να αυξήσει τη χωρητικότητά τους. Το ταμίευμα γλυκού νερού εμποδίζει το αλμυρό νερό να ρέει στον ποταμό. Η κατασκευή φράγματος στον ποταμό Hollandse IJssel θα μπορούσε να διαταράξει αυτή την ισορροπία και θα μπορούσε να μετακινήσει τη συνοριακή γραμμή αλμυρού-γλυκού νερού προς τα δυτικά. Εκτός από αυτό τα λύματα από την πόλη Γκούντα θα εκβάλλουν ανεμπόδιστα στη Βόρεια Θάλασσα απαιτώντας παράλληλα νέες εγκαταστάσεις επεξεργασίας και καθαρισμού και νέα δίκτυα αποχέτευσης που θα πρέπει να κατασκευαστούν στην πόλη Gouda. Αυτό είναι σχεδόν αδύνατο για μια παλιά πόλη. Ένα τρίτο μειονέκτημα της κατασκευής ενός κλειστού φράγματος στον ποταμό Hollandse IJssel αφορά κάποιο πρακτικό πρόβλημα. Ο αριθμός των ναυπηγείων που κατασκευάζουν πλοία που ζυγίζουν μέχρι και 2.000 τόνους το καθένα, βρίσκονταν κατά μήκος του ποταμού επομένως για τα πλοία αυτά θα έπρεπε να κατασκευαστούν διώρυγες ρύθμισης της στάθμης των υδάτων στο φράγμα. Ωστόσο δεν θα απαιτούνταν μόνο μία διώρυγα αλλά και μία άλλη για τη ρύθμιση της ροής του νερού και μία επιπλέον για την εσωτερική ναυσιπλοΐα. Αυτό που προκύπτει είναι ότι ακόμη και πριν από την καταστροφή του 1953, είχε ήδη αποφασιστεί να μην κατασκευαστεί μόνιμο κλειστό φράγμα στον ποταμό Hollandse IJssel λόγω των ανωτέρω περιορισμών.

5.3.1.4. Η Κατασκευή

5.3.1.4.1. Βυθοκόρηση

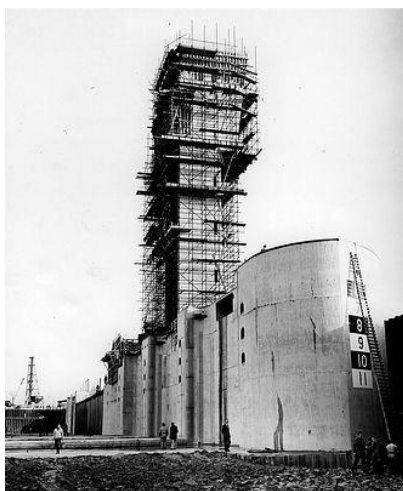
Μετά την καταστροφή του 1953 επιταχύνθηκε η κατασκευή του φράγματος. Οι προετοιμασίες άρχισαν σε λιγότερο από ένα χρόνο, στις 18 Ιανουαρίου 1954. Το φράγμα θα κατασκευαζόταν στις εκβολές του ποταμού Hollandse IJssel στην περιοχή Nieuwe Maas μεταξύ των περιοχών Krimpen aan de IJssel και Capelle aan de IJssel. Σε αυτή τη θέση το ποτάμι έχει πλάτος μόλις 250 m. Προηγουμένως όμως έπρεπε να γίνουν αρκετές προεργασίες προκειμένου να ξεκινήσει πραγματικά η κατασκευή του φράγματος. Πρώτον το εμπόδιο για την ναυτιλιακή κυκλοφορία έπρεπε να διατηρηθεί όσο το δυνατόν μικρότερο. επειδή κατά μέσο όρο 250 πλοία διέρχονται καθημερινά. Με τη βυθοκόρηση ενός τμήματος γης, τα πλοία ήταν σε θέση να κινούνται χωρίς να παρεμποδίζονται ενώ ταυτόχρονα θα μπορούσαν να συνεχιστούν οι εργασίες κατασκευής στις όχθες του ποταμού. Δεύτερον τα στρώματα αργίλου που βρέθηκαν έπρεπε να αφαιρεθούν διότι ήταν πολύ αδύναμα για την θεμελίωση του φράγματος και ο πηλός σκάφτηκε και αντικαταστάθηκε με άμμο. Το πλοίο αναρρόφησης Ahoj, αναρρόφησε την άμμο από την περιοχή Nieuwe Maas κοντά στην περιοχή Vlaardingen και μεταφέρθηκε μέσω πλοίων στην περιοχή Capelle όπου απορρίφθηκε από δύο πλωτούς γεραμούς. Επιπλέον η περιοχή Nieuwe Waterweg έπρεπε να βυθοκορηθεί οπωσδήποτε έτσι ώστε με την αντικατάσταση του πηλού με άμμο τελικά επιτεύχθηκαν ταυτόχρονα δύο στόχοι (<http://www.deltawerken.com/The-construction/453.html>).



Εικόνα 60. Λεπτομερής θέση του φράγματος.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-construction/453.html>)

Τον Ιούλιο του 1954, ολοκληρώθηκαν οι εργασίες βυθοκόρησης και άρχισε η τοποθέτηση των χαλύβδινων τοιχωμάτων του φράγματος ενώ στο εσωτερικό των τοίχων του φράγματος ξεκίνησε η άντληση νερού. Χρησιμοποιήθηκαν περίπου 100 Km από τοίχους-εμπόδια για την υλοποίηση της εκσκαφής θεμελίωσης (Εικόνα 61). Το μεγαλύτερο τμήμα του έργου δεν κατασκευάστηκε πάνω αλλά κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού. Το φράγμα κατασκευάστηκε με τη βύθιση σε βάθος 80 m των απαραίτητων μετάλλων ωστόσο χωρίς τις κατάλληλες εργασίες ενίσχυσης του πυθμένα οι θύρες θα ήταν πολύ βαριές για να θεμελιωθούν στην κοίτη του ποταμού.



Εικόνα 61. Κατασκευή τμήματος φράγματος.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-construction/453.html>)

5.3.1.4.2. Θεμελίωση

Ως αποτέλεσμα κατασκευάστηκε μία ανθεκτική στρώση στο έδαφος για να θεμελιωθούν τα τοιχώματα των φραγμάτων. Μια δεξαμενή με πλάτος 80 m ήταν αναγκαία διότι έπρεπε να

έχει το ίδιο μήκος με τις θύρες που αποδείχτηκε αδύνατο επειδή ένα μεγάλο τμήμα του ποταμού θα έπρεπε να παραμείνει κλειστό για τη ναυτιλία. Ως εκ τούτου κατασκευάστηκαν δύο τεράστιες επιφάνειες που αποτελούνταν από δύο τμήματα με πλάτος 27,5 m η καθεμία ενώ είχαν τοποθετηθεί στη μέση του ποταμού. Στη συνέχεια τα δύο τμήματα συνδέθηκαν μεταξύ τους με δύο επιπλέον τμήματα μήκους 12,5 m, οπότε επιτεύχθηκε η σύνδεση ανάμεσα στις όχθες του ποταμού.

Οι επιφάνειες αυτές κατασκευάστηκαν με ειδικό σχήμα λόγω του κινδύνου ότι το γειτονικό στρώμα εδάφους θα μπορούσε να αποπλυθεί και να διαβρωθεί. Όμως δυστυχώς λόγω αυτού του ειδικού σχήματος η σταθερότητα των επιφανειών τέθηκε σε κίνδυνο επειδή καθώς οι θύρες υποβιβάζονταν μέσα στο νερό, η ταχύτητα του νερού αυξανόταν επειδή η επιφάνεια της διατομής στη ροή του νερού μειώνεται ενώ πριν οι θύρες τοποθετηθούν εντελώς στο χαμηλότερο σημείο, η ταχύτητα ροής του νερού μεγιστοποιείται διαβρώνοντας το έδαφος.

5.3.1.4.3. Κατασκευή Διωρύγων

Κατά τη δεύτερη φάση του έργου κατασκευάστηκε μια διώρυγα στην όχθη στη θέση Karrelle aan de IJssel (Εικόνα 62). Ακριβώς δίπλα στο φράγμα κύματος καταιγίδας πραγματοποιήθηκαν εργασίες κατασκευής διώρυγας σε περιοχή πλάτους 24 m και μήκους 120 m για τις ναυτιλιακές μεταφορές. Οι θύρες αυτής της διώρυγας ζυγίζουν 60 τόνους. Επίσης κατασκευάστηκαν τα θεμέλια για τους ανελκυσμένους πύργους και τα προγεφυρώματα-το τμήμα που συνδέει την γέφυρα με την όχθη. Ωστόσο η κοίτη του ποταμού ήταν και πάλι πολύ αδύναμη για να δεχτεί τόσο ισχυρά φορτία, οπότε έπρεπε να κατασκευαστούν πάσσαλοι θεμελίωσης σε πιο ανθεκτικά εδάφη. Συνολικά τοποθετήθηκαν πάσσαλοι συνολικού μήκους 33 Km στο έδαφος, με κυριότερο όμως πρόβλημα τον θόρυβο των εξοπλισμών κατά τη διαδικασία έμπηξης των πασσάλων.



Εικόνα 62. Κατασκευή διώρυγας.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-construction/453.html>)

5.3.1.4.4. Θύρες

Ενώ συνεχιζόντουσαν οι εργασίες για τις κατώτερες στρώσεις θεμελίωσης, την διώρυγα και

τα προγεφυρώματα, παράλληλα κατασκευάζονταν οι θύρες. Αυτές οι θύρες είχαν μήκος 81,2 m και ύψος 11,5 m (Εικόνα 63). Οι θύρες κατασκευάστηκαν τμηματικά όπως ακριβώς και οι κατώτερες στρώσεις που συγκολλήθηκαν μεταξύ τους αργότερα. Επειδή οι θύρες ζύγιζαν πάνω από 635 τόνους δεν θα μπορούσαν εύκολα να μετακινηθούν οπότε για την ανύψωση και την τοποθέτηση των θυρών, ήταν αναγκαία η χρήση αντίβαρων που αντιστάθμιζαν το βάρος των θυρών. Το αντίβαρο ζύγιζε 460 τόνους και αυτό αιτιολογεί το γεγονός ότι το αντίβαρο είχε μικρότερο βάρος από τις θύρες ώστε να διασφαλιστεί ότι οι θύρες θα βυθίζονταν στο νερό. Οι θύρες μετακινούνται από ηλεκτροκινητήρες στους πύργους. Με τη βοήθεια αυτόνομων γεννητριών υπάρχει πάντα η εξασφάλιση αδιάλειπτης παροχής ενέργειας ακόμη και σε περίπτωση διακοπής ρεύματος αφού η πιθανότητα το φράγμα να μην μπορεί να κλείσει λόγω διακοπής ρεύματος έπρεπε να αποκλειστεί. Για το λόγο αυτό οι εργασίες γίνονταν μόνο σε μία θύρα κάθε φορά. Πριν καν αρχίσουν οι εργασίες κατασκευής της δεύτερης θύρας, η πρώτη θύρα είχε ήδη ολοκληρωθεί οπότε η ενδοχώρα θα εξακολουθούσε να προστατεύεται σε περίπτωση ανοιξιάτικης παλίρροιας. Τελικά η απομένουσα θύρα τοποθετήθηκε μεταξύ των δύο πύργων το 1977.



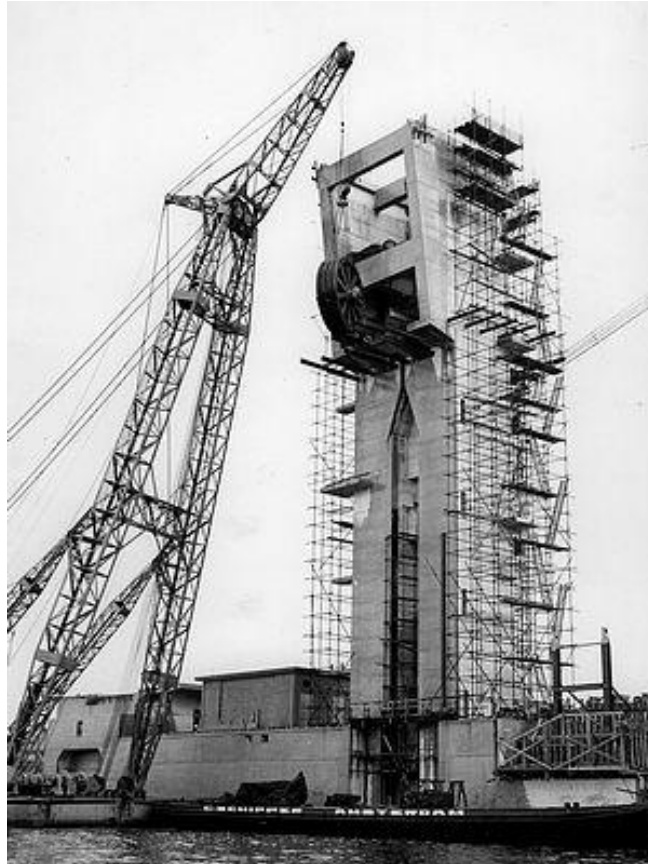
Εικόνα 63. Μεταφορά θυρών.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-construction/453.html>)

5.3.1.4.5. Πύργοι

Οι πύργοι από τους οποίους θα αναρτούνταν οι θύρες ήταν περισσότερο από 45 m σε ύψος (Εικόνα 64). Μετά την κατασκευή τους τα πλοία θα έπρεπε να είναι σε θέση να πλεύουν. Η

κατασκευή των πύργων ολοκληρωνόταν με ρυθμό περίπου τρία μέτρα κάθε εβδομάδα μέχρι την κατασκευή των μηχανισμών ολίσθησης που ξεκίνησε το φθινόπωρο του 1957. Αρχικά εγκαταστάθηκε ο μηχανισμός ολίσθησης ακολουθούμενος από τις διώρυγες, την κινητή γέφυρα, την συνήθη γέφυρα και τελικά λίγες μέρες πριν τα Χριστούγεννα την πρώτη χαλύβδινη θύρα αντιμετώπισης των κυμάτων καταιγίδας. Από εκείνη τη χρονική στιγμή το φράγμα στον ποταμό Hollandse IJssel προστατεύει ένα μεγάλο τμήμα της Νότιας Ολλανδίας κατά την άνοδο του νερού και παρέχει καλύτερη σύνδεση με τα νησιά της περιοχής Zeeland.



Εικόνα 64. Κατασκευή πύργων.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-construction/453.html>)

5.3.2. Το Σχέδιο των Τριών Νησιών

5.3.2.1. Εισαγωγή

Το σχέδιο των Τριών Νησιών οφείλει το όνομά του στα τρία νησιά που συνδέθηκαν με την κατασκευή δύο φραγμάτων στην βόρεια και στην νότια περιοχή του Beveland. Η υπηρεσία Rijkswaterstaat (Υπηρεσία Οδών και Δημοσίων Έργων) είχε εκπονήσει αυτή τη μελέτη πριν από την πλημμύρα του 1953 αλλά ποτέ δεν κατάφερε να την υλοποιήσει. Πριν από την πλημμύρα του 1953 η μόνη προτεραιότητα ήταν η επιχωμάτωση και η αποκατάσταση γης, αλλά μετά την καταστροφή η ασφάλεια έναντι των πλημμυρών έγινε το σημαντικότερο κίνητρο ενώ βελτιώθηκαν οι οδικές συνδέσεις μεταξύ των νησιών. Με την κατασκευή των δύο φραγμάτων η εμπειρία που αποκτήθηκε προστέθηκε στην προηγούμενη εμπειρία βοηθώντας στην κατασκευή ακόμη μεγαλύτερων φραγμάτων. Το πρώτο φράγμα ήταν το Zandkreek Dam το οποίο συνδέει την βόρεια περιοχή του Beveland με τη νότια περιοχή του Beveland. Το δεύτερο φράγμα ήταν το Veerse Gat Dam που συνδέει την βόρεια περιοχή του

Beveland με την περιοχή Walcheren. Το φράγμα Zandkreek κατασκευάστηκε μεταξύ των ετών 1957 και 1961, ενώ το Veerse Gat Dam μεταξύ των ετών 1958 και 1961 ενώ τέλος τα δύο φράγματα αποκόπτουν την περιοχή Veerse Meer από το ανατολικό τμήμα του ποταμού Σελντ και από την Βόρεια Θάλασσα.

5.3.2.2. Το Φράγμα Zandkreek-Παράμετροι Κατασκευής

Λίγο μετά την ολοκλήρωση του φράγματος στον ποταμό Hollandse IJssel, ξεκίνησε η κατασκευή του φράγματος στην περιοχή Sand Creek (ολλανδικά: Zandkreek) (Εικόνα 65, 66) και ήταν ένα από τα δύο φράγματα τα οποία θα συνέδεαν την περιοχή Walcheren με την βόρεια και νότια περιοχή του Beveland σύμφωνα με το "σχέδιο των τριών νησιών" (<http://www.deltawerken.com/Zandkreek-dam/456.html>).

Το φράγμα του Sand Creek δεν θα μπορούσε να κατασκευαστεί αμέσως λόγω του γεγονότος ότι έπρεπε να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράμετροι ώστε να εξασφαλιστεί η επιτυχία της κατασκευής.

1. Το κλείσιμο του φράγματος έπρεπε να πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια της χαμηλής στάθμης των υδάτων και κατά προτίμηση κατά τη διάρκεια της άμπωτης η οποία συμβαίνει δύο φορές το μήνα.
2. Τα τσιμεντένια μπλοκ δεν θα μπορούσαν να βυθιστούν κατά τη διάρκεια ταχυτήτων ροής υψηλότερων από 0,8 m/sec.
3. Τα τσιμεντένια μπλοκ έπρεπε να βυθιστούν με τη βοήθεια ενός γερανού ο οποίος θα διασφάλιζε ότι τα τσιμεντένια μπλοκ θα τοποθετούνταν σε μια ευθεία γραμμή και με ακρίβεια.
4. Μετά την τοποθέτηση ενός τσιμεντένιου μπλοκ, στο ανώτερο σημείο τους έπρεπε να τοποθετηθεί ένα πρόσθετο τμήμα. Η διαδικασία αυτή έπρεπε να γίνει πριν συμβεί η υψηλή παλίρροια διότι το ύψος του τσιμεντένιου μπλοκ χωρίς το πρόσθετο τμήμα στην κορυφή του ήταν μόλις ένα μέτρο πάνω από τη μέση στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας ενώ η υψηλή παλίρροια είχε ύψος 1,5 m πάνω από την ίδια στάθμη. Επομένως εάν το πρόσθετο τμήμα δεν είχε τοποθετηθεί εγκαίρως, τα τσιμεντένια μπλοκ θα πλημμύριζαν από την υψηλή παλίρροια.
5. Την χρονική στιγμή της τοποθέτησης των τσιμεντένιων μπλοκ οι ποσότητες άμμου και πετρών θα έπρεπε να τοποθετηθούν και στις δύο πλευρές του φράγματος δεδομένου ότι το νερό θα μπορούσε να ρέει κάτω από τα μπλοκ.
6. Τέλος οι σύνδεσμοι μεταξύ των μπλοκ έπρεπε να πληρωθούν με κατάλληλο στεγανοποιητικό υλικό.

Το φράγμα Sand Creek έχει μήκος 830 m και συνδέει τη νότια περιοχή του Beveland με την βόρεια περιοχή Beveland ανάμεσα στις περιοχές Goes και Kortgene. Το φράγμα διαχωρίζει το αλμυρό τμήμα του ανατολικού τμήματος του ποταμού Σελντ από την λίμνη γλυκού νερού του Veere. Το φράγμα το οποίο σφραγίζει την λίμνη του Veere από την πλευρά της Βόρειας Θάλασσας ονομάζεται Veerse Gat. Η κατασκευή του φράγματος Sand Creek ήταν αναγκαία, διότι διαφορετικά το φράγμα Veerse Gat δεν θα μπορούσε να είχε κατασκευαστεί.



Εικόνα 65. Το φράγμα Zandkreek.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Zandkreek-dam/456.html>)



Εικόνα 66. Σχετική θέση του φράγματος Zandkreek.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)

Εάν το φράγμα Sand Creek κατασκευαζόταν μετά το φράγμα Veerse Gat, θα υπήρχαν σοβαρά προβλήματα στην κατασκευή του ως αποτέλεσμα των κινήσεων της παλίρροιας. Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία έπρεπε να εξεταστεί η λύση των τσιμεντένιων μπλοκ. Αυτοί οι τσιμεντόλιθοι τοποθετούνταν ο ένας δίπλα στον άλλο στο κλείσιμο του κενού. Όσο απέμενε σταδιακά μικρότερη απομένουσα επιφάνεια του χάσματος, τόσο πιο ισχυρή ήταν η ταχύτητα ροής ενώ η ταχύτητα ροής θα μπορούσε να γίνει τόσο ισχυρή που το τελευταίο μπλοκ δεν θα μπορούσε να σταθεροποιηθεί σε μία θέση. Επιπλέον εάν το φράγμα Veerse Gat είχε κατασκευαστεί χωρίς την υλοποίηση του φράγματος Sand Creek, η διείσδυση του θαλασσινού νερού θα μπορούσε να είχε δημιουργήσει έντονα προβλήματα υφαλμύρωσης στην πίσω πλευρά της περιοχής.

5.3.2.2.1. Τσιμεντένια Μπλοκ-Κατασκευή

Όπως και σε άλλα φράγματα, τα τσιμεντένια μπλοκ διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο κατά τη διάρκεια της κατασκευής του φράγματος Sand Creek (Εικόνα 67). Τα μπλοκ που χρησιμοποιήθηκαν για το φράγμα Sand Creek είχαν μήκος 11 m, πλάτος 7,5 m και ύψος 6 m. Οι διαστάσεις αυτές συγκρίνονται περίπου με αυτές μιας μονοκατοικίας. Τα μπλοκ κατασκευάζονταν κοντά στο χωριό Kats σε νησί στο βόρειο τμήμα της περιοχής Beveland, ωστόσο η διαδικασία κατασκευής αποδείχθηκε δυσκολότερη από ό, τι αναμενόταν αρχικά.



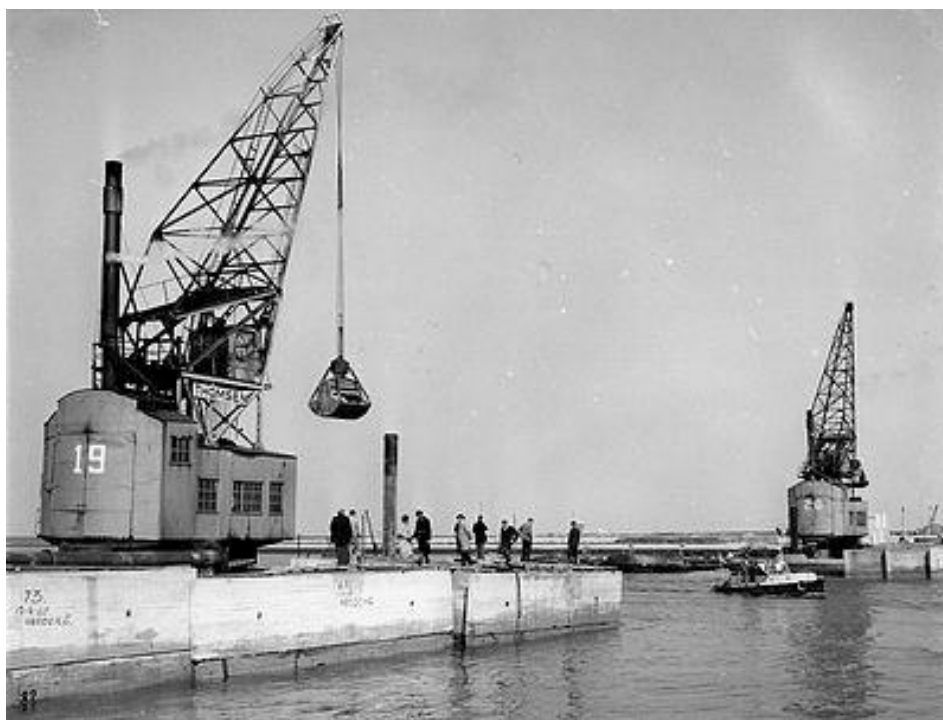
Εικόνα 67. Κατασκευή τσιμεντένιων μπλοκ.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Zandkreek-dam/456.html>)

Ειδικότερα οι τσιμεντένιοι τοίχοι των μπλοκ προκάλεσαν πολλά προβλήματα. Για το λόγο αυτό, αποφασίστηκε να κατασκευάζονται οι τοίχοι σε άλλη θέση και να συναρμολογούνται στη συνέχεια στο χωριό Kats. Σταδιακά ένα-ένα, τα τσιμεντένια μπλοκ τοποθετούνταν το ένα δίπλα στο άλλο με αποτέλεσμα το φράγμα να ολοκληρώνεται βαθμιαία. Ωστόσο, τα μπλοκ δεν τοποθετούνταν στον πυθμένα της θάλασσας αφού ο βυθός της θάλασσας θα μπορούσε να καθιζάνει υπό το τεράστιο βάρος του σκυροδέματος. Έτσι πριν από την τοποθέτηση των μπλοκ, ο βυθός καλύφθηκε με μία στρώση πέτρας μεγάλου πάχους. Τα κενά ανάμεσα στις πέτρες πληρώθηκαν με χαλίκι και άμμο ώστε να εμποδιστεί το νερό να ρέει μέσα από τα κενά της ενισχυτικής στρώσης της πέτρας. Τέλος, στη συνέχεια τα μπλοκ θα καλύπτονταν με στρώση άμμου για στεγανοποιητικούς λόγους ενώ τελικά το φράγμα Sand Creek ολοκληρώθηκε το 1960.

Το κλείσιμο της ανατολικής πλευράς της λίμνης του Veere από το φράγμα Sand Creek ακολούθησε συγκεκριμένη χρονική αλληλουχία εκτέλεσης των εργασιών. Μια κατάλληλη χρονική στιγμή για την κατασκευή του φράγματος ήταν στα τέλη Απριλίου και στις αρχές Μαΐου. Αρχικά, ένα κοίλο τσιμεντένιο μπλοκ τοποθετούνταν στη σωστή θέση ενώ τα μπλοκ βυθίζονταν κατά τη στιγμή κατά την οποία οι κινήσεις της παλίρροιας ήταν όσο το δυνατόν πιο ασθενείς (Εικόνα 68). Ενδεικτικά αναφέρονται οι ημερομηνίες 29 Απριλίου κατά την οποία τοποθετήθηκε το πρώτο μπλοκ, ενώ στις 2 Μαΐου βυθίστηκαν άλλα έξι. Εξαιτίας των ισχυρών ρευμάτων στις 3 Μαΐου μπορούσαν να τοποθετηθούν μόνο τέσσερα μπλοκ οπότε

είχε απομείνει τελικά ένα κενό 20 m, που έκλεισε με δύο επιπλέον μπλοκ στις 4 Μαΐου. Κατά τη διάρκεια τοποθέτησης των τελευταίων μπλοκ αυτά έπλευσαν αντίθετα στη ροή, αλλά ευτυχώς η ταχύτητα ροής δεν ήταν τόσο ισχυρή και έτσι στις 4 Μαΐου στις 14:22 το έργο είχε ολοκληρωθεί.



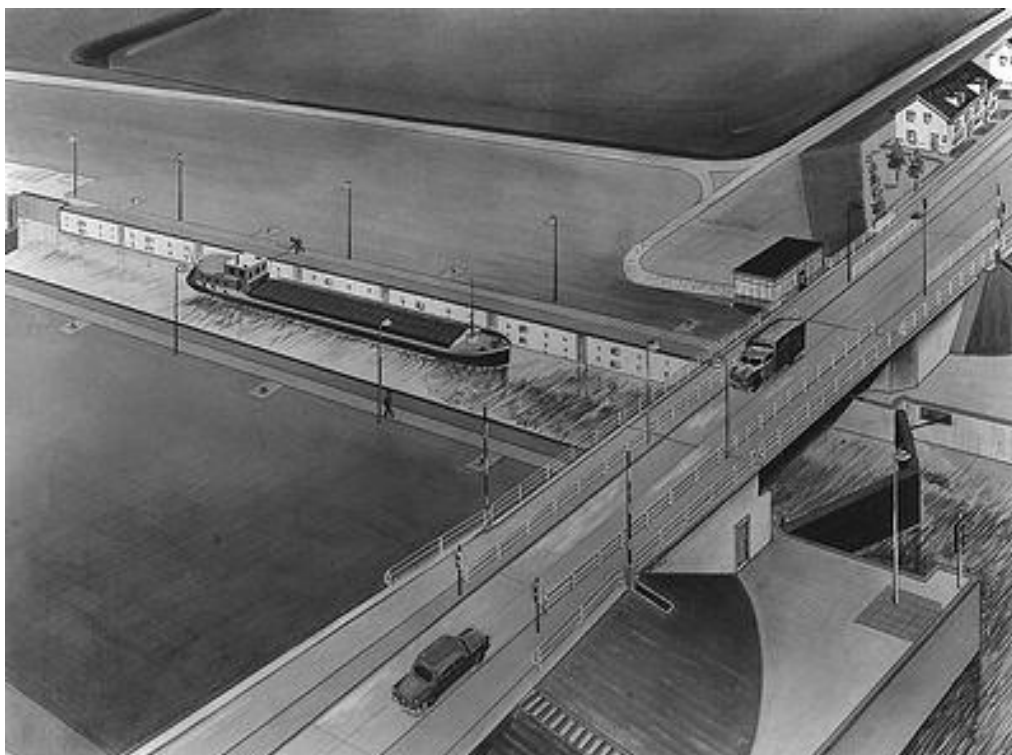
Εικόνα 68. Τοποθέτηση μπλοκ.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Zandkreek-dam/456.html>)

Χρησιμοποιήθηκε ένας ειδικός γερανός για να διασφαλιστεί ότι τα μπλοκ θα τοποθετηθούν στη σωστή διεύθυνση και προσανατολισμό σε σχέση με τις βυθισμένες πέτρες. Μετά την τοποθέτησή τους, αυτά πληρώθηκαν με μεγάλες ποσότητες χαλικιών και άμμου ενώ στη συνέχεια κατασκευάστηκαν επιπλέον τμήματα στην κορυφή των μπλοκ για να αυξηθεί το ύψος τους. Κατά συνέπεια η άμμος ήταν πρακτικά βυθισμένη στα μπλοκ για εννέα ημέρες και το αποτέλεσμα ήταν να σταθεροποιηθούν ικανοποιητικά, ενώ τέλος κατασκευάστηκε μία στρώση ασφάλτου και δρόμος.

5.3.2.2.2. Υλοποίηση Γέφυρας και Διώρυγας

Μετά την ολοκλήρωση του φράγματος το σχέδιο περιελάμβανε την κατασκευή μιας γέφυρας και μιας διώρυγας που θα επέτρεπαν στα πλοία να φθάνουν στις πόλεις Middelburg και Vlissingen μέσω της λίμνης του Veere και της διώρυγας μέσω της περιοχής Walcheren (Εικόνα 69). Χωρίς αυτές τις υποδομές τα πλοία θα έπρεπε να πλέουν γύρω από την περιοχή Walcheren, μέσω της Βόρειας Θάλασσας για να προσεγγίζουν την περιοχή Westerschelde (<http://www.deltawerken.com/Zandkreek-dam/456.html>).



Εικόνα 69. Γέφυρα και διώρυγα φράγματος.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Zandkreek-dam/456.html>)

5.3.2.3. Το Φράγμα Veerse Gat

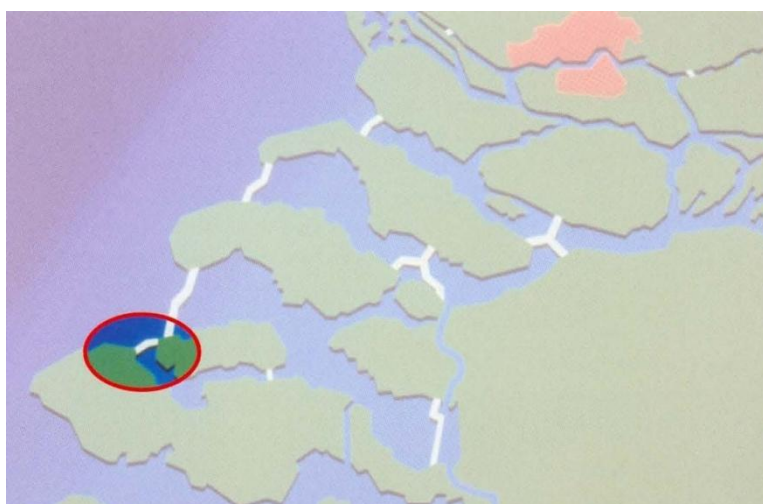
Η κατασκευή του φράγματος η οποία είχε προγραμματιστεί στις εκβολές του ποταμού Veerse Gat και θα συνέδεε την περιοχή Walcheren με την βόρεια περιοχή του Beveland δεν θα ήταν εύκολη. Το φράγμα Veere ή Veerse Gat κατασκευάστηκε το 1961 για την προστασία των περιοχών Walcheren, του βόρειου τμήματος της περιοχής Beveland και του νότιου τμήματος της περιοχής Beveland από μία ενδεχόμενη πλημμύρα (Εικόνα 70, 71). Η κατασκευή όμως αποδείχτηκε περίπλοκο εγχείρημα. Πρώτον η περιοχή Veerse Gat ήταν μεγαλύτερη σε έκταση από την περιοχή Sand Creek (ή Zandkreek). Δεύτερον τα ρεύματα είναι ισχυρά κατά τη διάρκεια όλων των παλιρροιών. Κατά τη διάρκεια τόσο της άμπωτης όσο και της πλημμυρίδας, θα απορρέουν περίπου 70 εκατομμύρια m^3 νερού μέσω των εκβολών. Εάν το κενό γινόταν κλειστό με του ίδιου τύπου τσιμεντένια μπλοκ όπως χρησιμοποιήθηκαν στο φράγμα Sand Creek τα ρεύματα θα γίνονταν πολύ ισχυρά επειδή όσο μικρότερο είναι το κενό τόσο ισχυρότερο είναι το ρεύμα επειδή το νερό είναι αναγκασμένο να ρέει μέσα από μικρότερη επιφάνεια (<http://www.deltawerken.com/Veerse-Gat-Dam/455.html>).

Η λύση δόθηκε με την χρησιμοποίηση των αποστραγγιστικών τσιμεντέινων μπλοκ. Σε αντίθεση με τα ομοιόμορφα τσιμεντένια μπλοκ του φράγματος Sand Creek, αυτά τα τσιμεντένια μπλοκ ήταν ανοικτά. Πρώτον στη θέση στην οποία θα κατασκευάζονταν το φράγμα αποτέθηκε άμμος. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε μία κατώτατη στρώση από πέτρες πάνω στην οποία τα τσιμεντένια μπλοκ θα μπορούσαν να στηριχθούν με ασφάλεια. Τέλος τα τσιμεντένια μπλοκ τοποθετήθηκαν το ένα δίπλα στο άλλο στο κενό το οποίο είχε πλάτος 320 m.



Εικόνα 70. Το φράγμα στην περιοχή Veerse.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-Three-Islands-Plan/323.html>)



Εικόνα 71. Σχετική θέση του φράγματος Veerse Gat.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)

Κατά τη στιγμή της τοποθέτησης τα τσιμεντένια μπλοκ ήταν ακόμη ανοιχτά, έτσι ώστε το νερό να μπορεί να ρέει χωρίς να παρεμποδίζεται μειώνοντας την ταχύτητα ροής του (Εικόνα 72).



Εικόνα 72. Μεταφορά τσιμεντένιων μπλοκ.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Veerse-Gat-Dam/455.html>)

Η ολίσθηση και η τελική τοποθέτηση τους στο χαμηλότερο σημείο δεν θα μπορούσε να γίνει μέχρις ότου η ταχύτητα του ρεύματος γίνει η ελάχιστη και όταν ολοκληρώθηκε η εργασία της τελικής τοποθέτησης το φράγμα μπορούσε να παραδοθεί σε λειτουργία. Δεδομένου ότι η περιοχή Sand Creek είχε ήδη κλείσει, σχηματίστηκε μία νέα λίμνη η λίμνη του Veere ενώ πολλά θα άλλαζαν στη λίμνη του Veere κυρίως επειδή το νερό σταδιακά έγινε αλμυρό.

5.3.2.3.1. Κατασκευή

Το κενό της λίμνης Veerse Gat ήταν σε πλάτος 320 m. Η κατώτερη στρώση εδάφους πάνω στην οποία τα τσιμεντένια μπλοκ θα στηριζόντουσαν, βρισκόταν 11 m κάτω από τη στάθμη αφετηρίας μέτρησης υψομέτρων και ήταν 100 m πλατύ. Η στρώση αυτή δημιουργήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο της κατασκευής φίλτρων, συμβάλλοντας στην προστασία της κοίτης του ποταμού από τη διάβρωση. Μια άλλη λύση για να αποτραπεί η διάβρωση είναι η τοποθέτηση στεγανοποιητικής στρώσης. Το υλικό που χρησιμοποιείται συνήθως είναι λυγαριά που βυθίζεται με τη βοήθεια πετρών. Εξαιτίας των έντονων και επίπονων εργασιών τοποθέτησης της παραπάνω στεγανοποιητικής στρώσης τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον είναι τα γεωυφάσματα. Το γεωύφασμα αποτελείται από ίνες πολυεστέρα όπως στα ρούχα, τα πανιά, και τις κουρτίνες. Αυτές οι ίνες είναι ανθεκτικές στη φθορά, πολύ ελαστικές, και ανθεκτικές στα οξέα. Η κατασκευή της στρώσης που χρησιμοποιήθηκε ως στεγανοποιητική στρώση του φράγματος Veerse Gat περιείχε πολλά στρώματα από πέτρες διαφόρων μεγεθών κόκκων. Η διάμετρος του κόκκου στο ανώτερο και στο κατώτερο στρώμα προσδιορίζεται με τη βοήθεια των προτύπων εξασφαλίζοντας επαρκή αντοχή κατά των ρευμάτων. Η ανώτερη στρώση του φράγματος έγινε από μεγάλες πέτρες έτσι ώστε η κατώτατη στεγανοποιητική στρώση να διατηρεί τη θέση της ακόμη και κατά τη δράση των ισχυρότερων ρευμάτων δηλαδή την χρονική στιγμή λίγο πριν από την τοποθέτηση του

τελευταίου τσιμεντένιου μπλοκ (<http://www.deltawerken.com/The-construction/465.html>).



Εικόνα 73. Τσιμεντένια μπλοκ.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-construction/465.html>)

Τα τσιμεντένια μπλοκ απαιτούνταν να αντιμετωπίσουν πολλές διαφορετικές απαιτήσεις (Εικόνα 73). Πρώτον το φράγμα έπρεπε να είναι ανθεκτικό και σταθερό. Ένα σταθερό φράγμα σημαίνει ότι υπάρχει μικρή πιθανότητα να επηρεαστεί από την πίεση του νερού. Η δεύτερη απαίτηση ήταν ότι τα τσιμεντένια μπλοκ έπρεπε να παρέιχαν τη δυνατότητα βύθισης τους μέσα στο νερό. Επιπλέον τα τσιμεντένια μπλοκ χρειάζεται να είναι σταθερά κατά τη διάρκεια της μεταφοράς και της βύθισης. Τέλος τα τσιμεντένια μπλοκ απαιτούνταν να έχουν καλή υδροδυναμική συμπεριφορά διαφορετικά θα ήταν αδύνατο να μετακινηθούν στις κατάλληλες θέσεις. Για να ικανοποιηθούν όλες οι παραπάνω απαιτήσεις, τα πρότυπα τσιμεντένια μπλοκ τροποποιήθηκαν με διάφορους τρόπους. Πρώτον τα τσιμεντένια μπλοκ τροποποιήθηκαν με ψηλότερα και ισχυρότερα τοιχώματα. Δεύτερον ενισχύθηκαν μόνο τα τμήματα από σκυρόδεμα στα οποία το νερό θα έρεε μέσα από αυτά. Επιπλέον κατασκευάστηκε μια λεκάνη στην κορυφή κάθε υδατοστεγούς κιβωτίου, η οποία θα πληρωνόταν με άμμο στη συνέχεια για να διασφαλιστεί ότι το τσιμεντένιο μπλοκ θα διατηρούσε τη θέση του μετά την τοποθέτηση.



Εικόνα 74. Τοποθέτηση μπλοκ.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-construction/465.html>)

Η κατασκευή του φράγματος Veerse Gat θα ήταν πολύ πιο περίπλοκη χωρίς τη χρήση των νέων τσιμεντένιων μπλοκ. Τα αποστραγγιστικά τσιμεντένια μπλοκ είναι τεράστια μη συμπαγή σώματα που αποτελούνταν από πλωτά τμήματα και ανυψούμενους ολισθηρούς μηχανισμούς που ο καθένας έχει το μέγεθος μιας επταώροφης πολυκατοικίας. Επειδή ήταν μη συμπαγή ήταν σχετικά εύκολο να μεταφερθούν στις θέσεις τους. Τα τσιμεντένια μπλοκ βυθίστηκαν στις θέσεις τους με την πλήρωση αυτών με νερό και στην συνέχεια αφαιρέθηκαν τα πλωτά τμήματα (Εικόνα 74). Στη συνέχεια ανυψώθηκαν οι ολισθηροί μηχανισμοί οπότε το νερό της Βόρειας Θάλασσας θα μπορούσε να ρέει μέσω αυτών ανεμπόδιστα. Όταν τοποθετήθηκαν όλα τα μπλοκ κατέβηκαν ταυτόχρονα οι ολισθηροί μηχανισμοί σε μια χρονική στιγμή κατά την οποία η άμπωτη άλλαξε σε πλημμυρίδα. Τέλος τα τσιμεντένια μπλοκ πληρώθηκαν με πέτρες ενώ για να υπάρχει η εξασφάλιση ότι οι παλίρροιες δεν θα μετακινούσαν τα τσιμεντένια μπλοκ τοποθετήθηκε μία στρώση άμμου από πάνω ως επιπλέον προληπτικό μέτρο με τελική επίστρωση μία ασφάλτινη στρώση. Το αποτέλεσμα ήταν να κατασκευαστεί ένας δρόμος από την πλευρά της λίμνης του Veere και από την πλευρά της Βόρειας Θάλασσας δόθηκε μία μεγάλη παραλία (Εικόνα 75). Στην δεκαετία του ενενήντα ολόκληρη η περιοχή επιχωματώθηκε με άμμο, ενώ στη συνέχεια τοποθετήθηκε βλάστηση. Οι λόγοι που το επέβαλλαν αυτό ήταν κυρίως αισθητικοί ώστε το ασφάλτινο φράγμα να προσεγγίζει οπτικά όσο το δυνατόν έναν αμμόλοφο.



Εικόνα 75. Σφράγισμα της περιοχής Veerse.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-construction/465.html>)

5.3.3. Το Φράγμα Grevelingen

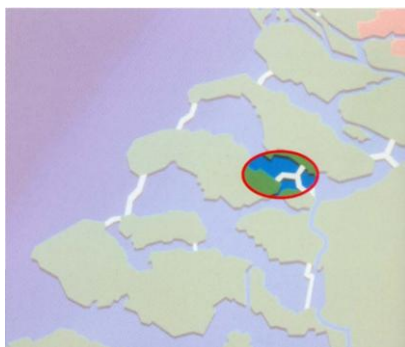
5.3.3.1. Εισαγωγή

Η κατασκευή του φράγματος Grevelingen ξεκίνησε το 1958. Μετά από επτά χρόνια σκληρής δουλειάς το φράγμα είχε ολοκληρωθεί πλέον. Με μήκος έξι χιλιόμετρα το φράγμα Grevelingen ήταν πολύ μεγαλύτερο από το φράγμα Zandkreek και το φράγμα Veerse Gat (Εικόνα 76, 77). Η χρήση τσιμεντένιων μπλοκ δεν ήταν κατάλληλη για αυτό το έργο, οπότε έπρεπε να βρεθεί μια επαναστατική τεχνική που θα χρησιμοποιούνταν για να κατασκευαστεί ένα τμήμα του φράγματος. Εφαρμόστηκε η χρήση καλωδίων για να βυθιστούν μεγάλοι ογκόλιθοι μέσα στο νερό ενώ το υπόλοιπο τμήμα του φράγματος κατασκευάστηκε με τη βοήθεια των συνηθισμένων μεθόδων, όπως την προσθήκη άμμου και βυθίζοντας τα τσιμεντένια μπλοκ.



Εικόνα 76. Το φράγμα Grevelingen.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)

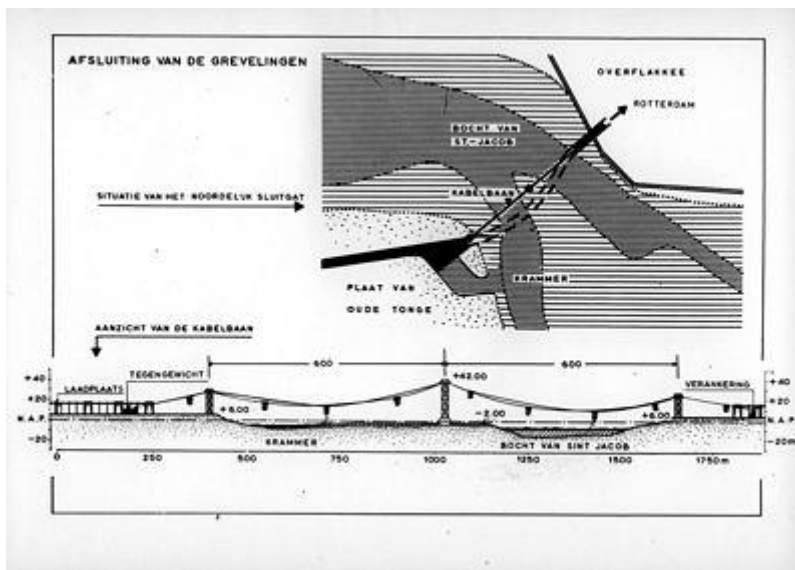


Εικόνα 77. Σχετική θέση φράγματος Grevelingen.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)

Εκτός από την επαναστατική τεχνική κατασκευής, το φράγμα παρουσιάζει ιδιαιτερότητες για έναν επιπλέον λόγο. Μία ιδιαιτερότητα υπήρξε ότι ο κύριος λόγος κατασκευής δεν ήταν η προστασία από τις πλημμύρες. Επειδή η χρησιμότητα κατασκευής των περισσότερων φραγμάτων είναι να προστατεύουν από τις πλημμύρες, στην παρούσα περίπτωση δεν ήταν απαραίτητο εξαιτίας του θαλασσινού νερού. Το φράγμα Haringvliet βρισκόταν στη δυτική πλευρά του φράγματος Grevelingen. Η κατασκευή αυτού του φράγματος ξεκίνησε νωρίτερα το 1956, αλλά οι εργασίες διήρκησαν μέχρι το 1972. Το φράγμα Grevelingen διευκόλυε την κατασκευή του φράγματος Haringvliet, του φράγματος Brouwers και του φράγματος Oosterschelde. Καθώς το φράγμα Brouwers θα κατασκευαζόταν αρχικά, το νερό από τη λίμνη Grevelingen θα μπορούσε να εκβάλλει προς τη θάλασσα μέσω του φράγματος

Haringvliet (στα βόρεια), ή μέσω του φράγματος Oosterschelde (στα νότια) ενώ το ισχυρό ρεύμα που θα δημιουργούνταν δεν ήταν επιθυμητό σε εκείνη τη φάση κατασκευής των έργων.



Εικόνα 78. Μηκοτομή συρματοσχοίνου κατασκευής.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Grevelingen-Dam/328.html>)

5.3.3.2. Εναλλακτικές Θέσεις Κατασκευής

Αρχικά υπήρχαν τέσσερις πιθανές θέσεις κατασκευής του φράγματος Grevelingen. Για κάθε εναλλακτική θέση αξιολογήθηκαν ο σκοπός του φράγματος, το κόστος κατασκευής και η κυκλοφοριακή συμφόρηση μεταξύ των περιοχών Schouwen-Duiveland και Goeree-Overflakkee.

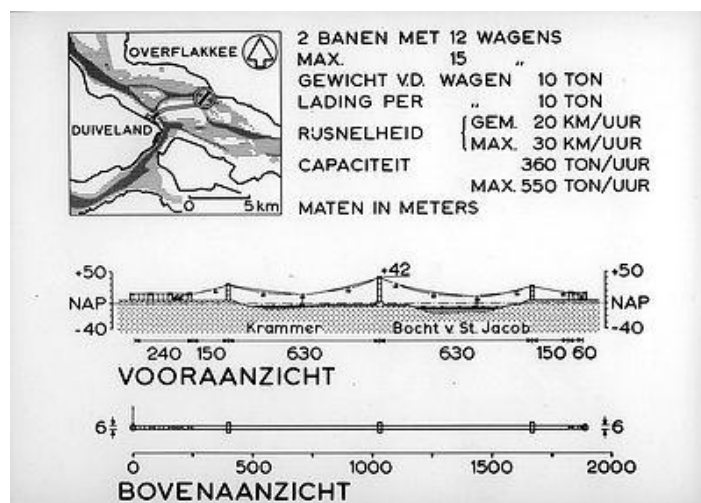
1. Η θέση 1 είχε το μειονέκτημα ότι το φράγμα θα έπρεπε να γεφυρώσει τρία βαθιά κανάλια στην λίμνη Grevelingen. Επιπλέον το φράγμα θα ήταν υπερβολικά μεγάλο και ανέφικτο για οικονομικούς λόγους. Τέλος το φράγμα θα κατασκευαζόταν σε θέση όπου το ρεύμα θα άλλαζε τακτικά κατεύθυνση και για το λόγο αυτό υπήρχε ο κίνδυνος ότι ο πυθμένας κάτω από το φράγμα θα μπορούσε να διαβρωθεί.
2. Τα μειονεκτήματα της θέσης 1 εμφανίζονται και στη θέση 2. Η μόνη διαφορά ήταν ότι το λιμάνι της Oude tonge θα διατηρούνταν στη θέση 2.
3. Η τρίτη εναλλακτική θέση ήταν πολύ φθηνότερη από τις δύο πρώτες επιλογές. Το φράγμα θα διέσχιζε απευθείας την θαλάσσια περιοχή προς τα βόρεια μέσω της νήσου Oude tonge.
4. Η τελευταία θέση ήταν μια παραλλαγή της θέσης 3. Στον σχεδιασμό της θέσης 3, το φράγμα θα διέσχιζε το σημείο όπου τα δύο υπάρχοντα κανάλια της λίμνης Grevelingen έχουν την ίδια κατεύθυνση ωστόσο στην θέση 4 το φράγμα θα διέσχιζε τα κανάλια το καθένα ξεχωριστά.

Μελέτη έδειξε ότι δεν υπήρχε καμία διαφορά μεταξύ των θέσεων 3 και 4 από την άποψη της ασφάλειας. Τελικά επιλέχθηκε η θέση 3 για την κατασκευή του φράγματος επειδή ήταν πιο οικονομική για την κατασκευή σε σχέση με τη θέση 4 (Εικόνα 79) (<http://www.deltawerken.com/Where/424.html>).



Εικόνα 79. Λεπτομερής θέση φράγματος.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Where/424.html>)



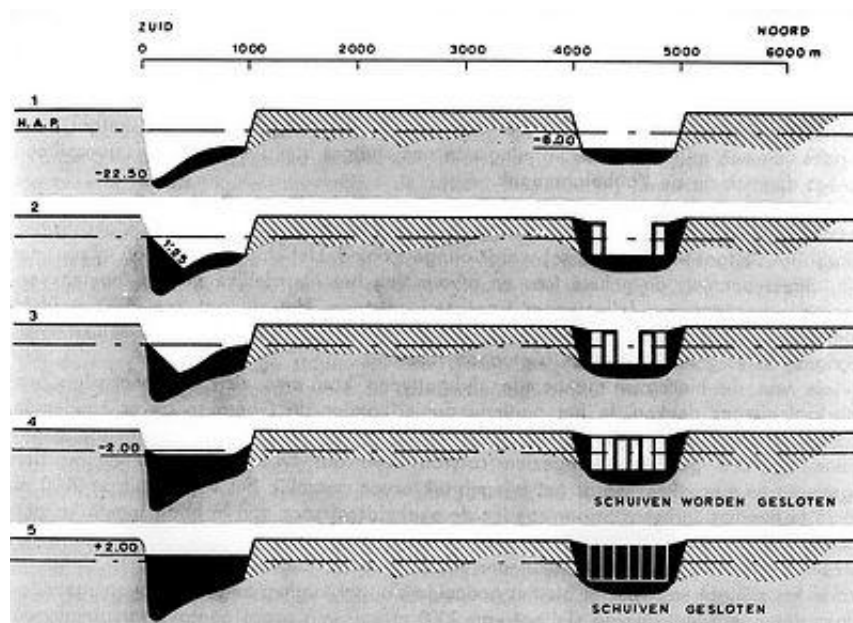
Εικόνα 80. Μηκοτομή εδάφους και προσχώσεων στην περιοχή του φράγματος.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Where/424.html>)

5.3.3.3. Τα Τρία Τμήματα του Φράγματος

Το φράγμα μπορεί να χωριστεί σε τρία εντελώς διαφορετικά τμήματα. Η διάκριση με κατεύθυνση από βορρά προς νότο έχει ως εξής: 1) ένα πλατύ και ρηχό τμήμα, 2) το τμήμα που βρίσκεται στη μέση στάθμη ελεύθερης επιφάνειας των υδάτων-το νησί της Oude tonge και 3) ένα στενό και βαθύ τμήμα (Εικόνα 80, 81). Για κάθε τμήμα χρησιμοποιήθηκε διαφορετική τεχνική κατασκευής. Το νησί της Oude tonge έπρεπε πρώτα ανυψωθεί με άμμο ενώ μετά είχε σειρά η στενή βαθιά νότια περιοχή που θα σφραγιζόταν με τσιμεντένια μπλοκ. Η πλατιά και ταυτόχρονα ρηχή βόρεια περιοχή θα σφραγιζόταν με τη βοήθεια καλωδίων που

θα βύθιζαν μπλοκ στη θάλασσα ενώ για να ολοκληρωθεί το σύνολο του έργου κατασκευάστηκε επιπλέον μια γέφυρα και μια διώρυγα.



Εικόνα 81. Εγκάρσιες τομές περιοχής κατασκευής φράγματος.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-Three-Part-Dam/422.html>)

5.3.3.3.1. Προστατεύοντας το Νησί Oude Tonge

Το 1957 τέσσερα χρόνια μετά από τις πλημμύρες του 1953, το νησί των Oude Tonge προστατεύτηκε με τη βοήθεια μεγάλων ποσοτήτων άμμου που διαμόρφωσαν έτσι την περιοχή ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σημείο εκκίνησης κατασκευής του φράγματος Grevelingen. Μεγάλου μήκους σωλήνες συνδέονταν με αντλίες άμμου στη Βόρεια Θάλασσα μεταφέροντας άμμο στο νησί. Το νέο ανυψωμένο σύνορο άμμου διαχώρισε το φράγμα Grevelingen σε δύο χαρακτηριστικά τμήματα δημιουργώντας έτσι και ξεχωριστά ρεύματα (Εικόνα 82).



Εικόνα 82. Σφράγισμα με τσιμεντένια στοιχεία.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-Three-Part-Dam/422.html>)

5.3.3.2. Το Σφράγισμα του Βορείου Τμήματος

Από την πλευρά της περιοχής του Schouwen-Duiveland, το κανάλι ήταν μόλις 600 m σε πλάτος και 20 m σε βάθος. Το ρεύμα ήταν πολύ ισχυρότερο από ό,τι στη βόρεια πλευρά όπου το κενό κλεισίματος ήταν μεγαλύτερο από ένα χιλιόμετρο. Όταν το νησί της Oude Tonge προστατεύτηκε με την κατασκευή αναχωμάτων από άμμο, το νοτιότερο κανάλι στην περιοχή Schouwen-Duiveland πληρώθηκε επίσης με άμμο για να μειωθεί το βάθος με ανώτατο όριο τα πέντε μέτρα ενώ στη συνέχεια στο κανάλι τοποθετήθηκαν τσιμεντένια μπλοκ (Εικόνα 83).



Εικόνα 83. Πλήρωση κενών με άμμο.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-Three-Part-Dam/422.html>)

5.3.3.3. Το Σφράγισμα του Νοτίου Τμήματος

Αφού γεφυρώθηκε μία έκταση μήκους 600 m στην περιοχή Schouwen-Duiveland μέσω του νησιού Oude Tonge, παρέμεινε ένα κενό συνολικού μήκους ενός χιλιομέτρου. Αντί να χρησιμοποιηθούν τσιμεντένια μπλοκ χρησιμοποιήθηκε μια νέα μέθοδος κατασκευής για να προστατευτεί η περιοχή. Η χρήση καλωδίων που εφαρμόστηκε βοήθησε στο να βυθιστούν μεγάλες πέτρες (Εικόνα 84). Ειδικές βάσεις-διατάξεις ήταν αναρτημένες στο καλώδιο στις οποίες ήταν συνδεδεμένα ειδικά σιλό και δίχτυα. Τα δίχτυα φορτώνονταν με άμμο, τσιμέντο, μπετόν και ογκόλιθους τα οποία βυθίζονταν στο νερό κατά μήκος ορισμένων τμημάτων του φράγματος. Το πρόβλημα που ανέκυψε ήταν ότι το κενό ήταν τόσο μεγάλων διαστάσεων σε ορισμένα σημεία που τα τσιμεντένια μπλοκ κρίνονταν πλέον ανεπαρκή (<http://www.deltawerken.com/The-Three-Part-Dam/422.html>).



Εικόνα 84. Απόρριψη πετρών στη θάλασσα.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-Three-Part-Dam/422.html>)

5.3.3.4. Η Χρήση Καλωδίου

Η Γαλλική εταιρεία Neuyric από κοινού με το Υπουργείο Οδών και Δημοσίων Έργων ανέλαβε το σχεδιασμό και την κατασκευή της διάταξης με χρήση καλωδίου. Στην ακτή του Goeree-Overflakkee κατασκευάστηκε ένας μεταβατικός σταθμός, ενώ τοποθετήθηκε μια προβλήτα στη μέση του κενού κλεισίματος ως σημείο στήριξης καθώς επίσης στο νησί της Oude Tonge υπήρχε ένας μεταβατικός σταθμός και ένας ανεφοδιασμού (Εικόνα 85). Ρυθμιζόμενα αντίβαρα στο νησί παρείχαν μια σταθερή προένταση στο καλώδιο. Οι ειδικοί μηχανισμοί κίνησης βρίσκονταν κατά μήκος και πάνω από τα καλώδια αντί να αναρτηθούν από αυτά. Κάθε ένας είχε ανεξάρτητο κινητήρα και ελεγχόταν από έναν οδηγό. Ζύγιζαν περίπου 100.000 κιλά ο καθένας και μπορούσαν να μεταφέρουν περίπου 10.000 κιλά πέτρες. Το όριο ταχύτητας είχε οριοθετηθεί στα 32 Km/h, αλλά η μέση ταχύτητα ήταν περίπου 18 Km/h ενώ οι ταχύτητες αυτές επιτεύχθηκαν με τη χρήση κινητήρων ισχύος 200-240 ίππων.



Εικόνα 85. Εγκατάσταση μεταφοράς υλικών κατασκευής.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Cable-way/423.html>)

Στις 3 Αυγούστου 1963, τοποθετήθηκαν οι πρώτοι μηχανισμοί κίνησης πάνω στα καλώδια τα οποία ήταν πάχους ενενήντα δύο εκατοστών. Μέχρι τις 24 Αυγούστου 1964, το πρόγραμμα εκτέλεσης εργασιών ήταν πολύ πιο αποτελεσματικό με το μηχανισμό μεταφοράς υλικών και σε θέση να λειτουργεί κατά τη διάρκεια ολόκληρης της νύχτας. Ο χρόνος που απαιτούνταν από την φόρτωση μέχρι το σημείο απόρριψης των υλικών ήταν είκοσι λεπτά (Εικόνα 86). Κάθε χρονική στιγμή λειτουργούσαν δέκα μεταφορικοί μηχανισμοί με τη χρήση καλωδίου οι οποίοι εκφόρτωναν από κοινού περίπου τριακόσιους τόνους υλικού στο φράγμα Grevelingen κάθε ώρα, ενώ απαιτήθηκαν συνολικά 190.000 τόνοι υλικού.



Εικόνα 86. Μεταφορά υλικών κατασκευής.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Cable-way/423.html>)

Στο νησί της Oude Tonge κατασκευάστηκε μια περιοχή αποθήκευσης για τα δομικά υλικά όπως για την άμμο, το τσιμέντο, τις πέτρες και τους βράχους. Στο χώρο εκτέλεσης εργασιών υπήρχαν περίπου 55.000 τόνοι από πέτρες και 80.000 τόνοι από ογκόλιθους. Επιπλέον υπήρχε ένα απόθεμα περίπου 60.000 τόνων. Έτσι συνολικά περισσότερα από 195 εκατομμύρια κιλά από πέτρες υπήρχαν διαθέσιμες για να ολοκληρωθεί το φράγμα Grevelingen. Αυτό το βάρος ισούται με το συνδυασμένο βάρος 39.000 ελεφάντων. Οι ειδικοί μεταφορικοί μηχανισμοί ξεκινούσαν την λειτουργία τους στο σταθμό του νησιού Oude Tonge. Το δίκτυο το οποίο ήταν αναρτημένο στον μεταφορικό μηχανισμό χαμήλωνε σε μια πλατφόρμα φόρτωσης, όπου ένα φορτηγό το γέμιζε με πέτρες και ύστερα το φορτωμένο δίκτυο σταθεροποιούνταν στο καλώδιο.

Η πρώτη στρώση πετρών που βυθίστηκε αποτελούνταν από χοντρά χαλίκια, βάρους από 10 έως και 300 χιλιόγραμμα ανά τεμάχιο (Εικόνα 87). Όμως ήταν πολύ μικρού μεγέθους για το μέγεθος των κενών του δικτυού και έπεφταν μέσα στο νερό πριν το σωστό σημείο απόρριψης. Μια λύση έπρεπε να βρεθεί στην περιοχή επειδή δεν είχε ποτέ χρησιμοποιηθεί προηγουμένως η μέθοδος αυτή μεταφοράς υλικών με τη χρήση καλωδίου για ένα τέτοιο μεγάλης κλίμακας έργο. Αρχικά ειδικά κομμάτια καμβά τοποθετούνταν στα δίκτυα αλλά αυτά τα κομμάτια διαλύονταν γρήγορα ενώ επιπροσθέτως χρησιμοποιήθηκαν ειδικές ταινίες στα δίκτυα αντί του καμβά.

Το κόστος ήταν πολύ υψηλό αφού όλη σχεδόν η ποσότητα πέτρας έπρεπε να αγοραστεί από

το εξωτερικό. Για το λόγο αυτό αξιολογήθηκαν μια σειρά μεθόδων ώστε να αξιοποιηθεί η άμμος της νήσου Oude Tonge.

1. Η πρώτη μέθοδος αναφέρεται στην ανάμιξη μεγάλου όγκου άμμου με νερό. Η υγρή λάσπη που δημιουργούνταν αναμειγνύονταν σε μεγάλους ειδικούς σάκους αποθήκευσης μέσω ενός σωλήνα-αναδευτήρα. Αυτοί οι σάκοι οι οποίοι αποτελούνταν από φυσικές και συνθετικές ίνες ζύγιζαν 2.500 κιλά ο καθένας χωριστά.
2. Η δεύτερη μέθοδος ήταν να αντικαταστήσουν το νερό με άσφαλο. Το πρόσθετο κόστος για την άσφαλο αντισταθμίστηκε από τη μείωση του κόστους των διαφορετικού τύπου σάκων που απαιτούνταν.
3. Η τρίτη μέθοδος ήταν μια παραλλαγή της δεύτερης και αφορούσε τη χρήση όσο το δυνατόν λιγότερης ποσότητας ασφάλτου τόσης ώστε η χρήση των ειδικών σάκων να μην ήταν πλέον απαραίτητη. Στην πραγματικότητα το υλικό που σχηματίζονταν δεν ήταν παρά ένα γιγαντιαίο κομμάτι ασφάλτου αναμειγμένο με άμμο.
4. Η τελευταία μέθοδος που διατυπώθηκε ήταν η πλήρωση των σάκων με άμμο. Κατά συνέπεια η πίεση του αέρα στους σάκους ήταν μειωμένη με αποτέλεσμα οι σάκοι να καταστούν πιο ανθεκτικοί.

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής του φράγματος, έπρεπε να διεξαχθούν πλήθος μετρήσεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα για να εξασφαλιστεί ό,τι όλα προχωρούσαν σύμφωνα με το σχέδιο. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν ειδικές υδραυλικές διατάξεις καθορισμού της ροής για να βεβαιωθεί ότι ο πυθμένας δεν διαβρωνόταν. Οι πέτρες που είχαν βυθιστεί μπορούσαν να κινηθούν κατά τη διάρκεια των ισχυρών ρευμάτων προκαλώντας διάβρωση του πυθμένα. Για να συγκεντρωθούν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες, οι μετρήσεις έγιναν σε μια περιοχή επιφάνειας περίπου ενός τετραγωνικού χιλιομέτρου.



Εικόνα 87. Απόρριψη υλικών.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Cable-way/423.html>)

Το μέγεθος της περιοχής εκτέλεσης μετρήσεων μειωνόταν σταδιακά κατά την διάρκεια κατασκευής του φράγματος ενώ παράλληλα μειωνόταν και ο κίνδυνος μετακίνησής του όσο η κατασκευή του φράγματος εξελισσόταν. Ωστόσο η καταγραφή των μετρήσεων εντατικοποιήθηκε κάποια στιγμή, αφού από τις αρχές του 1962 οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν κάθε μήνα ενώ από τον Ιούλιο του 1964 πραγματοποιούνταν σε εβδομαδιαία βάση (<http://www.deltawerken.com/Cable-way/423.html>).

5.3.3.5. Κατασκευή Διώρυγας και Γέφυρας

Όταν το φράγμα είχε ολοκληρωθεί κατασκευάστηκε μία διώρυγα. Η κίνηση πλοίων που γινόταν μέσω αυτής της διώρυγας κατά κύριο λόγο αποτελούνταν από πλοία αλιείας, σκάφη εσωτερικής ναυσιπλοΐας, πλοία ακτοπλοΐας καθώς και πλοία αναψυχής. Επίσης οι ανάδοχοι κατασκευής του φράγματος Brouwers χρησιμοποίησαν την διώρυγα αυτή για το κλείσιμο της λίμνης Brouwershaven (Brouwershavensche Gat) στα δυτικά του φράγματος Grevelingen. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του φράγματος Brouwers ήταν συχνά τόσο ογκώδη ώστε έπρεπε να κατασκευαστεί μία επιπλέον μεγάλη διώρυγα από την οποία να μπορούν να διέρχονται αυτά τα υλικά. Το μεγαλύτερο πλοίο που θα περνούσε είχε μέγιστο μήκος εκατό μέτρα ενώ το μεγαλύτερο ρυμουλκό πλοίο είχε μέγιστο μήκος είκοσι μέτρα. Όσον αφορά το πλάτος της το μεγαλύτερο πλοίο που θα μπορούσε να περάσει ήταν μια βυθοκόρος αναρρόφησης άμμου με πλάτος δεκατέσσερα μέτρα και κατά συνέπεια οι διαστάσεις της διώρυγας έπρεπε να είναι 135 επί 16 m. Το απαιτούμενο βάθος της διώρυγας ήταν το πιο δύσκολο θέμα προς προσδιορισμό, επειδή η στάθμη του νερού στη λίμνη Grevelingen μπορούσε να μεταβληθεί λόγω της κατασκευής του φράγματος Brouwers δυτικά. Μετά από εκτεταμένη έρευνα, βγήκε το συμπέρασμα ότι το βάθος των 5,5 m ήταν αρκετό. Τα πλοία με βύθισμα άνω των 3,8 m δεν θα μπορούσαν να περάσουν ενώ το επίπεδο της στάθμης του νερού δεν έπρεπε να καταστεί χαμηλότερα από το ένα μέτρο κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 88. Θυρόφραγμα στο φράγμα Grevelingen.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Lock-and-bridge/425.html>)

Η διώρυγα κατασκευάστηκε από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι θύρες ήταν κατασκευασμένες από χάλυβα λόγω της μεγάλης επιφάνειάς τους. Τα θυροφράγματα κατασκευάζονταν κανονικά από γρανίτη, αλλά για διάφορους λόγους όπως οικονομικοί, χρόνοι παράδοσης και πολυπλοκότητας διαδικασιών διάθεσης επιλέχθηκε ως το τελικό υλικό κατασκευής ο χάλυβας (Εικόνα 88). Οι ολισθηροί μηχανισμοί των θυροφραγμάτων ήταν ίδιοι με τους ολισθηρούς μηχανισμούς των διωρύγων. Η μόνη διαφορά ήταν ότι ήταν αναγκαίοι μεγαλύτεροι μηχανισμοί για τη ρύθμιση της ναυτιλίας, καθώς και για το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης Grevelingen. Οι ολισθηροί μηχανισμοί χωρίστηκαν σε εννέα τμήματα με οκτώ συνδέσμους μεταξύ τους. Οι πλάκες διαστάσεων τριών επί εννέα μέτρων τοποθετήθηκαν η μία δίπλα στην άλλη και ως αποτέλεσμα δημιουργήθηκε μια μεγάλη δεξαμενή στην οποία τοποθετήθηκαν οι θύρες.

Η γέφυρα κατασκευάστηκε πάνω από το φράγμα καθώς λειτούργησε ως η κύρια οδική σύνδεση μεταξύ των περιοχών Schouwen-Duiveland και Goeree-Overflakkee. Η γέφυρα είχε πλάτος περίπου 11 m, με 8 m από αυτά διαθέσιμα για τον αυτοκινητόδρομο και τα υπόλοιπα 3,25 m για την κυκλική πορεία. Το κατώτερο τμήμα της γέφυρας τοποθετήθηκε σε απόλυτο υψόμετρο 6,5 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας μειώνοντας έτσι την αναγκαιότητα ανοίγματος της γέφυρας σε περίπτωση διέλευσης πλοίων (<http://www.deltawerken.com/Lock-and-bridge/425.html>).

5.3.4. Το Φράγμα Volkerak

5.3.4.1. Εισαγωγή

Το φράγμα Volkerak είναι ένα δευτερεύον φράγμα (Εικόνα 89, 90, 91). Αυτό σημαίνει ότι το φράγμα είχε κατασκευαστεί για να κάνει δυνατή την κατασκευή άλλων φραγμάτων, όπως του φράγματος Oosterschelde, του φράγματος Brouwers και του φράγματος Haringvliet. Το φράγμα Volkerak έχει μια συνδετική και μία διαχωριστική λειτουργία. Από τη μια πλευρά το φράγμα συνδέει τις περιοχές του βορεινού τμήματος του Brabant, την Goeree-Overflakkee και την Hoekse Waard μεταξύ τους ενώ από την άλλη πλευρά το φράγμα διαχωρίζει τρεις θαλάσσιες περιοχές αυτές της Hollandsch Diep, της Haringvliet και της Volkerak. Στην πραγματικότητα το φράγμα αποτελείται από τρία τμήματα τα οποία συναντώνται στην περιοχή Hellegats και το σύνολο του έργου μοιάζει με το βέλος της κατασκευάστριας εταιρίας αυτοκινήτων Mercedes. Τα τμήματα αυτά είναι:

1. Ένα φράγμα από την περιοχή Hellegats έως την περιοχή Goeree-Overflakkee.
2. Ένα φράγμα συμπεριλαμβανομένης μιας διώρυγας από την περιοχή Hellegats έως την περιοχή του βόρειου Brabant.
3. Μια γέφυρα από την περιοχή Hellegats έως την περιοχή Hoekse Waard.

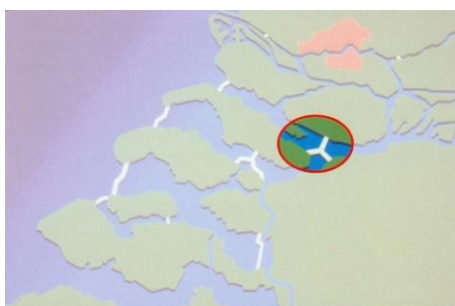
Η κατασκευή του φράγματος άρχισε το 1957. Το πρώτο μέρος του φράγματος Volkerak αποτελούνταν από ένα κλειστό φράγμα από την περιοχή Goeree έως την περιοχή Hellegatsplaat. Δεν απαιτήθηκε ούτε η χρήση καλωδίων ούτε τσιμεντένιων μπλοκ για την κατασκευή αυτού του τμήματος. Το κενό πληρώθηκε με άμμο μέχρι να σφραγιστεί εντελώς. Το δεύτερο μέρος του φράγματος Volkerak αποτελούνταν από ένα σταθερό κομμάτι του φράγματος με διώρυγα, η οποία συνέδεε την περιοχή Hellegatsplaat με την βόρεια περιοχή του Brabant.



Εικόνα 89. Το φράγμα Volkerak.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)

Το σταθερό μέρος έκλεισε με τσιμεντένια μπλοκ. Η διώρυγα ήταν απαραίτητη για να επιτρέπεται η ναυτιλιακή κυκλοφορία μεταξύ του Ρότερνταμ και της Αμβέρσας. Εν τω μεταξύ, έπρεπε να παρεμποδιστεί η εκβολή μεγάλων ποσοτήτων γλυκού νερού του ποταμού Μεύση και του ποταμού Waal στα αλμυρά νερά του Zeeland. Το τρίτο μέρος του φράγματος Volkerak ήταν μια γέφυρα από την οποία το νερό από τα μεγάλα ποτάμια θα μπορούσε να εκβάλλει στην περιοχή Haringvliet ενώ επιπροσθέτως κατασκευάστηκε ένας τεράστιος οδικός κόμβος στο σημείο όπου συναντιούνται και τα τρία παραπάνω τμήματα ενώ το φράγμα Volkerak ολοκληρώθηκε το 1969.



Εικόνα 90. Σχετική θέση φράγματος Volkerak.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)

5.3.4.2. Το Φράγμα από την περιοχή Hellegatsplein έως την περιοχή Goeree-Overflakkee

Η κατασκευή του φράγματος ήταν μια περίπλοκη επιχείρηση, η οποία αποτελούνταν ταυτόχρονα από το κλείσιμο του φράγματος Volkerak και τη γεφύρωση της περιοχής Haringvliet.



Εικόνα 91. Τα θυροφράγματα στο φράγμα Volkerak.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Volkerak-Dam/326.html>)

Το φράγμα διασχίζει μια τεράστια απογυμνωμένη περιοχή, που βρίσκεται στη διασταύρωση των περιοχών Hollandsch Diep, Haringvliet και του φράγματος Volkerak. Το φράγμα από την περιοχή Goeree έως την περιοχή Hellegats έπρεπε να καλύψει ένα κενό μήκους 4,5 Km. Το τμήμα αυτό αποτελούνταν από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος είχε μήκος 4 Km και καλυπτόταν με άσφαλτο. Το δεύτερο είχε μήκος τα υπόλοιπα 450 m και αποτελούνταν από άμμο που ανυψώθηκε στο απόλυτο υψόμετρο των 4,5 m πάνω από τη μέση στάθμη ελεύθερης επιφάνειας ύδατος του Άμστερνταμ (Normal Amsterdam Water Level). Όσο το φράγμα Haringvliet παρέμενε ανοικτό-γεγονός το οποίο θα συνέβαινε μέχρι το 1971-στα περίχωρα του φράγματος Volkerak βρέθηκαν αντιμέτωποι με στάθμη νερών του επιπέδου των 4 m πάνω από τη μέση στάθμη ελεύθερης επιφάνειας ύδατος οπότε για να είναι προετοιμασμένοι οι άνθρωποι για την κατάσταση αυτή, το φράγμα είχε ύψος στέψης 6,75 m πάνω από τη μέση στάθμη ελεύθερης επιφάνειας ύδατος (<http://www.deltawerken.com/The-dam-from-Hellegat-to-Goerree/460.html>).



Εικόνα 92. Απόρριψη ογκόλιθων.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-dam-from-Hellegat-to-Goerree/460.html>)

5.3.4.3. Το Φράγμα από την περιοχή Hellegat προς την Βόρεια περιοχή Brabant

Το φράγμα από τσιμεντένια μπλοκ κατασκευάστηκε σε ένα κανάλι μέσα από το οποίο βαριά ναυσιπλοΐα διακινούνταν μεταξύ του Ρότερνταμ και της Αμβέρσας. Με σκοπό η ναυτιλία να μην παρεμποδιστεί από την τοποθέτηση των τσιμεντένιων μπλοκ, κατασκευάστηκαν διώρυγες. Οι διώρυγες κατασκευάστηκαν στις ανακτημένες εκτάσεις γης κοντά στην πόλη της Willemstad. Η θέση στην οποία επιτελούνταν όλες οι εργασίες είχε περίπου πλάτος 350 m και μήκος 850 m. Οι εργασίες κατασκευής αποτελούνταν από τα παρακάτω τμήματα:

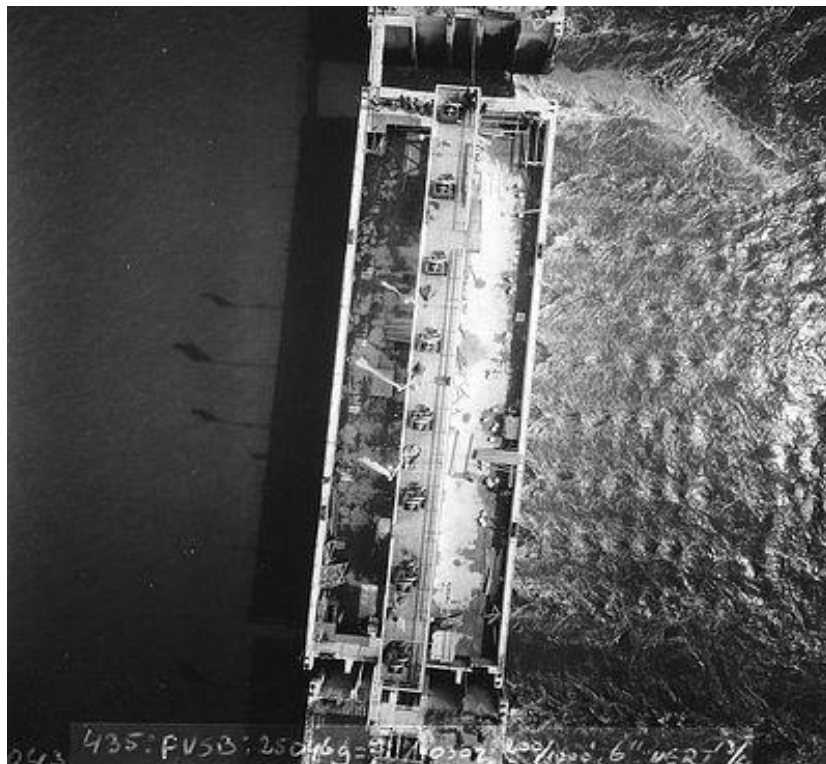
1. Κατασκευή ενός κτιρίου και ενός χώρου αποθήκευσης οι οποίοι βρίσκονταν έξω από το ανάχωμα σε σχήμα δαχτυλιδιού των εκσκαφών.
2. Ένα κανάλι εισόδου το οποίο συνέδεε το χώρο εργασίας με την περιοχή Hollandsch Diep. Το κανάλι αυτό θα έπρεπε να διευρυνθεί σε μεταγενέστερο στάδιο των εργασιών και στη συνέχεια αποτελούσε μέρος του βόρειου λιμένα. Η εργασία αυτή ξεκίνησε το 1968 και ολοκληρώθηκε το 1969.
3. Δημιουργία οδικής σύνδεσης με το εργοτάξιο η οποία έπρεπε να είναι κατάλληλη για μεγάλη κυκλοφοριακή κίνηση.
4. Κατασκευή δρόμων εισόδου στη γέφυρα που θα διοχέτευαν την κυκλοφορία πάνω από τις διώρυγες μελλοντικά.

5.3.4.3.1. Κατασκευή-Περιορισμοί

Το κενό που παρέμεινε ανοιχτό μετά την κατασκευή της διώρυγας θα σφραγίζονταν από δεκατέσσερα μπλοκ. Η τοποθέτηση των μπλοκ πραγματοποιήθηκε με σταθερό τρόπο ενώ τα μπλοκ αναγκάζονταν να επιπλεύσουν όταν το νερό αντλούνταν και μεταφέρονταν από την κατώτατη στρώση εξυγίανσης-θεμελίωσης πάνω από την οποία θα τοποθετούνταν. Τα μπλοκ τοποθετούνταν στην τελική τους θέση την χρονική στιγμή κατά την οποία η ταχύτητα του νερού ήταν αρκετά χαμηλή. Ωστόσο τα μπλοκ έπρεπε να συνδεθούν μεταξύ τους και για να επιτευχθεί αυτό κάθε μπλοκ είχε αποσταλεί πλάγια σε σχέση με τα υπόλοιπα και κατά συνέπεια κατευθύνοντουσαν στη σωστή θέση κατά την αλλαγή διεύθυνσης της παλίρροιας. Όταν το ρεύμα στρεφόταν, τα μπλοκ πληρωνόντουσαν με νερό με αποτέλεσμα αυτά να βυθίζονται και να βρίσκονται στη τελική τους θέση. Ύστερα ειδικά διαμορφωμένες λεκάνες στην κορυφή των μπλοκ γέμισαν με άμμο, ενώ παράλληλα τοποθετήθηκαν πέτρες και στις δύο πλευρές των μπλοκ ώστε να προβλεφθεί κάθε τυχόν μετακίνησή τους.

Ήταν πολύ σημαντικό ακόμα και εκείνη την εποχή να διερευνηθούν οι επιπτώσεις στη φύση κατά την κατασκευή αυτού του τμήματος του φράγματος. Η ροή του νερού και η δύναμη του ανέμου δεν ήταν δυνατόν να υποτιμηθούν αφού η χρονική περίοδος κατά την οποία το φράγμα κατασκευαζόταν θα μπορούσε να επηρεάσει την επιτυχία του έργου. Τα μπλοκ θα τοποθετούνταν μεταξύ 8 και 25 Απριλίου, διότι την περίοδο αυτή αναμένονταν ελάχιστες καταιγίδες. Το πιο σημαντικό επίσης ήταν η περίοδος ελάχιστης απορροής των ποταμών Μεύση και Waal τον Απρίλιο σε σχέση με τον Μάρτιο. Η αναμονή μέχρι το καλοκαίρι θα σήμαινε υψηλή πιθανότητα μη ολοκλήρωσης του φράγματος πριν το φθινόπωρο. Η ταραγμένη θάλασσα δεν θα έπρεπε να διαταράξει το έργο των μηχανικών και για να αποφευχθεί η διάβρωση του βυθισμένου τμήματος του φράγματος, τα μπλοκ τοποθετήθηκαν πάνω σε μία ενισχυτική στρώση. Ο πυθμένας προστατεύτηκε ούτως ή άλλως για να αποτραπούν μεγάλες ποσότητες άμμου να απομακρυνθούν μακροπρόθεσμα ενώ χωρίς αυτή την ενισχυτική στρώση, τα μπλοκ θα είχαν καθιζάνει υπό το μεγάλο βάρος τους. Ήταν

ήδη γνωστό από την εμπειρία κατασκευής του φράγματος Veerse Gat ότι τα μπλοκ θα έπρεπε να τοποθετηθούν όσο το δυνατόν σε μικρότερη απόσταση το ένα σε σχέση με το άλλο. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση αυτή, τόσο μεγαλύτερη όμως είναι η ταχύτητα ροής προκαλώντας μεγαλύτερη ζημιά στην ενισχυτική στρώση οδηγώντας στην πραγματοποίηση πολλών δοκιμών σχετικά με την αντοχή της στρώσης σε Εργαστήριο Υδροδυναμικής (Εικόνα 93) (<http://www.deltawerken.com/The-dam-from-Hellegat-to-Brabant/461.html>).



Εικόνα 93. Σχηματιζόμενα ρεύματα.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-dam-from-Hellegat-to-Brabant/461.html>)

Η τελευταία τοποθέτηση μπλοκ ήταν προγραμματισμένη στις 25 Απριλίου και θα λάμβανε χώρα κατά τη διάρκεια ηρεμίας του νερού. Η ύπαρξη ηρεμίας των νερών γινόταν δύο φορές το μήνα, όταν η διαφορά στάθμης μεταξύ των υψηλών και χαμηλών επιπέδων του νερού ήταν η ελάχιστη δυνατή. Κατά τη διάρκεια της ανοιξιάτικης παλίρροιας, ο ήλιος και η σελήνη είναι σε ευθυγραμμία σε σχέση με τη γη. Κατά τη διάρκεια ηρεμίας του νερού, ωστόσο ο ήλιος και η σελήνη είναι σε ορθή γωνία μεταξύ τους. Κατά συνέπεια η συνδυασμένη επιρροή τους στις παλίρροιας είναι η μικρότερη σε αυτές τις χρονικές στιγμές. Συνολικά χρειάστηκαν είκοσι δύο ημέρες για το σύνολο της επιχείρησης (Εικόνα 94). Αυτός ο χρόνος κατανεμήθηκε σε 16 ημέρες για την βύθιση των μπλοκ και σε 6 ημέρες που είχαν προβλεφθεί για την κάλυψη τυχόν καθυστερήσεων. Οι έξι ημέρες για την κάλυψη τυχόν καθυστερήσεων θεωρούνταν απαραίτητες στην περίπτωση που δεν θα μπορούσε να τοποθετηθεί μια σειρά από μπλοκ στη σωστή θέση.

Εκτός από τα παραπάνω δεδομένα, έπρεπε επίσης να ληφθούν υπόψη πρόσθετες χρονικές παράμετροι. Η ολοκλήρωση τοποθέτησης ενός μπλοκ έπρεπε να είχε γίνει μία ώρα πριν την δύση του ηλίου, διαφορετικά το έργο δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί την νύχτα. Τελικά την 25^η Απριλίου στις 11.27 π.μ., τοποθετήθηκε το τελευταίο μπλοκ στην ενισχυτική στρώση με την τελευταία τοποθέτηση να γίνεται νωρίτερα από το αναμενόμενο.



Εικόνα 94. Τοποθέτηση πρώτου τσιμεντένιου μπλοκ.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-dam-from-Hellegat-to-Brabant/461.html>)

Κατά τη διάρκεια βύθισης των μπλοκ, ήταν πολύ σημαντικό το χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης των εργασιών. Το πρώτο σκέλος ήταν η αναχώρηση από τη θέση κατασκευής των μπλοκ με προορισμό τον χώρο αποθήκευσής τους, το δεύτερο σκέλος ήταν η αποχώρηση από τον χώρο στάθμευσης-αποθήκευσης, προς τη θέση σφραγίσματος των κενών. Το τρίτο σκέλος ήταν η στροφή των μπλοκ. Το τελευταίο αλλά το πιο σημαντικό σκέλος, ήταν το άνοιγμα των ειδικών βαλβίδων με αποτέλεσμα τη βύθιση των μπλοκ. Η ακριβής χρονική στιγμή κατά την οποία τα μπλοκ θα βυθιζόντουσαν ήταν άγνωστη, επειδή αυτό εξαρτιόταν από τα χαρακτηριστικά του νερού με σημαντικότερο την ταχύτητα ροής.

Τα ακόλουθα χρονικά διαστήματα ήταν δεδομένα:

1. Απαιτούνταν είκοσι λεπτά για να πλεύσει το μπλοκ από τη δεξαμενή αρχικής κατασκευής του προς το χώρο προσωρινής στάθμευσης στο κέντρο του καναλιού.
2. Στη συνέχεια χρειαζόντουσαν άλλα είκοσι λεπτά πριν τα μπλοκ μετακινηθούν στην περιοχή της ενισχυμένης στρώσης στην επιφάνεια της θάλασσας.
3. Η αλλαγή διεύθυνσης των μπλοκ διαρκούσε περίπου πενήντα λεπτά ακόμη.
4. Τέλος όταν το μπλοκ είχε τοποθετηθεί στη σωστή θέση, απαιτούνταν άλλα έξι λεπτά για να βυθιστεί.

Ένα μπλοκ έπρεπε να αναχωρήσει δύο ώρες νωρίτερα από την αρχική θέση κατασκευής του πριν αυτό τοποθετηθεί στην τελική του θέση. Η μεταβολή διεύθυνσης της παλίρροιας που ήταν απαραίτητη για την τοποθέτηση των μπλοκ και ειδικά για το τρίτο στάδιο του παραπάνω χρονοδιαγράμματος, πραγματοποιούνταν δύο ώρες μετά από την χρονική στιγμή της υψηλότερης στάθμης των υδάτων. Η μετακίνηση των μπλοκ θα έπρεπε λοιπόν να ξεκινούσε κατά την χρονική στιγμή κατά την οποία το νερό θα ήταν στην ελάχιστη στάθμη. Υπήρχε μια πιθανότητα τα μπλοκ να παρεμποδιζόντουσαν στο κανάλι κατά την μετακίνησή τους από την θέση κατασκευής τους προς το χώρο τοποθέτησής τους και για να αποτραπεί αυτό τα μπλοκ αναχωρούσαν μία ώρα πριν από την υψηλή στάθμη του νερού παραμένοντας αυτή την επιπλέον ώρα στο χώρο προσωρινής στάθμευσης μπροστά από το φράγμα.

Μετά την αριστερή πλαγιά των κενών που πληρώθηκαν με πέτρα, βυθίστηκαν 192 ολισθηροί

μηχανισμοί και 12 μπλοκ στις 28 Απριλίου στις 09:15 π.μ.. Στη συνέχεια το φράγμα Volkerak έκλεισε ενώ απέμενε μία άλλη επίπονη εργασία, αυτή της ανύψωσης της άμμου που έπρεπε να γίνει σε συνολική επιφάνεια 5,6 εκατομμυρίων m² φράγματος. Το πρώτο ένα εκατομμύριο m² είχε ολοκληρωθεί μετά από τρεις εβδομάδες με τη βοήθεια τριών τεράστιων πλοίων-αντλιών άμμου της Βασίλισσας της Ολλανδίας, του Concorde και του Versde.

5.3.4.4. Η Γέφυρα από την περιοχή Hellegat έως την περιοχή Hoekse Waard

Το 1957 ήταν έτοιμο να χρησιμοποιηθεί το λιμάνι κοντά στην πόλη Willemstad. Το 1957 και το 1958 το δυτικό τμήμα του κενού έκλεισε με μπλοκ. Όταν ολοκληρώθηκε η γέφυρα προς την περιοχή Hoekse Waard το 1964, οι άνθρωποι μπορούσαν να μετακινηθούν με αυτοκίνητο από την περιοχή Zeeland στην νότια περιοχή Holland. Το 1967 είχαν αποπερατωθεί δύο διώρυγες ενώ χρειάστηκαν τρία χρόνια επιπλέον για την κατασκευή του δρόμου στο ανατολικό τμήμα του φράγματος.

Η γέφυρα πάνω από το φράγμα Volkerak ήταν κατασκευασμένη από χάλυβα και στηριζόταν σε δέκα προβλήτες. Ως αποτέλεσμα αυτού του σχεδιασμού της γέφυρας, η γέφυρα ήταν τοποθετημένη πολύ χαμηλά και για να ξεπεραστεί το πρόβλημα να διέρχονται τα πλοία απρόσκοπτα τμήμα της γέφυρας ήταν σε θέση να παραμένει ανοιχτό. Επιπλέον όμως θα μπορούσε να προκληθεί κυκλοφοριακή συμφόρηση κατά τους θερινούς μήνες, γιατί η γέφυρα θα άνοιγε δύο φορές την ημέρα παραμένοντας μη λειτουργική.

Πριν από την ολοκλήρωση των δρόμων πάνω από το φράγμα Volkerak οι άνθρωποι που ζούσαν γύρω από το φράγμα δεν μπορούσαν να φθάσουν παρά μόνο μέσω θαλάσσης. Το φράγμα και η γέφυρα μετέβαλαν όμως την υπάρχουσα κατάσταση. Οι περιοχές Hoekse Waard, Goeree-Overflakkee και το δυτικό τμήμα της Brabant είχε τώρα μία πολύ ταχύτερη σύνδεση από πριν. Πέραν του ότι αποτελούσαν μέρος του σχεδίου Δέλτα, το φράγμα Volkerak ήταν επίσης ένας σημαντικός οδικός κόμβος με το σημείο όπου τα τρία σκέλη του φράγματος ενώνονταν ονομάζεται πλατεία του Hellegats. Η επιτυχία του κόμβου ήταν τόσο μεγάλη που πλέον παρατηρείται ελάχιστη κυκλοφοριακή συμφόρηση στη σημερινή εποχή. Η διάρκεια του ταξιδιού από την περιοχή Zeeland προς την νότια περιοχή Holland μειώθηκε θεαματικά. Οι κάτοικοι του Schouwen-Duiveland μπορούσαν για παράδειγμα να ταξιδέψουν στο Ρότερνταμ διαμέσου του φράγματος Volkerak και του φράγματος Grevelingen, ενώ σε παλαιότερες εποχές θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουν το πλοίο στην περιοχή Tholen και στη συνέχεια να ταξιδέψουν στη στεριά. Για τον ίδιο λόγο το φράγμα ήταν επιτυχές για τους κατοίκους της νότιας περιοχής του Beveland και του Walcheren, καθώς δεν υπήρχε εθνική οδός προς την κατεύθυνση της περιοχής του Bergen op Zoom εκείνη την εποχή (<http://www.deltawerken.com/The-bridge-from-Hellegat-to-Hoekse-Waard/462.html>).

5.3.5. Το Φράγμα Haringvliet

5.3.5.1. Εισαγωγή

Η κατασκευή του φράγματος Haringvliet ολοκληρώθηκε το 1971, 14 χρόνια μετά την έναρξη κατασκευής του. Γεφύρωσε 4,5 Km θαλάσσιας περιοχής μεταξύ των περιοχών Goeree-Overflakkee και Voorne Putte (Εικόνα 95, 96, 97). Εξαιρουμένου του φράγματος Oosterschelde, το φράγμα Haringvliet απαίτησε τον μεγαλύτερο χρόνο κατασκευής. Το φράγμα Haringvliet είχε δύο λειτουργίες. Πρώτον θα συνέβαλλε στην προστασία από πιθανές πλημμύρες. Δεύτερον έπρεπε να αναλάβει την αποστράγγιση των νερών από τον

Ρήνο και τον Μεύση στη Βόρεια Θάλασσα. Κατά συνέπεια το φράγμα έπρεπε να είναι ανοικτό με δεκαεπτά ανοίγματα να ρυθμίζουν την παροχή νερού που ρέει μέσα από τη νέα πλωτή οδό προς τη Βόρεια Θάλασσα. Όταν η στάθμη του νερού κοντά στο Ρότερνταμ γίνει πάρα πολύ υψηλή, ειδικά θυροφράγματα αποστράγγισης μπορούν να παροχετεύουν την πλεονάζουσα ποσότητα νερού στη θάλασσα. Εκτός από τα θυροφράγματα αποστράγγισης, κατασκευάστηκε μία διώρυγα για τα πλοία. Η μέθοδος της χρήσης συρματοσχοινων ήταν μία τεχνική μεταξύ άλλων που χρησιμοποιήθηκε για να καλύψει το κενό. Για τη διαφύλαξη της άγριας πανίδας κατασκευάστηκε μια σειρά από ειδικές σήραγγες εντός των προβλητών. Τα ψάρια μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις σήραγγες για να κολυμπήσουν απευθείας από το φράγμα Haringvliet προς τη Βόρεια Θάλασσα ή αντίστροφα, ακόμα και όταν όλα τα θυροφράγματα είναι κλειστά.



Εικόνα 95. Το φράγμα Haringvliet.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)



Εικόνα 96. Σχετική θέση φράγματος Haringvliet.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)



Εικόνα 97. Τα θυροφράγματα στο φράγμα Haringvliet.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)

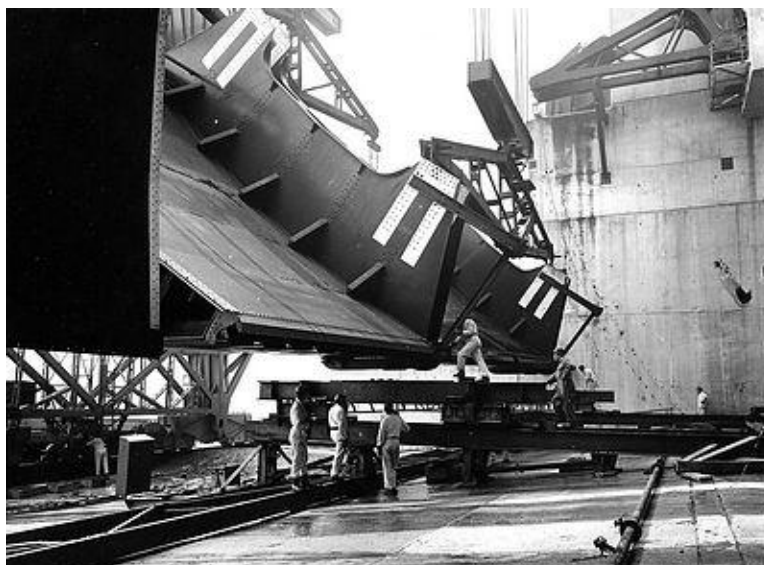
5.3.5.2. Οι Διώρυγες

Οι δύο λειτουργίες του φράγματος μπορούν να φανούν από τον σχεδιασμό του φράγματος. Το φράγμα Haringvliet αποτελείται από ένα κλειστό τμήμα και ένα τμήμα διώρυγας. Οι διώρυγες κατασκευάστηκαν σε αποξηραμένη περιοχή η οποία δημιουργήθηκε στο κέντρο της περιοχής του φράγματος Haringvliet (Εικόνα 98). Το νερό αντλούνταν από εκσκαφές διαστάσεων μήκους 1.400 m, πλάτους 600 m και βάθους 10 m. Στον πυθμένα τοποθετήθηκαν 22.000 στοιχεία από σκυρόδεμα για να αποτραπεί η καθίζηση του από το βάρος των διωρύγων. Τα στοιχεία αυτά ενίσχυσης τα οποία ξεπερνούσαν ενίοτε τα 20 m σε μήκος ήταν καλυμμένα στην κορυφή τους με μία στρώση σκυροδέματος πάχους 3 m. Οι πρώτοι προβλήτες του φράγματος είχαν ολοκληρωθεί τέσσερα έτη μετά την ολοκλήρωση των εκσκαφών των θεμελίων. Οι 18 προβλήτες του φράγματος τοποθετήθηκαν ο ένας δίπλα στον άλλο κατά μήκος των εκσκαφών ενώ ανάμεσα σε κάθε προβλήτα είχαν τοποθετηθεί δοκοί στήριξης με τη βοήθεια ειδικού γερανού.



Εικόνα 98. Χώρος εκσκαφών του φράγματος με το βοηθητικό ανάχωμα.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-locks/469.html>)



Εικόνα 99. Τοποθέτηση θυροφράγματος.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-locks/469.html>)

Κάτω από αυτές τις δοκούς είχαν τοποθετηθεί μεγάλοι χαλύβδινοι μηχανισμοί, οι οποίοι μπορούσαν να κινήσουν τα δοκάρια σε περίπτωση υψηλής στάθμης των υδάτων. Εν τω μεταξύ κατασκευάστηκαν οι ολισθηροί μηχανισμοί σφραγίσματος των κενών (θυροφράγματα) στην ξηρά οι οποίοι ήταν διαστάσεων 56 m σε μήκος και 6 m σε ύψος (Εικόνα 99). Η πρώτη κινητή θύρα τοποθετήθηκε το 1963 και κατά τα επόμενα χρόνια τοποθετήθηκαν και οι υπόλοιπες. Σε καθένα από τα 17 ανοίγματα ήταν αναρτημένες δύο θύρες, η μία από την πλευρά της Βόρειας Θάλασσας και η άλλη από την πλευρά του φράγματος Haringvliet. Το 1966 όταν είχαν τοποθετηθεί όλες οι θύρες, η στάθμη του νερού επανήλθε στο φυσιολογικό με την σταδιακή αύξηση της ποσότητας του νερού ενώ αργότερα αφαιρέθηκαν τελείως τα αναχώματα οπότε έπρεπε να πληρωθεί το αριστερό τμήμα των κενών στη βόρεια και νότια πλευρά (Εικόνα 100) (<http://www.deltawerken.com/The-locks/469.html>).



Εικόνα 100. Χώρος εκσκαφών του φράγματος μετά την απομάκρυνση του βοηθητικού αναχώματος.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-locks/469.html>)

5.3.5.3. Το Φράγμα

Η ίδια μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για να σφραγιστεί η περιοχή Grevelingen χρησιμοποιήθηκε και στη κατασκευή του φράγματος Haringvliet. Ειδικές διατάξεις που κινούνταν κατά μήκος ενός καλωδίου, βύθιζαν μεγάλους όγκους από σκυρόδεμα στο νερό. Σε αυτή την περίπτωση δεν χρησιμοποιήθηκαν τσιμεντένια μπλοκ. Το νότιο κενό ήταν το πιο εύκολο να κλείσει οπότε δεν ήταν αναγκαία η χρήση καλωδίων αφού τοποθετήθηκε άμμος στο τμήμα αυτό του φράγματος μέχρι να σχηματιστεί ένα ανάχωμα. Το νότιο τμήμα του φράγματος Haringvliet άρχισε να μοιάζει όλο και περισσότερο σαν ένα αμμόλοφο, κυρίως λόγω της επίδρασης του ανέμου και του νερού. Ως εκ τούτου, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί το σημείο όπου αρχίζει πραγματικά το φράγμα. Το υπόλοιπο βόρειο κενό είχε πλάτος ένα χιλιόμετρο και ήταν πολύ πιο δύσκολο να κλείσει. Διατάξεις με συρματόσχοινα βύθιζαν πάνω από 100.000 στοιχεία από σκυρόδεμα στο άνοιγμα, ζυγίζοντας το καθένα 2.500 κιλά. Οι οπές μεταξύ αυτών των στοιχείων πληρώθηκαν με άμμο και ως συνέπεια δεν μπορούσε πλέον να κινηθεί το νερό μεταξύ τους.

Κατά την κατασκευή του βόρειου και του νότιου τμήματος του φράγματος, οι διώρυγες παρέμειναν ανοιχτές διότι έπρεπε να διατηρηθούν οι κινήσεις της παλίρροιας. Εάν οι διώρυγες είχαν μείνει κλειστές η ταχύτητα ροής θα μπορούσε να είχε αυξηθεί τόσο πολύ που τα διάφορα νέα τμήματα του φράγματος θα είχαν παρασυρθεί από τα έντονα ρεύματα. Μετά το κλείσιμο του βόρειου κενού μπορούσαν να κλείσουν οι κινητοί μηχανισμοί οπότε από εκείνη τη χρονική στιγμή η περιοχή του φράγματος Haringvliet σταδιακά μετατράπηκε σε λίμνη (<http://www.deltawerken.com/The-dam/470.html>).

5.3.5.4. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Πριν από το κλείσιμο του φράγματος Haringvliet, η περιοχή ήταν ένα τοπίο ιδιαίτερου φυσικού κάλλους. Όπως έγινε πρόσφατα γνωστό η περιοχή έγινε μια λίμνη μετά την κατασκευή του φράγματος Haringvliet. Το έδαφος το οποίο πλημμύριζε κατά την διάρκεια της υψηλής πλημμυρίδας πλέον αποκαλύφθηκε και εκμεταλλεύονταν από τους αγρότες, κατά συνέπεια, πολλά ζώα όπως χήνες που ζούσαν εκεί έχασαν τον οικότοπο τους.

Η αλλαγή λόγω της παλίρροιας δεν επηρέαζε πλέον την χλωρίδα και την πανίδα. Πολλά φυτά και ζώα τα οποία εξαρτώνται από τη θάλασσα, πέθαναν. Τα φυτά που πλημμύριζαν για χρονικό διάστημα 12 ωρών κατά τη διάρκεια της πλημμυρίδας τώρα πλέον είχαν αφυδατωθεί ανεπανόρθωτα και σε μόνιμη βάση ενώ τα καβούρια και οι γαρίδες δεν επέζησαν λόγω της μεταφοράς τους από ένα αλμυρό σε ένα λασπώδες περιβάλλον. Ο θάνατος ορισμένων ειδών ωστόσο σήμαινε τον ερχομό άλλων ειδών, όπως για κάποια είδη ψαριών όπως ψάροι που αντικαταστάθηκαν από κυπρίνους καθώς και άλλα είδη, ωστόσο η ισορροπία του οικοσυστήματος είχε πλήρως διαταραχθεί μετά το κλείσιμο του φράγματος (<http://www.deltawerken.com/Nature/471.html>).

5.3.6. Το Φράγμα Brouwers

5.3.6.1. Εισαγωγή

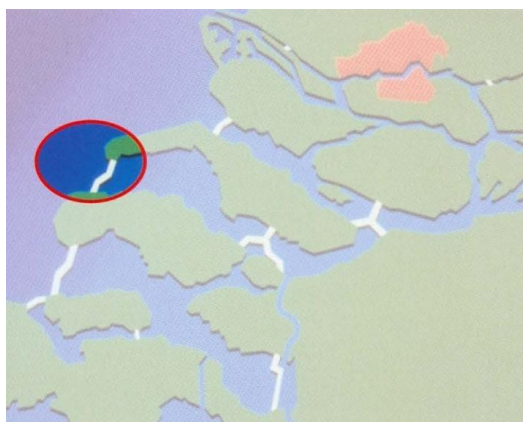
Επειδή το φράγμα Grevelingen είχε ήδη αποκλείσει την περιοχή Grevelingen στην ανατολική πλευρά, δημιουργήθηκε η λίμνη Grevelingen από την κατασκευή του φράγματος Brouwers. Το φράγμα Brouwers δεν ήταν εύκολο στην κατασκευή του και ήταν μια ευκαιρία απόκτησης εμπειρίας για το ακόμα πιο περίπλοκο φράγμα του Oosterschelde, επειδή το κενό που

έπρεπε να κλείσει μεταξύ των περιοχών Goeree-Overflakkee και Schouwen-Duiveland ήταν συνολικού μήκους 6,5 Km (Εικόνα 101, 102). Για την κατασκευή του φράγματος Brouwers χρησιμοποιήθηκαν τόσο τσιμεντένια μπλοκ όσο και συρματόσχοινα για τη μεταφορά τους, όπως συνέβη και με το φράγμα Grevelingen. Αρχικά ανυψώθηκαν δύο αμμόλοφοι στη λίμνη της περιοχής Brouwershaven (Brouwershavense Gat) οπότε το βόρειο κενό έκλεισε με τη βοήθεια τσιμεντένιων μπλοκ. Τέλος το νότιο κενό έκλεισε με διατάξεις που βύθισαν σκυρόδεμα στο βυθό της θάλασσας ενώ στο τέλος του 1971 το φράγμα είχε ολοκληρωθεί. Δέκα χρόνια αργότερα ωστόσο, η μετατροπή που έγινε στο φράγμα αφορούσε στην κατασκευή μιας διώρυγας με σκοπό να επιτρέπεται η διέλευση του θαλασσινού αλμυρού νερού μέσα από το φράγμα οπότε η χλωρίδα και η πανίδα της περιοχής σταδιακά μεταβλήθηκε.



Εικόνα 101. Το φράγμα Brouwers.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Brouwers-Dam/325.html>)



Εικόνα 102. Σχετική θέση του φράγματος Brouwers.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)

5.3.6.2. Θέση Κατασκευής Φράγματος

Πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη έρευνα για το πού έπρεπε να κατασκευαστεί το φράγμα που διήρκησε για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το φράγμα θα έπρεπε να προστατεύει κυρίως τα νησιά του Goerree Overflakkee και Schouwen Duiveland. Για το λόγο αυτό το φράγμα θα έπρεπε να κατασκευαστεί όσο το δυνατόν περισσότερο δυτικά. Μετά την συνολική αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων τεσσάρων εναλλακτικών θέσεων κατασκευής, η περιοχή την οποία διατρέχει κατά μήκος το φράγμα βρίσκεται ανάμεσα στην περιοχή Middelplaat που τελικά επελέγη, στην περιοχή Schouwen Duiveland μέχρι την περιοχή Goerree Overflakkee μέσω της Kabbelaarsplaat (Εικόνα 103). Το πρώτο πλεονέκτημα ήταν ότι η απόσταση μεταξύ του φράγματος Oosterschelde και του φράγματος Brouwers ήταν η ελάχιστη δυνατή που ήταν επωφελές για την κυκλοφορία. Το δεύτερο πλεονέκτημα ήταν οικονομικής φύσεως, αφού η περιοχή που επιλέχθηκε να κατασκευαστεί το φράγμα ήταν περίπου 20-30% οικονομικότερη από ό,τι οι υπόλοιπες εναλλακτικές θέσεις. Τελικά στις 25 Σεπτεμβρίου 1962 εγκρίθηκε η τελική θέση κατασκευής του φράγματος από την κυβέρνηση.



Εικόνα 103. Λεπτομερής θέση φράγματος.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Where-should-the-dam-be-built/418.html>)

Επειδή η θαλάσσια περιοχή μεταξύ των δύο αμμωδών περιοχών ήταν πολύ ρηχή, αποφασίστηκε να δημιουργηθεί μια αμμώδης περιοχή επιπλέον των δύο υπάρχοντων κλείνοντας το στενό κανάλι με άμμο. Ως αποτέλεσμα αυτής της περιοχής, υπήρχαν μόνο δύο κενά το ένα στη βόρεια πλευρά και το άλλο στη νότια πλευρά. Επιλέχθηκαν τα τσιμεντένια μπλοκ με τη βοήθεια ενός συρματόσχοινου για να σφραγίσουν το κενό στη βόρεια πλευρά, ενώ το κενό στη νότια πλευρά έκλεισε με τη χρήση βυθισμένου σκυροδέματος. Αποφασίστηκε να κλείσουν τα κενά ταυτόχρονα, γιατί το έντονο θαλάσσιο ρεύμα θα μπορούσε να είχε προκαλέσει προβλήματα ενώ με αυτό τον τρόπο επιτυγχανόταν η ισοκατανομή του όγκου εκτέλεσης των εργασιών (<http://www.deltawerken.com/Where-should-the-dam-be-built/418.html>).

5.3.6.3. Χρήση Συρματόσχοινου

Το κανάλι το οποίο ξεκινάει από την περιοχή Middelplaat μέχρι την περιοχή Schouwen-Duiveland σφραγίστηκε με τη βοήθεια συρματόσχοινων. Εκπονήθηκε μία μελέτη με στόχο να καθοριστεί ποια είδη συρματόσχοινων ήταν τα πλέον κατάλληλα για αυτή την εργασία. Το συρματόσχοινο έπρεπε να πληρεί ορισμένες απαιτήσεις. Το συρματόσχοινο έπρεπε να είναι σε θέση να μεταφέρει μεγάλες ποσότητες πέτρας, διότι η εργασία σφραγίσματος δεν θα έπρεπε να διαρκέσει περισσότερο από εννέα ή δέκα εβδομάδες. Μια πιθανή παράταση έως δώδεκα ή δεκαπέντε εβδομάδες ήταν δυνατή και είχε προβλεφθεί ενώ το φράγμα θα έπρεπε να ολοκληρωθεί πριν από τις φθινοπωρινές καταιγίδες. Συνολικά 600.000 τόνοι πέτρας χρειάστηκαν να βυθιστούν στο κανάλι. Δουλεύοντας δώδεκα ώρες ανά ημέρα εργασίας, οι μεταφορικοί μηχανισμοί έπρεπε να μπορούν να βυθίσουν κατά μέσο όρο 700 τόνους πέτρας ανά ώρα. Ήταν ήδη γνωστό από την εμπειρία κατασκευής του φράγματος Grevelingen, ότι θα μπορούσε να προκύψει οποιαδήποτε καθυστέρηση ειδικά στην αρχή της διαδικασίας. Επομένως στην πράξη το τελικό συρματόσχοινο που απαιτούνταν ήταν μεταφορικής ικανότητας 1.200 τόνων ανά ώρα αλλιώς το χρονοδιάγραμμα δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί.

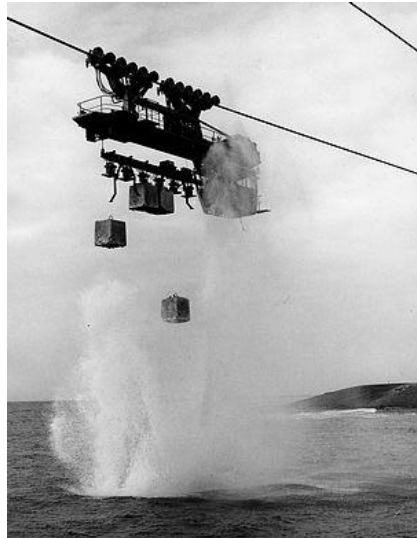
Εξετάστηκαν τρία είδη συρματόσχοινων, ένα είδος κυκλώματος συρματόσχοινων, ενός συρματόσχοινου επιστροφής και ενός συρματόσχοινου-γερανού.



Εικόνα 104. Μεταφορά τσιμεντένιων μπλοκ.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-cableway/419.html>)

Το σύστημα του συρματόσχοινου επιστροφής επελέγη τελικά κυρίως λόγω της εμπειρίας που αποκτήθηκε από το φράγμα Grevelingen (Εικόνα 104, 105). Στην αμμώδη περιοχή Middelplaat και στην ακτή Schouwen-Duiveland κατασκευάστηκαν ένας σταθμός φόρτωσης και κοπής. Στη μέση του καναλιού τοποθετήθηκαν πυλώνες από σπλισμένο σκυρόδεμα για τη στήριξη του καλωδίου. Το συνολικό μήκος του καλωδίου και των σταθμών φόρτωσης ήταν σχεδόν 1,8 Km.



Εικόνα 105. Απόρριψη τσιμεντένιων μπλοκ στην θάλασσα.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-cableway/419.html>)

Η διαφορά με το συρματόσχοινο του φράγματος Grevelingen ήταν σε σχέση με το βάρος και τη μεταφορική ικανότητά του. Οι καμπίνες του φράγματος Grevelingen είχαν χωρητικότητα δέκα τόνους ενώ του φράγματος Brouwers ζύγιζαν περίπου το διπλάσιο, αφού τα νέα οχήματα ζύγιζαν δεκαπέντε τόνους και μπορούσαν να μεταφέρουν δεκαπέντε τόνους υλικού (Εικόνα 106). Τα υλικά βύθισης ήταν ογκώδη, προκατασκευασμένα τσιμεντένια μπλοκ τα οποία αναρτούνταν από τους ειδικούς θαλάμους-οχήματα. Κάθε μπλοκ σκυροδέματος ζύγιζε 2,5 τόνους ενώ μπορούσαν κάθε φορά να μεταφερθούν έξι τεμάχια από σκυρόδεμα. Συνολικά περισσότερα από 240.000 τεμάχια από σκυρόδεμα είχαν βυθιστεί στο κενό σφραγίσματος, ωστόσο το φράγμα δεν είχε ακόμη κλείσει εντελώς, αφού μεταξύ διαφόρων τμημάτων από σκυρόδεμα, το νερό θα μπορούσε ακόμη να ρέει οπότε η πλήρωση του φράγματος με άμμο έθεσε τέλος σε αυτό το πρόβλημα (<http://www.deltawerken.com/The-cableway/419.html>).



Εικόνα 106. Σύστημα μεταφοράς τσιμεντένιων μπλοκ.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-cableway/419.html>)

5.3.6.4. Τα Τσιμεντένια Μπλοκ

Ενώ οι εργασίες με τη βοήθεια του συρματόσχοινου είχαν ήδη αρχίσει, τα σχέδια για το βόρειο κανάλι από την περιοχή Kabbelaarsplaat προς την περιοχή Goerree-Overflakkee ήταν ήδη σε πλήρη εξέλιξη. Στον πυθμένα της περιοχής που επρόκειτο να έκλεινε θα κατασκευαζόταν μια στρώση από πέτρα σε βάθος οκτώ μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας που θα σφράγιζε το ένα τρίτο του καναλιού. Τα τσιμεντένια μπλοκ πάνω από τη στρώση πέτρας θα έκλειναν άλλο ένα τρίτο του κενού (Εικόνα 107), ενώ το νερό ήταν εντελώς αποκλεισμένο από το κλείσιμο των τσιμεντένιων μπλοκ. Μελέτη έδειξε ότι η επιφάνεια του κενού κλεισίματος ήταν 8.000 m^2 , το κανάλι θα είχε πλάτος 800 m και βάθος 10 m. Κατά συνέπεια, η στρώση πέτρας θα έπρεπε να έχει δύο μέτρα ύψος ώστε να ανέλθει στο απόλυτο υψόμετρο έως και οκτώ μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 107. Κατασκευή τσιμεντένιων μπλοκ.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-caissons/420.html>)

Το ρεύμα στη λίμνη Brouwershaven (Brouwershavense Gat) ήταν ισχυρό ενώ η τοποθέτηση των τσιμεντένιων μπλοκ πρέπει να γινόταν με ακρίβεια (Εικόνα 108). Το 1968 άρχισαν οι εργασίες για την κατασκευή δώδεκα τσιμεντένιων μπλοκ, τα οποία θα είχαν μήκος 68 m και πλάτος 18 m. Επιπλέον θα κατασκευάζονταν δύο περιοχές από τσιμεντένια μπλοκ στην στεριά για να τοποθετηθούν στην αρχή και στο τέλος του φράγματος. Επιπροσθέτως με μία αναλογία μήκους προς πλάτος ίση με 3,8 προς 1 (μήκος=3,8·πλάτος), το φράγμα παρουσίαζε αρκετή σταθερότητα η οποία ήταν σημαντική κατά τη διάρκεια της μετακίνησης των μπλοκ στην θέση βύθισής τους.



Εικόνα 108. Μετακίνηση τσιμεντένιου στοιχείου.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-caissons/420.html>)

Κάθε μπλοκ είχε ύψος 16,2 m και δώδεκα οπές με πέντε μέτρα πλάτος, από τις οποίες το νερό μπορούσε να ρέει μέχρι το τελικό σφράγισμα (Εικόνα 109). Κατά τη μεταφορά προς το κανάλι τα κενά αυτά έκλεισαν προσωρινά με ξύλινα διαχωριστικά στοιχεία για την αποτροπή περιστροφής των μπλοκ (Εικόνα 110). Μόλις τα μπλοκ είχαν φτάσει στον προορισμό τους, δημιουργήθηκαν δεκαέξι σημεία θεμελίωσης που δώδεκα από αυτά ήταν στον πυθμένα των μπλοκ ενώ τα άλλα τέσσερα ήταν στους πλευρικούς τοίχους, ενώ τα μπλοκ βυθίζονταν εντελώς όταν ήταν τελείως γεμάτα με νερό.



Εικόνα 109. Τοποθέτηση τσιμεντένιου στοιχείου.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-caissons/420.html>)

Κάθε μπλοκ τοποθετούνταν το ένα δίπλα στο άλλο και στη συνέχεια βυθίζονταν. Επειδή οι θέσεις σφραγίσματος των εγκαταστάσεων ήταν ανοικτές στη ροή νερού, το φράγμα είχε αρχικά μία λειτουργία ανοικτού τύπου. Το νερό της θάλασσας μπορούσε να κινείται σχεδόν ελεύθερα τόσο κατά τη διάρκεια της άμπωτης όσο και της πλημμυρίδας. Οι σύνδεσμοι μεταξύ των μπλοκ ήταν πληρωμένοι με άμμο και χαλίκι. Κατά τη διάρκεια της μετάβασης από την άμπωτη στην πλημμυρίδα, η ταχύτητα του ρεύματος ήταν ελάχιστη ενώ τα μη συμπαγή μπλοκ πληρώθηκαν τελικά με άμμο και πέτρα.



Εικόνα 110. Αφαίρεση στοιχείων που βοήθησαν στην κίνηση των τσιμεντένιων μπλοκ.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/The-caissons/420.html>)

Η περιοχή Grevelingen ήταν αποκλεισμένη από τη Βόρεια Θάλασσα το 1971 και θα είχε μετατραπεί σε περιοχή γλυκού νερού χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Ήταν σημαντικό να διατηρηθεί η περιοχή αλμυρού νερού στην περιοχή Grevelingen και για το λόγο αυτό κατασκευάστηκε μια διώρυγα στο φράγμα το 1978. Η διώρυγα αποτελείται από δύο σωλήνες από σκυρόδεμα με μήκος 195 m ο καθένας και μια διώρυγα αλιείας ίδιου μήκους. Για να κατασκευαστούν οι διώρυγες έπρεπε να κατεδαφιστεί ένα τμήμα του φράγματος Brouwers ενώ αργότερα επισκευάστηκε το τμήμα αυτό (<http://www.deltawerken.com/The-caissons/420.html>).

5.3.6.5. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Μετά το κλείσιμο του φράγματος Brouwers το νερό της λίμνης Grevelingen σταμάτησε να ρέει και δεν υπήρχαν πλέον οι κινήσεις της παλίρροιας. Ένα μεγάλο τμήμα του

οικοσυστήματος της λίμνης Grevelingen εξαρτάται από την ύπαρξη και την επίδραση του θαλασσινού νερού. Ένα καλό παράδειγμα είναι τα στρειδοφάγα που ζούσαν στις υψηλότερες ακτές της Grevelingen, αλλά αναζητούσαν τροφή στις λασπώδης περιοχές γύρω από την ακτή κατά τη διάρκεια τόσο της πλημμυρίδας όσο και της άμπωτης. Από τη στιγμή που το φράγμα ήταν κλειστό δεν γίνονταν εμπλουτισμός με νέα θρεπτικά στοιχεία, οπότε μερικά είδη ψαριών πέθαναν μετά από λίγες ημέρες όπως επίσης τα φυτά που εξαρτούνται από την ύπαρξη αλμυρού νερού.

Δύο εβδομάδες μετά το κλείσιμο της λίμνης Grevelingen, η ακτή είχε γίνει ένα μεγάλο νεκροταφείο αφού επικρατούσε παντού η σήψη των αλγών και των ζώων. Πολλές μορφές ζωής εξαρτώνται από το νερό της Βόρειας Θάλασσας τόσο για το διαλυμένο οξυγόνο της όσο και για την τροφή τους οπότε δημιουργήθηκε ένας φαύλος κύκλος. Το οξυγόνο ήταν αναγκαίο για τις μεταβολικές και τις αποσυνθετικές διεργασίες, ως αποτέλεσμα των οποίων καταναλωνόταν όλο και περισσότερο οδηγώντας στη μαζική ασφυξία λόγω έλλειψης διαλυμένου οξυγόνου (Εικόνα 111).



Εικόνα 111. Περιβαλλοντικά προβλήματα στο φράγμα.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Nature/421.html>)

Ωστόσο οι συνέπειες από το κλείσιμο του φράγματος ήταν επίσης αισθητές και πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού. Τα τμήματα λάσπης που διατηρούνταν κανονικά υγρά πλέον αποξηράνθηκαν. Τα λασπώδη τμήματα αποτελούνταν από πηλώδη εδάφη εξωτερικά των αναχωμάτων που συνήθως αποκαλύπτονταν κατά τη διάρκεια της άμπωτης και ήταν συνήθως πράσινης απόχρωσης. Οι λασπώδης πυθμένες αποτελούν ένα μεγάλο μέρος του πυθμένα στα αναχώματα των επαρχιών Zeeland, Groningen και Friesland. Στον πυθμένα της αποξηραμένης λίμνης IJssel, η οποία μόλις πρόσφατα είχε μείνει ακάλυπτη από νερό υπήρχαν τμήματα λάσπης. Μεγάλο μέρος των αργιλικών αποξηραμένων περιοχών

παρασύρθηκαν μακριά λόγω του ισχυρού αέρα επειδή δεν υπήρχε βλάστηση για να συγκρατήσει αυτά τα εδάφη. Επιπλέον για την καταπολέμηση της αφυδάτωσης, ελήφθησαν κάποια μέτρα με κυριότερο την φύτευση χλοών και δημητριακών για την συγκράτηση της γης και της εδαφικής υγρασίας ενώ οι θίνες που σχηματίζονταν εμπόδιζαν την περαιτέρω διασπορά των εδαφών. Αρκετά νέα είδη πουλιών εγκαταστάθηκαν στις λασπώδης περιοχές όπως avocets, Kentish βροχοπούλια και λίγα γλαρόνια που χρησιμοποίησαν τις περιοχές αυτές ως τόπο αναπαραγωγής οι οποίες ήταν πλούσιες σε κοχύλια ενώ όταν περισσότερα είδη φυτών άρχισαν να εμφανίζονται όλο και περισσότερα άλλα ζωικά είδη άρχισαν να αντικαθιστούν.

Το Hompeloet ένα νησί στην λίμνη Grevelingen, είναι ο μεγαλύτερος τόπος αναπαραγωγής για πολλά είδη πουλιών στο δέλτα με περίπου 3.000 ζευγάρια αναπαραγωγής. Μερικά πουλιά έρχονται στο Grevelingen ειδικά για τα άλγη όπως και μερικά είδη ψαριών. Στις Κάτω Χώρες μπορεί κανείς να βρει δύο είδη θαλάσσιας βλάστησης κατά μήκος των ακτών της Waddenzee και στους κόλπους της περιοχής Zeeland και στην επαρχία της νότιας Holland. Μετά το κλείσιμο του φράγματος Grevelingen το 1971, το πρώτο είδος από μεγάλα θαλάσσια λιβάδια εκτεινόταν σε 4.500 εκτάρια (45 τετραγωνικά χιλιόμετρα). Από το 1989 η έκταση της θαλάσσιας βλάστησης έχει μειωθεί κατά 95% πιθανώς λόγω της αρρώστιας Labyrinthula. Αυτή του είδους βλάστηση ευδοκίμει σε μέρη που δεν υπάρχουν παλίρροιες. Η μικρή θαλάσσια βλάστηση έχει μικρότερα φύλλα και αναπτύσσεται σε περιοχές οι οποίες μένουν ακάλυπτες κατά τη διάρκεια της πλημμυρίδας ή της άμπωτης. Τα άλγη αυτά επιβιώνουν ακόμα και στα βαθύτερα τμήματα της λίμνης Grevelingen, επειδή το ηλιακό φως μπορεί να φτάσει σε μεγάλο βάθος μέσω του καθαρού και διαυγούς θαλασσινού νερού.

Η αγριόχηννα καταναλώνει μεγάλες ποσότητες αλγών όπως οι φαλαρίδες και οι κύκνοι. Πολλά άλλα είδη ψαριών ζουν μέσα στη θαλάσσια βλάστηση. Η μαύρη γοβιούς ήταν ένα νέα είδος ψαριού στις Κάτω Χώρες που ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά στη λίμνη του Veere το 1964. Το είδος γυμνοσάλιαγκα Fuikhorens δεν εμφανιζόταν καθόλου προηγουμένως, ενώ αυτό το είδος γυμνοσάλιαγκα που εμφανίστηκε μόνο στα κανάλια της περιοχής του Walcheren και της νότιας περιοχής του Beveland είναι σήμερα ένα από τα πιο συχνά είδη γυμνοσαλιάγκων που υπάρχουν στη λίμνη.

Δύο παραδείγματα αποδεικνύουν το γεγονός ότι το μέλλον της πανίδας και της χλωρίδας δεν φαινόταν βιώσιμο αμέσως μετά το κλείσιμο του φράγματος. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα επέζησαν τα περισσότερα είδη, ορισμένα είδη εξαφανίστηκαν ενώ έχουν εμφανιστεί άλλα. Το πρώτο παράδειγμα αφορά το νεαρό είδος χωματίδας που ζούσε στην λίμνη Grevelingen πριν από το κλείσιμο του φράγματος. Λόγω της ύπαρξης του φράγματος η χωματίδα εμποδίστηκε για το ταξίδι της προς τη θάλασσα, ενώ στη συνέχεια αποπροσανατολίστηκαν και συνέχισαν να ζουν στην περιοχή του φράγματος. Όταν το γεγονός αυτό έγινε γνωστό πολλοί ερασιτέχνες ψαράδες ήρθαν στο φράγμα με σκοπό την εντατική αλίευσή τους. Η ευρωπαϊκή χωματίδα σχεδόν θα είχε εκλείψει εάν δεν λαμβάνονταν μέτρα εγκαίρως όπως την προσθήκη στο νερό νέων ποσοτήτων χωματίδων. Μετά την ολοκλήρωση των διωρύγων στο φράγμα Brouwers, η χωματίδα μπορούσε να κινηθεί μέχρι τη Βόρεια Θάλασσα χωρίς να παρεμποδίζεται. Ένα δεύτερο παράδειγμα είναι τα στρείδια. Θεωρούνταν βέβαιο ότι ο πληθυσμός των στρειδιών από την περιοχή του Zeeland θα εξαφανίζονταν από τις περιοχές επαφής της θάλασσας με τη γη. Κατά τη διάρκεια του βαρύ χειμώνα του 1962-1963 είχαν πεθάνει σχεδόν όλα τα στρείδια. Με την προσθήκη νέων ποσοτήτων στρειδιών επήλθε ισορροπία στον πληθυσμό τους ενώ επιπλέον ακόμη και μετά το κλείσιμο της λίμνης του Brouwershaven (Brouwershavense Gat), τα στρείδια δεν εξαφανίστηκαν αφού εξακολουθούσαν να ζουν εκεί και εκατομμύρια από αυτά γεννιούνται

κάθε χρόνο πλέον (<http://www.deltawerken.com/Nature/421.html>).



Εικόνα 112. Θυρόφραγμα στο φράγμα Brouwers.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Nature/421.html>)

5.3.7. Το Φράγμα Καταιγίδας Oosterschelde

5.3.7.1. Εισαγωγή

Η κατασκευή του φράγματος Oosterschelde ήταν τόσο μεγάλης κλίμακας και τέτοιας πολυπλοκότητας έργο, που θα μπορούσαν να παρέχονται αμέτρητες πληροφορίες για το φράγμα. Το φράγμα αντιμετώπισης κυμάτων καταιγίδας του Oosterschelde είναι χωρίς καμία αμφιβολία η πιο εντυπωσιακή κατασκευή των Κάτω Χωρών (Εικόνα 113, 114, 115, 116). Άλλα παρόμοια φράγματα αντιμετώπισης πλημμύρας μπορούν να βρεθούν στον ποταμό Hollandsche IJssel και στην περιοχή της Νέας Πλωτής Οδού (Nieuwe Waterweg).

Το φράγμα ξεκίνησε επίσημα τη λειτουργία του από τη βασίλισσα Βεατρίκη στις 4 Οκτωβρίου 1986. Τα χρήματα δαπανήθηκαν για την επίτευξη ενός σκοπού έτσι ώστε η πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας να μειωθεί στην τιμή της μίας φορές ανά 4.000 χρόνια. Επιπλέον, το φράγμα έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε δεν θα απαιτείται να αντικατασταθεί τα επόμενα διακόσια χρόνια (<http://www.deltawerken.com/The-Oosterschelde-storm-surge-barrier/324.html>).



Εικόνα 113. Το φράγμα καταιγίδας Oosterschelde.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Construction/427.html>)



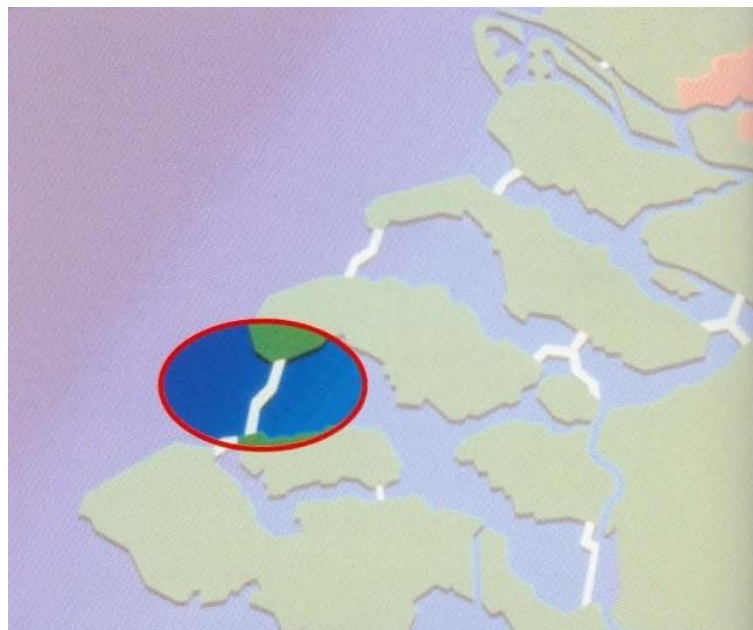
Εικόνα 114. Εκροή νερού στο φράγμα Oosterschelde.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Construction/427.html>)



Εικόνα 115. Κύματα καταιγίδας στο φράγμα Oosterschelde.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)



Εικόνα 116. Σχετική θέση του φράγματος Oosterschelde.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)

5.3.7.2. Μόνιμο ή Κινητό Φράγμα

Το αρχικό σχέδιο προέβλεπε ότι η περιοχή στο ανατολικό τμήμα του ποταμού Σελντ θα έκλεινε με ένα μόνιμο φράγμα. Το 1967 είχε ήδη αρχίσει η κατασκευή των τριών τεχνητών

νησιών ενώ έπρεπε να τοποθετηθούν μεγάλες ποσότητες σκυροδέματος για να κλείσει το ανατολικό τμήμα του ποταμού Σελντ. Αυτό δεν συνέβη ποτέ όμως αφού όλο και περισσότεροι άνθρωποι άρχισαν να συνειδητοποιούν ότι η κατασκευή μόνιμου φράγματος θα είχε αρκετές συνέπειες. Η πρώτη προτεραιότητα ήταν η ασφάλεια, αλλά η φύση και τα περιβαλλοντικά προβλήματα που θα δημιουργούνταν δεν θα μπορούσαν να αγνοηθούν. Μια εναλλακτική λύση που παρεχόταν ήταν να διατηρηθεί το φράγμα Oosterschelde ανοικτό και να αυξηθεί το ύψος των αναχωμάτων σε ένα συνολικό μήκος 150 Km γύρω από το φράγμα. Ωστόσο το 1975 το υπουργικό συμβούλιο πρότεινε να κατασκευαστεί ένα ανοιχτό-κινητό εμπόδιο το οποίο θα μπορούσε να φράσσει την ροή του νερού. Το φράγμα θα αποτελούνταν από προβλήτες μεταξύ των οποίων θα αναρτούνταν τα θυροφράγματα που θα μπορούσαν να κλείσουν το φράγμα σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Το κινητό φράγμα θα κόστιζε πιο πολύ από ένα μόνιμο φράγμα και για το λόγο αυτό ανέκυψαν πολλές συζητήσεις στην Ολλανδική Κάτω Βουλή. Το κοινοβούλιο τελικά συμφώνησε το 1979 ότι δύο βοηθητικά φράγματα έπρεπε να κατασκευαστούν και συγκεκριμένα το φράγμα Philips Dam και το φράγμα Oester Dam. Τα φράγματα αυτά θα περιόριζαν την επιφάνεια της περιοχής που έπρεπε να προστατεύσει το φράγμα Oosterschelde και θα προστάτευαν τις κινήσεις της παλίρροιας ενώ κατασκευάστηκε επιπλέον μια δίοδος ναυσιπλοΐας δίχως το πρόβλημα της εμφάνισης παλιρροιών μεταξύ της Αμβέρσας και του Ρήνου.

Το τοπίο γύρω από το Oosterschelde είναι τόσο μοναδικό που δεν μπορεί να βρεθεί πουθενά αλλού στον κόσμο αφού ο συνδυασμός γης και θάλασσας δημιουργεί ένα ειδικό τοπίο. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία ειδών ζωής αφού περισσότερα από 70 είδη ψαριών, 140 είδη φυτών και άγλη, 350 είδη ζώων που ζουν στο νερό και περίπου 500 έως 600 είδη που ζουν στη στεριά συνυπάρχουν στην περιοχή. Το φράγμα Oosterschelde αποτελεί σημαντική περιοχή για τα πουλιά που ψάχνουν είτε για τροφή, είτε για αναπαραγωγή. Εάν η περιοχή του φράγματος είχε κλείσει μόνιμα, αυτό το μοναδικό περιβάλλον αλμυρού νερού θα είχε χαθεί μαζί με τον πληθυσμό των μυδιών και των στρειδιών και θα είχε σοβαρές οικονομικές συνέπειες αφού η αλιεία υπήρξε ανέκαθεν η σημαντικότερη πηγή εισοδήματος για τα παραδοσιακά ψαροχώρια, όπως τα χωριά Yerseke και Bruinisse ενώ οι άνθρωποι καλλιεργούν στρείδια στην περιοχή από το 1870 (<http://www.deltawerken.com/Dam-or-barrier/426.html>).

5.3.7.3. Κατασκευή

Το φράγμα με συνολικό μήκος τριών χιλιομέτρων θα έπρεπε να κατασκευαστεί πάνω σε τρία κανάλια, στο κανάλι Hammen, στο κανάλι Schaar van Roggeplaat και στο κανάλι Roompot. Θα αποτελούνταν από εξήντα πέντε προκατασκευασμένους προβλήτες από σκυρόδεμα, μεταξύ των οποίων θα αναρτούνταν εξήντα δύο χαλύβδινες θύρες. Όταν οι θύρες είναι ανοιχτές, τα τρία τέταρτα της αρχικής παλίρροιας θα διατηρούνται ώστε να υπάρχει μία ελάχιστη παροχή νερού για περιβαλλοντικούς λόγους. Οι εργασίες κατασκευής στις περιοχές Neeltje Jans, Noordland και στην περιοχή sandbar Geul, αποτέλεσαν το κλειστό τμήμα του φράγματος ενώ το νησί Neeltje Jans αποτέλεσε την περιοχή από την οποία ξεκίνησε η κατασκευή. Το μεγαλύτερο μέρος των προκατασκευασμένων στοιχείων κατασκευάστηκαν εκεί όπως οι προβλήτες, οι αγωγοί και οι στρώσεις θεμελίωσης. Οι πέτρες οι οποίες θα βυθίζονταν περιμετρικά των προβλητών αποθηκεύτηκαν στην ίδια θέση καταβάλλοντας προσπάθεια να προκατασκευαστούν όσο το δυνατόν περισσότερα τμήματα του φράγματος στην ηπειρωτική χώρα που κατέστησε έτσι ασφαλέστερη την εργασία των εργαζομένων.

5.3.7.3.1. Ενίσχυση Πυθμένα

Σύντομα τέθηκε το ζήτημα αν ο πυθμένας του φράγματος Oosterschelde ήταν ανθεκτικός στο βάρος του. Για το λόγο αυτό διεξήχθησαν γεωτεχνικές και γεωλογικές έρευνες στον πυθμένα (Εικόνα 117), εξετάζοντας τη σταθερότητα και την αντοχή της θεμελίωσης, τη γεωλογική σύνθεση του βυθού, τη διαστρωμάτωση του πυθμένα και τη γεωλογική δομή των στρωμάτων. Η έρευνα έδειξε ότι απαιτούνταν να γίνουν πολλές ενισχύσεις πριν ξεκινήσει η κατασκευή του φράγματος αφού αποδείχτηκε ότι η στρώση του πυθμένα είναι υπερβολικά αδύναμη η οποία θα δεχόταν τα φορτία του βάρους του φράγματος και οι δοκιμές που διεξήχθησαν σε εργαστήρια, πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να εξεταστεί η κατάσταση του πυθμένα (<http://www.deltawerken.com/Bottom-consolidation/428.html>).



Εικόνα 117. Ερευνητικό πλοίο διεξαγωγής γεωτεχνικών ερευνών.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Bottom-consolidation/428.html>)

Πραγματοποιήθηκαν πολλές ενέργειες με σκοπό την ενίσχυση του υποστρώματος του πυθμένα. Το πλοίο *Mytilus* για παράδειγμα τοποθετούσε γεωτρύπανα δόνησης ώστε μετά τη δόνηση, οι κόκκοι της άμμου να έρθουν σε μικρότερη απόσταση μεταξύ τους μειώνοντας το πορώδες σε βάθος δεκαπέντε περίπου μέτρων (Εικόνα 118). Στη θέση κατασκευής του φράγματος και περιμετρικά αυτής τοποθετήθηκαν συνθετικά γεωυφάσματα, κατά συνέπεια τα εν λόγω γεωυφάσματα ήταν καλυμμένα με τσιμεντένια μπλοκ. Στη συνέχεια η ιλύς είχε αφαιρεθεί και είχε αντικατασταθεί από άμμο, ωστόσο ο πυθμένας παρέμενε ακόμη πολύ αδύναμος για να αντέξει το φράγμα. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος κατασκευάστηκαν ειδικά γεωυφάσματα υψηλής αντοχής στην ηπειρωτική χώρα, τα οποία θα τοποθετούνταν στην θέση κατασκευής του φράγματος. Αυτό το γεωύφασμα ήταν ένα είδος ενισχυτικής στρώσης η οποία ήταν πληρωμένη με άμμο και χαλίκι.



Εικόνα 118. Γεωτρύπανο δόνησης.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Bottom-consolidation/428.html>)

5.3.7.3.2. Κατασκευή Προβλητών και Θυρών

Οι προβλήτες ήταν το σημαντικότερο τμήμα του φράγματος. Κατασκευάστηκαν σε όρυγμα με εμβαδόν περίπου ενός τετραγωνικού χιλιομέτρου ενώ βρισκόταν 15,2 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (Εικόνα 119) ενώ ένα ανάχωμα σε σχήμα δαχτυλιδιού προφύλασσε τις εργασίες κατασκευής από την εισβολή του θαλασσινού νερού. Η υλοποίηση της κατασκευής αποτελούνταν από τέσσερα μέρη. Όταν οι προβλήτες σε ένα τμήμα του φράγματος ολοκληρώνονταν, το τμήμα αυτό πλημμύριζε. Στη συνέχεια κατάλληλο ανυψωτικό πλοίο έπλεε προς την θέση κατασκευής του προβλήτα ανύψωνε, μετέφερε και τελικά τοποθετούσε τον προβλήτα στην τελική του θέση στο φράγμα. Κάθε προβλήτας αποτελούνταν από 7.000 m³ σκυροδέματος, οπότε η θέση κατασκευής των προβλητών μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα μεγάλο εργοστάσιο στο οποίο παρήχθησαν 450.000 m³ σκυροδέματος μεταξύ των ετών 1979 και 1983 (<http://www.deltawerken.com/Piers-and-slides/429.html>).



Εικόνα 119. Θέση κατασκευής προβλητών.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Piers-and-slides/429.html>)

Η κατασκευή του κάθε προβλήτα διήρκησε σχεδόν ενάμιση χρόνο. Η συχνότητα έναρξης κατασκευής κάθε προβλήτα ανερχόταν σε έναν προβλήτα κάθε δύο εβδομάδες. Με αυτό τον τρόπο κατασκευάζονταν τριάντα προβλήτες ταυτόχρονα, απαιτώντας τεράστια οργανωτική προσπάθεια και σχεδιασμό για να ολοκληρωθεί ένα τόσο γιγαντιαίο και πολύπλοκο έργο εγκαίρως. Οι άνθρωποι εργάζονταν μέρα και νύχτα επειδή σε διαφορετική περίπτωση η χημική διαδικασία σκλήρυνσης του σκυροδέματος δεν θα είχε ολοκληρωθεί σωστά. Στους συνολικά εξήντα πέντε προβλήτες που κατασκευάστηκαν, ο καθένας είχε ύψος μεταξύ 30,25 και 38,75 m και ζύγιζε 18.000 τόνους (Εικόνα 120), ενώ κατασκευάστηκαν δύο επιπλέον προβλήτες για λόγους ασφαλείας. Τέλος οι επισκέπτες του πρώην τεχνητού νησιού Neeltje Jans, έχουν τη δυνατότητα να δουν από κοντά πλέον την περιοχή που κατασκευάστηκαν οι μεγάλων διαστάσεων προβλήτες.

Όταν είχαν ολοκληρωθεί όλοι οι προβλήτες πλημμύριζε η περιοχή στην οποία κατασκευάστηκαν, με δύο πλοία να μεταφέρουν κάθε φορά τους προβλήτες στη τελική θέση τους. Το πλοίο Ostrea μπορούσε να ανυψώσει τους προβλήτες έναν-έναν και να τους τοποθετήσει σε πλωτή πλατφόρμα. Η πλατφόρμα εκφόρτωνε τους προβλήτες στην τελική τους θέση στον πυθμένα. Η τοποθέτηση στην τελική θέση απαιτούσε ακρίβεια και ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί μόνο όταν το ρεύμα ήταν όσο το δυνατόν πιο ασθενές (Εικόνα 121).



Εικόνα 120. Οι προβλήτες του φράγματος Oosterschelde.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Piers-and-slides/429.html>)

Εν τω μεταξύ το κενό μεταξύ των προβλητών πληρώθηκε ώστε να μπορέσουν οι προβλήτες να έρθουν σε επαφή με τα γεωυφάσματα όσο το δυνατόν τελειότερα, ενώ προκειμένου να αυξηθεί η σταθερότητα τους οι προβλήτες πληρώθηκαν με άμμο. Τέλος οι προβλήτες πακτώθηκαν σε εγχυόμενο σκυρόδεμα ώστε το φράγμα να είναι απολύτως ακίνητο αφού στην περίπτωση που μία θύρα δεν θα μπορούσε να σφραγίσει τον χώρο ικανοποιητικά, η ταχύτητα του ρεύματος θα αυξανόταν πάρα πολύ. Συνολικά τοποθετήθηκαν από το πλοίο *Trías* πέντε εκατομμύρια τόνοι από πέτρες στους προβλήτες, που η κάθε μία ζύγιζε δέκα τόνους. Μερικές από τις πέτρες εισήχθησαν από τη Γερμανία, τη Φινλανδία, τη Σουηδία και το Βέλγιο, διότι το οικονομικό κόστος αγοράς και τοποθέτησης δεν μπορούσε να καλυφθεί από τις Κάτω Χώρες. Επίσης πολύ σημαντικό ήταν το ζήτημα της υψηλής πυκνότητας απαιτούνταν, που κυμαινόταν από 2,8 έως 3,0 τόνους ανά κυβικό μέτρο προκειμένου να αποφευχθεί η μετακίνηση λόγω της παλίρροιας.



Εικόνα 121. Τοποθέτηση προβλητών.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Piers-and-slides/429.html>)

Όταν οι προβλήτες είχαν τοποθετηθεί στον πυθμένα του φράγματος Oosterschelde, η κατασκευή του φράγματος μπορούσε πλέον να ολοκληρωθεί. Στους προβλήτες τοποθετήθηκαν ειδικά πρόσθετα μέρη για την αύξηση του ύψους τους πάνω στους οποίους αναρτήθηκαν οι θύρες (Εικόνα 122). Στους προβλήτες τοποθετήθηκαν μη συμπαγείς σωλήνες και υπεράνω αυτών κατασκευάστηκε ένας δρόμος. Οι σωλήνες παρέιχαν τον κατάλληλο απαραίτητο χώρο για την λειτουργία και την μετακίνηση των θυρών. Στην πραγματικότητα, οι θύρες είναι χαλύβδινοι σωλήνες οι οποίοι στηρίζουν ειδικά χαλύβδινα φύλλα από την πλευρά του ποταμού Oosterschelde. Το ύψος των θυρών εξαρτάται από το βάθος του κενού που απαιτείται να σφραγίσει, οπότε για να σφραγιστεί το βαθύτερο κενό απαιτήθηκε να τοποθετηθεί μια θύρα ύψους δώδεκα μέτρων η οποία ζύγιζε 480 τόνους. Οι θύρες μετακινούνται με τη βοήθεια υδραυλικών κυλίνδρων, των οποίων η λειτουργία ρυθμίζεται από τον οικίσκο Ir. J.W. Tops House (1986).



Εικόνα 122. Κατασκευή φράγματος.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Piers-and-slides/429.html>)

5.3.7.4. Μέσα Κατασκευής

Το φράγμα είχε ένα επαναστατικό σχέδιο αφού στο παρελθόν δεν είχαν εφαρμοστεί παρόμοιες τεχνικές και αν είχαν δεν αφορούσαν έργο τόσο μεγάλης κλίμακας όπως σε αυτή την περίπτωση. Επιπροσθέτως δεν υπήρχαν κατάλληλα πλοία για την κατασκευή του φράγματος οπότε απαιτήθηκε ο σχεδιασμός και η υλοποίηση νέων (Εικόνα 123). Τα πλοία ήταν όλα σχεδιασμένα και εξειδικευμένα για συγκεκριμένους σκοπούς. Τα περισσότερα πλοία ήταν εφοδιασμένα με ένα σύστημα που θα μπορούσε αυτόματα να προσδιορίσει με ακρίβεια τη θέση του πλοίου. Οι τεχνικές για την εύρεση του προσανατολισμού και θέσης ήταν εντελώς καινοτόμες. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν νέες τεχνικές για τον προσδιορισμό της επιφάνειας και της γεωλογικής δομής του πυθμένα με την χρήση κατάλληλου εξοπλισμού, όπως γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα, ενώ ήταν απαραίτητη η επεξεργασία των δεδομένων που παρέχονταν από τον εξοπλισμό με τη βοήθεια ισχυρών υπολογιστών (<http://www.deltawerken.com/Ships/431.html>).



Εικόνα 123. Καθέλκυση πλοίου κατασκευής του φράγματος Oosterschelde.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Ships/431.html>)

Το πλοίο Mytilus φρόντισε ώστε ο πυθμένας που θα δεχόταν τα τεράστια φορτία του φράγματος Oosterschelde να είχε τον κατάλληλο βαθμό συμπίεσης κατά μήκος της περιοχής που θα κατασκευαζόταν το φράγμα (Εικόνα 124). Όταν ο πυθμένας είναι έντονα συμπιεσμένος, τα στρώματα άμμου και αργίλου έρχονται σε πιο στενή επαφή μεταξύ τους και ο πυθμένας γίνεται πιο συμπαγής. Χωρίς τη δράση του πλοίου Mytilus το φράγμα δεν θα ήταν τόσο ευσταθές. Η όλη διαδικασία της συμπίεσης έλαβε χώρα κάτω από το νερό και συνεχιζόταν επί είκοσι τέσσερις ώρες την ημέρα. Το πλοίο αποτελείται από πέντε πλωτές πλατφόρμες, μία κύρια πλωτή γέφυρα μήκους 18,9 m και τέσσερις βοηθητικές πλωτές γέφυρες συνολικού μήκους 32,9 m, ενώ υπήρχαν ανυψωτικοί μηχανισμοί ύψους πενήντα πέντε μέτρων. Τα βαρούλκα ανύψωσης που είχαν εγκατασταθεί είχαν ελκτική ισχύ 120 τόνων. Δονητικά τρυπάνια με διάμετρο 2,1 m και μήκος δέκα οκτώ μέτρα εκτελούσαν διατρήσεις στον πυθμένα της θάλασσας υποκινούμενα από τον κινητήρα του πλοίου που δημιουργούσε κραδασμούς οι οποίοι μεταφέρονταν στα τρυπάνια. Με τη σειρά τους τα τρυπάνια μετέφεραν δονήσεις στον πυθμένα της θάλασσας με συχνότητα που κυμαινόταν μεταξύ 25 και 30 Hertz και μέγεθος δόνησης 4 με 5 mm.



Εικόνα 124. Το πλοίο Mytilus.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Ships/431.html>)

Αν και το πλοίο Ostrea ήταν το πιο εντυπωσιακό πλοίο του στόλου, το πλοίο Cardium ήταν το πιο ακριβό (Εικόνα 125). Το πραγματικό κόστος ήταν ογδόντα τοις εκατό υψηλότερο από το αναμενόμενο. Το Cardium πραγματοποιούσε μία σημαντική εργασία, αυτή της τοποθέτησης των γεωφασμάτων ενίσχυσης του πυθμένα. Αυτά τα γεωφάσματα είχαν τριάντα έξι εκατοστά πάχος, σαράντα δύο μέτρα πλάτος και διακόσια μέτρα μήκος. Τα συνθετικά υφάσματα πληρώθηκαν με άμμο και χαλίκι σε ένα εργοστάσιο που στη συνέχεια

μεταφέρονταν σε μια τεράστια δεξαμενή η οποία βρισκονταν στο πλοίο. Τα γεωφάσματα τοποθετούνταν στον πυθμένα της θάλασσας με ρυθμό δέκα μέτρων ανά ώρα, με ένα επιπλέον γεωφάσμα να τοποθετείται στα σημεία όπου οι προβλήτες επρόκειτο να τοποθετηθούν, με σκοπό να προστατευτούν τα εδαφοτεχνικά υλικά από την φθορά η οποία μπορούσε να συμβεί κατά τη διαδικασία ανοίγματος και κλεισίματος των θυρών.



Εικόνα 125. Το πλοίο Cardium.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Ships/431.html>)

Το πλοίο Ostrea ήταν η ναυαρχίδα του στόλου του σχεδίου δέλτα (Εικόνα 126). Με μήκος ογδόντα επτά μέτρα, σχήματος U και ισχύος 8.000 ίππων ήταν το πιο εντυπωσιακό πλοίο. Το πλοίο μετέφερε και ανύψωσε τους προβλήτες από τη θέση κατασκευής τους στην θέση τελικής τοποθέτησής τους. Από την ανοιχτή πλευρά του σχήματος U το πλοίο πραγματοποιούσε ελιγμούς γύρω από τον προβλήτα. Το πλοίο μπορούσε να ελίσσεται εύκολα χάρη σε τέσσερις προπέλες. Και στις δύο πλευρές υπήρχαν δύο ανυψωτικοί μηχανισμοί ύψους πενήντα μέτρων, ενώ υπήρχαν προβλήτες σε αυτούς τους μηχανισμούς. Οι γερανοί δεν μπορούσαν να ανυψώσουν παραπάνω από 10.000 τόνους, ωστόσο οι προβλήτες ζύγισαν 18.000 τόνους, αλλά οι γερανοί δεν απαιτούνταν να ανυψώσουν τους προβλήτες εντελώς έξω από το νερό, αφού το πιο σημαντικό στοιχείο ήταν ότι δεν

ερχόντουσαν σε επαφή με τον πυθμένα της θάλασσας κατά τη μεταφορά τους λόγω της ανωστικής δύναμης του νερού επομένως απαιτούνταν να καταβάλλουν λιγότερη ενέργεια ανύψωσης.



Εικόνα 126. Το πλοίο Ostrea.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Ships/431.html>)

Το πλοίο Macoma που αποτελούσε μια πλωτή εξέδρα ονομάστηκε έτσι για τον λόγο ότι μετά την τοποθέτηση ενός προβλήτα βρισκόντουσαν ακριβώς μπροστά από τον προβλήτα διάφορα είδη από οστρακοειδή (Εικόνα 127). Όταν το πλοίο Ostrea μετέφερε έναν προβλήτα προσδενόταν στο πλοίο Macoma. Για να υπάρχει σταθερότητα στο Ostrea η πλωτή εξέδρα είχε έναν μηχανισμό σύζευξης με ισχύ εξακόσιους τόνους. Η Macoma επιτελούσε επίσης μια δεύτερη λειτουργία αφού ως μια τεράστια ηλεκτρική σκούπα χρησιμοποιήθηκε για να διασφαλιστεί ότι δεν υπήρχε άμμος ανάμεσα στον προβλήτα και τον πυθμένα η οποία ήταν μία εξαιρετικά δύσκολη εργασία διότι οι παλιρροϊκές κινήσεις μετέφεραν μεγάλες ποσότητες άμμου κάθε μέρα.



Εικόνα 127. Το πλοίο Macoma.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Ships/431.html>)

Το πλοίο Wijker Rib βύθιζε αρχικά πέτρες. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής του φράγματος Oosterschelde, το πλοίο ήταν πολλαπλών λειτουργιών. Μεταξύ άλλων πλοίων υποστήριξε ένα μικρό όχημα επιθεώρησης το Portunus. Το όχημα αυτό είχε το μέγεθος ενός μικρού φορτηγού και μπορούσε να κυκλοφορήσει στο βυθό της θάλασσας με ερπύστριες. Οι παρατηρήσεις του Portunus μεταφέρονταν στο πλοίο-μητέρα μέσω ενός καλωδίου και τα δεδομένα ελέγχονταν, επεξεργάζονταν και αξιοποιούνταν στο πλοίο Wijker Rib.

Τέλος υπήρξαν πολλά περισσότερα πλοία που συνεργάστηκαν στην κατασκευή του φράγματος. Το πλοίο Johan V ήταν μία πλατφόρμα γεωτεχνικής αναγνώρισης η οποία κατασκευάστηκε ειδικά για αυτόν τον σκοπό. Ήταν εφοδιασμένη με ένα τρυπάνι και έναν καταδυτικό σωλήνα. Μέσω αυτού του καταδυτικού σωλήνα παίρνονταν δείγματα του βυθού. Άλλο ένα πλοίο ήταν το Heymans που βοήθησε το πλοίο Cardium να τοποθετήσει τα γεωστρώματα. Το Jan Heymans ήταν επίσης υπεύθυνο για την πλήρωση των κενών μεταξύ των γεωστρωμάτων και του χαλικιού (Εικόνα 128). Επιπλέον το Macoma συνεργάστηκε με το πλοίο Seria και το Donax I κατά την διάρκεια τοποθέτησης των γεωφασμάτων από αμμοχάλικο στον πυθμένα.



Εικόνα 128. Το πλοίο Jan Heymans.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Ships/431.html>)

5.3.7.5. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Πολλά είδη φυτών και ζώων επιβιώνουν στην περιοχή του φράγματος Oosterschelde. Η βέλτιστη θερμοκρασία του νερού, η περιεκτικότητα σε αλάτι και η τροφοδοσία με θρεπτικά στοιχεία βοήθησε στο να αναπτυχθούν πολλά είδη και μεγάλοι πληθυσμοί πουλιών, ψαριών και θαλάσσιων φυτών.



Εικόνα 129. Ηλιοβασίλεμα στο φράγμα Oosterschelde.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Nature/432.html>)

Υπάρχουν περίπου εξήντα έξι είδη ψαριών τα οποία επιβιώνουν στο φράγμα Oosterschelde. Ψάρια όπως η γλώσσα, τα νέα πλευρονηκτοειδή είναι μόνο ένα μικρό δείγμα ενώ περίπου δεκαπέντε είδη, όπως ο σολομός, ο οξύρρυγχος και άλλα είναι σπάνια. Πολλά είδη ψαριών όπως ο μπακαλιάρος και η ρέγγα επιβιώνουν στο φράγμα Oosterschelde και μεγάλοι πληθυσμοί όπως γαύροι, θαλάσσιες βελόνες και χέλια έχουν γεννηθεί στην περιοχή του φράγματος.

Η περιοχή του φράγματος Oosterschelde είναι γεμάτη από πτηνά. Με εξαίρεση τα νησιά West Frisian, στην περιοχή αυτή ζουν τα περισσότερα είδη πτηνών. Υπάρχουν τέσσερις παράγοντες που επηρεάζουν την πτηνοπανίδα: 1) οι ποσότητες νερού με υψηλή συγκέντρωση αλατιού, 2) το καθαρό νερό, 3) ένα ήσυχο περιβάλλον και 4) η επαρκής ποσότητα τροφής. Υπάρχει πλεονασμός θρεπτικών στοιχείων που τα πουλιά μπορούν να φάνε τα μύδια, τα σκουλήκια, τα κυδώνια, τις γαρίδες, μικρά ψάρια και φύκια. Οι ευνοϊκές συνθήκες καθιστούν την περιοχή έναν δημοφιλή προορισμό για τα αποδημητικά πουλιά. Κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου μεγάλες ομάδες πουλιών, πάπιες και χήνες μεταναστεύουν συνεχώς ενώ οι πιο γνωστές είναι οι φθινοπωρινές μεταναστεύσεις προς τις θερμότερες περιοχές και οι μεταναστεύσεις την άνοιξη προς τις περιοχές αναπαραγωγής. Η περίοδος κατά την οποία η μετανάστευση αρχίζει διαφέρει σημαντικά μεταξύ των διαφόρων ειδών. Διάφορα ήδη επιστρέφουν στους τόπους αναπαραγωγής τους τον Φεβρουάριο, ενώ τα περισσότερα μεταναστευτικά πτηνά δεν φτάνουν στις Κάτω Χώρες μέχρι τον Απρίλιο ή τον Μάιο. Στις αρχές του Αυγούστου, τα είδη πτηνών swifts, cuckoos μεταναστεύουν και πάλι ακολουθούμενα από τη φθινοπωρινή μετανάστευση πολλών πτηνών που τρέφονται με διάφορα είδη τον Σεπτέμβριο. Τέλος κατά την περίοδο του Οκτωβρίου έχει επέλθει το αποκορύφωμα της φθινοπωρινής μετανάστευσης των πτηνών.

Τα οστρακοειδή αυτά είναι πολύ σημαντικά για την αλιεία στην περιοχή Zeeland. Οι καλλιεργητές μυδιών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες που μπορούν να επηρεάσουν την καλλιέργεια. Ο τόπος όπου τα μύδια και τα στρείδια αναπαράγονται πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά. Πρώτον το νερό πρέπει να κινείται αρκετά γρήγορα για να είναι επαρκές σε πλαγκτόν αλλά ταυτόχρονα δεν μπορεί να κινείται και πολύ γρήγορα, επειδή τα μύδια μπορεί να παρασυρθούν με άμμο. Δεύτερον μεγάλα κλαδιά από ξύλο πρέπει να περιβάλλουν την περιοχή. Τέλος τα μύδια πρέπει να βρίσκονται σε μια σκληρή επίπεδη επιφάνεια κατά τη διάρκεια της κατοικίας τους, που θα πρέπει να περιβάλλεται από καθαρό νερό. Η περίοδος των μυδιών διαρκεί από τον Ιούλιο μέχρι νωρίς την άνοιξη. Πολλές ποσότητες μυδιών εξάγονται στη Γαλλία και το Βέλγιο, ενώ μεγάλες ποσότητες από μύδια καταναλώνονται στην περιοχή Zeeland επίσης. Η μεγαλύτερη πόλη-παραγωγός μυδιών είναι η Yerseke, η οποία σχεδόν εξ ολοκλήρου εξαρτάται από τη καλλιέργεια μυδιών. Τα μύδια περιέχουν λιγότερες θερμίδες ανά 100 γραμμάρια από ό,τι για παράδειγμα τα ψάρια και το κρέας (242 KJ-57 kcal). Περιέχουν περισσότερα ανόργανα άλατα από το κρέας (100 χιλιοστόγραμμα ασβέστιο, 250 χιλιοστόγραμμα φώσφορο, 6 χιλιοστόγραμμα σιδήρου, 300 χιλιοστόγραμμα νατρίου και 300 mg χιλιοστόγραμμα καλίου) και περίπου την ίδια ποσότητα βιταμινών (κυρίως συμπλέγματος Β και 2 χιλιοστόγραμμα βιταμίνης C). Δυστυχώς όμως πολλοί άνθρωποι είναι αλλεργικοί στην κατανάλωση μυδιών.

Κατά τη διάρκεια κατασκευής του φράγματος Oosterschelde χρησιμοποιήθηκαν διάφορα είδη πέτρας. Το γεγονός είναι ότι οι θαλάσσιες ανεμώνες, τα σφουγγάρια και οι αστερίες (*Ophiothrix fragilis*) έχουν διαφορετική προτίμηση για το είδος πέτρας που ζουν. Τα φύκια εμφανίζονται επίσης σε πολλούς διαφορετικούς τύπους, αφού υπάρχουν σαράντα δύο είδη ερυθρών φυκιών, τριάντα τέσσερις τύποι καφέ φυκιών, τριάντα είδη μπλε φυκιών και τριάντα οκτώ είδη πράσινων φυκιών στο Oosterschelde. Άλλοι οργανισμοί οι οποίοι μπορούν να

βρεθούν σε σχετικά μεγάλες ποσότητες είναι γυμνοσάλιαγκες, chaetopodes, θαλάσσια βελανίδια, αστερίες, μέδουσες, καβούρια και γαρίδες ενώ σπάνια εμφανίζονται χταπόδια αφού παρά το γεγονός ότι το περιβάλλον συνεχώς βελτιώνεται, οι λάτρεις των θαλάσσιων σπορ ενοχλούν την κοινότητα αυτών των ειδών ζωής (<http://www.deltawerken.com/Nature/432.html>).

5.3.8. Το Φράγμα Hartel

Η κατασκευή του φράγματος Hartel κατέστη απαραίτητη όταν αποφασίστηκε να κατασκευαστεί το φράγμα στη Νέα Πλωτή Οδό (Εικόνα 130, 131). Όταν το φράγμα Maeslant κλείνει σε ακραίες περιπτώσεις τότε μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού θα μπορούσαν να απειλήσουν την περιοχή EuroPort που βρίσκεται πίσω από το φράγμα. Κατά συνέπεια κατασκευάστηκε ένα φράγμα αντιμετώπισης των κυμάτων καταιγίδας στο κανάλι Hartel κοντά στην περιοχή Spijkensisse. Το κινητό φράγμα έχει θύρες που έχουν αναρτηθεί μεταξύ των πύργων. Το σχήμα των θυρών και των πύργων είναι μοναδικό αφού οι θύρες έχουν τη μορφή έλλειψης και οι πύργοι είναι οβάλ ενώ όταν συμβαίνει μια θύελλα, οι θύρες μπορούν να εισέλθουν στο νερό προστατεύοντας την περιοχή.



Εικόνα 130. Το φράγμα Hartel.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Hartel-barrier/331.html>)

5.3.8.1. Περιγραφή-Λειτουργία Φράγματος

Η ειδική συνθήκη λειτουργίας για το φράγμα Hartel είναι ότι το νερό ρέει πάνω από το φράγμα. Κατά συνέπεια οι θύρες θα πρέπει να αντιμετωπίσουν δυνάμεις διαφορετικών εντάσεων και διαφορετικών κατευθύνσεων. Οι σχεδιαστές του φράγματος είχαν να αντιμετωπίσουν την πρόκληση να κατασκευάσουν το φράγμα κατά τέτοιο τρόπο που θα άντεχε ακόμη και στις ισχυρότερες καταιγίδες ενώ δεν επιτρέπονταν οι έντονες μετακινήσεις. Το φράγμα έπρεπε επίσης να ικανοποιήσει ορισμένες απαιτήσεις όταν ήταν ανοιχτό αφού απαιτούνταν η αποτροπή πρόκλησης ζημιών από τους ισχυρούς ανέμους της περιοχής κάτι

που οφειλόταν στο μοναδικό αεροδυναμικό σχήμα και την μεγάλη επιφάνεια των θυρών.



Εικόνα 131. Λεπτομερής θέση φράγματος Hartel.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Hartel-barrier/331.html>)

Υπάρχει μια πύλη ελέγχου σε κάθε πλευρά του καναλιού Hartel και μια τρίτη πύλη βρίσκεται στη μέση του καναλιού. Οι τρεις πύλες είναι τοποθετημένες στους προβλήτες της γέφυρας που διατρέχουν πάνω από το κανάλι Hartel. Τα ανοίγματα των προβλητών είναι 49,3 και 98 m. Όταν το φράγμα είναι ανοιχτό οι θύρες βρίσκονται περίπου δεκατέσσερα μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και η θέση αυτή είναι λίγο υψηλότερα από το κατώτατο σημείο της γέφυρας. Εφόσον κλείσουν οι θύρες μπορούν να διαχειριστούν κύματα καταιγίδας με στάθμη μέχρι και 3 m πάνω από τη μέση στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας των υδάτων ενώ επισημαίνεται ότι όταν κατασκευαζόταν το φράγμα Hartel, ο κύλινδρος ανύψωσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο μεγαλύτερος στην Ευρώπη.

Το φράγμα Hartel δεν κλείνει χωρίς σοβαρό λόγο αφού το υπολογιστικό σύστημα BOS αποφασίζει εάν το φράγμα θα πρέπει να κλείσει ή όχι (Εικόνα 132). Οι έκτακτες περιστάσεις που μπορούν συχνά να συμβούν μπορούν να προσδιοριστούν πιο αντικειμενικά και με μεγαλύτερη ακρίβεια από έναν υπολογιστή παρά από τον άνθρωπο. Υπολογίστηκε ότι το φράγμα θα κλείνει μία ή δύο φορές κάθε δέκα έτη κατά ανώτατο όριο. Η συχνότητα αυτή μάλλον θα αυξηθεί στο μέλλον λόγω των κλιματικών αλλαγών αφού η κακοκαιρία θα εμφανίζεται πιο συχνά και λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Όταν το φράγμα είναι κλειστό τα πλοία δεν μπορούν να περάσουν μέσα από το κανάλι Hartel ενώ και οι διώρυγες είναι κλειστές που βρίσκονται δίπλα σε αυτό. Διενεργούνται έλεγχοι κάθε δύο εβδομάδες για να διασφαλιστεί ότι οι θύρες εξακολουθούν να μπορούν να κινηθούν. Στους

ελέγχους οι θύρες μετακινούνται απλά μερικά εκατοστά οπότε με αυτό τον τρόπο τυχόν ελαττώματα ή δυσλειτουργίες μπορούν να ανιχνευθούν έγκαιρα ώστε να αποτραπούν δυσάρεστες εκπλήξεις κατά τη διάρκεια μιας κακοκαιρίας (<http://www.deltawerken.com/Hartel-barrier/331.html>).



Εικόνα 132. Το φράγμα Hartel (κλειστό).

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Hartel-barrier/331.html>)

5.3.9. Το Φράγμα Maeslant

5.3.9.1. Εισαγωγή

Ένα χρόνο μετά το άνοιγμα του φράγματος Oosterschelde, το Υπουργείο Οδών και Δημοσίων Έργων διεξήγαγε διαγωνισμό για την κατασκευή ενός νέου φράγματος αντιμετώπισης των κυμάτων καταιγίδας.

Αυτή τη φορά δεν θα κατασκευαζόταν ένα νέο φράγμα αντιμετώπισης των κυμάτων καταιγίδας στην περιοχή Zeeland, αλλά στην περιοχή New Waterway (Nieuwe Waterweg) οπότε δεν θα ήταν απαραίτητο πλέον να αυξηθεί η στέψη των αναχωμάτων γύρω από το Ρότερνταμ. Η πιο σημαντική απαίτηση για τη μελέτη ήταν ότι το φράγμα δεν έπρεπε να εμποδίσει την ναυτιλία. Το φράγμα θα έπρεπε να κλείνει μόνο κάτω από εξαιρετικές περιστάσεις-με συχνότητα όχι μεγαλύτερη από μία ή δύο φορές κάθε δέκα χρόνια. Το 1991 τέσσερα χρόνια μετά αφού διεξήχθη ο διαγωνισμός για τον ανάδοχο του έργου, άρχισε η κατασκευή του. Προτάθηκαν έξι υποψήφια εναλλακτικά σχέδια κατασκευής του έργου ενώ τελικά η πρόταση της εταιρίας Building Combination Maeslant Barrier ανέλαβε το έργο. Το φράγμα Maeslant θα αποτελούνταν από δύο ασάλινες θύρες που θα μπορούσαν να βυθιστούν στο νερό ενώ επιπλέον θα μπορούσαν να μετακινούνται προς τις ακτές όταν θα έπρεπε να παραμείνει ανοικτό (Εικόνα 133, 134).

Το Σάββατο στις 10 Μαΐου 1997, εγκαινιάστηκε το νέο φράγμα κοντά στην περιοχή Hoek της Ολλανδίας. Το φράγμα ξεκίνησε επίσημα την λειτουργία του από την Βασίλισσα της

Ολλανδίας Βεατρίκη. Στις 4:30 μμ οι τεραστίων διαστάσεων κινητές θύρες κινούνται ταυτόχρονα και με την ίδια ταχύτητα από τις ακτές για τη νέα πλωτή οδό για πρώτη φορά ενώ η συνολική διαδικασία διήρκεσε περίπου δύο ώρες.



Εικόνα 133. Το φράγμα Maeslant.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)



Εικόνα 134. Σχετική θέση φράγματος Maeslant.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)

5.3.9.2. Λειτουργία Φράγματος

Κατά τη χρονική στιγμή υπέρβασης της στάθμης των υδάτων πάνω από 3 m από την μέση ελεύθερη επιφάνεια των υδάτων, ενεργοποιούνται τότε τα κινητά μέρη του φράγματος. Η πλωτή οδός με πλάτος 360 m μπορεί στη συνέχεια να κλείσει εντελώς (Εικόνα 135). Εκ

πρώτης όψεως είναι σχεδόν απίστευτο ότι ένα τέτοιο φράγμα είναι ικανό για ένα τέτοιο επίτευγμα. Το φράγμα Maeslant έχει μήκος σχεδόν όσο το ύψος του πύργου του Άιφελ και ζυγίζει περίπου τέσσερις φορές περισσότερο. Είναι το μόνο φράγμα αντιμετώπισης κυμάτων καταιγίδας στον κόσμο με τόσο μεγάλα κινητά τμήματα. Οι κινητές θύρες έχουν μήκος 240 m η καθεμία. Υπό κανονικές συνθήκες οι πόρτες ανοίγουν πλήρως ώστε τα πλοία να έχουν πρόσβαση στο λιμάνι του Ρότερνταμ. Όταν το φράγμα είναι ανοικτό οι θύρες τοποθετούνται κατά μήκος σε ειδικές υποδοχές μήκους 210 m οι οποίες βρίσκονται κατά μήκος των δύο οχθών του ποταμού.

Κατά τη διάρκεια δυσμενών καιρικών συνθηκών οι ειδικές υποδοχές των θυρών πλημμυρίζουν και αρχίζουν να επιπλέουν. Στη συνέχεια οδηγούνται προς την θάλασσα περιοχή με τη βοήθεια ενός ελκτικού μηχανισμού ενώ η διαδικασία αυτή διαρκεί περίπου μισή ώρα. Όταν οι θύρες βρίσκονται πλέον στη μέση του ποταμού, ειδικές βαλβίδες ανοίγουν πλημμυρίζοντας τις θύρες οπότε βυθίζονται προς τα κάτω λόγω του πρόσθετου βάρους τους. Στον πυθμένα έχει κατασκευαστεί μία κατώτατη ενισχυτική στρώση από σκυρόδεμα ενώ ταυτόχρονα συγκεντρώνεται μεγάλη ποσότητα ιλύος πάνω σε αυτήν. Για να σφραγιστεί εντελώς η πλωτή οδός οι κινητές θύρες του φράγματος πρέπει να βρίσκονται σε άριστη επαφή με την κατώτατη στρώση από σκυρόδεμα. Οι θύρες δεν τοποθετούνται αμέσως πάνω στη στρώση αυτή, αλλά ουσιαστικά βρίσκονται σε αιώρηση λίγο πάνω από αυτές. Η ταχύτητα του ρεύματος λόγω μείωσης της επιφάνειας ροής γίνεται τόσο ισχυρή που η ιλύς παρασύρεται μακριά. Μετά από περίπου μία ώρα οι πόρτες μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στην επίπεδη χωρίς λάσπη επιφάνεια. Η στάθμη του νερού στη θάλασσα στη συνέχεια γίνεται υψηλότερη από ό,τι η στάθμη του νερού από την πλευρά του ποταμού. Η δύναμη που ασκείται στις θύρες κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας είναι περίπου 350 MN και η δύναμη αυτή είναι ίση με το βάρος 350.000 ισχυρών ανδρών που ζυγίζουν 100 κιλά ο καθένας. Επιπλέον η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών των θυρών είναι τόσο μεγάλη που ένα πλοίο ίσων διαστάσεων με το φράγμα θα ανατρεπόταν αμέσως, ενώ έχουν αποκλειστεί οι καταστρεπτικές επιπτώσεις στο σώμα του φράγματος λόγω αυτής της μεγάλης διαφοράς πιέσεων με το μοναδικό σχήμα του φράγματος που αποτρέπει ένα τέτοιο ενδεχόμενο (<http://www.deltawerken.com/The-functioning/463.html>).

5.3.9.3. Σκοπιμότητα Φράγματος

Το νέο φράγμα της νέας πλωτής οδού σήμαινε το τελευταίο τμήμα του σχεδίου Δέλτα. Εξαιτίας της ύπαρξης του φράγματος αντιμετώπισης των κυμάτων καταιγίδας, προστατεύονται από τη θάλασσα περίπου ένα εκατομμύριο άνθρωποι στην νότια περιοχή Holland. Το φράγμα Maeslant είναι απαραίτητο για διάφορους λόγους. Το φράγμα είναι το πιο σημαντικό έργο για την προστασία του Ρότερνταμ και της γύρω περιοχής στο εγγύς μέλλον (Εικόνα 136) ενώ και το θαλασσινό νερό απειλεί όλο και περισσότερες εκτάσεις λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας με συνεπακόλουθα προβλήματα υφαλμύρωσης των υδάτων.

Το Ρότερνταμ δεν ήταν η μόνη περιοχή που έπρεπε να προστατευθεί. Η λεκάνη απορροής κατά μήκος της νέας πλωτής οδού και του Μεύση απαιτούσαν επίσης προστασία. Το φράγμα Maeslant δεν θα μπορούσε να διαχειριστεί την κατάσταση από μόνο του και μαζί με το φράγμα Hartel, σχηματίζεται μια ενιαία γραμμή προστασίας και άμυνας για το σύνολο της περιοχής. Το σύνολο του έργου συμπεριλαμβανομένων των ενισχύσεων των αναχωμάτων κόστισε 635 εκατομμύρια ευρώ και ήταν 150 εκατομμύρια ευρώ λιγότερα από ό,τι προέβλεπε το εναλλακτικό σχέδιο κατά το οποίο όλα τα αναχώματα στην περιοχή θα είχαν ενισχυθεί και

αυξηθεί σε ύψος. Τέλος το φράγμα Maeslant ολοκληρώθηκε το 1997 ενώ αναφορικά με το εναλλακτικό σχέδιο ενίσχυσης των αναχωμάτων αυτό θα απαιτούσε επιπλέον δέκα χρόνια εργασίας (<http://www.deltawerken.com/Indispensable-/464.html>).



Εικόνα 135. Το φράγμα Maeslant (κλειστό).

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Indispensable-/464.html>)



Εικόνα 136. Γέφυρα στο λιμάνι του Ρότερνταμ στη Νέα Πλωτή Οδό.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Indispensable-/464.html>)

5.3.9.4. Τμήματα του Έργου

5.3.9.4.1. Αρθρώσεις Θυρών

Οι κινητές θύρες του φράγματος είναι πραγματικά ένα ανθρώπινο επίτευγμα. Ωστόσο η λειτουργία τους υπόκειται σε περιορισμούς αφού όταν κλείνουν η δύναμη του νερού που ασκείται αρχικά επί των θυρών και μετά στο χωροδικτύωμα μεταφέρεται στις αρθρώσεις. Οι αρθρώσεις στην πραγματικότητα αποτελούν τα πιο σημαντικά στοιχεία του έργου (Εικόνα 137). Και οι δύο αρθρώσεις εξασφαλίζουν ότι οι θύρες μπορούν να μετακινηθούν προς όλες

τις κατευθύνσεις, τόσο οριζόντια (όταν κλείνουν ή ανοίγουν) όσο και κάθετα (όταν βυθίζονται ή ανυψώνονται στο νερό). Επιπλέον οι θύρες θα πρέπει να είναι ανθεκτικές στα κύματα σε περίπτωση καταιγίδας μεταφέροντας την τεράστια πίεση του νερού που ασκείται στις θύρες μέχρι τα θεμέλια της κατασκευής. Η μόνη διάταξη που είναι σε θέση να εκτελέσει όλες αυτές τις κινήσεις είναι μία ειδική άρθρωση και μπορεί να συγκριθεί σε λειτουργία με την άρθρωση που υπάρχει στο ανθρώπινο ισχίο ή στην ένωση ώμων παρόλα αυτά οι αρθρώσεις του φράγματος έχουν διάμετρο δέκα μέτρα και ζυγίζουν 680 τόνους.



Εικόνα 137. Αρθρωτοί μηχανισμοί θυρών.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Parts/499.html>)

5.3.9.4.2. Κατώτατη Στρώση Θεμελίωσης

Η κατασκευή της κατώτατης στρώσης στον πυθμένα της Νέας Πλωτής οδού έχει τρεις λειτουργίες (Εικόνα 138):

1. Βοηθά στο σχηματισμό μιας επίπεδης βάσης και μιας ισχυρής θεμελίωσης για τις θύρες του φράγματος οι οποίες φέρουν προσκρουστήρες σε επαφή με την στρώση αυτή.
2. Περιορίζει τη ροή του νερού σε περίπτωση κλεισίματος του φράγματος.
3. Προσφέρει ανθεκτικότερη θεμελίωση της βάσης επί της οποίας θεμελιώνονται οι αρθρωτοί μηχανισμοί.



Εικόνα 138. Θεμελίωση αρθρωτών μηχανισμών θυρών.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Parts/499.html>)

5.3.9.4.3. Έλεγχος Λειτουργίας Έργου

Τα συστήματα που ελέγχουν την κίνηση και την λειτουργία του φράγματος διαχειρίζονται από τα κτίρια ελέγχου στη βόρεια και τη νότια πλευρά (Εικόνα 139). Τα έργα αυτά αποτελούνται από τρία μέρη την πύλη, την ατμομηχανή και το σύστημα ισορροπίας-έρματος του τοίχου του φράγματος. Η πύλη ανοίγει όταν το φράγμα βρίσκεται σε λειτουργία, ενώ το φράγμα κινείται στη Νέα Πλωτή Οδό από μία ατμομηχανή ενώ τέλος το σύστημα ισορροπίας-έρματος επιτρέπει στο φράγμα να βυθιστεί (Εικόνα 140).



Εικόνα 139. Κέντρο λειτουργίας.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Parts/499.html>)



Εικόνα 140. Βυθιζόμενες θύρες.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Parts/499.html>)

Το φράγμα Maeslantkering ελέγχεται από έναν υπολογιστή. Στην περίπτωση ύπαρξης καταιγίδας η απόφαση του κατά πόσο πρέπει ή όχι να κλείσει το φράγμα λαμβάνεται από ένα σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή (BOS) αφού η πιθανότητα λαθών είναι πολύ αυξημένη εάν άνθρωποι επρόκειτο να λάβουν την απόφαση. Ένας υπολογιστής όμως θα ακολουθήσει τις προκαθορισμένες διαδικασίες και δεν λαμβάνει αποφάσεις της τελευταίας στιγμής καθώς δεν επηρεάζεται από τις άσχημες περιβαλλοντικές συνθήκες. Το σύστημα λαμβάνει υπόψη μόνο τις συνθήκες του νερού και τα μετεωρολογικά δελτία καιρού. Σύμφωνα με αυτά

υπολογίζει τα αναμενόμενα επίπεδα στάθμης του νερού στο Ρότερνταμ, στην πόλη Dordrecht και στην πόλη Spijkenisse. Όταν το σύστημα BOS αποφασίσει να κλείσει το φράγμα δίνει εντολές σε ένα άλλο σύστημα υπολογιστή το BES. Το BES εκτελεί τις εντολές του συστήματος BOS. Το σύστημα αυτό λειτουργεί εντελώς αυτόματα, αλλά παραμένει κάτω από τη συνεχή ανθρώπινη επίβλεψη όσον αφορά τις διαδικασίες που ακολουθούνται (<http://www.deltawerken.com/Parts/499.html>).

5.3.10. Βοηθητικά Φράγματα

5.3.10.1. Εισαγωγή

Η απόφαση για την κατασκευή ενός φράγματος έχει αρκετές συνέπειες. Με την κατασκευή φράγματος οι κινήσεις της παλίρροιας εξαλείφονται εντελώς ενώ χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση οι κινήσεις της παλίρροιας παραμένουν ανεπηρέαστες. Στο δέλτα λόγω της κατασκευής των φραγμάτων περιορίστηκαν σημαντικά οι συνέπειες από τα κύματα θύελλας και τις πλημμύρες από την άμπωτη και την πλημμυρίδα. Οι κινήσεις της παλίρροιας μειώθηκαν περίπου κατά 25%. Αυτό σήμαινε ότι πλέον οι αλυκές ήταν σαφώς διαχωρισμένες από τις περιοχές γλυκού νερού σε πολλά σημεία όπου κανονικά θα πλημμύριζαν κατά τη διάρκεια της υψηλής πλημμυρίδας.

Μία περίπτωση όπου αποφασίστηκε να μειωθεί το αρχικό μέγεθος του φράγματος, αφορούσε στο φράγμα Oosterschelde. Το φράγμα Oosterschelde έπρεπε να χωριστεί σε διαφορετικά επιμέρους τμήματα-διαμερίσματα μειώνοντας την αρχική επιφάνεια στην οποία θα παρείχε προστασία. Τα φράγματα που σχεδιάστηκαν για το σκοπό αυτό ονομάστηκαν φράγματα-διαμερίσματα. Τα φράγματα αυτά είναι το φράγμα Philips (μεταξύ του φράγματος Grevelingen και της περιοχής του Αγίου Philipsland), το φράγμα Oyster (μεταξύ της νότιας περιοχής Beveland και της βόρειας περιοχής Brabant), καθώς και το κανάλι Bath Sruι-μία διώρυγα μέσω της νότιας περιοχής Beveland. Κατά συνέπεια οι περιοχές κλειστών νερών (Krammer, Volkerak, η λίμνη Zoom και η λίμνη Markiezaat) μετατράπηκαν σε περιοχές καθαρού νερού.

Εκτός από τη μείωση του μεγέθους του φράγματος Oosterschelde, τα φράγματα κατασκευάστηκαν επίσης για να διασφαλίσουν ένα επίπεδο σταθερής παροχής νερού στη συμβολή των ποταμών Σελντ-Ρήνου που ήταν ζωτικής σημασίας για την διατήρηση της πλευστότητας της περιοχής παρέχοντας μια σταθερή σύνδεση με σκοπό την προσβασιμότητα του λιμανιού της Αμβέρσας. Επιπλέον τα φράγματα έπαιξαν έναν καθοριστικό ρόλο στον έλεγχο των υδάτων και τη προστασία του περιβάλλοντος όπως για παράδειγμα στην περιοχή Western Brabant. Με τη δημιουργία των πρώτων λιμνών γλυκού νερού, το νερό άρχισε να διατίθεται για τη γεωργία η οποία μαστιζόταν από την υφαλμύρωση των υδάτων για μεγάλο χρονικό διάστημα.

5.3.10.2. Η Προκουαία Marquisate

Η προκουαία Marquisate (ή Markiezaat) είναι ένα βοηθητικό φράγμα μήκους τεσσάρων χιλιομέτρων που περιβάλλει την περιοχή Markiezaat της Bergen op Zoom (Εικόνα 51, 53, 141). Το φράγμα διατρέχει την περιοχή μεταξύ της νότιας περιοχής Beveland ανατολικά των διωρύγων Kreekrak και της περιοχής Molenplaat κοντά στην περιοχή Bergen op Zoom. Ήταν μέρος των συνοδευτικών έργων και συνεπώς έχει δύο λειτουργίες. Πρώτον πρέπει να διευκολύνει το κλείσιμο του φράγματος Oyster και δεύτερον βοήθησε στο να μειωθεί η

παροχή νερού στο κανάλι των ποταμών Σελντ-Ρήνου.

Η κατασκευή άρχισε στις 2 Ιανουαρίου 1981 και τελείωσε στις 20 Μαρτίου 1983. Μετακινούμενοι πάνω από το φράγμα με κατεύθυνση από το βορρά προς το νότο φαίνεται το χαμηλό τμήμα του φράγματος μήκους 1.900 m, ένας προβλήτας σφραγίσματος από πέτρα μήκους 800 m, ένα χαμηλό τμήμα μήκους 400 m και ένα υψηλό τμήμα μήκους 1.100 m δυτικά της περιοχής Molenplaat και τέλος ένα φράγμα συνδετικής λειτουργίας στη νότια πλευρά της περιοχής Molenplaat. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η προκουμαία Markiezaat θα μπορούσε πιθανώς να είχε ολοκληρωθεί νωρίτερα εάν το δυτικό τμήμα της δεν είχε πληγεί από βαριά καταιγίδα την νύχτα της 10^{ης} και της 11^{ης} Μαρτίου 1982.



Εικόνα 141. Η Προκουμαία Marquisate.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Marquisate-Quay/335.html>)

Πίσω από την προκουμαία δημιουργήθηκε η λίμνη Markiezaat (ή Marquisate). Από το 1530 η περιοχή αυτή ονομάζεται «Πλημμυρισμένη περιοχή του Markiezaat Bergen op Zoom», ως αποτέλεσμα των πλημμυρών της Αγίας Ελισάβετ. Για πολύ καιρό ήταν μία παλιρροϊκή περιοχή όπου συναντιόνταν τα νερά της Βόρειας Θάλασσας και του ποταμού Σελντ. Δεδομένου του κλεισίματος της περιοχής Kreekrak το 1868, η λίμνη Markiezaat ήταν τμήμα του φράγματος Oosterschelde. Ως αποτέλεσμα της κατασκευής του φράγματος Oyster και ενός αναχώματος ανατολικά της συμβολής των ποταμών Σελντ-Ρήνου, δημιουργήθηκε μια λίμνη η οποία μετατράπηκε σε περιοχή γλυκού νερού μετά από μερικά χρόνια. Σύμφωνα με τη Παγκόσμια Οργάνωση για τη Φύση αυτός ο φυσικός ταμιευτήρας μπορεί να εξελιχθεί σε ένα βιώσιμο φυσικό οικοσύστημα αφού η λίμνη Markiezaat είναι ο μεγαλύτερος υγροβιότοπος της Ολλανδίας μετά από τη θάλασσα Wadden και τη λίμνη IJssel.



Εικόνα 142. Τα θυροφράγματα Kreekrak.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Marquisate-Quay/335.html>)

Έχει μεγάλη σημασία ότι το γλυκό νερό της λίμνης είναι καλής ποιότητας που έχει αρκετές συνέπειες. Πρώτον πολλοί λάτρεις θαλάσσιων σπορ επισκέπτονται την περιοχή. Δεύτερον η περιοχή του γλυκού νερού που αναπτύχθηκε πίσω από το φράγμα παίζει μεγάλο ρόλο στην παροχή αποθεμάτων νερού στην περιοχή και αυτή η προσφορά μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια των κρίσιμων ξηρών περιόδων. Χρησιμεύει ως μια λεκάνη απορροής-συλλογής για τις πλεονάζουσες ποσότητες επιφανειακών υδάτων από το δυτικό τμήμα της περιοχής της Βόρειας Βραβάντης κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου. Ωστόσο δεν είναι εύκολο να διατηρηθεί το νερό γλυκό αφού το θαλασσινό νερό μπορεί να εισέλθει σε δύο σημεία, πρώτον μέσω των διωρύγων στην περιοχή Kreekrak (Εικόνα 142, 143) και δεύτερον μέσω των διωρύγων Krammer στο φράγμα Philips. Αυτές οι διώρυγες έχουν ένα ευφυές σύστημα σύμφωνα με το οποίο μπορεί να διαχωρίσει τα γλυκά και τα αλμυρά ύδατα. Παρ'όλα αυτά δεν μπορεί να εμποδιστεί εντελώς η διαρροή μιας μικρής ποσότητας αλμυρού νερού στο φράγμα Volkerak και στη λίμνη Zoom. Για να αποβληθεί εντελώς το αλμυρό ή το ρυπασμένο νερό έχουν κατασκευαστεί ένα κανάλι και ένα θυρόφραγμα αποστράγγισης προς την κατεύθυνση της περιοχής του δυτικού τμήματος του ποταμού Σελντ (<http://www.deltawerken.com/Marquisate-Quay/335.html>).



Εικόνα 143. Τα θυροφράγματα Kreekrak.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Marquisate-Quay/335.html>)

5.3.10.3. Το Φράγμα Oyster (Oesterdam)

Παρά το γεγονός ότι το φράγμα Oyster παρέμεινε ανοικτό, οι παλίρροιες θα μεταβάλλονταν έντονα στο φράγμα Oosterschelde. Επειδή το στόμιο εκβολής του φράγματος Oosterschelde μειώθηκε σε επιφάνεια ήταν πλέον δυνατό να κινηθούν μικρότερες ποσότητες θαλασσινού νερού εσωτερικά και εξωτερικά του φράγματος με αποτέλεσμα να απειλούνται βάλτοι με αλάτι και ελώδεις περιοχές, διότι είχε μειωθεί η διαφορά μεταξύ των υψηλών και των χαμηλών παλιρροιών. Δύο φράγματα που κατασκευάστηκαν στην ανατολική πλευρά του φράγματος Oosterschelde μείωσαν την επιφάνεια του ταμειυτήρα γεγονός που ενίσχυσε τις κινήσεις της παλίρροιας. Στα βόρειο-ανατολικά, το φράγμα Philips είχε απομονώσει την περιοχή Krammer έκτασης περίπου 3.500 εκταρίων υδάτων από το φράγμα Oosterschelde. Το φράγμα Oyster απομόνωσε άλλα 1.000 εκτάρια επιφάνειας νερού στην ανατολική πλευρά (Εικόνα 51, 53, 144). Λόγω της απομόνωσης των περιοχών αυτών, η στάθμη του νερού στο φράγμα Oosterschelde έπρεπε να αυξηθεί κατά 2,7 m λόγω της αρχικής μείωσής της από τα παραπάνω δύο φράγματα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η καλλιέργεια στρειδιών στην περιοχή Yerseke να σωθεί εξαιτίας αυτών των φραγμάτων. Επίσης τα φράγματα εγγυόντουσαν ότι το κανάλι Σελντ-Ρηνανίας δεν υπόκειταν πλέον σε καταστροφικές ζημιές από τις παλίρροιες αφού προστάτευαν τις περιοχές που βρίσκονταν πίσω από αυτά λόγω του κινδύνου των υψηλών επιπέδων του νερού σε συνδυασμό με το φράγμα Oosterschelde.



Εικόνα 144. Το φράγμα Oyster (Oesterdam).

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)

Το φράγμα Oyster είναι το μεγαλύτερο σε μήκος έργο του δέλτα με μήκος έντεκα χιλιόμετρα. Συνδέοντας την περιοχή Tholen με τη νότια περιοχή του Beveland, δημιουργήθηκε η λίμνη Zoom που ήταν τμήμα της συμβολής των ποταμών Σελντ-Ρηνανίας η οποία συνδέει το λιμάνι της Αμβέρσας με το ποτάμι Waal. Η λίμνη Zoom θα είχε επηρεάσει δυσμενώς την περιοχή Bergen op Zoom εάν δεν είχε κατασκευαστεί ο προβλήτας Markiezaat ενώ κατασκευάστηκε μεταξύ των ετών 1981 και 1983 για να διευκολυνθεί η κατασκευή του φράγματος Oyster. Λόγω της κατασκευής του προβλήτα Markiezaat το νερό ανάμεσα στην προκυμαία

Markiezaat και το φράγμα Oyster μετατράπηκε και έγινε η λίμνη Zoom. Μετακινούμενοι στα φράγματα από ανατολική κατεύθυνση θα παρατηρούνταν διαδοχικά το φράγμα Oosterschelde, το φράγμα Oyster, η λίμνη Zoom, ο προβλήτας Markiezaat, η λίμνη Markiezaat και οι ακτές της Βόρειας Βραβάντης.

Η λίμνη της περιοχής Tholen (Tholense Gat) δηλαδή τα νερά μεταξύ των περιοχών Tholen και της βόρειας περιοχής του Beveland, έκλεισε με τη συνεχή ανύψωση του πυθμένα της περιοχής (Εικόνα 145). Αυτή η μέθοδος ήταν πιο οικονομική σε σχέση με το κλείσιμο της λίμνης μέσω πετρών με ή χωρίς τη βοήθεια συρματοσχοινού. Δεδομένου ότι οι εργασίες κατασκευής προχωρούσαν, το κενό που έπρεπε να κλείσει γινόταν σταδιακά μικρότερο. Η ποσότητα του νερού που κινούνταν παρέμεινε όμως αμετάβλητη με αποτέλεσμα η ταχύτητα του ρεύματος συνεχώς να αυξάνεται. Επομένως ήταν αναμενόμενο ότι το κλείσιμο και η αύξηση του ύψους των τελευταίων μέτρων θα ήταν μια μακροχρόνια και δαπανηρή εργασία. Ως εκ τούτου η λίμνη δεν θα μπορούσε να είναι τελείως κλειστή μέχρι την οριστική αποπεράτωση του φράγματος Oosterschelde και τότε μόνο οι κινητές θύρες του φράγματος θα μπορούσαν να κλείσουν για την εξάλειψη των κινήσεων της παλίρροιας. Τελικά το φράγμα Oyster ολοκληρώθηκε το 1986 (<http://www.deltawerken.com/Oester-Dam/337.html>).



Εικόνα 145. Η λίμνη Tholense.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Oester-Dam/337.html>)

5.3.10.4. Το Φράγμα Philips

Ακόμη και αν το φράγμα Oosterschelde έχει ανοικτή λειτουργία, ήταν αναπόφευκτο ότι θα κατάφερνε να μείωνε την απορροή του νερού στις εκβολές του ποταμού Σελντ. Η μικρότερη ποσότητα θαλασσινού νερού που διακινούνταν διαμέσου του φράγματος Oosterschelde μείωσε την διαφορά σταθμών μεταξύ της άμπωτης και της πλημμυρίδας. Οι αλμυροί βάλτοι και οι περιοχές λάσπης τέθηκαν σε κίνδυνο παρά τις προσπάθειες των υπευθύνων. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα κατασκευάστηκαν άλλα δύο φράγματα ανατολικά του φράγματος Oosterschelde, το φράγμα Philips και ο σύνδεσμος-το φράγμα Oester. Αρχικά τα

φράγματα αυτά μείωσαν την επιφάνεια του ταμιευτήρα του φράγματος Oosterschelde και υποστήριξαν την άμπωτη και τη ροή της πλημμυρίδας στην υπόλοιπη περιοχή. Τα φράγματα αυτά σήμαιναν την επιβίωση όχι μόνο για τις αλυκές και τις περιοχές λάσπης, αλλά και για την καλλιέργεια στρειδιών στην περιοχή Yerseke αφού σε μεγάλο βαθμό οι καλλιεργητές στρειδιών εξαρτώνται από τις κινήσεις της παλίρροιας για τη συγκομιδή τους. Δεύτερον προέκυψε η χωρίς κόστος ανύψωση του παλιρροϊκού νερού πίσω από τα φράγματα που ήταν τμήμα του συνδέσμου μεταξύ των ποταμών Σελντ-Ρήνου. Τρίτον τα δύο αυτά φράγματα μαζί με το φράγμα Oosterschelde προστάτευαν την περιοχή ανάντι τους ενάντια στην υψηλή στάθμη των υδάτων. Στα έργα διαμερισματοποίησης ανήκουν επίσης τα έργα Markiezaatkade, η Bathse Spuikanaal και το Bathse Spuisluis.



Εικόνα 146. Το φράγμα Philips.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Philips-Dam/334.html>)

Το φράγμα Philips μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη (Εικόνα 51, 53, 146). Το βόρειο τμήμα εκτείνεται από το συγκρότημα διωρύγων στην περιοχή *Plaat van Vliet* στο φράγμα *Volkerak*, έως τη σύνδεση στο φράγμα *Grevelingen*. Το νότιο τμήμα εκτείνεται από την διώρυγα έως την περιοχή *Sint-Philipsland*. Το φράγμα κατασκευάστηκε όσο το δυνατόν σε μικρότερη απόσταση σε σχέση με το φράγμα *Oosterschelde* διότι διαφορετικά οι αλυκές της περιοχής *Sint-Philipsland* θα δημιουργούνταν πίσω από το φράγμα ενώ η στασιμότητα του γλυκού νερού θα σήμαινε το τέλος των αλυκών. Η κατασκευή του φράγματος Philips διευκολύνθηκε από την προσωρινή παύση της λειτουργίας του φράγματος *Oosterschelde*. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε επίσης και για την κατασκευή του Φράγματος *Oester*.



Εικόνα 147. Εργασίες κατασκευής φράγματος Philips.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Philips-Dam/334.html>)

Κατά τα έτη 1977 και 1978, κατασκευάστηκε ένα τεχνητό νησί έκτασης 96 εκταρίων στην περιοχή *Plaat van Vliet* (Εικόνα 147, 148). Οι εκσκαφές κατασκευής στο νησί κάλυπταν μία έκταση 19 εκταρίων. Για κατασκευαστικούς λόγους σκάφτηκαν 100 εκτάρια και επιχωματώθηκαν 130 εκτάρια ενώ συνολικά εγχύθηκε σκυρόδεμα σε μία έκταση περίπου 370.000 m² που περιείχε 27.000 τόνους ενισχυμένο χάλυβα. Οι διώρυγες τελικά είχαν ολοκληρωθεί στα μέσα του 1984 και το φράγμα το 1987. Εν τω μεταξύ μεγάλη ποσότητα άμμου τοποθετήθηκε στη διαδρομή μεταξύ των περιοχών *Sint-Philipsland* και του φράγματος *Grevelingen* (<http://www.deltawerken.com/Philips-Dam/334.html>).



Εικόνα 148. Τεχνητό νησί εργασιών κατασκευής φράγματος.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Philips-Dam/334.html>)

5.3.10.4.1. Οι Διώρυγες Krammer (Krammersluizen)

Το πιο σημαντικό έργο του φράγματος Philips αποτελείται από τις δύο διώρυγες ναυσιπλοΐας (Εικόνα 149). Αυτές οι διώρυγες ήταν απαραίτητες διότι το φράγμα Philips αποτελούσε τον σύνδεσμο ναυσιπλοΐας μεταξύ του ποταμού Σελντ και του Ρήνου. Είναι εφοδιασμένες με ένα μοναδικό σύστημα με το οποίο μπορεί να διαχωριστεί το αλμυρό και το γλυκό νερό που είχε ως στόχο να αποτραπεί η υπερβολική εισροή αλμυρού νερού από το φράγμα Oosterschelde στα γλυκά νερά του φράγματος Volkerak ή η εκβολή υπερβολικών ποσοτήτων γλυκών νερών προς το φράγμα Oosterschelde καθώς τα πλοία διέρχονταν και άνοιγαν οι αντίστοιχες διώρυγες. Αυτό μπορούσε να γίνει πραγματικότητα διότι ήδη είχε αποκτηθεί πολύτιμη εμπειρία σχετικά με τα συστήματα διαχωρισμού αλμυρού-γλυκού νερού από την κατασκευή των διωρύγων Kreekrak που βρίσκονται νοτιότερα στη συμβολή των ποταμών Σελντ-Ρήνου. Οι διώρυγες κατασκευάστηκαν με μήκος 280 m και πλάτος 24 m, προκειμένου να δημιουργηθεί ο απαραίτητος χώρος για τα σκάφη εσωτερικής ναυσιπλοΐας δίνοντας τη δυνατότητα και στην ύπαρξη τεσσάρων ρυμουλκών. Επιπλέον κατασκευάστηκαν εξωτερικές θύρες μήκους 1,3 Km όπου τα πλοία θα μπορούσαν να προσδεθούν μπροστά από τις διώρυγες ενώ μια πρόσθετη διώρυγα κατασκευάστηκε βόρεια των δύο άλλων με ανεξάρτητη εξωτερική θύρα μήκους 75 m. Προβλέφτηκε επιπλέον χώρος για τυχόν πρόσθετες μελλοντικές διώρυγες, εάν αυξανόντουσαν είτε ο ναυτιλιακός κυκλοφοριακός φόρτος ή οι ανάγκες για αναψυχή στο μέλλον.



Εικόνα 149. Οι διώρυγες Krammer (Krammersluizen).

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Philipsdam---Locks/500.html>)

5.3.10.4.2. Η Συμβολή των ποταμών Σελντ-Ρήνου

Η συμβολή Σελντ-Ρήνου (ή Σελντ-κανάλι της Ρηνανίας) άνοιξε το 1975 για τις ναυτιλιακές μεταφορές μεταξύ των περιοχών του ποταμού Σελντ και του φράγματος Volkerak. Η διώρυγα έχει μήκος 38 χιλιόμετρα και ξεκινά από την περιοχή του λιμανιού της Αμβέρσας. Από εκεί περνάει από την περιοχή Zuid-Beveland και καταλήγει μέχρι το σημείο που βρίσκονται οι διώρυγες Kreekrak στο φράγμα Oosterschelde, ακολουθούμενη από το κανάλι που έχει βυθοκορηθεί μέσω του φράγματος Oosterschelde και του διευρυμένου ποταμιού Eendracht. Συνεχίζει στη συνέχεια μέσω της περιοχής Sint-Philipsland και καταλήγει στο φράγμα Volkerak. Όταν τα πλοία διασχίζουν τις διώρυγες Krammer του φράγματος Philips φτάνουν στην περιοχή Hollandsch Diep ενώ το ποτάμι Waal μπορεί να προσεγγιστεί μέσω του Merwede με τον περιορισμό του βάρους για τα πλοία που επιτρέπονται να διασχίζουν το κανάλι θα πρέπει να έχουν μέγιστο βάρος 9.000 τόνους.

5.3.10.4.3. Διαχωρισμός Αλμυρού και Γλυκού Νερού

Το γεγονός ότι το θαλασσινό νερό έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το γλυκό νερό (αλμυρό νερό: $1,03 \text{ kg/m}^3$ - γλυκό νερό: $1,00 \text{ kg/m}^3$) επηρέασε το σχεδιασμό των διωρύγων αφού όταν το αλμυρό και το γλυκό νερό αναμειγνύονται το θαλασσινό νερό βυθίζεται λόγω μεγαλύτερου βάρους. Ας υποθέσουμε ότι ένα πλοίο αναχωρεί από το φράγμα Oosterschelde προς την διώρυγα. Αρχικά οι θύρες της διώρυγας είναι κλειστές πίσω από το πλοίο. Στη συνέχεια το αλμυρό νερό (που βρίσκεται στο κάτω μέρος) αντλείται έξω. Στην κορυφή γλυκό νερό αντλείται στην διώρυγα. Όταν η στάθμη του νερού έχει μειωθεί αρκετά και το αλμυρό νερό αντλείται προς τα έξω η διώρυγα ανοίγει. Όταν ένα πλοίο θέλει να πλεύσει προς το

φράγμα Oosterschelde από το φράγμα Volkerak, συμβαίνει η ίδια διαδικασία κατά την οποία όταν το πλοίο είναι μέσα στην διώρυγα οι θύρες της διώρυγας θα κλείσουν πίσω από το σκάφος. Ένα μεγάλο μέρος του γλυκού νερού απομακρύνεται με άντληση στο πάνω μέρος και στο κάτω μέρος το θαλασσινό νερό αντλείται προς τα μέσα. Όταν η στάθμη του νερού είναι ίση με τη στάθμη του νερού στο φράγμα Oosterschelde θα ανοίξουν οι θύρες της διώρυγας στο μπροστινό μέρος του πλοίου. Επίσης είναι αναπόφευκτο ότι κάθε φορά κάποια ποσότητα γλυκού νερού θα εκβάλλει στο φράγμα Oosterschelde αλλά δεν έχει σημαντική επίδραση στο θαλασσινό νερό (<http://www.deltawerken.com/Philipsdam---Locks/500.html>).

5.3.10.5. Το Κανάλι και η Διώρυγα στην περιοχή Bath

Οι πλεονάζουσες ποσότητες γλυκού νερού από τα φράγματα Volkerak και Markiezaatsmeer μπορούν να αποστραγγιστούν μέσω των έργων Bathse Spuichannel και Bathse Spuilock. Αυτό το σύστημα αποστράγγισης αποτελείται από ένα κανάλι μήκους 8 Km (5 μίλια), πλάτους 140 m και βάθους 7 m (Εικόνα 51, 53, 150, 151). Καλύπτει μία περιοχή από το φράγμα Oosterschelde έως την περιοχή Westerschelde Spuilock κοντά στην περιοχή Bath και βρίσκεται παράλληλα με το κανάλι των ποταμών Σελντ-Ρήνου. Το σύστημα έχει μια ικανότητα παροχής 100 m³/sec ενώ καθημερινά μπορούν να απορριφθούν 8,5 εκατομμύρια m³ νερού στη δυτική περιοχή του ποταμού Σελντ. Το 1980 ξεκίνησαν οι εκσκαφές καθώς και οι προετοιμασίες για το σκάψιμο του καναλιού.



Εικόνα 150. Το κανάλι αποστράγγισης στην περιοχή Bath.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Channel-and-lock-of-Bath/336.html>)



Εικόνα 151. Κανάλι και θυρόφραγμα στην περιοχή Bath.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Channel-and-lock-of-Bath/336.html>)

Μέχρι το τέλος του Μαΐου 1986 το κανάλι είχε ολοκληρωθεί ενώ η διώρυγα Sprui ακολούθησε μέσα στον Σεπτέμβριο του ίδιου έτους. Όταν κάποιος μετακινείται με το τρένο από την περιοχή Middelburg προς την περιοχή Roosendaal μπορεί να παρατηρήσει το κανάλι από κάτω ανάμεσα στις περιοχές Rilland και Bath (<http://www.deltawerken.com/Channel-and-lock-of-Bath/336.html>).

5.3.11. Δευτερεύοντα Έργα

5.3.11.1. Εισαγωγή

Εκτός από τα πολυάριθμα μόνιμα και κινητά φράγματα που κατασκευάστηκαν κατά την εκτέλεση του Σχεδίου Δέλτα, κατασκευάστηκαν κάποια άλλα ιδιαίτερα ενδιαφέροντα έργα στην περιοχή. Σε αυτά περιλαμβάνονται η μεγαλύτερη γέφυρα στις Κάτω Χώρες (και στην Ευρώπη στην εποχή της) και η μεγαλύτερη σήραγγα.

Η Zeelandbridge διέσχισε την ανατολική περιοχή του ποταμού Σελντ περισσότερο από 20 έτη πριν από την κατασκευή του φράγματος Oosterschelde και η οδική σήραγγα Westerschelde συνδέει την περιοχή Zeelands Flanders με το υπόλοιπο της περιοχής Zeeland και της ηπειρωτικής χώρας.

5.3.11.2. Η Γέφυρα Zeeland

Η γέφυρα Zeeland η οποία συνδέει την βόρεια περιοχή Beveland με την περιοχή Schouwen-Duiveland δεν αποτελούσε αρχικά μέρος του σχεδίου Δέλτα (Εικόνα 51, 53, 152). Η

κατασκευή έγινε υπό την επίβλεψη των τεχνικών υπηρεσιών της επαρχίας Zeeland αντί του Υπουργείου Οδών και Δημοσίων Έργων. Ο λόγος για την κατασκευή της γέφυρας δεν είχε να κάνει με την ασφάλεια των κατοίκων, αλλά περισσότερο με την προσβασιμότητα της περιοχής Zeeland. Μια ευνοϊκή συνέπεια της ολοκλήρωσης του σχεδίου Δέλτα ήταν ότι τα φράγματα συνέδεαν τα περισσότερα νησιά και χερσονήσους μεταξύ τους. Όμως το φράγμα Oosterschelde δημιούργησε ακόμα ένα κενό μεταξύ της βόρειας περιοχής Beveland και της περιοχής Schouwen-Duiveland. Η επαρχία Zeeland απαιτούσε μια μόνιμη σύνδεση βορρά-νότου η οποία δεν θα εξαρτιόνταν από την κατασκευή του φράγματος Oosterschelde. Κατά τη διάρκεια του 1963 οι άνθρωποι εξακολουθούσαν να πιστεύουν ότι στην περιοχή Oosterschelde θα είχε κατασκευαστεί ένα φράγμα το οποίο όμως δεν θα είχε ολοκληρωθεί μέχρι το 1978. Τελικά το 1986 το φράγμα τέθηκε σε λειτουργία. Μέχρι το 1965 η ακτοπλοϊκή σύνδεση μεταξύ των περιοχών Zierikzee και Kats ήταν ο μόνος τρόπος για να διασχίσουν οι άνθρωποι την περιοχή Oosterschelde με σημαντικότερο μειονέκτημα ωστόσο ότι δεν θα μπορούσε ο τρόπος αυτός σύνδεσης να διαχειριστεί την έντονη και ολοένα αυξανόμενη κίνηση επιβατών.



Εικόνα 152. Η γέφυρα Zeeland.

(Πηγή: Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.)

Η γέφυρα κατασκευάστηκε μεταξύ των περιοχών Zierikzee και Colijnsplaat. Είχε συνολικό μήκος πέντε χιλιόμετρα η οποία ήταν αρκετά μεγάλη για τα ολλανδικά πρότυπα καθώς η γέφυρα κατέστη η μεγαλύτερη της χώρας. Ωστόσο σε σύγκριση με την μεγαλύτερη γέφυρα του κόσμου, η γέφυρα Zeeland είναι αρκετά μικρότερων διαστάσεων. Η γέφυρα Zeeland αποτελείται από πενήντα τέσσερις προβλήτες δημιουργώντας μεταξύ τους πενήντα δύο κενά των ενενήντα πέντε μέτρων το καθένα ενώ υπάρχει και ένα τμήμα μήκους σαράντα μέτρων (Εικόνα 153). Η κατασκευή της γέφυρας που ακόμη ονομάζεται Oosterschelde Bridge

ξεκίνησε το 1963. Στις 15 Δεκεμβρίου 1967 η γέφυρα εγκαινιάστηκε επισήμως από την Βασίλισσα Juliana. Προηγουμένως τον Απρίλιο του 1967 η γέφυρα μετονομάστηκε σε Zeeland Bridge. Σήμερα η γέφυρα Zeeland έχει μεγάλη σημασία για την κυκλοφορία μεταξύ του Ρότερνταμ και της περιοχής Goes. Η σημαντικότητα της έχει αυξηθεί μετά την ολοκλήρωση και της οδικής σήραγγας Westerschelde αφού το Βέλγιο είναι πλέον προσβάσιμο από το Ρότερνταμ μέσω αυτής της σήραγγας.



Εικόνα 153. Κατασκευή της γέφυρας Zeeland.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Zeland-Bridge/338.html>)

Όπως συμβαίνει μέχρι σήμερα και στη σήραγγα Westerschelde οι άνθρωποι έπρεπε να πληρώνουν διόδια για να χρησιμοποιήσουν τη γέφυρα Zeeland μέχρι το 1993 αφού η επαρχία Zeeland είχε λάβει δάνειο για την κατασκευή της γέφυρας το οποίο έπρεπε να εξοφληθεί. Όταν τελικά το δάνειο εξοφλήθηκε το 1989, τα διόδια διατηρήθηκαν για άλλα τέσσερα χρόνια για να αυξηθεί το αποθεματικό κεφάλαιο που απαιτούνταν για την συντήρηση της γέφυρας (<http://www.deltawerken.com/Zeland-Bridge/338.html>).

5.3.11.3. Η Σήραγγα Westerschelde

Η οδική σήραγγα Westerschelde έχει μήκος 6,6 Km. Η σήραγγα βρίσκεται μεταξύ των περιοχών Ellewoutsdijk και Terneuzen (Εικόνα 51, 53, 154). Από τεχνική άποψη η κατασκευή της σήραγγας ήταν μοναδικό έργο. Οι περισσότερες σήραγγες στην Ευρώπη κατασκευάστηκαν σε σκληρό, βραχώδες υλικό το οποίο μπορεί να φαίνεται πιο δύσκολο έργο από την κατασκευή σηράγγων σε μαλακά εδάφη όπως αυτά της περιοχής Westerschelde κάτι που όμως δεν είναι ακριβές επιστημονικά. Ήταν η πρώτη φορά στην ιστορία της Δυτικής Ευρώπης το ότι κατασκευάστηκε μία σήραγγα τέτοιου μήκους και σε τέτοιο βάθος μέσα σε άμμο και άργιλο. Το βαθύτερο σημείο της σήραγγας βρίσκεται περίπου εξήντα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Σε σύγκριση με μία γέφυρα ή μία χερσαία σήραγγα, μία υποθαλάσσια σήραγγα έχει πολλά πλεονεκτήματα καθώς δεν παρεμποδίζεται η κυκλοφορία των πλοίων και το πιο σημαντικό είναι ότι κατασκευαστικά αποτελεί τη φθηνότερη μέθοδο.



Εικόνα 154. Η σήραγγα Westerschelde.

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Westerschelde-Tunnel/339.html>)

Όπως συνέβη και με τη γέφυρα της Ζηλανδίας (Zeeland Bridge), η σήραγγα Westerschelde που ολοκληρώθηκε το 2003 δεν αποτελούσε αρχικά μέρος του σχεδίου Δέλτα. Ωστόσο η σήραγγα μπορεί να θεωρηθεί ως έμμεση συνέπεια των έργων στο Δέλτα. Γεγονός είναι ότι δεν ήταν δυνατόν να κλείσει η δυτική περιοχή του ποταμού Σελντ διότι θα επηρεαζόταν αρνητικά η προσβασιμότητα του λιμανιού της Αμβέρσας. Κατά συνέπεια η σύνδεση μεταξύ της Φλάνδρας και της περιοχής Zeeland Walcheren ή της νότιας περιοχής Beveland δεν ήταν ικανοποιητική. Εκτός από την αντιπλημμυρική προστασία, το σχέδιο Δέλτα παρείχε επίσης ικανοποιητικές νέες μεταφορικές συνδέσεις. Η βελτίωση των μεταφορών ήταν πλεονέκτημα τόσο για τον τουρισμό όσο και για την οικονομία. Οι περιοχές γύρω από την δυτική περιοχή του ποταμού Σελντ δεν είχαν αυτό το πλεονέκτημα μέχρι το 2003 αφού μέχρι τότε υπήρχαν μόνο δύο υπηρεσίες πορθμείων, η πρώτη μεταξύ των περιοχών Vlissingen και Breskens και η δεύτερη μεταξύ των περιοχών Kruieningen και Perkpolder. Κατά τη διάρκεια κακοκαιρίας οι εν λόγω υπηρεσίες πορθμείων συχνά ήταν εκτός λειτουργίας οπότε κάποιος που επιθυμούσε να ταξιδέψει από την περιοχή Middelburg προς την περιοχή Oostburg είτε θα έπρεπε να περιμένει για την επαναλειτουργία της υπηρεσίας ή να μετακινούνταν μέσω της βόρειας περιοχής Brabant καθυστερώντας όμως αρκετά.

Η ιδέα για την κατασκευή μιας οδικής σήραγγας δεν ήταν νέα. Επιχειρηματίες από την περιοχή Goes είχαν ήδη καταρτίσει σχέδια για την κατασκευή σήραγγας στη δεκαετία του 1930. Πάντοτε όμως υπήρχαν διαφωνίες σχετικά με τη σκοπιμότητα των σχεδίων αυτών. Υπήρχαν ερωτηματικά σχετικά με το κόστος κατασκευής, τη θέση της σήραγγας και την κατάσταση του πυθμένα στον οποίο η σήραγγα θα έπρεπε να διατηρηθεί. Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του εξήντα, υπήρχαν σχέδια για μια μόνιμη σύνδεση μεταξύ της περιοχής Zeeland, της Φλάνδρας και της νότιας περιοχής Beveland. Το σχέδιο αφορούσε στην κατασκευή μιας κρεμαστής γέφυρας και μιας υποθαλάσσιας σήραγγας στον πυθμένα της δυτικής περιοχής του ποταμού Σελντ. Η γέφυρα και η σήραγγα θα έπρεπε να κατασκευαστούν στο τμήμα όπου ήδη υπήρχε ένα πορθμείο μεταξύ των περιοχών Kruieningen και Perkpolder. Το σχέδιο

αξιολογήθηκε αλλά βρέθηκε να είναι πολύ ακριβό. Από το 1986 και μεταγενέστερα άρχισαν να καταστρώνονται νέες ιδέες. Αρχικά αξιολογήθηκε το πρώτο σχέδιο ενώ αργότερα επικράτησε η προοπτική κατασκευής μιας υποθαλάσσιας οδικής σήραγγας. Μετά από δεκαετίες συζητήσεων η απόφαση τελικά πάρθηκε το 1996 σύμφωνα με την οποία τελικώς θα κατασκευαζόταν η οδική σήραγγα. Η κυβέρνηση και η επαρχία Zeeland αποφάσισαν ότι η σήραγγα θα έπρεπε να κατασκευαστεί μεταξύ των περιοχών Ellewoutsdijk (South-Beveland) και Terneuzen (Zeeland Φλάνδρα). Τα έργα άρχισαν το 1997 και στις 26 Ιανουαρίου 1998 ο τότε υπουργός Πλωτών Οδών και Δημοσίων Έργων κ. Jorritsma κήρυξε επίσημα την κατασκευή της σήραγγας. Μετά από περισσότερα από τέσσερα χρόνια εκτέλεσης εργασιών διάνοιξης της σήραγγας η Βασίλισσα Βεατρίκη εγκαινίασε επίσημα την σήραγγα Westerschelde στις 14 Μάρτη 2003 (<http://www.deltawerken.com/Westerschelde-Tunnel/339.html>).

5.3.11.4. Η Λίμνη Lauwers (Lauwersmeer)

Τα μέτρα που έχουν ληφθεί όχι μόνο στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ολλανδίας με την υλοποίηση του σχεδίου Δέλτα αλλά και σε άλλες περιοχές, αποσκοπούν στην αντιμετώπιση των συνεπειών από τις πλημμύρες με σκοπό την προστασία της γης και του πληθυσμού από τη θάλασσα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η λίμνη Lauwers. Το 1969 στη θάλασσα Lauwers στα σύνορα με τις επαρχίες Groningen και Friesland κατασκευάστηκε ένα φράγμα. Από τότε η λίμνη ονομάζεται λίμνη Lauwers (Εικόνα 155, 156).



Εικόνα 155. Η λίμνη Lauwers (Lauwersmeer).

(Πηγή: <http://www.deltawerken.com/Lauwersmeer/771.html>)

5.3.11.4.1. Κατασκευή Φράγματος

Στα τέλη του δεκάτου ενάτου και στις αρχές του εικοστού αιώνα εκπονήθηκαν μελέτες για την κατασκευή φράγματος στη θάλασσα Lauwers όμως αυτά τα σχέδια δεν υλοποιήθηκαν για οικονομικούς και πολιτικούς λόγους. Μετά την καταστροφή από τις πλημμύρες του 1953 το δημοτικό συμβούλιο της επαρχίας Groningen συμφώνησε ότι έπρεπε πλέον να κατασκευαστεί ένα φράγμα στα ανοικτά της θάλασσας Lauwers. Το πιο σημαντικό επιχείρημα ήταν η ασφάλεια του πληθυσμού των περιοχών Friesland και Groningen. Ο κίνδυνος πλημμύρας της γης κατά τη διάρκεια μιας παλιρροϊκής καταιγίδας ήταν πολύ υψηλός.



Εικόνα 156. Θέση της λίμνης Lauwers (Lauwersmeer).

(Πηγή: Google Earth)

Υπήρχαν δύο δυνατότητες για να σφραγιστεί η θάλασσα Lauwers, πρώτον η ενίσχυση των υπαρχόντων αναχωμάτων ή δεύτερον η κατασκευή ενός φράγματος. Η πρώτη λύση ήταν πιο φιλική για το περιβάλλον και την αλιεία, αλλά οι κάτοικοι των περιοχών Groningen και Friesland προτίμησαν ένα φράγμα δεδομένου ότι θα ήταν πιο ασφαλές για αυτούς, οπότε επιλέχθηκε τελικά η κατασκευή φράγματος υπό την πίεση της κοινής γνώμης και το 1960 η μελέτη με τίτλο "Αποκατάσταση της Θάλασσας Lauwers" ήταν πλέον ολοκληρωμένη.

Οι εργασίες κατασκευής ξεκίνησαν το 1961. Το φράγμα είχε μήκος 13 Km ενώ υπήρχαν ειδικά θυροφράγματα καθώς και μία επιπλέον διώρυγα. Το έργο πραγματοποιήθηκε με τεχνική κατασκευής παρόμοια με άλλα έργα του σχεδίου Δέλτα καθώς τσιμεντένια μπλοκ χρησιμοποιήθηκαν για να σφραγίσουν το κενό. Τα διαπερατά τσιμεντένια μπλοκ κατασκευάστηκαν στο τεχνητό νησί του Lauwersoog. Στις 23 Μαΐου 1969 παρουσία της Βασίλισσας Juliana βυθίστηκε και σταθεροποιήθηκε το τελευταίο τσιμεντένιο μπλοκ ενώ δύο ημέρες αργότερα σφραγίστηκε η περιοχή Lauwers με την ολοκλήρωση του φράγματος και τελικά η θάλασσα Lauwers μετατράπηκε στην ομώνυμη λίμνη.

5.3.11.4.2. Δημιουργία Εθνικού Πάρκου

Η κατασκευή φράγματος στα ανοικτά της θάλασσας Lauwers είχε σοβαρές συνέπειες για το περιβάλλον. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η περιοχή ήταν πλέον αποκομμένη από τη θάλασσα, το νερό σταδιακά έγινε υφάλμυρο το οποίο άλλαξε ριζικά το περιβάλλον και η αλλαγή που συνέβη μπορεί να συγκριθεί με αυτή που συνέβη στα ύδατα της περιοχής Zeeland μετά την ολοκλήρωση του σχεδίου Δέλτα. Διάφορα είδη ζωής που προτιμούσαν να επιβιώνουν στη

Θάλασσα Lauwers έχασαν πλέον τον οικότοπο τους καθώς έπρεπε να μεταναστεύσουν σε άλλες περιοχές και ειδικότερα προς την θάλασσα Wadden.

Η περιοχή μετατράπηκε σε ένα όμορφο φυσικό καταφύγιο παρά τις τεράστιες επιπτώσεις που ασκήθηκαν στο περιβάλλον και εξαιτίας του γεγονότος ότι η περιοχή είχε παραμεληθεί κατά το παρελθόν. Μετά το 1980 ασκήθηκε μια νέα πολιτική για τη φύση και το περιβάλλον σύμφωνα με την οποία για παράδειγμα οι αγελάδες και τα πρόβατα μετακινήθηκαν σε διάφορες περιοχές, αρχικά μόνο τους καλοκαιρινούς μήνες αλλά αργότερα για ολόκληρη τη διάρκεια του έτους και επίσης προσελκύνονταν στην περιοχή νέα είδη πουλιών και ψαριών του γλυκού νερού. Τα ψάρια του γλυκού νερού έκαναν την περιοχή ελκυστική για άλλα είδη πουλιών όπως χουλιαρομούτες, κορμοράνους και πάπιες που αναζητούσαν τη λεία τους. Το φυσικό αυτό καταφύγιο αποτέλεσε επίσης τον τόπο επιβίωσης και για άλλα είδη ζώων όπως ζαρκάδια, λαγούς και αλεπούδες. Όταν πλέον είχε χαθεί ένα μοναδικό κομμάτι της περιοχής Wadden τότε προέκυψε ένα πανέμορφο καινούργιο καταφύγιο για διάφορα είδη ζώων και πουλιών, το οποίο έγινε πραγματικότητα όταν ένα μεγάλο μέρος της λίμνης Lauwers κηρύχθηκε ως εθνικό πάρκο επισήμως στις 12 Νοεμβρίου 2003.

Η λίμνη Lauwers δεν είναι μόνο ένα μοναδικό φυσικό καταφύγιο αλλά αποτελεί επίσης έναν άριστο χώρο αναψυχής. Το πρώην τεχνητό νησί του Lauwersoog έχει εξελιχθεί σε ένα λιμάνι με αλιευτική κυρίως χρήση. Επίσης το χωριό του Zoutkamp είναι άξιο επίσκεψης στο οποίο μειώθηκε εν μέρει η δραστηριότητα του ως ένα αλιευτικό λιμάνι αφού υπάρχουν πολλές εγκαταστάσεις αναψυχής όπως πάρκα διακοπών, χώροι κατασκήνωσης και σχολεία ιστιοπλοΐας. Η περιοχή είναι ένας παράδεισος για τα θαλάσσια σπορ όπου μπορεί κανείς να κολυμπήσει, να κάνει surfing, να διασχίσει τις λασπώδεις περιοχές και να κάνει θαλάσσια ποδηλασία με βάρκα (<http://www.deltawerken.com/Lauwersmeer/771.html>).

6. Διαχείριση Υδατικών Πόρων

6.1. Εισαγωγή

Οι Κάτω Χώρες βρίσκεται στο δέλτα τριών κύριων ποταμών της περιοχής, του Ρήνου, του Μεύση και του Σελντ. Ως αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος η Ολλανδία κατόρθωσε να εξελιχθεί σε μία σημαντικά πυκνοκατοικημένη χώρα. Παρόλα αυτά η διαβίωση στις Κάτω Χώρες δεν είναι χωρίς κινδύνους καθώς μεγάλα τμήματα των Κάτω Χωρών βρίσκονται κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας και της στάθμης των υδάτων που μπορούν να προκύψουν από τα ποτάμια του Ρήνου και του Μεύση. Τα υψηλά επίπεδα των υδάτων που οφείλονται στα ακραία καιρικά φαινόμενα σχετικά με τη Βόρεια Θάλασσα ή λόγω των υψηλών απορροών των ποταμών είναι μια σοβαρή απειλή για τα εδάφη των Κάτω Χωρών. Συνολικά περίπου 3.000 Km πρωτογενών δομών προστασίας από τις πλημμύρες προστατεύουν τις περιοχές οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για την ύπαρξη του ολλανδικού κράτους. Τα μέτρα προστασίας από τις πλημμύρες πρέπει να παρέχουν επαρκή ασφάλεια στον μεγάλο αριθμό των κατοίκων και τις συνεχώς αυξανόμενες επενδύσεις. Η κατασκευή, διαχείριση και η συντήρηση των αντιπλημμυρικών κατασκευών είναι βασική προϋπόθεση για την ασφάλεια του πληθυσμού και την περαιτέρω ανάπτυξη της χώρας.

Χωρίς αντιπλημμυρικά έργα ένα μεγάλο τμήμα της Ολλανδίας θα υπόκειταν σε τακτικές πλημμύρες. Η επίδραση της θάλασσας θα γινόταν αισθητή κυρίως στα δυτικά αφού η επίδραση των υδάτων των μεγάλων ποταμών είναι περιορισμένων γεωγραφικών επιπτώσεων. Κατά μήκος της ακτής η προστασία από τις πλημμύρες παρέχεται κυρίως από τους αμμόλοφους. Όπου δεν υπάρχουν οι αμμόλοφοι ή είναι υπερβολικά μικρών διαστάσεων έχουν κατασκευαστεί αντιπλημμυρικά έργα με τη μορφή αναχωμάτων στη θάλασσα ή φράγματα αντιμετώπισης των κυμάτων καταιγίδας. Κατά μήκος ολόκληρου του Ρήνου και σε τμήματα του ποταμού Μεύση η αντιπλημμυρική προστασία παρέχεται από τα αναχώματα.

Το σύνολο μιας περιοχής που προστατεύεται με ένα συγκοινωνούν σύστημα αντιπλημμυρικών έργων προστασίας και στην οποία το επίπεδο ασφαλείας σε ολόκληρη την περιοχή είναι πλήρως καθορισμένο και ενιαίο καλείται περιοχή-δακτύλιος (dike ring area). Η προστασία από τις πλημμύρες γύρω από μία τέτοια περιοχή μπορεί να γίνεται από διαφορετικά έργα και μπορούν να συνίστανται σε αναχώματα, αμμόλοφους, ειδικές υδραυλικές κατασκευές όπως φράγματα ή εδάφη σε μεγάλα υψόμετρα που βρίσκονται αρκετά υψηλά και συνεπώς δεν απαιτούν προστασία από τις πλημμύρες. Στην Ολλανδία υπάρχουν 53 περιοχές-δακτύλιοι (Pilarczyk, 2007).

6.2. Βασικές Αρχές Αντιπλημμυρικής Προστασίας

Οι πλημμύρες είναι μια από τις βασικές αιτίες για την απώλεια ανθρωπίνων ζωών, την απώλεια περιουσίας και των εισοδημάτων σε πολλές περιοχές του κόσμου. Επομένως η έλλειψη επενδύσεων ή η παραμελημένη συντήρηση των αντιπλημμυρικών έργων ενδέχεται να θέσει σε κίνδυνο ολόκληρη την προσπάθεια για την βελτίωση της τύχης των ανθρώπων που ζουν σε περιοχές κατά μήκος των ποταμών ή που βρέχονται από τη θάλασσα. Κατά συνέπεια η ανάπτυξη ενός κατάλληλου συστήματος αντιπλημμυρικής προστασίας θα πρέπει να είναι μέρος της αναπτυξιακής πολιτικής μιας χώρας. Η αντιπλημμυρική προστασία αποτελείται από δύο συνιστώσες:

- Σχεδιασμός, κατασκευή και συντήρηση ενός συστήματος διαχείρισης των πλημμυρών.

- Σχεδιασμός, κατασκευή και συντήρηση ενός συστήματος αντιπλημμυρικής προστασίας.

Με το σύστημα διαχείρισης των πλημμυρών επισημαίνεται το οργανωτικό εκείνο σύστημα που μπορεί να επιτρέψει στις απορροές του ποταμού μέχρι κάποια παροχή σχεδιασμού που συναρτάται ευθέως με την περίοδο επαναφοράς, να διέρχονται μέσω του συστήματος αντιπλημμυρικής προστασίας με περιορισμένες συνέπειες. Σε περίπτωση μίας τιμής παροχής που υπερβαίνει τις δυνατότητες του συστήματος αντιπλημμυρικής προστασίας, το σύστημα διαχείρισης πλημμυρών θα πρέπει να αποσκοπεί στον περιορισμό των συνεπειών στο μέτρο του δυνατού.

Το σύστημα αντιπλημμυρικής προστασίας αναφέρεται ως εκείνο το φυσικό σύστημα στο οποίο οι απορροές του ποταμού μέχρι κάποια τιμή παροχής σχεδιασμού μπορούν να διέλθουν την περιοχή μελέτης με περιορισμένες συνέπειες.

Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος αντιπλημμυρικών έργων οι παράμετροι που αναφέρονται παραπάνω πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά. Η ιστορία ωστόσο δείχνει ότι οι μικρότερης κλίμακας βελτιώσεις είναι ευκολότερο να εφαρμοστούν σε σχέση με λεκάνες απορροής μεγάλης επιφάνειας κάτι που οφείλεται τόσο σε οικονομικούς όσο και σε πολιτικούς λόγους.

Μια άλλη εκτίμηση είναι ότι είναι αναγκαία η αλληλεπίδραση των πέντε περισσότερο ή λιγότερο ανεξάρτητων υποσυστημάτων που απαρτίζουν τα παραπάνω συστήματα, για ένα αποτελεσματικό και σωστά συνεργαζόμενο σύστημα αντιπλημμυρικής προστασίας και διαχείρισης των πλημμυρών. Τα υποσυστήματα αυτά είναι τα παρακάτω:

1. Το φυσικό σύστημα που περιλαμβάνει όλα τα φυσικά φαινόμενα που συμβαίνουν στα όριά του.
2. Η κατασκευή των απαραίτητων φραγμάτων, των αναχωμάτων, ή των αγωγών εκτροπών όπως σχεδιάζονται και υλοποιούνται από τον άνθρωπο.
3. Το όλο σύστημα να δύναται να παρατηρεί φαινόμενα που εξελίσσονται στα όριά του και να επεξεργάζεται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτά.
4. Το σύστημα που αποτελείται και από ανθρώπους που να έχουν κατανοήσει την συμπεριφορά και τις διάφορες αλληλεπιδράσεις του φυσικού περιβάλλοντος με τους υδατικούς πόρους.
5. Το σύστημα των χρηστών και των επωφελούμενων από τα συστήματα αντιπλημμυρικής προστασίας και διαχείρισης των πλημμυρών που έχουν συσταθεί και τελικά επωμίζονται το κόστος της κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησής τους. Αυτοί θα είναι οι άνθρωποι που θα επηρεάσουν τελικά την πορεία των παρεμβάσεων τους άμεσα ή έμμεσα μέσω των πολιτικών εκπροσώπων τους.

Και στα πέντε παραπάνω υποσυστήματα πρέπει να υπάρχει ομαλή αλληλεπίδραση με αποτελεσματικό τρόπο. Εάν παραλειφθεί ή αγνοηθεί η συνεισφορά μιας συνιστώσας, οι βελτιώσεις ή οι αλλαγές στην αντιπλημμυρική προστασία και στο σύστημα διαχείρισης των πλημμυρών θα αποδειχθούν τουλάχιστον αβέβαιες και ίσως αναποτελεσματικές. Αυτό αποδεικνύεται έντονα από την διαχρονική προσπάθεια της βελτίωσης του συστήματος αντιπλημμυρικής προστασίας στις Κάτω Χώρες που αποδεικνύει σαφώς πόσο δύσκολο είναι να εισαχθούν νέες αλλαγές αν μία ή περισσότερες από τις παραπάνω συνιστώσες αποκλειστούν ή δεν υφίστανται πλέον (Pilarczyk, 2007).

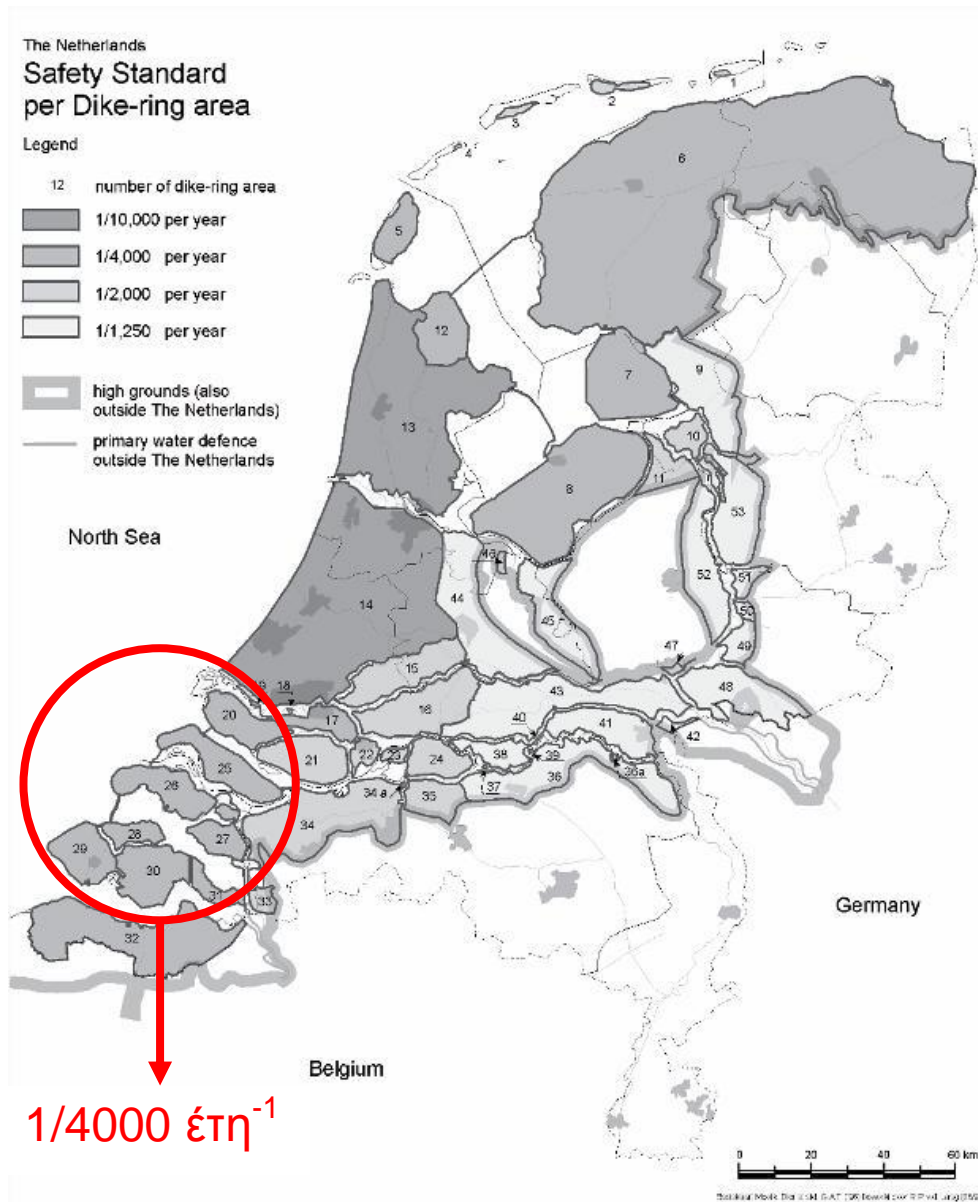
6.3. Πρότυπα Ασφαλείας

Στο παρελθόν κατά τον προσδιορισμό του απαιτούμενου ύψους των αναχωμάτων χρησιμοποιούνταν η παραδοσιακή μέθοδος στην Ολλανδία σύμφωνα με την οποία λαμβάνονταν υπόψη η υψηλότερη γνωστή στάθμη του νερού με επιπλέον ένα κατάλληλο ελεύθερο περιθώριο 0,5 έως 1 m. Η επιτροπή του Δέλτα η οποία δημιουργήθηκε λίγο μετά τις καταστροφικές πλημμύρες του 1953 έβαλε τα θεμέλια το 1956, για την καθιέρωση των σημερινών προτύπων ασφαλείας όσον αφορά την προστασία από τις πλημμύρες. Το σημείο εκκίνησης όπως προτεινόταν από την επιτροπή ήταν να καθιερωθεί ένα επιθυμητό επίπεδο ασφάλειας για κάθε περιοχή. Αυτό το επίπεδο ασφάλειας θα πρέπει να βασίζεται στο κόστος κατασκευής των αναχωμάτων και στις πιθανές ζημιές που θα προκαλούνταν από τις πλημμύρες. Αυτή η οικονομική ανάλυση οδήγησε σε ένα βέλτιστο επίπεδο ασφάλειας που εκφράζεται ως η πιθανότητα αστοχίας για τα αναχώματα. Στην πράξη ωστόσο το επίπεδο ασφάλειας εκφράζεται ως η περίοδος επαναφοράς της δυσμενέστερης στάθμης του νερού. Ένας από τους κύριους λόγους για την απλοποίηση της περιγραφής των προτύπων ασφαλείας ήταν η έλλειψη γνώσης για την περιγραφή των διαδικασιών αστοχίας των αναχωμάτων με ακρίβεια.

Η οικονομική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε για να διαφοροποιήσει το επίπεδο ασφάλειας σύμφωνα με τις αναμενόμενες ζημιές στις διάφορες περιοχές. Επομένως καθορίστηκε ένα πρότυπο ασφαλείας για κάθε περιοχή του αναχώματος με λειτουργία δακτυλίου. Το πρότυπο αυτό εκφράζεται ως η μέση ετήσια συχνότητα υπέρβασης του προβλεπόμενου επιπέδου πλημμύρας. Οι περίοδοι επαναφοράς ποικίλλουν από τιμές 1/10.000 έως 1/1.250 ανά έτος ανάλογα με τις οικονομικές δραστηριότητες και το μέγεθος του πληθυσμού στην προστατευόμενη περιοχή καθώς και τη φύση της απειλής είτε αυτή προέρχεται από ποτάμι ή από την θάλασσα (Εικόνα 157). Το 1996 εφαρμόστηκαν τα πρότυπα αυτά από την εφαρμογή του σχετικού νόμου Περί Αντιπλημμυρικής Προστασίας από το Υπουργείο Μεταφορών, Δημοσίων Έργων και Διαχείρισης Υδάτων. Τα επίπεδα προστασίας από τις πλημμύρες που σχετίζονται με τα πρότυπα ασφαλείας επικαιροποιούνται κάθε πέντε χρόνια για να λάβουν υπόψη τους την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, τις κλιματικές μεταβολές και τις πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις.

Η σχετική νομοθεσία κατασκευής των έργων του Δέλτα το 1957 μετά τις σοβαρές πλημμύρες του 1953, αποσκοπούσε στο να προστατεύσει τον ανθρώπινο πληθυσμό και τα προϊόντα τους στην περιοχή του Δέλτα από τις πλημμύρες στην Βόρεια Θάλασσα. Πλημμύρες δεν δημιουργούνταν μόνο από τα κύματα καταιγίδας αλλά και από τις απροειδοποίητες πλημμύρες που προέρχονταν από τις υπερχειλίσσεις των ποταμών. Δύο πλημμύρες ποταμών που συνέβησαν στη λεκάνη απορροής του Ρήνου κατά τα έτη 1993 και 1995 με απορροή 12.000 m³/sec κατέληξαν σε συγκρίσιμα επίπεδα με εκείνες που συνέβησαν το 1926. Τον Ιανουάριο-Φεβρουάριο του 1995 πραγματοποιήθηκε εκκένωση από 250.000 άτομα που ζούσαν στη λεκάνη απορροής του Ρήνου σε σημεία όπου η πιθανότητα να συμβεί πλημμύρα παρέμενε ακόμη στην τιμή 1/50 χρόνια⁻¹. Υποκινούμενη από μια διαίσθηση επείγουσας κατάστασης, ψηφίστηκε από τη Βουλή τον Απρίλιο του 1995 η νομοθετική πράξη που αφορούσε τη διαχείριση των μεγάλων ποταμών. Ο στόχος ήταν να διασφαλιστεί η ασφάλεια για τους μεγάλους πληθυσμούς που ζούσαν στους ποταμούς το 2000, με πιθανότητα υπέρβασης να πλημμυρίσει η περιοχή στην τιμή 1/1.250 χρόνια⁻¹, χωρίς όμως να αμφισβητηθούν οι οικολογικές αξίες. Κατά την περίοδο 1996-2000 ενισχύθηκαν περίπου 450 Km αναχωμάτων των ποταμών με την μεταβολή σε ένα αυξημένο επίπεδο ασφαλείας από μία πιθανότητα υπέρβασης που κυμαινόταν από 1/50-1/500 χρόνια⁻¹ σε ένα νέο επίπεδο ασφαλείας 1/1.250 χρόνια⁻¹. Οι πόλεις και τα χωριά του Μεύση που δεν έχουν ενισχυθεί με

αναχώματα προστατεύονται κυρίως με μικρά εμπόδια από πλινθοδομή εξασφαλίζοντας ένα επίπεδο ασφαλείας που κυμαίνεται από 1/50 έως 1/250 χρόνια⁻¹. Το 2000 ολοκληρώθηκε το έργο που αφορούσε στην αύξηση του επιπέδου ασφαλείας στο μεγαλύτερο μέρος των αποξηραμένων περιοχών των ποταμών στην τιμή 1/1.250 χρόνια⁻¹, ενώ ορισμένες μικρότερες περιοχές έχουν ένα επίπεδο ασφαλείας της τάξης 1/500 χρόνια⁻¹ ή μικρότερο.



Εικόνα 157. Χάρτης πιθανοτήτων αστοχίας έργων Ολλανδίας.

(Πηγή: Pilarczyk K. (2007). Flood Protection And Management In The Netherlands. *Journal of Extreme Hydrological Events: New Concepts For Security*, Publication of Springer, pp. 385-407.)

Οι παρ'ολίγον πλημμύρες του 1993 και του 1995 μπορούσαν να επηρεάσουν την υπάρχουσα μεθοδολογία σχεδιασμού πάνω στην οποία βασίστηκε ο νόμος για την αντιπλημμυρική προστασία των μεγάλων ποταμών, αφού η παροχή σχεδιασμού του Ρήνου που υπολογίστηκε για το έτος 2000 έπρεπε να αυξηθεί από τα 15.000 m³/sec σε 16.000 m³/sec, προαναγγέλλοντας νέα αντιπλημμυρικά έργα. Αλλά η διαδικασία της αύξησης του ύψους και της ενίσχυσης των υπάρχοντων αναχωμάτων δεν μπορεί να συνεχιστεί διαρκώς.

Ο κίνδυνος για πλημμύρες πίσω από τα αναχώματα των ποταμών που διαχωρίζουν τις περιοχές χαμηλού υψομέτρου, τις ολοένα καθιζάνουσες υπό την επιφάνεια του νερού και τις κατοικημένες αποξηραμένες περιοχές των ποταμών από τις περιοχές με μεγάλα υψόμετρα, αν και είναι μικρός, παραμένει ωστόσο υπαρκτός, έχοντας μεγάλη σημασία ακόμα περισσότερο για τις περιοχές με προσχώσεις στο νοτιοδυτικό τμήμα του Δέλτα. Οι υπολογισμοί της διακινδύνευσης για το 1953 σε σύγκριση με εκείνη για το 2006 δείχνουν ότι όντως μειώθηκε η πιθανότητα μιας καταστροφής αλλά οι δυνητικές επιπτώσεις από μία μελλοντική πλημμύρα έχουν αυξηθεί δραματικά αφού θα χαθούν περισσότεροι άνθρωποι και θα καταστραφούν περισσότερες υποδομές σε σχέση με το παρελθόν από μια μεγάλη πλημμύρα που θα οφείλεται είτε σε υπερχειλίση ποταμού ή από μία πλημμύρα που θα προέρχεται από κύματα καταιγίδας (Pilarczyk, 2007).

6.4. Υδατικά Διαμερίσματα Ολλανδίας

Από τις αρχές του Μεσαίωνα το δυτικό τμήμα της Ολλανδίας ήταν μια περιοχή από τυρφώδη λάσπη. Για να κατοικήσουν και να εργαστούν οι άνθρωποι εκεί, οι εκτάσεις θα έπρεπε να αποστραγγιστούν. Εκείνη την εποχή οι ντόπιοι χωρικοί ξεκίνησαν με δική τους πρωτοβουλία το σκάψιμο των χαντακιών, την οικοδόμηση φραγμάτων και την κατασκευή αναχωμάτων. Από τον 11^ο αιώνα και μετά αυτό άλλαξε σταδιακά αφού οι άνθρωποι στους οποίους ανήκαν οι εκτάσεις αυτές δεν ήταν πλέον χωρικοί αλλά μεγάλοι γαιοκτήμονες που ζούσαν σε πόλεις, κάστρα ή κτήματα. Επιπλέον υπήρχε μια αυξανόμενη αντίληψη ότι η κατασκευή αναχωμάτων και η αποστράγγιση των υδάτων ήταν αρμοδιότητες που ξεπερνούσαν το βασίλειο του χωριού-την δικιά τους τοπική κοινωνία. Τον 13^ο αιώνα, οι κάτοικοι με κοινό ενδιαφέρον την ασφαλή διαχείριση των υδάτων σχημάτισαν συνεταιρισμούς με αποτέλεσμα την δημιουργία των πρώτων υδατικών διαμερισμάτων. Ο σχηματισμός αυτός δεν περιελάμβανε μόνο την εσωτερική λειτουργία του αλλά συμμετείχε επίσης στην διακυβέρνηση της χώρας καταστρώντας έτσι τα υδατικά διαμερίσματα την πρώτη μορφή δημοκρατικής κυβέρνησης στις Κάτω Χώρες. Το υδατικό διαμέρισμα Hoogheemraadschap van Rijnland που ιδρύθηκε το 1232, είναι ο παλαιότερος οργανισμός διαχείρισης νερού που υφίσταται ακόμα. Στο παρελθόν υπήρχαν αρκετά εκατοντάδες υδατικά διαμερίσματα αλλά τον τελευταίο αιώνα ο αριθμός τους έχει μειωθεί σημαντικά καταλήγοντας σήμερα να υπάρχουν 26 υδατικά διαμερίσματα (Εικόνα 158).

6.4.1. Ο Κεντρικός Οργανισμός Rijkswaterstaat

Στο τέλος του 18^{ου} αιώνα το κοινοβούλιο αποφάσισε να ιδρύσει έναν ισχυρό κεντρικό οργανισμό για την προστασία της χώρας από τις πλημμύρες από τη θάλασσα και τα ποτάμια. Λόγω της ύπαρξης πολλών πλημμυρικών επεισοδίων, λαμβάνονταν διαχρονικά προστατευτικά μέτρα αλλά συχνά αυτά έλυναν το πρόβλημα σε τοπική κλίμακα και προκαλούσαν νέα προβλήματα σε άλλες περιοχές. Επομένως έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος για μια ολοκληρωμένη διαχείριση του προβλήματος σε εθνικό επίπεδο. Στις 27 Μαρτίου 1798 ιδρύθηκε ο Οργανισμός Δημοσίων Έργων και Διαχείρισης Υδάτων που αποτελούνταν από τον πρόεδρο, τον αναπληρωτή πρόεδρο και έναν σχεδιαστή. Σήμερα ο οργανισμός αυτός με την επωνυμία Rijkswaterstaat είναι η εκτελεστική υπηρεσία που υπάγεται διοικητικά στο Υπουργείο Μεταφορών Δημοσίων Έργων και Διαχείρισης Υδάτων και διαχειρίζεται το εθνικό οδικό δίκτυο συνολικού μήκους 3.260 Km, το εθνικό δίκτυο πλωτών οδών συνολικού μήκους 1.686 Km και το σύστημα διαχείρισης υδάτων συνολικής

επιφάνειας 65.250 km² συμπεριλαμβανομένου του ολλανδικού τμήματος της Βόρειας Θάλασσας (Arnold *et al.*, 2009).



Εικόνα 158. Υδατικά διαμερίσματα Ολλανδίας.

(Πηγή: Arnold G., Kielen N., Bos H., Luijn F., Doef R. and Goud R. (2009). *Water Management in the Netherlands*. Amsterdam, Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water and Rijkswaterstaat, Centre for Water Management, pp. 1-80.)

6.5. Σύστημα Διαχείρισης Υδάτων

6.5.1. Εισαγωγή

Οι Κάτω Χώρες θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως ένα κομβικό σημείο για την κίνηση του

νερού. Όλη η ποσότητα του νερού που κινείται κατά μήκος των συνόρων της με τα ποτάμια και τα ρέματα, θα πρέπει να εκβάλλει στη θάλασσα ενώ το ίδιο ισχύει και για το νερό της βροχής το οποίο καταλήγει στη θάλασσα είτε επιφανειακά είτε υπόγεια (Εικόνα 159). Στα ανατολικά και στα νότια της χώρας αυτό συμβαίνει με φυσικό τρόπο λόγω του αναγλύφου της γης όπου το νερό στα υψηλά σημεία βρίσκει τον τρόπο για να κινηθεί προς χαμηλότερα σημεία. Αλλά στις χαμηλού υψομέτρου πεδινές περιοχές που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας το νερό χρειάζεται κάποια υποκίνηση για να μεταφερθεί στον τελικό αποδέκτη.



Εικόνα 159. Χάρτης Ολλανδίας με τους κυριότερους ποταμούς.

(Πηγή: Arnold G., Kielen N., Bos H., Luijn F., Doef R. and Goud R. (2009). *Water Management in the Netherlands*. Amsterdam, Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water and Rijkswaterstaat, Centre for Water Management, pp. 1-80.)

Στην Ολλανδία έγινε προσπάθεια ώστε να μετατραπεί αυτός ο κόμβος σε έναν εντελώς ελεγχόμενο χώρο κίνησης και μεταφοράς των υδατικών πόρων με την κατασκευή διαφόρων

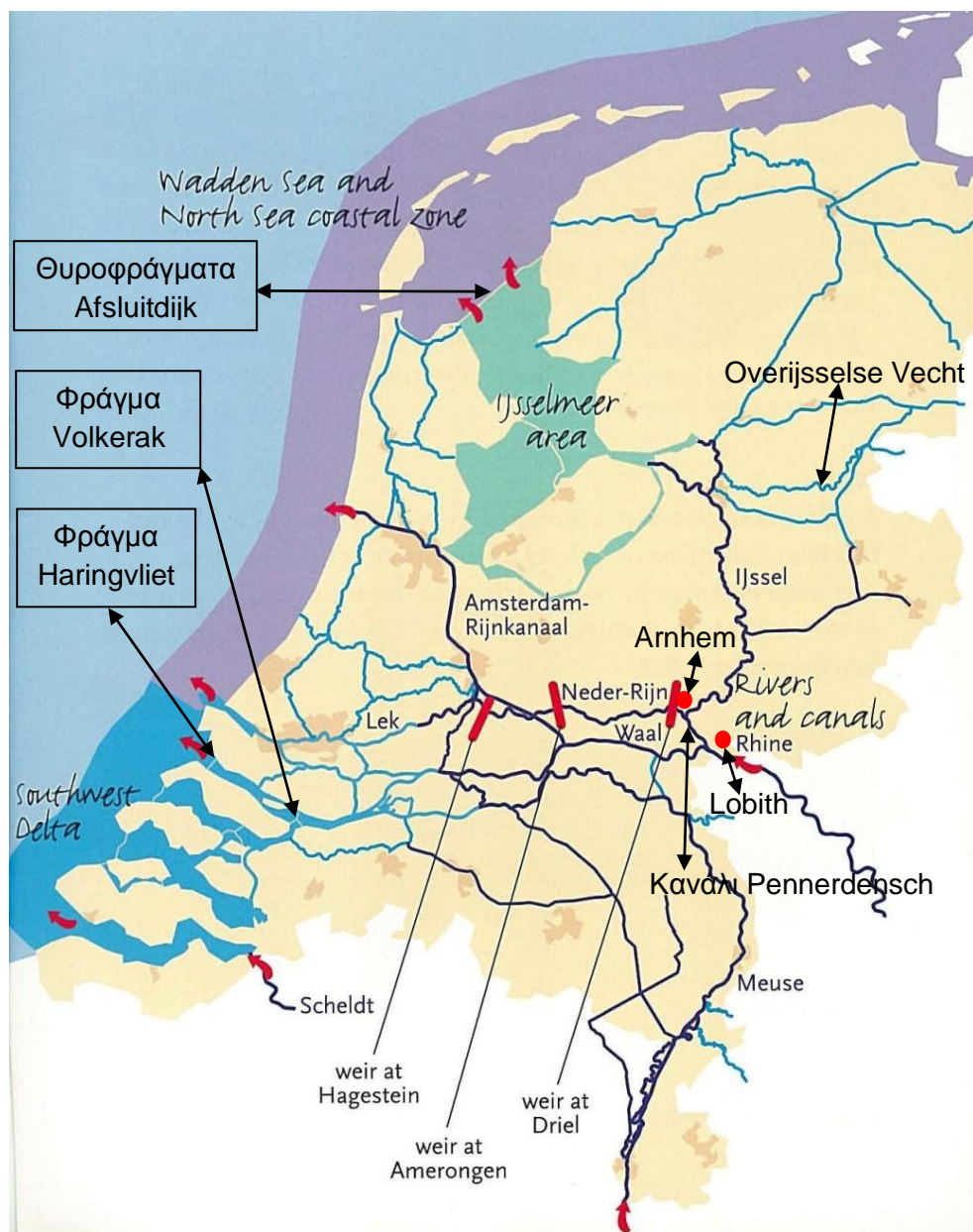
τεχνικών έργων όπως αντλιοστάσια, διώρυγες, φράγματα, αναχώματα και υπερχειλιστές. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένας μεγάλος αριθμός από διάφορα φυσικά ή τεχνητά έργα όπως ποτάμια, κανάλια, λίμνες, φράγματα μόνιμης ή κινητής λειτουργίας στις εκβολές των ποταμών που διασυνδέονται μεταξύ τους με ένα σύστημα τάφρων, καναλιών και διωρύγων. Σε γενικές γραμμές η διαχείριση της λειτουργίας του κύριου συστήματος νερού γίνεται σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό αφού είναι δυνατή η μεταφορά νερού από τον Ρήνο και τον Μεύση σε κατάλληλες επιθυμητές τοποθεσίες. Επιπλέον αποθηκεύεται σημαντική ποσότητα νερού στη λίμνη IJsselmeer η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί αργότερα για την παραγωγή πόσιμου νερού ή για αρδευτική χρήση. Επίσης έχει υπάρξει μέριμνα για αρκετή ποσότητα νερού στα κανάλια για να είναι δυνατή η ναυσιπλοΐα και ταυτόχρονα να χρησιμοποιείται τόσο για την καταπολέμηση της διείσδυσης του θαλασσινού νερού στα υπόγεια ύδατα όσο και για την συγκράτηση του θαλασσινού νερού (Arnold *et al.*, 2009).

6.5.2. Διαχείριση των Γλυκών Υδάτων στο Κύριο Εθνικό Σύστημα Διαχείρισης

Παρόλο που πρόκειται για μία μικρή χώρα, η Ολλανδία είναι μέρος τεσσάρων διεθνών λεκανών απορροής των ποταμών Ρήνου, του Μεύση, του Σελντ και του Ems. Όλο το νερό που απορρέει από αυτά τα ποτάμια περνά μέσα από την Ολλανδία με τελική κατάληξη προς την θαλάσσια περιοχή Wadden και την Βόρεια Θάλασσα. Η παρακάτω ανάλυση επικεντρώνεται στη συνιστώσα του γλυκού νερού από τις λεκάνες απορροής των ποταμών Ρήνου, Μεύση και στη μεταβατική ζώνη στο νοτιοδυτικό δέλτα. Η ανάλυση του συστήματος διαχείρισης των υδατικών πόρων θα επικεντρωθεί στα εξής σημεία (Εικόνα 160):

- Στα ποτάμια Ρήνο και Μεύση με τα συνοδευτικά κανάλια τους και τους παραπόταμούς τους.
- Στην περιοχή της λίμνης IJsselmeer.
- Στο δέλτα στην νοτιοδυτική περιοχή της Ολλανδίας.
- Στις μικρότερες τοπικές πλωτές οδούς στις περιοχές τόσο σε υψηλά όσο και σε χαμηλά σημεία.

Προκειμένου να κατανοηθεί πώς λειτουργεί το σύστημα διαχείρισης των υδάτων θα πρέπει να επεξηγηθούν αρχικά τα διάφορα υποσυστήματα από τα οποία απαρτίζεται. Το υδατικό σύστημα αποτελείται από διάφορα στοιχεία τα οποία διασυνδέονται σε υψηλό βαθμό ιδιαίτερα στην προκείμενη περίπτωση του συστήματος διαχείρισης της Ολλανδίας. Το ένα σύστημα αλληλεπιδρά με τα υπόλοιπα, αλληλοεξαρτώνται και επιπλέον είναι ευαίσθητα στη μεταβίβαση προβλημάτων που αφορούν τόσο την ποιοτική όσο και την ποσοτική διάσταση των υδάτων. Για να γίνει κατανοητή η αλληλοδιασύνδεση ακολουθεί η περιγραφή της φύσης και του χαρακτήρα των διαφόρων συνιστωσών που απαρτίζουν το ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης υδάτων στην Ολλανδία.



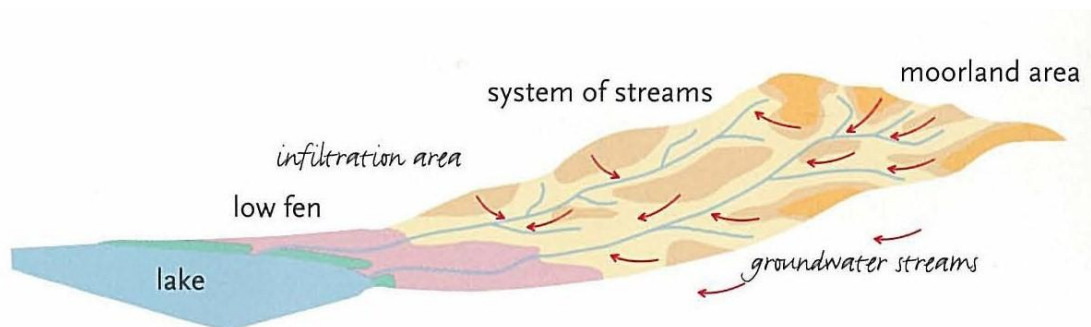
Εικόνα 160. Συνολική απεικόνιση καίριων σημείων εθνικού συστήματος διαχείρισης υδάτων.

(Πηγή: Arnold G., Kielen N., Bos H., Luijn F., Doef R. and Goud R. (2009). *Water Management in the Netherlands*. Amsterdam, Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water and Rijkswaterstaat, Centre for Water Management, pp. 1-80.)

6.5.2.1. Λειτουργία Περιοχών σε Υψηλά Υψόμετρα

Το νερό που πέφτει στην επιφάνεια των περιοχών με τη μορφή βροχόπτωσης, κάποια ποσότητα από αυτήν διηθείται στο έδαφος και κινείται υπόγεια ενώ η υπόλοιπη ποσότητα απορρέει επιφανειακά προς τις περιοχές με χαμηλότερα υψόμετρα μέσω των ποταμών. Το υπόγειο νερό που απομένει από τις υπόγειες διεργασίες, συνήθως εκβάλλει στη θάλασσα με τη μορφή πηγών μια διαδικασία που διαρκεί χιλιάδες χρόνια. Το υπόγειο-διηθημένο νερό επίσης ρέει προς τα κατόντι το οποίο σε μερικές περιπτώσεις δημιουργεί βάλτους στους πρόποδες των υψηλών περιοχών. Το καλοκαίρι τα υπόγεια ύδατα παρουσιάζουν μικρό

δυναμικό λόγω της έντονης εξάτμισης η οποία επιπροσθέτως προκαλεί την ανάγκη για μεγαλύτερη κατακράτηση και απορρόφηση των ποσοτήτων νερού από τη βλάστηση ενώ επιπροσθέτως και οι επιφανειακές απορροές των ποταμών είναι περιορισμένες. Τον χειμώνα το έδαφος είναι κορεσμένο και τα όμβρια ύδατα απορρέουν αμέσως (Εικόνα 161).

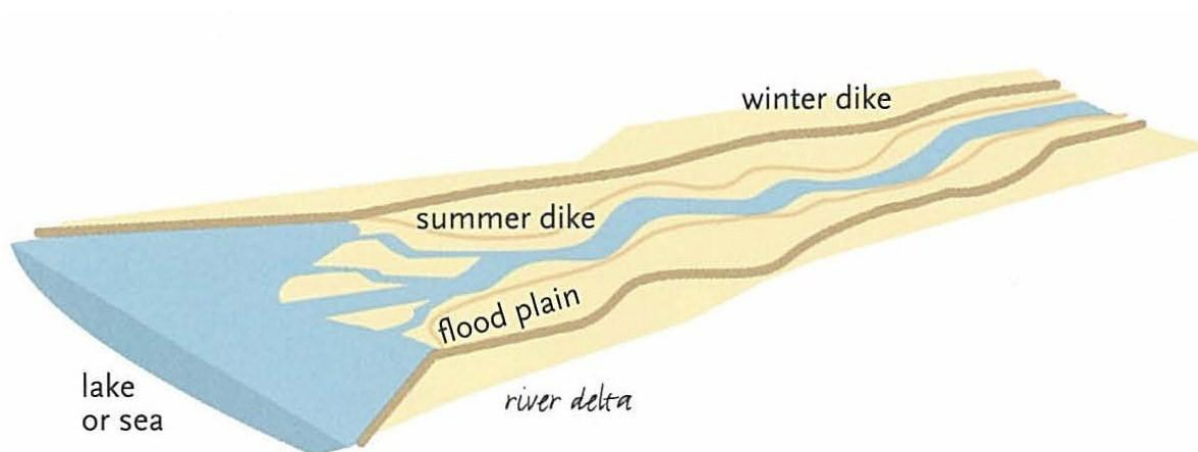


Εικόνα 161. Ροή επιφανειακών και υπογείων υδάτων.

(Πηγή: Arnold G., Kielen N., Bos H., Luijn F., Doef R. and Goud R. (2009). *Water Management in the Netherlands*. Amsterdam, Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water and Rijkswaterstaat, Centre for Water Management, pp. 1-80.)

6.5.2.2. Λειτουργία Ποταμών

Ένα ποτάμι μπορεί να τροφοδοτείται από τις βροχοπτώσεις, από την τήξη των πάγων καθώς και από τα υπόγεια ύδατα. Το καλοκαίρι με μηδενική ή πολύ μικρή κατακρήμνιση και ως αποτέλεσμα την μειωμένη απορροή καθώς και την ελάχιστη ύπαρξη νερών από το λιώσιμο των πάγων, η κοίτη του ποταμού είναι στενή. Στις περιόδους έντονης βροχόπτωσης και στις περιόδους που συμβαίνει το λιώσιμο των πάγων το ποτάμι μπορεί να γίνει τόσο πλατύ ώστε τελικά να καλύπτεται ολόκληρο το πλημμυρικό πεδίο, δηλαδή την περιοχή της κοίτης που καταλαμβάνεται το καλοκαίρι και της κοίτης που καταλαμβάνεται τον χειμώνα (Εικόνα 162) (Arnold *et al.*, 2009).

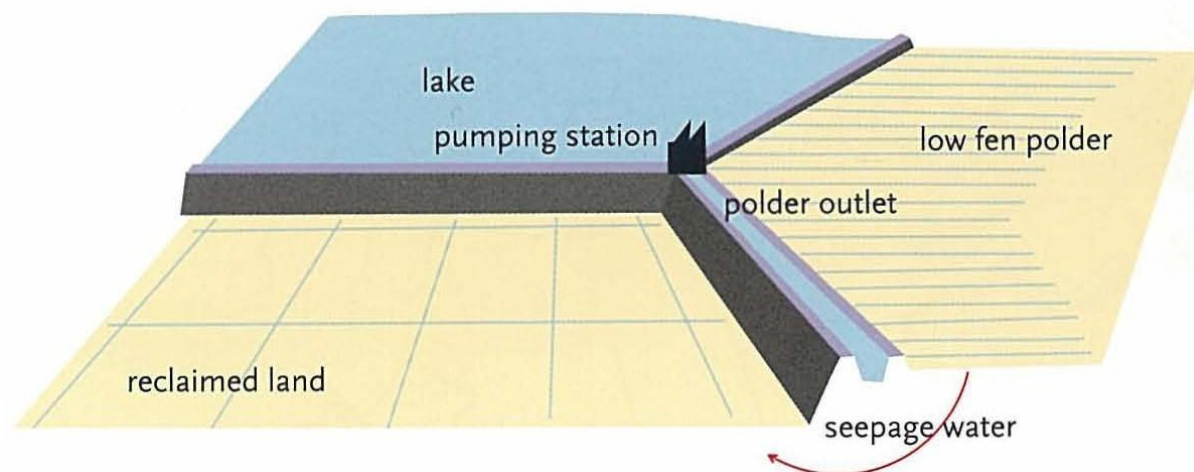


Εικόνα 162. Λειτουργία ποταμού.

(Πηγή: Arnold G., Kielen N., Bos H., Luijn F., Doef R. and Goud R. (2009). *Water Management in the Netherlands*. Amsterdam, Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water and Rijkswaterstaat, Centre for Water Management, pp. 1-80.)

6.5.2.3. Λειτουργία Αποξηραμένων Περιοχών

Μια τέτοια περιοχή προστατεύεται από τις ποσότητες υδάτων που προέρχονται εξωτερικά της περιοχής αυτής από ένα ανάχωμα που διατηρεί μια ελεγχόμενη στάθμη νερού στο εσωτερικό της περιοχής. Οποιαδήποτε μη επιθυμητή πρόσθετη είσοδος νερού στην περιοχή είτε με τη μορφή βροχής, ή υπόγειου νερού που δεν χρησιμοποιείται ή αποθηκεύεται θα πρέπει να αντληθεί προς την εξωτερική πλευρά του αναχώματος και για να επιτευχθεί αυτό πρέπει πρώτα το νερό να αντληθεί στον αγωγό αποξήρανσης-άντλησης που θα οδηγηθεί μέσω αυτού εξωτερικά της προστατευόμενης περιοχής (Εικόνα 163).



Εικόνα 163. Λειτουργία αποξηραμένης περιοχής και ανάκτησης γης.

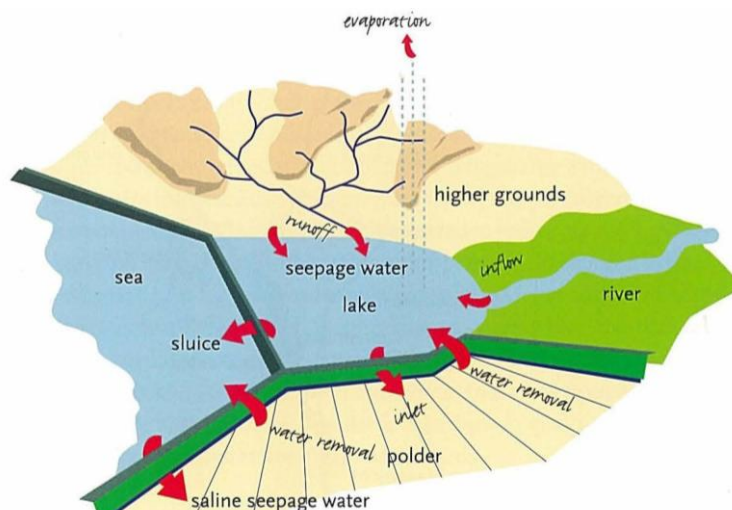
(Πηγή: Arnold G., Kielen N., Bos H., Luijn F., Doef R. and Goud R. (2009). *Water Management in the Netherlands*. Amsterdam, Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water and Rijkswaterstaat, Centre for Water Management, pp. 1-80.)

Οι παραπάνω διαφορετικές συνιστώσες (εδάφη σε υψηλά υψόμετρα, ποτάμια και αποξηραμένες περιοχές) δεν μπορούν να ξεχωριστούν ξεχωριστά η μία από την άλλη. Υπάρχει μια συνεχής αλληλεπίδραση αφού το ποτάμι εφοδιάζει με νερό την λίμνη και το νερό της λίμνης απορρέει στην θάλασσα ενώ η αποξηραμένη περιοχή αποστραγγίζει νερά στην λίμνη καθώς επίσης απορροφώντας το καλοκαίρι. Η στάθμη νερού στη λίμνη επηρεάζει την ροή των κυκλοφορούντων επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων επομένως αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι όλα τα στοιχεία μεταξύ τους είναι αλληλένδετα.

Αυτή η διασυνδεσιμότητα αποτελεί τη βάση για τη διαχείριση των υδάτων της Ολλανδίας. Υπό κανονικές συνθήκες η στάθμη του νερού σε οποιαδήποτε συνιστώσα είναι στο απόλυτα ελεγχόμενο και επιθυμητό επίπεδο ενώ επιπλέον η ροή του νερού ελέγχεται πλήρως. Ωστόσο τόσο σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία όσο και στις ανάντη χώρες όσο και κατά τη διάρκεια παρατεταμένων περιόδων ξηρασίας θα πρέπει συνεχώς να ελέγχεται το σύστημα διαχείρισης των υδάτων με σκοπό να συνεχιστεί η εξυπηρέτηση του συνόλου των αναγκών της χώρας σε νερό (Εικόνα 169).

6.5.2.4. Καίρια Σημεία Συστήματος Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

Οι εποχές που τα ποτάμια δεν μπορούν να ελεγχθούν πλέον είναι ξεπερασμένες αφού η τεχνογνωσία και η τεχνολογία επιτρέπουν την διαχείριση των υδάτων σε αυτά.



Εικόνα 164. Αλληλεπίδραση μεταξύ των συνιστωσών του συστήματος διαχείρισης υδάτων.

(Πηγή: Arnold G., Kielen N., Bos H., Luijn F., Doef R. and Goud R. (2009). *Water Management in the Netherlands*. Amsterdam, Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water and Rijkswaterstaat, Centre for Water Management, pp. 1-80.)

Λόγω αυτού του γεγονότος έχουν ληφθεί διάφορα μέτρα για τον έλεγχο της κατανομής των υδάτων, με την κατασκευή κομβικών τεχνικών έργων. Τέτοια βασικά σημεία στο σύστημα διαχείρισης των υδάτων στην Ολλανδία είναι ο υπερχειλιστής στην περιοχή Driel, ο οποίος καθορίζει σε κάποιο βαθμό την ποσότητα νερού που απορρέει από τον Ρήνο στους ποταμούς IJssel, Neder-Rijn και Waal, τα θυροφράγματα στο ανάχωμα Afsluitdijk που καθορίζουν την στάθμη στην λίμνη IJsselmeer καθώς και τα θυροφράγματα στα φράγματα Haringvliet και Volkerak που επιτρέπουν να προσδιοριστεί μέσω ποιων οδών-διαφυγών το νερό θα εκβάλλει στη θάλασσα (Εικόνα 160).

6.5.2.5. Λειτουργία Μεύση

Ο Μεύσης είναι ένα ποτάμι που τροφοδοτείται από τις βροχοπτώσεις και ως αποτέλεσμα υπάρχουν περίοδοι ξηρασίας με μικρή απορροή. Προκειμένου να διατηρηθεί η στάθμη του νερού για λόγους ναυσιπλοΐας κατασκευάστηκαν επτά υπερχειλιστές τον 20^ο αιώνα στις θέσεις Borgharen, Linne, Roermond, Belfeld, Sambeek, Grave και Lith. Είναι σχεδόν πάντα σε λειτουργία και υπερχειλίζουν μόνο όταν οι όγκοι απορροής είναι μεγάλοι κάτι που συμβαίνει τις περισσότερες φορές τον χειμώνα που μπορεί να υπάρξει έντονη βροχόπτωση στη λεκάνη απορροής του Μεύσης που να μην είναι δυνατόν να διοχετεύσει την αυξημένη απορροή. Μία τέτοια περίπτωση συνέβη για παράδειγμα τα έτη 1993 και 1995 (Εικόνα 165).

Ο Μεύσης διασχίζει τα σύνορα στην περιοχή Eijsden και σχεδόν χωρίζεται σε τρία κανάλια, αυτά στην περιοχή Zuid-Willemsvaart, στην περιοχή Julianakanaal και στην περιοχή Grensmaas που βρίσκεται στην προέκταση του Μεύσης στην παραμεθόρια περιοχή μεταξύ της Ολλανδίας και του Βελγίου.

Στην περιοχή Grensmaas ο σχεδιασμός στοχεύει σε μια ελάχιστη παροχή της τάξης των 10 m³/sec για οικολογικούς λόγους, αλλά σε περιόδους ξηρασίας η παροχή αυτή δεν μπορεί να διατηρηθεί. Η ναυσιπλοΐα κατά μήκος του καναλιού Julianakanaal πρέπει να παραμένει

δυνατή κάθε χρονική στιγμή απαιτώντας έτσι $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ αντισταθμίζοντας έτσι την απώλεια υδάτων στις διώρυγες της Βόρνης και του Μάαστριχτ ενώ στις περιόδους ξηρασίας το νερό που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των διωρύγων ανακυκλοφορεί ξανά πίσω (Εικόνα 165) (Arnold *et al.*, 2009).

6.5.2.5.1. Λειτουργία των καναλιών στις επαρχίες Λίμπουργκ (Midden-Limburg) και στην βόρεια περιοχή της Βραβάντης (Brabant)

Οι επαρχίες της Λίμπουργκ και της βόρειας περιοχής της Βραβάντης εξαρτώνται από την παροχή νερών του Μεύση. Σύμφωνα με διάφορες συνθήκες που έχουν συναφθεί με το Βέλγιο από το 1863, η Ολλανδία είναι υποχρεωμένη να επιτρέψει ελεύθερα την παροχή ελάχιστης ποσότητας νερού ίση με $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ προς την περιοχή Zuid-Willemsvaart μέσω του καναλιού στο Μάαστριχτ (Εικόνα 165). Ως αντάλλαγμα το Βέλγιο είναι υποχρεωμένο να επιτρέψει την εκτροπή $2 \text{ m}^3/\text{sec}$ και επιπροσθέτως οποιασδήποτε ποσότητας νερού που υπερβαίνει την παραπάνω υποχρεωτική παροχή των $10 \text{ m}^3/\text{sec}$, που απορρέουν στην Ολλανδία και συγκεκριμένα στην περιοχή Lozen. Περιστασιακά μέρος της ποσότητας των νερών του Μεύση εκτρέπονται ήδη κοντά στην Λιέγη τα οποία χρησιμοποιούνται από το Βέλγιο για να τροφοδοτεί το κανάλι Albertkanaal. Η διαχείριση των υδάτων στις επαρχίες αυτές καθορίζεται με συμφωνία που αποσκοπεί στο να εξασφαλιστεί η δίκαιη κατανομή νερού μεταξύ των περιοχών που ελέγχονται από τις αρχές των περιφερειακών υδατικών διαμερισμάτων.



Εικόνα 165. Απεικόνιση συστήματος Μεύση και των καναλιών στις επαρχίες Λίμπουργκ και της βόρειας περιοχής της Βραβάντης.

(Πηγή: Arnold G., Kielen N., Bos H., Luijn F., Doef R. and Goud R. (2009). *Water Management in the Netherlands*. Amsterdam, Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water and Rijkswaterstaat, Centre for Water Management, pp. 1-80.)

6.5.2.6. Λειτουργία του Ρήνου και των παραπόταμών του

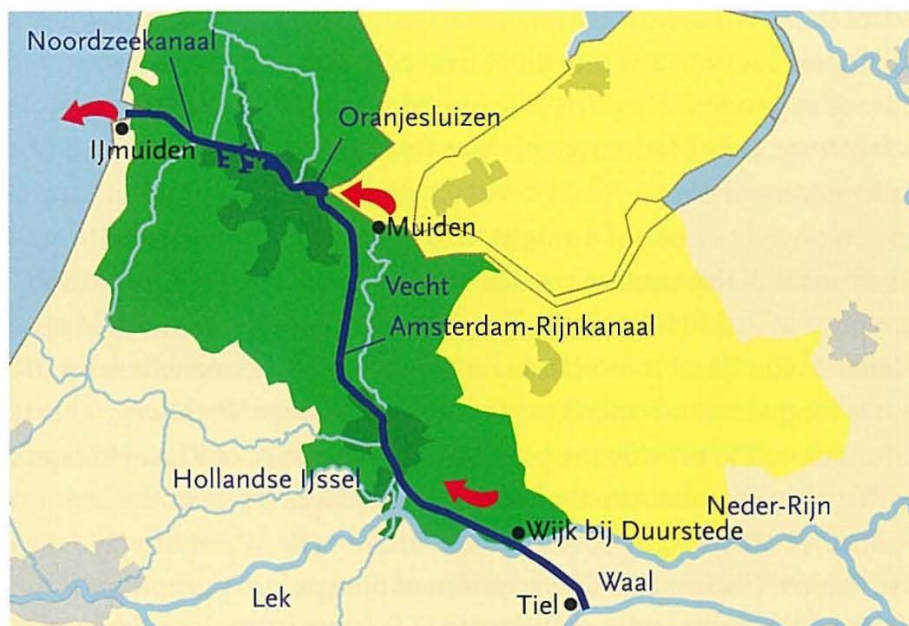
Ο Ρήνος διασχίζει τα ολλανδικά σύνορα στην περιοχή Lobith. Το πρώτο σημείο διακλάδωσης είναι κοντά στην περιοχή Pannerdensch Korp και σε αυτό το σημείο ο ποταμός χωρίζεται στον ποταμό Waal και στο κανάλι Pannendersch Kanaal το οποίο εκβάλλει στον ποταμό Neder-Rijn (Εικόνα 160). Ανατολικά της περιοχής Amhem ο ποταμός IJssel αλλάζει διεύθυνση από τον ποταμό Neder-Rijn. Ο υπερχειλιστής στον ποταμό Neder-Rijn κοντά στην περιοχή Driel λειτουργεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο Ρήνος να μπορεί να τροφοδοτεί τον ποταμό IJssel για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα με παροχή τουλάχιστον 285 m³/sec και επιπλέον θα διατίθενται διαρκώς 25 m³/sec για τον ποταμό Neder-Rijn ενώ η υπόλοιπη ποσότητα θα εκβάλλει στη θάλασσα μέσω του ποταμού Waal.

Η κατανομή αυτή της απορροής του νερού εγγυάται ένα κατάλληλο βάθος για την ναυσιπλοΐα στους τρεις κλάδους του ποταμού. Επιπλέον έτσι ο σταθμός παραγωγής ενέργειας Harculo κοντά στην περιοχή Zwolle λαμβάνει επαρκή ποσότητα νερού για ψύξη και επιπλέον υπάρχει διαθέσιμο αρκετό νερό στη λίμνη IJsselmeer για την κάλυψη των γεωργικών αναγκών στα βόρεια της Ολλανδίας κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων. Αυτό το ιδανικό σενάριο λειτουργίας μπορεί να διατηρηθεί κατά μέσο όρο για τουλάχιστον εννέα μήνες ανά έτος. Ωστόσο εάν η απορροή του Ρήνου κοντά στην περιοχή Lobith είναι μικρότερη από την τιμή των 1.300 m³/sec, είναι αδύνατο να εκτραπούν τα 285 m³/sec προς τον ποταμό IJssel. Ακόμη και έτσι όμως είναι δυνατόν να διατηρείται η απορροή των 25 m³/sec στον ποταμό Neder-Rijn. Εάν η απορροή αυξηθεί πάνω από την τιμή των 1.300 m³/sec, σταδιακά λειτουργούν οι υπερχειλιστές στις περιοχές Driel, Amerongen και Hagestein οπότε η παροχή αυξάνεται στον ποταμό Neder-Rijn, ενώ τα απαραίτητα 285 m³/sec συνεχίζουν να παροχετεύονται στον ποταμό IJssel, ενώ τέλος αν στον Ρήνο απορρέουν πάνω από 2.400 m³/sec, οι υπερχειλιστές είναι σε πλήρη λειτουργία και η κατανομή του νερού δεν μπορεί πλέον να διαχειριστεί λόγω υπέρβασης της παροχής σχεδιασμού (Εικόνα 160) (Arnold *et al.*, 2009).

6.5.2.6.1. Λειτουργία των καναλιών Άμστερνταμ-Rijnkanaal και Noordzeekanaal

Τα κανάλια Άμστερνταμ-Rijnkanaal και Noordzeekanaal είναι μείζονος σημασίας για τις ναυτιλιακές συνδέσεις μεταξύ της περιοχής IJmond, της πόλης του Άμστερνταμ και της Γερμανίας καθώς και για την περιφερειακή διαχείριση των υδάτων (Εικόνα 166). Τα κανάλια αυτά πρέπει να θεωρούνται ως ένα ενιαίο σύστημα. Ο χάρτης δείχνει τη λεκάνη απορροής για αυτό το σύστημα. Η πράσινη περιοχή είναι η περιοχή της οποίας τα νερά απορρέουν άμεσα, η κίτρινη περιοχή είναι η περιοχή της οποίας τα νερά απορρέουν έμμεσα μέσω του καναλιού Noordzeekanaal και μέσω των διωρύγων στην περιοχή Oranjesluizen κοντά στην περιοχή Schellingwoude. Κατά μέσο όρο το 60% της ποσότητας του νερού παρέχεται από τις απορροές των περιφερειακών υδατικών διαμερισμάτων (πράσινο χρώμα).

Το όλο σύστημα εκβάλλει τα νερά στη Βόρεια Θάλασσα στην περιοχή IJmuiden. Ανάλογα με τη στάθμη της θάλασσας τα εσωτερικά ύδατα της χώρας εκβάλλουν σε αυτή είτε με αγωγούς ελεύθερης επιφάνειας αν η στάθμη της θάλασσας είναι χαμηλή, ή με την ύπαρξη άντλησης όταν η στάθμη της θάλασσας βρίσκεται υψηλότερα από αυτήν της στάθμης των εσωτερικών υδάτων. Όταν η στάθμη της θάλασσας είναι χαμηλή το νερό ρέει μέσα από θυροφράγματα εκκένωσης σχεδιασμένα με μέγιστη παροχή 500 m³/sec. Όταν η στάθμη της θάλασσας είναι υψηλή τίθεται σε λειτουργία το αντλιοστάσιο στην περιοχή IJmuiden το οποίο είναι το μεγαλύτερο της Ευρώπης δυναμικότητας 260 m³/sec.



Εικόνα 166. Λεκάνη απορροής των καναλιών Άμστερνταμ-Rijnkanaal και Noordzeekanaal. (πράσινη περιοχή: Άμεση Αποστράγγιση, κίτρινη περιοχή: Έμμεση Αποστράγγιση).

(Πηγή: Arnold G., Kielen N., Bos H., Luijn F., Doef R. and Goud R. (2009). *Water Management in the Netherlands*. Amsterdam, Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water and Rijkswaterstaat, Centre for Water Management, pp. 1-80.)

Το νερό μπορεί να παρασχεθεί μέσω των διωρύγων στις περιοχές Wijk bij Duurstede και Schellingwoude. Η ποσότητα νερού που παρέχεται από τη λίμνη IJsselmeer εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαχείριση του νερού στη λίμνη Markermeer. Η ποσότητα νερού που παρέχεται στη θέση Wijk bij Duurstede σε περιόδους ξηρασίας με τη σειρά της εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που μπορεί να αφαιρεθεί από το υδατικό δυναμικό στον ποταμό Waal στη θέση Tiel, καθώς είναι απαραίτητη η απορροή στον ποταμό Neder-Rijn για την διατήρηση των επιπέδων νερού στα κατάντι. Η ποσότητα νερού από τα κανάλια Άμστερνταμ-Rijnkanaal και Noordzeekanaal χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του περιφερειακού δικτύου καθώς και για υδρευτικούς σκοπούς και λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στη διαχείριση του συστήματος αφού απαιτείται ένα κατάλληλο ελάχιστο βάθος νερού για να διατηρηθεί η ναυσιπλοΐα. Εάν το επίπεδο της στάθμης της λίμνης Markermeer επιτρέπει τον εμπλουτισμό και την τροφοδοσία του ποταμού Vecht μέσω του ποταμού Muiden, τότε η πλεονάζουσα παροχή μπορεί να εκτραπεί στο κανάλι Άμστερνταμ-Rijnkanaal οπότε σε αυτή την περίπτωση απαιτείται μικρότερη πρόσθετη ποσότητα νερού να εκτραπεί από τον ποταμό Waal μέσω του ποταμού Neder-Rijn (Εικόνα 166).

Ένα άλλο γεγονός που συμβαίνει είναι ότι ενώ πολλά πλοία παραμένουν στη διώρυγα IJmuiden για να μετακινηθούν προς την ενδοχώρα, αυτό προκαλεί στο αλμυρό νερό να διεισδύει προς το κανάλι Noordzeekanaal δημιουργώντας έτσι μία μεταβολή (κλίση) συγκέντρωσης αλμυρού νερού από τον ποταμό IJmuiden μέχρι το κανάλι Άμστερνταμ-Rijnkanaal. Οικολογικά αυτή η κλίση συγκέντρωσης αλμυρού νερού παρέχει στο κανάλι Noordzeekanaal μοναδικά οικολογικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον επειδή υπάρχει μόνο ένα σημείο εισόδου για το πόσιμο νερό στο κανάλι Άμστερνταμ-Rijnkanaal πρέπει να

διασφαλιστεί ότι η εισβολή του αλμυρού νερού δεν θα αναπτυχθεί περαιτέρω, οπότε για το σκοπό αυτό έχει τεθεί ως στόχος μία ελάχιστη διατηρητέα παροχή κατά προσέγγιση της τιμής των 30 m³/sec στον ποταμό Diemen. Επιπροσθέτως το νερό από τη λίμνη Markermeer μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποτροπή της εισβολής του θαλασσινού νερού στην περιοχή Schellingwoude.

Σε παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας το νερό από το κανάλι Amsterdam-Rijnkanaal χρησιμοποιείται για την καταπολέμηση της εισβολής της θάλασσας στις αποξηραμένες περιοχές στην επαρχία της Zuid-Holland. Κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων το νερό από τον ποταμό Hollandsche IJssel περιέχει μεγάλη ποσότητα αλατιού επειδή η διείσδυση της θαλάσσιας σφήνας προχωράει πολύ βαθιά στην ενδοχώρα μέσα από την Νέα Πλωτή Οδό (Nieuwe Waterweg). Η συμφωνία για την παροχή γλυκού νερού στις αποξηραμένες περιοχές στην επαρχία Zuid-Holland από το κανάλι Άμστερνταμ-Rijnkanaal συνάφθηκε στο τέλος της δεκαετίας του 1980 με τίτλο "Μικρής Κλίμακας Τροφοδοσία Επαρχιών" στην οποία ορίστηκε ότι με τη βοήθεια ενός συστήματος αντλιών και αντλητικών σταθμών θα μεταφέρονται 7 m³/sec γλυκού νερού στις αποξηραμένες περιοχές της επαρχίας Zuid-Holland κατά την διάρκεια των περιόδων έλλειψης νερού.

6.5.2.7. Συνεισφορά-Λειτουργία της περιοχής IJsselmeer

Το σύστημα αυτό αποτελείται από τις λίμνες IJsselmeer, Markermeer, IJmeer και Randmeren και αποτελεί την μεγαλύτερη λεκάνη γλυκού νερού στη δυτική Ευρώπη που λειτουργεί κατά τις περιόδους ξηρασίας ως ένας ταμιευτήρας ο οποίος μπορεί να εφοδιάζει με νερό πολλές περιοχές βόρεια στην Ολλανδία. Αποτελεί επίσης έναν τόπο με μεγάλη οικολογική αξία τόσο εθνικής όσο και διεθνούς σημασίας. Η κύρια λειτουργία του συνίσταται στο να απορρέουν τα ύδατα από τις λεκάνες απορροής των ποταμών IJssel, Overijsselse Vecht και Eem (Εικόνα 160).

Η λίμνη IJsselmeer-και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και η λίμνη Markermeer-τροφοδοτούνται κυρίως από τον ποταμό IJssel. Από τον Απρίλιο έως το Σεπτέμβριο ο στόχος για την διατήρηση της στάθμης σε αυτές τις λίμνες είναι 0,20 m υπό την μέση στάθμη της θάλασσας, ενώ κατά το υπόλοιπο του έτους η ίδια στάθμη διατηρείται 0,40 m υπό την μέση στάθμη της θάλασσας ενώ συνήθως υπάρχει αρκετή ποσότητα νερού για να διατηρηθεί αυτή η στάθμη. Τους χειμερινούς μήνες η λίμνη Markermeer παροχετεύει την πλεονάζουσα ποσότητα νερού στη λίμνη IJsselmeer ενώ το καλοκαίρι το μεγαλύτερο μέρος ρέει προς τα δυτικά για να εμπλουτίσει το κανάλι Noordzeekanaal (Εικόνα 166). Την άνοιξη και το φθινόπωρο η κατεύθυνση της απορροής μεταβάλλεται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τη στάθμη του νερού. Η πλεονάζουσα ποσότητα νερού από τη λίμνη IJsselmeer εκβάλλει στη θάλασσα Wadden μέσω των θυροφραγμάτων στις περιοχές Den Oever και Kornwerderzand.

Η λίμνη IJsselmeer τροφοδοτεί με σημαντικούς όγκους νερού τις επαρχίες Friesland και Groningen, το βόρειο τμήμα της περιοχής NoordHolland καθώς και εκτεταμένες εκτάσεις στην επαρχία Drenthe και στην βορειοδυτική περιοχή της επαρχίας Overijssel. Επιπροσθέτως έχουν κατασκευαστεί εγκαταστάσεις επεξεργασίας για την παραγωγή πόσιμου νερού που βρίσκονται στις θέσεις Andijk και Enkhuizen, ωστόσο οι ποσότητες που παράγονται εκεί είναι σχετικά μικρές.

Τα βασικά στόμια εισόδου νερού στην περιοχή Schermerboezem βρίσκονται στη λίμνη Markermeer και συγκεκριμένα στην περιοχή Lutje-Schardam και στις περιοχές Schardam και

Monnickendam. Τέλος το νερό από τη λίμνη IJsselmeer μπορεί να τροφοδοτήσει από τις θέσεις Muiden και Zeeburg για να εμπλουτίσει τα κανάλια Vecht και Amsterdam-Rijnkanaal αντίστοιχα (Εικόνα 166). Κατά τη διάρκεια των περιόδων ξηρασίας τίθενται σε εφαρμογή μια σειρά προτεραιοτήτων η οποία καθορίζει τη σειρά με την οποία θα διατεθούν στους χρήστες τα μειωμένα αποθέματα νερού ενώ ειδικά για την περιοχή IJsselmeer αυτή η σειρά καθορίζεται από την διάταξη προτεραιοτήτων σε περιφερειακό επίπεδο με τίτλο "Διανομή Νερού στη Βόρεια Ολλανδία" (Arnold *et al.*, 2009).

6.5.2.8. Λειτουργία του Νοτιοδυτικού Δέλτα

Το νοτιοδυτικό δέλτα οριοθετείται από την Νέα Πλωτή Οδό (Nieuwe Waterweg/Nieuwe Maas), την περιοχή Biesbosch και το δέλτα εκβολής του ποταμού Σελντ. Είναι ένα σύνθετο σύστημα από διασυνδεδεμένες και αλληλοεπηρεαζόμενες πλωτές οδούς γλυκών και αλμυρών υδάτων που μερικές οδοί είναι στάσιμες, άλλες όμως είναι παλιρροϊκές. Στο Δέλτα συναντιούνται τρεις ποταμοί ο Ρήνος, ο Μεύσης και ο Σελντ.

Η κατανομή του νερού ελέγχεται από τα θυροφράγματα στο φράγμα Haringvliet τα οποία λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε από την Νέα Πλωτή Οδό (Nieuwe Waterweg) να μπορούν να απορρέουν 1.500 m³/sec για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Με τον τρόπο αυτό επιχειρείται η αντιμετώπιση της διείσδυσης της θάλασσας και η πρόληψη της υπαλμύρωσης των νερών του ποταμού Hollandse IJssel του πιο σημαντικού τροφοδότη γλυκού νερού για το κεντρικό και δυτικό τμήμα της Ολλανδίας το οποίο βρίσκεται στην περιοχή Gouda καθώς και η ύπαρξη μιας ελάχιστης απαραίτητης στάθμης για την ναυσιπλοΐα από και προς το λιμάνι του Ρότερνταμ. Επιπλέον η λειτουργία των θυροφραγμάτων Haringvliet αποσκοπεί στην εξασφάλιση μίας ελάχιστης στάθμης νερού στον ποταμό Hollandsch Diep προκειμένου να διατηρείται η ναυσιπλοΐα προς και από το λιμάνι του Moerdijk.

Κατά τη χρονική περίοδο που η απορροή του Ρήνου στην περιοχή Lobith είναι έως και την τιμή των 1.100 m³/sec, τα θυροφράγματα στο φράγμα Haringvliet παραμένουν εντελώς κλειστά εμποδίζοντας την διείσδυση του αλμυρού-θαλασσινού νερού στην ενδοχώρα επιτρέποντας μόνο την αποστράγγιση των θαλασσίων υδάτων και τη μετακίνηση των ψαριών (Εικόνα 160).

Όταν η απορροή του Ρήνου είναι μεταξύ 1.100 και 1.700 m³/sec, τα θυροφράγματα είναι ανοικτά κατά την διάρκεια της άμπωτης σε μια επιφάνεια ανοίγματος των 2.500 m² περίπου, αν η στάθμη του νερού της θάλασσας είναι χαμηλότερα από τη στάθμη του νερού προς την πλευρά της ενδοχώρας. Με αυτόν τον τρόπο διατηρείται μία μέση παροχή εμπλουτισμού περίπου της τάξης των 50 m³/sec στις περιοχές του φράγματος Haringvliet.

Όταν οι τιμές απορροής κυμαίνονται μεταξύ 1.700 και 9.500 m³/sec, τα θυροφράγματα σταδιακά αρχίζουν και ανοίγουν και σε απορροές άνω των 9.500 m³/sec, τα θυροφράγματα είναι εντελώς ανοικτά.

Ωστόσο οι κανόνες λειτουργίας δεν είναι πάντα επαρκείς για τη διατήρηση της απορροής στα 1.500 m³/sec και αυτό συμβαίνει διότι κατά τις περιόδους μικρών παροχών και όταν τα θυροφράγματα στο φράγμα Haringvliet είναι τελείως κλειστά, η Νέα Πλωτή Οδός (Nieuwe Waterweg) δέχεται τις απορροές από τους ποταμούς Lek, Waal και από τον Amer, μείον την ποσότητα νερού που αποστραγγίζεται στο θυροφράγμα του φράγματος Volkerak και το ποσοστό εμπλουτισμού του φράγματος Haringvliet.

Προς το παρόν τα θυροφράγματα στο φράγμα Haringvliet εξακολουθούν να αποτελούν ένα μόνιμο φράγμα μεταξύ της θάλασσας και της περιοχής του φράγματος Haringvliet και επομένως αποκλείουν τη διέλευση των μεταναστευτικών ψαριών όπως ο σολομός και η πέστροφα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα θυροφράγματα στο φράγμα Haringvliet να παραμείνουν μισάνοιχτα το 2010 προκειμένου να δημιουργηθούν πιο ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη ενός πιο φυσικού δέλτα καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι τα θυροφράγματα δεν θα κλείνουν πλέον κατά τη διάρκεια μιας πλημμυρίδας, αλλά θα παραμένουν μισάνοιχτα με την προϋπόθεση ότι τα σημεία εισόδου του γλυκού νερού δεν θα καταστούν αλμυρά. Με αυτόν τον τρόπο θα αναπτυχθεί μία σταδιακή μετάβαση από το θαλασσινό νερό στο νερό των ποταμών με τα μεταναστευτικά ψάρια να είναι σε θέση να περάσουν τα θυροφράγματα, υλοποιώντας με τον καλύτερο τρόπο κάτι που είναι σε απόλυτη συμφωνία με την εφαρμογή της Οδηγίας-Πλαίσιο για τα Ύδατα και τα Πουλιά και την Οδηγία Habitat (Natura 2000).

Με την εκσκαφή-και μετέπειτα την εκβάθυνση-της Νέας Πλωτής Οδού (Nieuwe Waterweg) ώστε να εξασφαλιστεί η πρόσβαση στο λιμάνι του Ρότερνταμ, το θαλασσινό νερό διείσδυσε περαιτέρω στο εσωτερικό της χώρας το οποίο έθεσε σε προβληματισμό την παροχή πόσιμου νερού στην περιοχή Delfland. Για να παροχετευτεί γλυκό νερό προς την περιοχή Delfland κατασκευάστηκε ένας αγωγός με δυνατότητα μεταφοράς $4 \text{ m}^3/\text{sec}$ από την περιοχή Brielse Meer προς την περιοχή Delfland διερχόμενος κάτω από την Νέα Πλωτή Οδό (Nieuwe Waterweg) και σε συνδυασμό με την υφιστάμενη ικανότητα μεταφοράς των $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ μέσω των περιοχών Lopikerwaard και Krimpenerwaard η περιοχή μπορεί να καλύψει πλέον τις ανάγκες της σε νερό.

- *Λειτουργία του φράγματος στον ποταμό Hollandse IJssel*

Η κατασκευή ενός μόνιμου φράγματος στον ποταμό Hollandse IJssel δεν ήταν αποτελεσματική ιδέα κυρίως διότι θα καταστούσε αδύνατη τη κυκλοφορία λόγω ναυσιπλοΐας. Εκτός από αυτό έπρεπε να διασφαλιστεί ότι το νερό από τον ποταμό θα μπορούσε να εκβάλλει στη θάλασσα χωρίς κανέναν περιορισμό.

Επομένως προτάθηκε να κλείσει ο ποταμός Hollandse IJssel μέσω ενός κινητού φράγματος κοντά στις εκβολές του. Το κινητό φράγμα επιλέχτηκε να κατασκευαστεί λόγω του γεγονότος ότι θα παραμένει κλειστό μόνο κατά την περίπτωση της παλιρροϊκής καταιγίδας έτσι ώστε να μην πληγεί η ναυσιπλοΐα, αφού λόγω του μεγέθους και του βάθους του το ποτάμι είναι ένας από τους πιο σημαντικούς οδηγούς πλοήγησης με κατεύθυνση την εσωτερική ναυσιπλοΐα στη Γερμανία καθώς και στο να μειωθούν οι επιδράσεις στη χλωρίδα και την πανίδα του νερού.

- *Λειτουργία του φράγματος Volkerak*

Το φράγμα Volkerak έχει μια συνδετική και μία διαχωριστική λειτουργία. Από τη μια πλευρά το φράγμα συνδέει τις περιοχές στο βόρειο τμήμα της περιοχής της Βραβάντης, την Goeree-Overflakkee και την Hoekse Waard ενώ από την άλλη πλευρά διαχωρίζει τρεις θαλάσσιες περιοχές αυτές της Hollandsch Diep και των φραγμάτων Haringvliet και Volkerak.

- *Λειτουργία του φράγματος Haringvliet*

Το φράγμα Haringvliet εκτελεί δύο λειτουργίες. Πρώτον συμβάλλει στην προστασία από πιθανές πλημμύρες και δεύτερον ανέλαβε την αποστράγγιση των νερών από τον Ρήνο και τον Μεύση στη Βόρεια Θάλασσα. Κατά συνέπεια το φράγμα έπρεπε να είναι ανοικτό.

Δεκαεπτά ανοίγματα ρυθμίζουν την παροχή νερού που ρέει μέσα από τη νέα πλωτή οδό προς τη Βόρεια Θάλασσα. Όταν η στάθμη του νερού κοντά στο Ρότερνταμ γίνει πάρα πολύ υψηλή, ειδικά θυροφράγματα αποστράγγισης μπορούν να παροχετεύουν την πλεονάζουσα ποσότητα νερού στη θάλασσα. Εκτός από τα θυροφράγματα αποστράγγισης κατασκευάστηκε και μία διώρυγα ναυσιπλοΐας για τα πλοία.

- *Λειτουργία των φραγμάτων Philips-Oester*

Τα φράγματα Philips Dam και Oester Dam που ουσιαστικά ήταν δύο βοηθητικά φράγματα θα περιόριζαν την επιφάνεια που έπρεπε να προστατεύσει το Oosterschelde και θα ενίσχυαν τις κινήσεις της παλίρροιας. Επιπλέον κατασκευάστηκε μια δίοδος ναυσιπλοΐας δίχως πλέον το πρόβλημα των παλιρροιών μεταξύ της Αμβέρσας και του Ρήνου. Εκτός από τη μείωση του μεγέθους του φράγματος Oosterschelde, τα φράγματα κατασκευάστηκαν επίσης για να διασφαλίσουν ένα επίπεδο σταθερής παροχής νερού στη συμβολή των ποταμών Σελντ-Ρήνου που ήταν μεγάλης σημασίας για μια σταθερή σύνδεση που θα εξασφάλιζε την προσβασιμότητα του λιμανιού της Αμβέρσας. Επιπλέον τα φράγματα έπαιξαν έναν καθοριστικό ρόλο στον έλεγχο των υδάτων και τη προστασία του περιβάλλοντος όπως για παράδειγμα στην περιοχή Western Brabant.

Τα φράγματα αυτά σήμαιναν τη σωτηρία όχι μόνο για τις αλυκές και τις περιοχές λάσπης αλλά και για την καλλιέργεια στρειδιών στην περιοχή Yerseke. Σε μεγάλο βαθμό οι αγρότες στρειδιών εξαρτώνται από τις κινήσεις της παλίρροιας για τη συγκομιδή τους. Τα δύο αυτά φράγματα μαζί με το φράγμα Oosterschelde προστατεύουν την περιοχή ανάντι τους ενάντια στην υψηλή στάθμη των υδάτων. Τέλος, τα φράγματα εγγυόντουσαν ότι δεν υπόκειταν πλέον η συμβολή των ποταμών Σελντ-Ρήνου σε ζημιές από τις παλίρροιας.

- *Ρόλος φραγμάτων Zandkreek, Grevelingen και Volkerak στη φάση κατασκευής*

Για να είναι δυνατή η κατασκευή των εξωτερικών φραγμάτων Veerse Gat, Brouwers, Haringvliet και Oosterschelde στις εκβολές του δέλτα προς την πλευρά της Βόρειας Θάλασσας έπρεπε πρώτα να κατασκευαστούν τα βοηθητικά φράγματα Zandkreek, Grevelingen και Volkerak ελαχιστοποιώντας έτσι την ένταση και την ταχύτητα των ισχυρών ρευμάτων καθιστώντας την υλοποίησή τους πιο εύκολη και περισσότερο ασφαλή για το ανθρώπινο δυναμικό.

- *Λειτουργία των διωρύγων Krammer (Krammersluizen)*

Το πιο σημαντικό έργο του φράγματος Philips αποτελείται από τις δύο διώρυγες ναυσιπλοΐας. Αυτές οι διώρυγες ήταν απαραίτητες διότι το φράγμα Philips βρέθηκε να αποτελεί τον σύνδεσμο ναυσιπλοΐας μεταξύ των ποταμών Σελντ και Ρήνου. Έχουν ένα μοναδικό σύστημα με το οποίο μπορεί να διαχωριστεί το αλμυρό και το γλυκό νερό που ως στόχο έχει να αποτρέψει την υπερβολική εισροή αλμυρού νερού από το φράγμα Oosterschelde προς τα γλυκά νερά του φράγματος Volkerak ή αντίθετα μεγάλες ποσότητες γλυκών νερών να εκβάλλουν από το φράγμα Oosterschelde στη Βόρεια θάλασσα κατά την διέλευση των πλοίων.

- *Λειτουργία της προκουμαίας Marquisate*

Η προκουμαία Marquisate βοήθησε πρώτον στο να διευκολυνθεί η κατασκευή του φράγματος Oyster και δεύτερον βοήθησε στο να μειωθεί η παροχή νερού στο κανάλι συμβολής των ποταμών Σελντ-Ρήνου.

- *Λειτουργία του καναλιού και της διώρυγας στην περιοχή Bath*

Το κανάλι και η διώρυγα στην περιοχή Bath βοήθησαν στο να μπορούν να αποστραγγίζονται οι πλεονάζουσες ποσότητες γλυκού νερού από τα φράγματα Volkerak και Markiezaat μέσω των τεχνικών έργων Bathse Spruichannel και Bathse Spuilock.

- *Λειτουργία του φράγματος Maeslant*

Το Φράγμα Maeslant σήμαινε το τελευταίο έργο του σχεδίου Δέλτα. Χάρη σε αυτό το φράγμα αντιμετώπισης των κυμάτων καταιγίδας προστατεύονται από τη θάλασσα περίπου ένα εκατομμύριο άνθρωποι στην νότια περιοχή Holland. Το φράγμα Maeslant ήταν απαραίτητο για διάφορους λόγους, αφού είναι το πιο σημαντικό έργο για την προστασία του Ρότερνταμ και της γύρω περιοχής. Επίσης το θαλασσινό νερό απειλεί όλο και περισσότερες εκτάσεις λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Το Ρότερνταμ δεν ήταν η μόνη περιοχή που έπρεπε να προστατευθεί καθώς απαιτούσε επίσης προστασία όλη η περιοχή της λεκάνης απορροής κατά μήκος της νέας πλωτής οδού και της περιοχής του Μεύση. Το φράγμα Maeslant δεν θα μπορούσε να διαχειριστεί την κατάσταση μόνο του και σε συνδυασμό με το φράγμα Hartel σχηματίζεται μια ενιαία γραμμή προστασίας για το σύνολο της περιοχής.

- *Λειτουργία του φράγματος Hartel*

Το Φράγμα Hartel κατέστη απαραίτητο όταν αποφασίστηκε να κατασκευαστεί το φράγμα Maeslant στη Νέα Πλωτή Οδό αφού όταν αυτό κλείνει σε ακραίες περιπτώσεις τότε μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού θα μπορούσαν να απειλήσουν την περιοχή EuroPort που βρίσκεται ανάντι. Κατά συνέπεια κατασκευάστηκε ένα φράγμα αντιμετώπισης των κυμάτων καταιγίδας στο κανάλι Hartel κοντά στην περιοχή Spijkenisse.

6.5.3. Διαχείριση Περιφερειακού Συστήματος

Εκτός από το κύριο εθνικό σύστημα διαχείρισης των υδάτων υπάρχει και ένα πυκνό δίκτυο τάφρων, ρεμάτων και καναλιών στις Κάτω Χώρες που ελέγχονται από το περιφερειακό σύστημα διαχείρισης νερού. Το κύριο και το περιφερειακό σύστημα διαχείρισης νερού συνδέεται σε διάφορες θέσεις (Εικόνα 167). Στην περίπτωση υπερβολικής βροχόπτωσης το περιφερειακό σύστημα απορρέει τα ύδατα στο κύριο σύστημα ενώ το περιφερειακό σύστημα μπορεί να τροφοδοτηθεί από το κύριο σύστημα σε περιόδους ξηρασίας.

Στις πεδινές περιοχές των Κάτω Χωρών με χαμηλά υψόμετρα το νερό που εισέρχεται στο περιφερειακό σύστημα παρουσιάζει μια ποικιλία λειτουργιών η σημαντικότερη των οποίων είναι η διατήρηση της στάθμης του νερού για την αποτροπή των καθιζήσεων των τυρφωδών περιοχών ενώ επιπλέον χρησιμοποιείται και για εμπλουτισμό για να διασφαλιστεί η καλή ποιότητα του νερού. Στις υψηλότερες περιοχές η παροχή νερού στο περιφερειακό σύστημα γίνεται κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς. Ο παρακάτω χάρτης παρέχει μία ολοκληρωμένη εικόνα τόσο του κύριου εθνικού όσο και του περιφερειακού συστήματος διαχείρισης νερού.

Στην περίπτωση εξαιρετικά χαμηλών απορροών κάθε υπερχειλιστής κατά μήκος του ποταμού Neder-Rijn λειτουργεί και επιπλέον τα θυροφράγματα στο φράγμα Haringvliet και στο ανάχωμα Afsluitdijk παραμένουν κλειστά με σκοπό τον έλεγχο, τη διανομή του νερού και την αποτροπή υφαλμύρωσης των υδάτων ενώ το ίδιο ισχύει και για εξαιρετικά μεγάλες απορροές κατά την διάρκεια των οποίων παραμένουν εντελώς ανοιχτά όλα τα

θυροφράγματα.



Εικόνα 167. Συνολική απεικόνιση συστήματος διαχείρισης υδάτων Ολλανδίας.

(Πηγή: Arnold G., Kielen N., Bos H., Luijn F., Doef R. and Goud R. (2009). *Water Management in the Netherlands*. Amsterdam, Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water and Rijkswaterstaat, Centre for Water Management, pp. 1-80.)

7. Περιβαλλοντική Συνιστώσα

7.1. Εισαγωγή

Τα δέλτα συνδέουν τους ποταμούς με τη θάλασσα διαμορφώνοντας έναν απαραίτητο σύνδεσμο μεταξύ των θαλάσσιων και των οικοσυστημάτων των ποταμών. Κάτι ανάλογο ίσχυε για τους ποταμούς Ρήνο και Μεύση μέχρι το 1971 όταν η ολοκλήρωση του φράγματος Haringvliet δημιούργησε ένα εμπόδιο μεταξύ αυτών των ποταμών και της Βόρειας Θάλασσας. Ο πρώτος στόχος της κατασκευής ήταν να προστατευθεί η περιοχή ενάντια στις πλημμύρες. Ο δεύτερος στόχος ήταν να βελτιωθεί ο έλεγχος της κατανομής των υδάτων των ποταμών μέσω των κύριων εκβολών των ποταμών δηλαδή στις περιοχές της Νέας Πλωτής Οδού (Nieuwe Waterweg) και στο φράγμα Haringvliet, ενώ επιπλέον απαιτήθηκε να υλοποιηθεί για να μειωθεί η διείσδυση της θάλασσας στη Νέα Πλωτή Οδό (Nieuwe Waterweg). Ο τρίτος στόχος ήταν να βελτιωθεί ο εμπλουτισμός του γλυκού νερού στα πρώην νησιά για αρδευτικούς λόγους και για να δημιουργηθούν νέες καταλληλότερες περιοχές για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Το κλείσιμο της περιοχής άσκησε δραματική επίδραση στην οικολογία του προηγούμενου δέλτα εκβολής που υπογράμμισε το γεγονός ότι η δίαυτος του νερού είναι κρίσιμη παράμετρος αυτού του οικοσυστήματος ενώ συνέπεια της κατασκευής του φράγματος η ακτογραμμή έγινε αρκετά κοντύτερη λόγω διατάραξης του καθεστώτος της παράκτιας κυκλοφορίας ιζημάτων.

Στο πρώτο μισό της δεκαετίας του '80 αρκετά αρνητικά μακροπρόθεσμα αποτελέσματα έγιναν προφανή λόγω του κλεισίματος των εκβολών των δύο αυτών ποταμών όπως η συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων ρυπασμένων ιζημάτων και η εξαφάνιση και υποβάθμιση των προηγούμενων παλιρροϊκών περιοχών. Την ίδια περίοδο το Υπουργείο Μεταφορών και Δημοσίων Έργων που είναι αρμόδιο για τη διαχείριση των υδάτων στο εσωκλειόμενο δέλτα που σχηματίζεται από τους ποταμούς Ρήνο και Μεύση, υιοθέτησε την αρχή της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδάτων απαιτώντας ότι όλες οι λειτουργίες των συστημάτων περιλαμβάνονται στη διαχείρισή τους. Ταυτόχρονα οι φυσικές αξίες και το δυναμικό των οικοσυστημάτων των ποταμών όσο και των παράκτιων υγροτόπων γινόταν όλο και περισσότερο κατανοητή η χρησιμότητά τους από την ολλανδική κοινωνία. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα πρόσφατα η βιώσιμη ανάπτυξη των οικοσυστημάτων να αποτελεί κείμενο ζήτημα για την διαχείριση των υδάτων.

Δεδομένου ότι το οικοσύστημα της περιοχής είχε γίνει έντονα εξαρτώμενο από τη διαχείριση των θυροφραγμάτων στο φράγμα Haringvliet, η διαχείρισή τους έπρεπε να επανεξεταστεί με περισσότερη όμως έμφαση στο περιβάλλον.

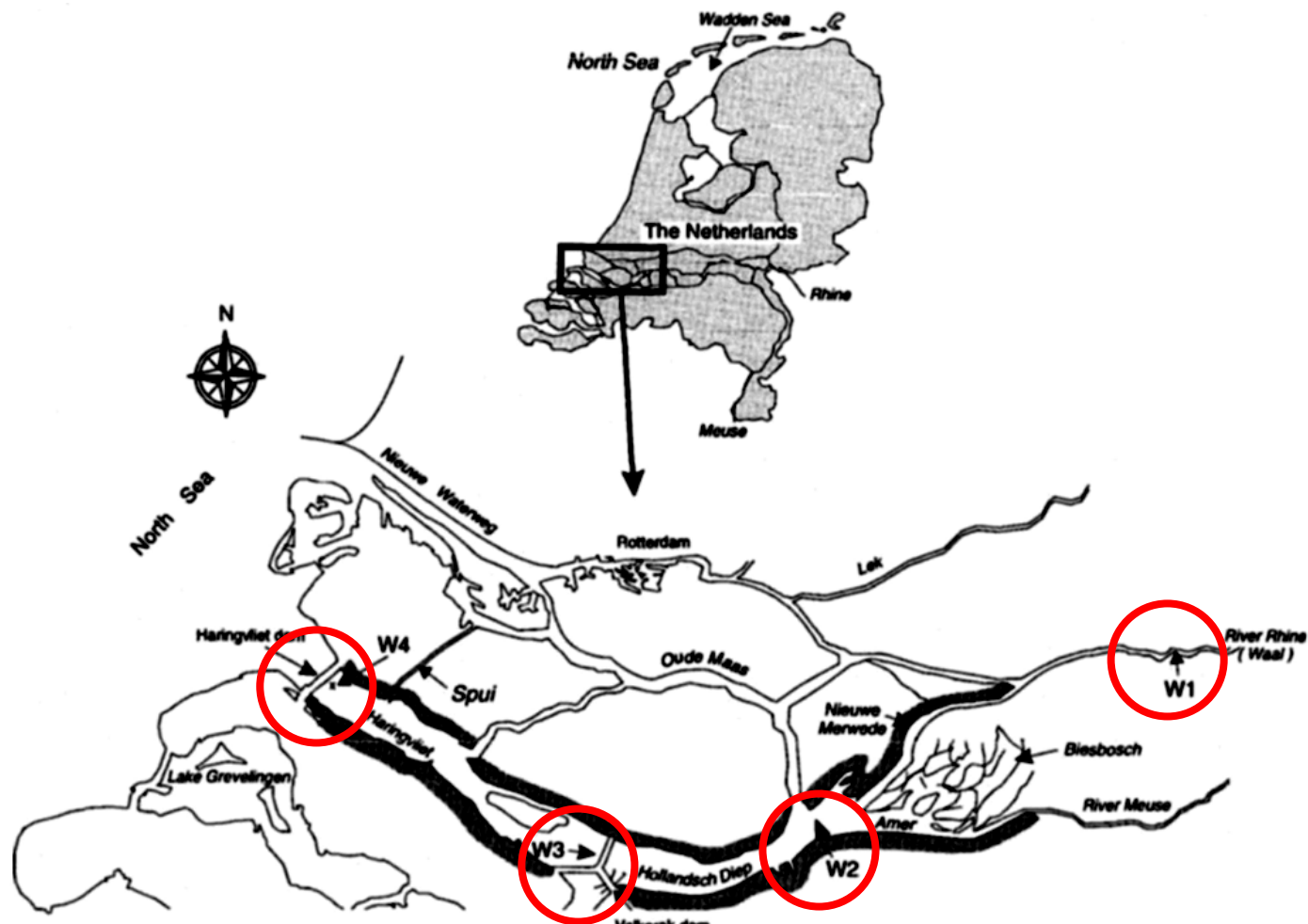
Η παρακάτω ανάλυση στοχεύει στο να αναλύσει τις μακροπρόθεσμες εξελίξεις από το 1970 στη μορφολογία, την ποιότητα και την οικολογία των ιζημάτων και των υδάτων, τον καθορισμό του αντίκτυπου της διαχείρισης των θυροφραγμάτων σε αυτές τις παραμέτρους και να περιγράψει και αξιολογήσει εναλλακτικές στρατηγικές διαχείρισης των θυροφραγμάτων από την άποψη της οικολογίας και των επιπτώσεών τους στις λειτουργίες των ανθρώπων και της φύσης (Smit *et al.*, 1997).

7.2. Το Δέλτα Πριν το Κλείσιμο

Η εξεταζόμενη περιοχή περιλαμβάνει το φράγμα Haringvliet, την περιοχή Hollandsch Diep, την περιοχή Biesbosch και τους ποταμούς Nieuwe Merwede και Amer (Εικόνα 168).

Το φράγμα Haringvliet αποτελεί την κύρια εκβολή των ποταμών Ρήνου και Μεύση. Η περιοχή έχει μια σύνθετη ιστορία από πλημμύρες από τη θάλασσα και τους ποταμούς, την αποκατάσταση γης και κατασκευής αναχωμάτων καθώς και την κατασκευή και έλεγχο καναλιών. Μέχρι το 1870 σημαντική ποσότητα των υδάτων του Ρήνου διέτρεχαν την περιοχή Biesbosch εναποθέτοντας μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων στερεών που είχαν την κύρια εκροή τους στη Βόρεια Θάλασσα μέσω του φράγματος Haringvliet. Μεταξύ των ετών 1860 και 1870 κατασκευάστηκαν δύο σημαντικά κανάλια τόσο στην περιοχή Nieuwe Merwede όσο και στην περιοχή Nieuwe Waterweg που αποτελούσαν σημαντικές διόδους ναυσιπλοΐας και έργα απορροής των υδάτων. Στον ποταμό Μεύση που απορρέει στον ποταμό Waal κατασκευάστηκε η εκβολή του στον ποταμό Amer με το σκάψιμο του ποταμού Bergsche Maas στην αρχή του 20^{ου} αιώνα. Η συνεχής ιζηματογένεση και οι εκτενείς εκσκαφές των μεγάλων παλιρροϊκών περιοχών μείωσαν τον αποθηκευτικό όγκο των υδάτων. Αυτό σε συνδυασμό με το σκάψιμο του καναλιού αύξησε το εύρος της μέσης παλίρροιας στην περιοχή Biesbosch από περίπου 1 m το 1850 σε περίπου 2 m το 1960. Πριν από την κατασκευή των φραγμάτων Volkerak και Haringvliet υπήρχε μια ισορροπία στην μορφολογία της περιοχής μεταξύ των προφίλ του πυθμένα και των ρευμάτων ενώ η θάλασσα και η προερχόμενη από τα ποτάμια λάσπη συσσωρευόταν κυρίως στις παλιρροϊκές περιοχές.

Το οικοσύστημα της εκβολής αποτελούνταν από ένα παλιρροϊκό σύστημα υφάλμυρων-γλυκών υδάτων. Περιελάμβανε χαρακτηριστικά είδη χλωρίδας, πανίδας, πλαγκτόν, ψάρια και πολλά είδη πτηνών. Τα παλιρροϊκά έλη γλυκού νερού χαρακτηρίζονταν από τη στρωμάτωση της βλάστησης που προκλήθηκε από τις παλιρροϊκές πλημμύρες και την έκθεση των εδαφών στα παλιρροϊκά ρεύματα. Στις χαμηλές παλιρροϊκές περιοχές στα έλη *Scirpus* επικρατούσαν κυρίως είδη ζωής όπως *Scirpus lacustris*, *S. tabernaemontani*, *S. maritimus*, και *S. triquetus*. Στις υψηλότερες περιοχές αυτά τα έλη διαδέχτηκαν από έλη με καλάμια και τα αλούβια δάση. Ιστορικά η διαδοχή βλάστησης έχει επηρεαστεί έντονα από την εκμετάλλευση των θάμνων, του καλάμου και του ξύλου. Επίσης τόσο τα ασπόνδυλα όσο και τα ψάρια ακολούθησαν μια περιβαλλοντική μεταβολή, με διάφορα θαλάσσια είδη να βρίσκονται στη δυτική περιοχή του φράγματος Haringvliet, διάφορα είδη ψαριών που ζούσαν σε υφάλμυρα ύδατα να βρίσκονται ανατολικά του φράγματος Haringvliet και στην περιοχή Hollandsch Diep και τα είδη ψαριών του γλυκού νερού να ζουν στις περιοχές Biesbosch, Amer και Nieuwe Merwede. Μεταξύ των θηλαστικών η ενυδρίδα *Lutra lutra* ήταν ακόμα υπαρκτή περίπου μέχρι το 1900 στις περιοχές Hollandsch Diep και Biesbosch αλλά είχε ήδη εκλείψει μέχρι το 1940. Άλλα είδη ζωής όπως η φώκια *Phoca vitulina* υπήρχε μέχρι το 1953 αλλά είχε ήδη εξαφανιστεί σχεδόν από όλη την περιοχή στο τέλος της δεκαετίας του '60 κυρίως λόγω της ρύπανσης (Smit *et al.*, 1997).



Εικόνα 168. Γενική άποψη του Δέλτα των ποταμών Ρήνου-Μεύση και η θέση των τεσσάρων δειγματοληπτικών σταθμών μέτρησης W1, W2, W3, W4.

(Πηγή: Smit H., Velde G., Smits R. and Coops H. (1997). Ecosystem Responses in the Rhine-Meuse Delta During Two Decades After Enclosure and Steps Toward Estuary Restoration. *Journal of Estuaries Research Federation*, Vol. 20, No. 3, September, pp. 504-520.)

7.3. Το Δέλτα Μετά το Κλείσιμο

7.3.1. Δίαιτα Υδάτων στο Δέλτα

Η κατασκευή του φράγματος Volkerak που ολοκληρώθηκε το 1969 και του φράγματος Haringvliet που ολοκληρώθηκε τον Νοεμβρίου του 1970 μετέτρεψε την εκβολή σε μια εσωτερική λεκάνη γλυκού νερού. Τα θυροφράγματα στο φράγμα Haringvliet έχουν από τότε ρυθμίσει την κατανομή των υδάτων στο κλειστό δέλτα των ποταμών του Ρήνου και του Μεύση. Σε μικρές απορροές του Ρήνου ($Q < 1.100 \text{ m}^3/\text{sec}$), τα θυροφράγματα είναι κλειστά για να αποτρέψουν την υφαλμύρωση των υδάτων. Με την σταδιακά αυξανόμενη απορροή του Ρήνου τα θυροφράγματα ανοίγουν βαθμιαία κατά τη διάρκεια μικρής παλίρροιας στη Βόρεια Θάλασσα. Σε μεγάλες απορροές του Ρήνου ($Q > 9.500 \text{ m}^3/\text{sec}$), τα θυροφράγματα είναι απολύτως ανοικτά. Συνεπώς οι ταχύτητες των ρευμάτων και οι χρόνοι παραμονής σε διάφορες θέσεις όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 ποικίλλουν πολύ ανάλογα με την απορροή του Ρήνου.

7.3.2. Μορφολογία Περιοχής

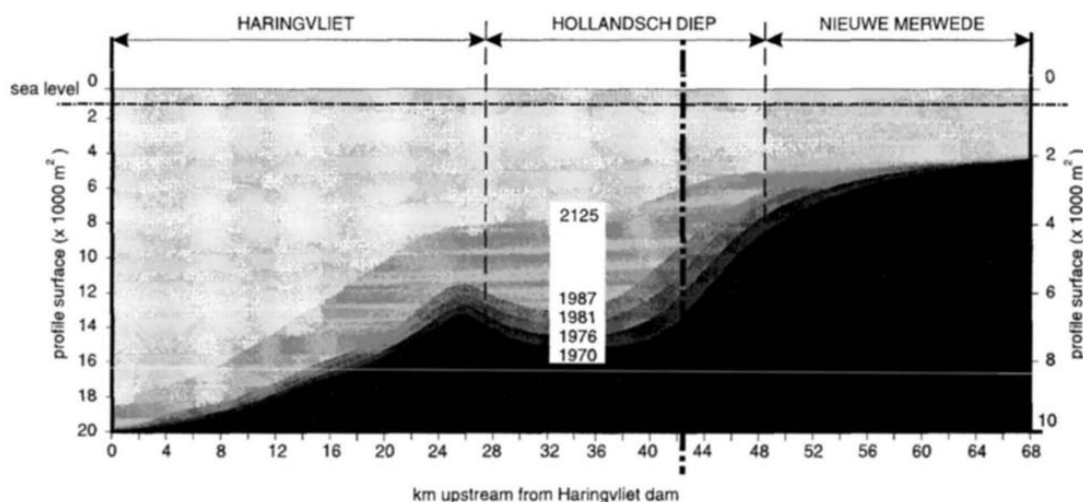
Μετά το κλείσιμο της εκβολής τα προφίλ των καναλιών έχουν ανυψωθεί και συνεπώς μεγάλες ποσότητες ιζημάτων εναποτίθενται στα προηγούμενα παλιρροϊκά κανάλια. Αυτά τα ιζήματα προήλθαν κυρίως από τους ποταμούς Ρήνο και Μεύση. Τα παλιρροϊκά κανάλια προς τα ανάντι του δέλτα συμπεριλαμβανομένης της περιοχής Nieuwe Merwede πληρώθηκαν πρώτα στην αρχή της δεκαετίας του '70. Με την πάροδο των ετών τα ιζήματα εναποτέθηκαν περαιτέρω προς τα δυτικά καθώς οι ανάντι περιοχές ήταν σε ισορροπία με τις νέες τιμές παροχής νερού. Σήμερα περίπου 5 εκατομμύρια m^3 ιζήματος εναποτίθενται ετησίως στους ποταμούς Amer, Nieuwe Merwede, στην περιοχή Hollandsch Diep και στο φράγμα Haringvliet. Η άμμος κυρίως εναποτίθενται στους ποταμούς Amer και Nieuwe Merwede ενώ ιλύς (λάσπη) εναποτίθενται στην περιοχή Hollandsch Diep ενώ τα λεπτότερα συστατικά λάσπης εναποτίθενται στο φράγμα Haringvliet. Εντούτοις οι διεργασίες αυτές εξαρτώνται κυρίως από την απορροή του ποταμού. Όταν οι απορροές των ποταμών είναι μεγάλες οι τάσεις μετακίνησης της λάσπης κλίνουν προς τα δυτικά ενώ η ποσότητα λάσπης που εναποτίθενται στα ανατολικά μπορεί να επανααιωρηθεί και να μεταφερθεί περαιτέρω δυτικά ενώ το αντίθετο ισχύει όταν οι απορροές είναι μικρές.

Μεταξύ των ετών 1970 και 1987 ο ρυθμός μεταβολής της εγκάρσιας τομής στον πυθμένα της περιοχής μειώθηκε αρκετά (Εικόνα 169), καταλήγοντας σε μια μέση καθαρή ιζηματογένεση της τάξης των 0,5-2 m σε μια χρονική περίοδο 17 ετών. Με την παρούσα διαχείριση των θυροφραγμάτων θα συνεχιστεί η διαδικασία ιζηματογένεσης και θα κινηθεί περαιτέρω δυτικά μέχρι να επιτευχθεί μια νέα ισορροπία σε ολόκληρο το δέλτα απαιτώντας όμως χρονικό διάστημα ενός ή δύο αιώνων.

Πίνακας 3. Ταχύτητες ρευμάτων, χρόνος παραμονής και ποσοστό χρόνου υπέρβασης της παροχής του Ρήνου σε διάφορες θέσεις του Δέλτα ως συνάρτηση της απορροής του Ρήνου.

Parameter (unit)	Part of R-M Delta (Rhine km)	River Rhine Discharge ($m^3 s^{-1}$)				
		1200	2000 ¹	3000	6000	8000
Current velocity ($m s^{-1}$)	Nieuwe Merwede (968–980)	0.25	0.38	0.53	1.01	1.25
	Hollandsch Diep East (980–984)	0.08	0.13	0.20	0.42	0.55
	Hollandsch Diep West (995–999)	0.02	0.05	0.10	0.26	0.35
	Haringvliet West (1018–1030)	0.00	0.03	0.09	0.26	0.36
Residence time (days)	Hollandsch Diep (980–999)	9.1	3.5	1.8	0.71	0.50
	Haringvliet East (999–1018)	7.5	2.8	1.3	0.50	0.38
	Haringvliet West (1018–1030)	41.5	6.9	2.3	0.79	0.58
	Hollandsch Diep + Haringvliet	58	13	5	2	1.5
Fraction of time (%) in which River Rhine discharge was exceeded (average over the period 1901–1980)		77	57	15	1.4	0.3

¹ $2200 m^3 s^{-1}$ is the average discharge over the period 1901–1980.



Εικόνα 169. Προφίλ πυθμένα στην περιοχή του Δέλτα μεταξύ του 1970 και του 1987 και μια πρόβλεψη για το έτος 2125. Η περιοχή επιφάνειας ανατολικά στον ποταμό Hollandsch Diep (δεξιά της έντονης γραμμής) αναφέρεται στη βόρεια πλευρά που συνδέεται με τον ποταμό Nieuwe Merwede.

(Πηγή: Smit H., Velde G., Smits R. and Coops H. (1997). Ecosystem Responses in the Rhine-Meuse Delta During Two Decades After Enclosure and Steps Toward Estuary Restoration. *Journal of Estuaries Research Federation*, Vol. 20, No. 3, September, pp. 504-520.)

Αμέσως μετά το κλείσιμο της περιοχής οι παλαιότερες παλιρροϊκές περιοχές που είχαν ακόμα ήπιες κλίσεις δεν προσαρμόστηκαν αμέσως στο μικρού μεγέθους εγκάρσιο παλιρροϊκό ρεύμα και στις χαμηλότερες ταχύτητές τους. Με την πάροδο των δεκαετιών που ακολούθησαν μετά το κλείσιμο η διάβρωση από τα προκληθέντα από τον αέρα κύματα άλλαξε βαθμιαία τις ήπιες κλίσεις στις περισσότερες παλιρροϊκές περιοχές σε απότομες κλίσεις. Η οικολογικά σημαντική παλιρροϊκή ζώνη ουσιαστικά εξαφανίστηκε στις περισσότερες περιοχές. Για παράδειγμα τα όρια της εκτεθειμένης στον αέρα βλάστησης στις παλιρροϊκές περιοχές στο φράγμα Haringvliet έχουν υποχωρήσει περίπου 100 m στο διάστημα μεταξύ 1970 και 1984 ενώ τα ιζήματα που διαβρώθηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της διεργασίας συνέβαλαν επίσης στην πλήρωση των καναλιών.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν αλλάξει επίσης τη μορφολογία της περιοχής άμεσα. Ένα κοίλωμα στην δυτική περιοχή Hollandsch Diep χρησιμοποιήθηκε για τη διάθεση του ιζήματος που παραγόταν κατά την εκβάθυνση των καναλιών Nieuwe Merwede και του ανατολικού τμήματος του ποταμού Hollandsch Diep για την διατήρησή τους ως πλωτά κανάλια. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '80 οι περισσότερες όχθες προστατεύθηκαν με κυματοθραύστες σε κάποια απόσταση από τα σύνορα ενώ τελικά το πρόγραμμα προστασίας ολοκληρώθηκε το 1997. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η κλίση του εδάφους έχει αποκατασταθεί σε δύο περιοχές στο φράγμα Haringvliet με τη βοήθεια εμπλουτισμού άμμου (Smit *et al.*, 1997).

7.4. Χωρική Μεταβολή Ποιότητας Νερού

Την δεκαετία του '70 ο ποταμός Ρήνος ήταν γνωστός ως ένας βαριά ρυπασμένος μεγάλος ποταμός όμως η ποιότητα του νερού έχει βελτιωθεί ουσιαστικά από τότε. Από τις ανάντη περιοχές στον ποταμό Waal κοντά στον ποταμό Ρήνο στη δειγματοληπτική θέση W1 στα ανατολικά έως το φράγμα Haringvliet στη δειγματοληπτική θέση W4 δυτικά, πραγματοποιήθηκαν ιδιαίτερα σημαντικές μεταβολές στην ποιότητα του νερού. Στις περιβαλλοντικές παραμέτρους που αφορούσαν στην παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων όπως ο φώσφορος, ο μόλυβδος (στην Εικόνα 170 γίνεται χρήση του όρου Lead) και η χλωροφύλλη-α, παρατηρήθηκε ότι η συγκέντρωσή τους μειώνεται προς μία κατεύθυνση από τα ανάντι προς τα κατόντι και συγκεκριμένα από τη δειγματοληπτική θέση W1 προς τις θέσεις W2, W3 και W4 ενώ η διαφάνεια του νερού αυξάνεται επίσης στην ίδια κατεύθυνση (Εικόνα 170). Ο λόγος που γίνεται αυτό πιθανόν να οφείλεται στην διαδικασία της αραίωσης των λυμάτων, στην απόθεση των αιωρούμενων ως ιζήματα και στην παρουσία των φραγμάτων που αποτελούν ένα εμπόδιο για την περαιτέρω συσσώρευση του φωσφόρου και του μολύβδου και που δικαιολογεί την αύξηση της διαφάνειας του νερού στην ίδια κατεύθυνση.

7.5. Χρονική Μεταβολή Ποιότητας Νερού

Τα αυξανόμενα ποσοστά επεξεργασίας και καθαρισμού των ποσοτήτων των αποβλήτων στη λεκάνη απορροής του Ρήνου οδήγησαν στο να μειωθούν σταδιακά οι συγκεντρώσεις του αμμωνιακού αζώτου κατά την περίοδο 1972-1993 και στην αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών και νιτρωδών στην εσωκλειόμενη περιοχή του δέλτα των ποταμών Ρήνου και Μεύση μεταξύ των ετών 1972 και 1976 λόγω της διεργασίας της νιτροποίησης. Από το 1976 έως το 1982 οι συγκεντρώσεις των νιτρικών αλάτων έχουν μειωθεί πιθανόν για τρεις λόγους.

Πρώτον επειδή η απονιτροποίηση των νιτρικών υπερτερεί της διαδικασίας της νιτροποίησης, δεύτερον παρουσιάζεται περαιτέρω μείωση της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου και τρίτον λόγω της λήψης των νιτρικών αλάτων από τα άλγη. Από το 1982 έως και το 1993 παρατηρείται μία περιοδική αύξηση ή μείωση της συγκέντρωσης των νιτρικών λόγω των διαφορετικών εντάσεων των διαδικασιών της νιτροποίησης και της απονιτροποίησης αντίστοιχα (Εικόνα 170).

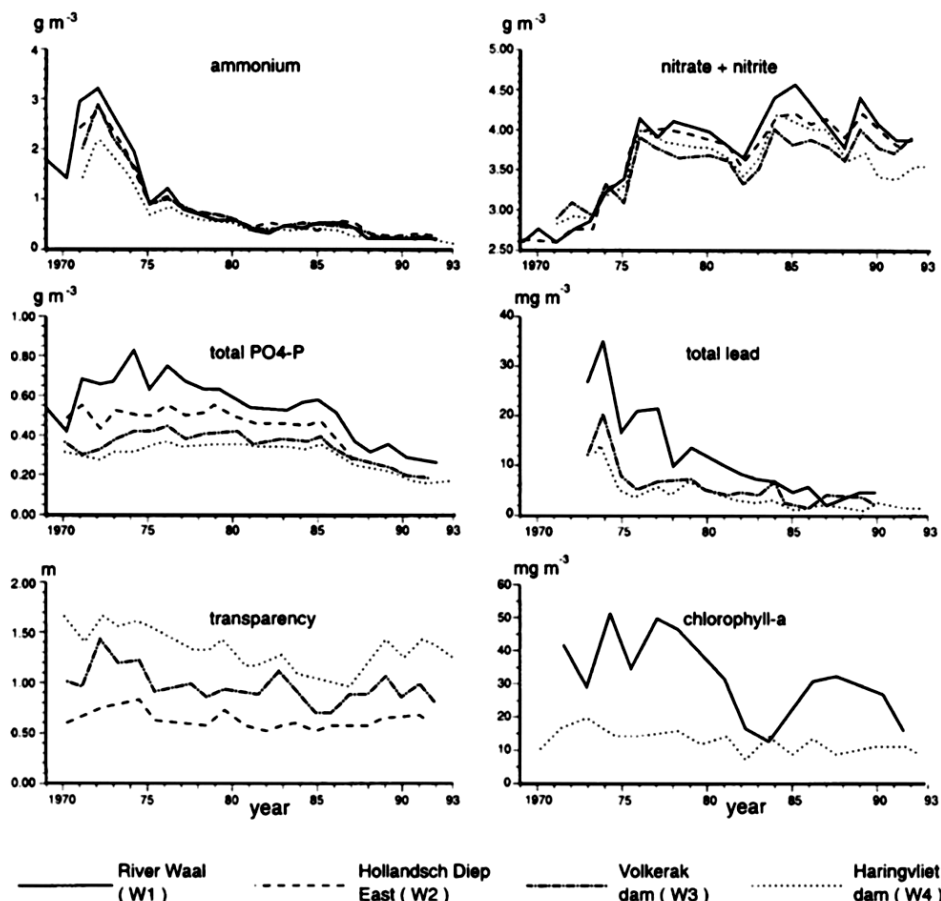
Οι συνολικές συγκεντρώσεις φωσφορικών έχουν παρουσιάσει αξιοπρόσεκτη μείωση από το 1986 και μετά κυρίως λόγω των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των αποβλήτων με τη βοήθεια της μετατροπής του φώσφορου από διαλυτή μορφή σε βιομάζα των μικροοργανισμών οπότε και καθιζήσιμη και επιπλέον λόγω της αυξανόμενης χρήσης απορρυπαντικών χωρίς φωσφορικά άλατα.

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, όπως το κάδμιο, το χρώμιο, ο χαλκός, ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, το νικέλιο, ο ψευδάργυρος και το αρσενικό μειώθηκαν από τα μέσα της δεκαετίας του '70 που στα παρακάτω διαγράμματα αντιπροσωπεύονται από τον όρο φορτίο (Lead). Διάφορες άλλες ουσίες όπως πολυχλωριωμένα διφαινύλια, πολυχλωριωμένες διοξίνες και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες ακολούθησαν μία παρόμοια πορεία μειωμένης συγκέντρωσης από το 1970 και μετά, εντούτοις οι συγκεντρώσεις πολλών σωματιδίων στον Ρήνο βρίσκονται ακόμα πάνω από τα αποδεκτά επίπεδα.

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α στο φράγμα Haringvliet ήταν χαμηλή σε όλη την περίοδο 1970-1990 ($<20 \text{ mg/m}^3$) ενώ ταυτόχρονα στην ίδια θέση η διαφάνεια ήταν υψηλή (1-1,5 m) παρά τις έντονες ευτροφικές συνθήκες που επικρατούσαν. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης-α στο φράγμα Haringvliet είναι αξιοσημείωτες δεδομένου ότι οι συνθήκες για την ανάπτυξη των αλγών φαίνονταν πολύ ευνοϊκές αφού τα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και θρεπτικών στοιχείων ήταν υψηλά. Διάφορες εξηγήσεις που μπορούν να δοθούν είναι η ύπαρξη του περιοριστικού παράγοντα άλλων απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων για την παραγωγή αλγών συνδυασμένη με τον μικρό χρόνο παραμονής και την κατανάλωση από το ζωοπλαγκτόν και τα μύδια (Εικόνα 170).

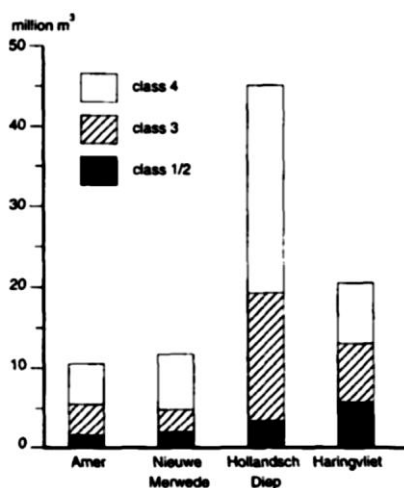
7.6. Ποιότητα Ιζημάτων

Η ποιότητα των ιζημάτων επηρεάστηκε κυρίως από το επίπεδο ρύπανσης αυτών που εναποτέθηκε μετά το 1970. Τα ιζήματα που εναποτέθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '70 είχαν τη χειρότερη ποιότητα (κατηγορία 4 ρύπανσης) δεδομένου ότι τα επίπεδα ρύπανσης ήταν στο μέγιστο βαθμό τότε. Τα πιο πρόσφατα ιζήματα είναι λιγότερο ρυπασμένα (κατηγορία 2 ή 3). Εντούτοις στις μεγάλες απορροές των ποταμών η ρυπασμένη λάσπη επανααιωρείται και μεταφέρεται προς τα κατάντι. Η ποιότητα των ιζημάτων έπρεπε να βελτιωθεί κατά την μετάβαση από τους ποταμούς Arner και Nieuwe Merwede προς την περιοχή Hollandsch Diep επειδή όπως βρέθηκε, το μεγαλύτερο ποσοστό από τα 90 εκατομμύρια m^3 που εναποτέθηκαν μεταξύ των ετών 1970 και 1989, είναι ρυπασμένα (κατηγορία 3) ή εξαιρετικά ρυπασμένα (κατηγορία 4) και έχουν εναποτεθεί στην περιοχή Hollandsch Diep λόγω της παρουσίας του φράγματος Volkerak (Εικόνα 171).



Εικόνα 170. Μέσες ετήσιες τιμές περιβαλλοντικών παραμέτρων κατά τα έτη 1970-1993 στις τέσσερις δειγματοληπτικές θέσεις μέτρησης.

(Πηγή: Smit H., Velde G., Smits R. and Coops H. (1997). Ecosystem Responses in the Rhine-Meuse Delta During Two Decades After Enclosure and Steps Toward Estuary Restoration. *Journal of Estuaries Research Federation*, Vol. 20, No. 3, September, pp. 504-520.)



Εικόνα 171. Ποσοτική και ποιοτική κατάταξη ιζημάτων σε τέσσερις περιοχές κατά τα έτη 1970-1989. Κατηγορία 1: Μη Ρυπασμένα Ιζήματα, Κατηγορία 2: Ελαφρώς Ρυπασμένα, Κατηγορία 3: Ρυπασμένα, Κατηγορία 4: Ακράια Ρυπασμένα.

(Πηγή: Smit H., Velde G., Smits R. and Coops H. (1997). Ecosystem Responses in the Rhine-Meuse Delta During Two Decades After Enclosure and Steps Toward Estuary Restoration. *Journal of Estuaries Research Federation*, Vol. 20, No. 3, September, pp. 504-520.)

7.7. Οικολογικές Επιπτώσεις της Παρούσας Διαχείρισης των Θυροφραγμάτων

Στην ανάλυση αυτή συνοψίζονται οι κύριες οικολογικές επιπτώσεις των πρακτικών διαχείρισης των θυροφραγμάτων τόσο στο ίδιο το σύστημα όσο και στους επηρεαζόμενους ποταμούς και τη Βόρεια Θάλασσα.

7.7.1. Διατάραξη Ισορροπίας Λάσπης (Ιλύς)

Η λάσπη που περιέχει οργανικό υλικό έχει συσσωρευτεί στα προηγούμενα παλιρροϊκά κανάλια και στις κοίτες των ποταμών Nieuwe Merwede καθώς και στο ανατολικό τμήμα του ποταμού Hollandsch Diep όπου έχει γίνει κατά ένα μεγάλο μέρος μη διαθέσιμη-αξιοποιήσιμη τόσο στο τοπικό οικοσύστημα όσο και στη Βόρεια Θάλασσα αφού στην περιοχή μελέτης τα οργανικά υλικά παραμένουν αχρησιμοποίητα. Η παρούσα διαχείριση των θυροφραγμάτων επιτρέπει μόνο σε μικρές ποσότητες οργανικών ουσιών να απορριφθούν στη Βόρεια Θάλασσα και κατά συνέπεια οι παλιρροϊκές περιοχές στερούνται την κύρια πηγή τροφοδοσίας τους που είναι το οργανικό μέρος της καθιζάμενης λάσπης.

7.7.2. Συσσώρευση των Ρυπασμένων Ιζημάτων

Το μεγαλύτερο ποσοστό των 90 εκατομμυρίων m³ του ιζήματος που έχει συσσωρευτεί στην περιοχή είναι σοβαρά ρυπασμένο (Εικόνα 171). Αυτό επιφέρει μια επικίνδυνη κατάσταση τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τη φύση. Διάφορες τοξικές ενώσεις υπάρχουν σε υψηλές συγκεντρώσεις στο ίζημα. Προσφάτως τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) για παράδειγμα, πλησίασαν και μερικές φορές υπερέβησαν το επιτρεπόμενο όριο για την κατανάλωση χελιών (*Anguilla anguilla*) επισημαίνοντας πως τα χέλια αλιεύονται με σκοπό το εμπόριο στην περιοχή. Το συνολικό επίπεδο της συγκέντρωσης PCB για την κατανάλωση των χελιών στην Ολλανδία είναι παρόμοιο με εκείνο στις Ηνωμένες Πολιτείες (5 mg/Kg) και λιγότερο αυστηρό από τα καναδικά πρότυπα (2 mg/Kg). Επίσης προσφάτως έχουν αποκαλυφθεί αρνητικές επιπτώσεις από αυτές τις ουσίες σε διάφορες συνιστώσες του οικοσυστήματος αφού η αναπαραγωγή των κορμοράνων και των παπιών έχει πληγεί ανεπανόρθωτα επειδή υπήρξε υψηλή συχνότητα εμφάνισης δυσμορφιών των στοματικών μερών σε κάποια είδη ζωής όπως τα chironomids ενώ και ο πληθυσμός των chironomids ήταν αρκετά μικρός σε σχέση με αυτούς που υπήρχαν τις προηγούμενες περιόδους πριν το κλείσιμο της περιοχής. Η ενυδρίδα (*Lutra lutra*) είναι ένα είδος που έχει εκλείψει στο δέλτα των ποταμών Ρήνου και Μεύση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι συγκεντρώσεις PCBs στα νερά και στα ιζήματα ολόκληρου του ολλανδικού τμήματος της λεκάνης απορροής των ποταμών Ρήνου και Μεύση είναι πάρα πολύ υψηλές για να επιτρέψουν στον πληθυσμό των ενυδρίδων να αναπαραχθούν και να επιζήσουν. Δεδομένου ότι η περιοχή Biesbosch είναι ένας κατάλληλος βιότοπος ενυδρίδων οι υψηλές συγκεντρώσεις PCB που συσσωρεύτηκαν στα ρυπασμένα ιζήματα είναι πιθανώς ο κύριος περιοριστικός παράγοντας για την επιβίωση αυτού του είδους (Smit *et al.*, 1997).

7.7.3. Εξαφάνιση των Παλιρροϊκών Περιοχών

Μετά το κλείσιμο της περιοχής οι περισσότερες πρώην παλιρροϊκές περιοχές κατέστησαν είτε μόνιμα πλημμυρισμένες είτε μόνιμα ελεύθερες από νερό ενώ οι υφάλμυρες παλιρροϊκές περιοχές έχουν εξαφανιστεί εντελώς. Οι υπόλοιπες παλιρροϊκές περιοχές γλυκού νερού μειώθηκαν περαιτέρω λόγω της διαβρωτικής δύναμης του αέρα και των κυμάτων. Συνεπώς

παραμένουν μόνο μερικές εκατοντάδες εκτάρια παλιρροϊκών περιοχών γλυκού νερού 20 έτη μετά από το κλείσιμο του δέλτα. Τόσο οι γλυκές όσο και οι υφάλμυρες παλιρροϊκές περιοχές ήταν μεγάλης σπουδαιότητας για τα μεταναστευτικά θαλάσσια είδη πουλιών και η μείωση τους ή η εξαφάνισή τους θεωρείται ως ένα σοβαρό οικολογικό πρόβλημα.

7.7.4. Αυξανόμενος Σχηματισμός Εδαφών Εξωτερικά του Δέλτα

Από την πλευρά της Βόρειας Θάλασσας εξωτερικά του δέλτα στο φράγμα Haringvliet τα κανάλια έχουν πληρωθεί και νέες παλιρροϊκές περιοχές από άμμο έχουν αναπτυχθεί ως συνέπεια των μειωμένων παλιρροϊκών ρευμάτων. Αυτές οι περιοχές έχουν υψηλή οικολογική σημασία δεδομένου ότι αποτελούν τόπους κατοικίας μεγάλου αριθμού διαφόρων θαλάσσιων ειδών πουλιών και παρέχουν κατοικία σε πολλά είδη ψαριών ενώ επιβιώνουν εκεί χαρακτηριστικά είδη ασπόνδυλης πανίδας.

7.7.5. Εξαφάνιση Χώρου Λειτουργιών για τα Ψάρια

Η προηγούμενη εκβολή παρείχε τον απαραίτητο χώρο για τις σημαντικές λειτουργίες επιβίωσης διαφόρων ειδών θαλασσίων ψαριών όπως το Solea solea και η πλατέσσα (platessa Pleuronectes). Αυτή η δυνατότητα που ήταν απαραίτητη για την ζωή των ψαριών έχει εξαφανιστεί και τώρα περιορίζεται σε μία μικρή περιοχή εξωτερικά του δέλτα.

7.7.6. Διατάραξη της Μετανάστευσης Ψαριών

Κάποια κοινά είδη ψαριών έχουν εξαφανιστεί από τους ποταμούς Ρήνο και Μεύση για διάφορους λόγους. Ένας λόγος ήταν ο αποκλεισμός των περισσότερων εκβολών των ποταμών. Μόνο η Νέα Πλωτή Οδός (Nieuwe Waterweg) που είναι η κύρια εμπορική σύνδεση στο βιομηχανοποιημένο λιμάνι του Ρότερνταμ αποτελεί μια ανοικτή σύνδεση μεταξύ του Ρήνου και της Βόρειας Θάλασσας χωρίς όμως να είναι μια φυσική εκβολή.

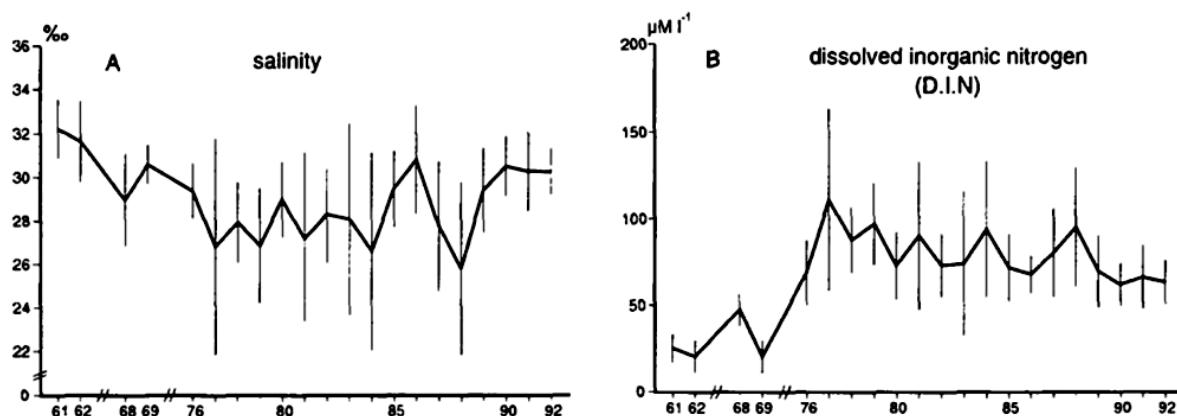
Η παρούσα λειτουργία των θυροφραγμάτων στο φράγμα Haringvliet διαμορφώνει ένα σημαντικό εμπόδιο στην επιστροφή των μεταναστευτικών ειδών ψαριών όπως ο σολομός στη λεκάνη απορροής του Ρήνου. Όταν τα θυροφράγματα απορρέουν ποσότητες νερού οι ταχύτητες των ρευμάτων είναι πάρα πολύ υψηλές για να επιτρέψουν οποιαδήποτε σημαντική προς τα ανάντι μετανάστευση. Σε μικρές απορροές του Ρήνου ($Q < 1.100 \text{ m}^3/\text{sec}$) τα θυροφράγματα είναι εντελώς κλειστά λόγω της αποτροπής της διείσδυσης της θάλασσας και επομένως η μετανάστευση δεν είναι δυνατή.

Η αποκατάσταση των πληθυσμών των μεταναστευτικών ψαριών εξαρτάται όχι μόνο από τη διαχείριση των θυροφραγμάτων ώστε να επιτρέψουν την μετακίνησή τους αλλά και από την αποκατάσταση των διαδρομών μετανάστευσης, την περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας των υδάτων και των ιζημάτων στις λεκάνες απορροής των ποταμών και τον επαρκή έλεγχο της αλίευσης στην Βόρεια Θάλασσα και τον Ατλαντικό Ωκεανό.

7.7.7. Μειωμένη Μίξη του Θαλασσινού Νερού και των Ποταμών

Πριν την κατασκευή των φραγμάτων πραγματοποιούνταν εντατική μίξη των υδάτων των ποταμών και της θάλασσας στο δέλτα της εκβολής. Το κλείσιμο της εκβολής των ποταμών με την κατασκευή φραγμάτων στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ολλανδίας-στην περιοχή του δέλτα-

έχει δραματικά ελαχιστοποιήσει τις διαδικασίες μίξης. Από την κατασκευή του φράγματος Haringvliet ένα σημαντικό ποσοστό υδάτων του ποταμού διατρέχει την Νέα Πλωτή Οδό (Nieuwe Waterweg) που είναι ένα στενό και βαθύ κανάλι στο οποίο οι συνθήκες ανάμειξης είναι δυσμενείς. Συνεπώς ποσότητες από γλυκά ύδατα εκβάλλουν στη Βόρεια Θάλασσα όπου εκεί πραγματοποιείται το μεγαλύτερο μέρος της μίξης με το θαλασσινό νερό. Έρευνα που διεξήχθη το 1994 έδειξε ότι η μέση αλατότητα που μετρήθηκε σε μια ομάδα δειγματοληπτικών σταθμών μέτρησης-σε απόσταση μικρότερη από 10 Km από την ακτογραμμή-κατά μήκος της ολλανδικής ακτής έχει μειωθεί από το 1970 ενώ η συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων όπως το διαλυμένο ανόργανο άζωτο (DIN) έχει αυξηθεί (Εικόνα 172). Η αύξηση της συγκεντρώσεως των θρεπτικών στοιχείων DIN εξηγείται πιθανώς από τα αυξημένα φορτία αζώτου που απορρέουν από τον Ρήνο και τον Μεύση. Τα πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία νερά των ποταμών παραμένουν κοντά στην ολλανδική ακτή και μεταφέρονται στην θαλάσσια περιοχή Wadden-μια μεγάλη διεθνώς σημαντική παλιρροϊκή περιοχή στην βόρεια Ολλανδία. Τα αποτελέσματα αυτά επισημαίνουν το γεγονός ότι το κλείσιμο των εκβολών στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ολλανδίας των οποίων τα θυροφράγματα στο φράγμα Haringvliet αποτελούν σημαντική λειτουργική συνιστώσα του όλου έργου του δέλτα μπορεί να έχει συμβάλει στο υπάρχον πρόβλημα ευτροφισμού κατά μήκος της ολλανδικής ακτής συμπεριλαμβανομένης και της θαλάσσιας περιοχής Wadden.



Εικόνα 172. Ετήσια μεταβολή της αλατότητας και του διαλυμένου ανόργανου αζώτου στη Βόρεια Θάλασσα κατά τους μήνες Ιανουάριο-Μάρτιο την περίοδο 1961-1992.

(Πηγή: Smit H., Velde G., Smits R. and Coops H. (1997). Ecosystem Responses in the Rhine-Meuse Delta During Two Decades After Enclosure and Steps Toward Estuary Restoration. *Journal of Estuaries Research Federation*, Vol. 20, No. 3, September, pp. 504-520.)

Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η διαχείριση των θυροφραγμάτων στο φράγμα Haringvliet ασκεί έναν σημαντικό αντίκτυπο στο οικοσύστημα του Ρήνου μέχρι την κεντρική Γερμανία, στο οικοσύστημα της Βόρειας Θάλασσας κατά μήκος της ολλανδικής ακτής καθώς επίσης και στο ίδιο το οικοσύστημα του δέλτα του Ρήνου και του Μεύση (Smit *et al.*, 1997).

7.8. Βήματα Προς την Αποκατάσταση των Εκβολών

7.8.1. Πρόσφατες Εξελίξεις Πολιτικής και Διαχείρισης

Κατά τα τελευταία έτη έχει δημοσιευτεί ένας μεγάλος αριθμός κειμένων εθνικής πολιτικής υπογραμμίζοντας την οικολογική διάσταση του σχεδιασμού που αφορά την φύση και την

διαχείριση των υδάτων καθώς και μια νέα προσέγγιση για την διατήρηση και προστασία του περιβάλλοντος. Ο νόμος-πλαίσιο εθνικής πολιτικής διαχείρισης για τα ύδατα που δημιουργήθηκε από το Υπουργείο Μεταφορών και Δημόσιων Έργων το 1989 ήταν ο πρώτος που περιλαμβάνει έννοιες όπως την ποσότητα ύδατος, την ποιότητα των υδάτων και των ιζημάτων και την οικολογική άποψη στη διαχείριση των νερών. Σε αυτόν τον νόμο η ολλανδική κυβέρνηση υποσχέθηκε μια νέα πολιτική για το φραγμένο δέλτα των ποταμών Ρήνου και Μεύση συμπεριλαμβανομένης μιας αναθεωρημένης πολιτικής όσον αφορά την διαχείριση των θυροφραγμάτων στο φράγμα Haringvliet. Το πρόγραμμα-δράση του Ρήνου υιοθετήθηκε το 1987 από τις χώρες που βρίσκονται κατά μήκος του ποταμού (IKSR 1987) και περιελάμβανε μια συμφωνία για τη μείωση των απορροών η οποία θα βελτίωνε την ποιότητα των υδάτων και των ιζημάτων στο δέλτα των ποταμών. Ο οικολογικός στόχος που τέθηκε είναι η επιστροφή των μεταναστευτικών ειδών ψαριών όπως ο σολομός ενώ λαμβάνονται πολυάριθμα μέτρα στη λεκάνη απορροής του Ρήνου για να αποτελέσει ευνοϊκή περιοχή για την επιστροφή αυτού του είδους ψαριών. Τα θυροφράγματα Haringvliet ωστόσο αποτελούν ένα σημαντικό εμπόδιο στη διαδρομή μετανάστευσης των σολομών. Το πολιτικό πλαίσιο που ενσωματώνει την λειτουργία του φράγματος Haringvliet, τον ποταμό Hollandsch Diep και την περιοχή Biesbosch (IPDH) παρέχει ένα υπόμνημα των γενικών ιδιοτήτων και των λειτουργιών αυτής της περιοχής, μια ανάλυση των επιλογών διαχείρισης των θυροφραγμάτων και των διαδικασιών επιλογής και μια λεπτομερή περιγραφή της επιλεγμένης πολιτικής για τη διαχείριση των θυροφραγμάτων στο φράγμα Haringvliet και την απομάκρυνση των ρυπασμένων ιζημάτων.

Αυτοί οι νόμοι έχουν οδηγήσει σε συγκεκριμένα πολιτικά βήματα. Αρχικά έχει εκπονηθεί μία μελέτη για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των θυροφραγμάτων Haringvliet. Η εθνική νομοθεσία για την διαχείριση των υδάτων απαιτεί την εκπόνηση μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων για τις προτεινόμενες μεταβολές της στάθμης των υδάτων μεγαλύτερες από 16 cm. Συνεπώς ξεκίνησε μία μελέτη για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που άρχισε το 1994 από τμήμα του οργανισμού Rijkswaterstaat της επαρχίας Zuid-Holland που είναι η αρμόδια αρχή για τη διαχείριση των θυροφραγμάτων. Οι μελέτες του φράγματος Haringvliet, του ποταμού Hollandsch Diep και της περιοχής Biesbosch (IPDH) έχουν δείξει ότι μια τροποποιημένη διαχείριση των θυροφραγμάτων θα κινητοποιούσε ξανά τις ποσότητες ρυπασμένων ιζημάτων και τη μεταφορά τους στη Βόρεια Θάλασσα, όμως η άποψη αυτή θεωρήθηκε ευρέως απαράδεκτη καθώς τα ρυπασμένα ιζήματα πρέπει να απομακρυνθούν προτού αλλάξει η διαχείριση των θυροφραγμάτων.

Οι δυνατότητες για την απομάκρυνση των ρυπασμένων ιζημάτων από το δέλτα των ποταμών είναι τώρα υπό διερεύνηση. Η μελέτη για την περιοχή Nieuwe Merwede έχει ολοκληρωθεί ενώ έχει αρχίσει μια μελέτη για τον ποταμό Hollandsch Diep καθώς οι μελέτες για το φράγμα Haringvliet και της περιοχής Biesbosch άρχισαν ήδη από το 1995 και το 1997 αντίστοιχα. Η απομάκρυνση των ρυπασμένων ιζημάτων αναμενόταν να είχε ήδη αρχίσει από το 1997 και θα διαρκούσε περίπου 20 έτη αφού έχει προταθεί μιας μεγάλης κλίμακας διάθεση λάσπης που θα μπορούσε να αποθηκεύσει περίπου 30 εκατομμύρια m³ του ρυπασμένου ιζήματος στην κεντρική περιοχή της λεκάνης απορροής στο δυτικό τμήμα του ποταμού Hollandsch Diep (Smit *et al.*, 1997).

7.8.2. Εναλλακτικές Προτάσεις Διαχείρισης

Κατά την κατάστροψη της πολιτικής διαχείρισης για την λειτουργία των θυροφραγμάτων

Haringvliet, του ποταμού Hollandsch Diep και της περιοχής Biesbosch (IPDH) μελετήθηκαν διάφορες εναλλακτικές λύσεις διαχείρισης των θυροφραγμάτων, από τη συνέχιση της παρούσας διαχείρισης έως το άνοιγμα των θυροφραγμάτων και τη χρησιμοποίηση τους μόνο ως φράγματα έναντι των κυμάτων καταιγίδας. Στην παρούσα ανάλυση παρουσιάζονται τρεις εναλλακτικές λύσεις για την περιγραφή του πλήρους συνόλου των εναλλακτικών λύσεων και συγκεκριμένα η πρώτη εναλλακτική λύση της παρούσας διαχείρισης που αναφέρεται παρακάτω με τον κωδικό ως HV0, η δεύτερη ως ενδιάμεση εναλλακτική λύση καλούμενη ως HV2 και η τρίτη εναλλακτική λύση της χρήσης ως φράγμα στα κύματα καταιγίδας που αναφέρεται ως HV4.

Τα χαρακτηριστικά των τριών εναλλακτικών λύσεων και οι επιδράσεις τους στις διάφορες ανθρωπογενείς λειτουργίες και στην οικολογία της περιοχής συνοψίζονται στον Πίνακα 4. Από την οικολογική άποψη η εναλλακτική λύση HV4 είναι η ελκυστικότερη δεδομένου ότι οδηγεί σε μια πραγματική αποκατάσταση των συνθηκών στις εκβολές και στη δημιουργία μεγάλων εκτάσεων με πολύτιμους βιότοπους. Ωστόσο το κόστος υπολογίζεται να είναι πολύ υψηλό. Η ενδιάμεση εναλλακτική λύση HV2 δίνει επίσης την δυνατότητα για την δημιουργία ενός μεγάλου πολύτιμου βιότοπου αλλά στερείται των ευνοϊκών συνθηκών που πρέπει να υπάρχουν στις εκβολές. Κατά τη διάρκεια των μικρών απορροών του Ρήνου τα θυροφράγματα κλείνουν για την αποφυγή υπαλμύρωσης των υδάτων και η περιοχή ελέγχεται με το παρόν σχέδιο. Στην πολιτική διαχείρισης για την λειτουργία του φράγματος Haringvliet, τον ποταμό Hollandsch Diep και την περιοχή Biesbosch (IPDH) έχει προταθεί το εναλλακτικό σχέδιο HV2 ως η επιθυμητή λύση δεδομένου ότι συνδυάζει οφέλη για το περιβάλλον με ταυτόχρονα λογικές δαπάνες για όλα τα συμβαλλόμενα μέρη. Στην εκπονηθείσα μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Environmental Impact Assessments) πρόθεση της είναι να παρουσιαστεί μια τροποποιημένη έκδοση της εναλλακτικής λύσης HV2 συνοψίζοντας με τον τίτλο ως "Οικολογική Εναλλακτική Λύση". Σε αυτή την εναλλακτική λύση τα θυροφράγματα έχουν μικρότερο άνοιγμα-περίπου επιφανείας 2.000 m²-και κλείνουν σε μικρότερη απορροή του Ρήνου στα 1.000 m³/sec αντί στα 1.100 m³/sec που γίνεται με το παρόν διαχειριστικό σχέδιο. Αυτό οδηγεί σε λιγότερα προβλήματα στις εκβολές αλλά και σε μεγαλύτερη σταθερότητα της περιοχής ενώ πιστεύεται ότι θα είναι πιθανώς η νέα επιθυμητή εναλλακτική λύση που θα αποφασιστεί από τον κεντρικό οργανισμό Rijkswaterstaat που εξαρτάται όμως από τις πολιτικές αποφάσεις από όλους τους συναποφασίζοντες.

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά των τριών εναλλακτικών σχεδίων διαχείρισης.

Παράμετροι		Εναλλακτικά Σχέδια Διαχείρισης Θυροφραγμάτων		
		Παρούσα Διαχείριση HV0	Ενδιάμεση Διαχείριση HV2	Σχέδιο Διαχείρισης HV4
Φυσικά Χαρακτηριστικά	Μέσο Εύρος Παλιρροιών (m)	0,3	0,55-0,95	1,0-1,4
	Κίνηση Παλίρροιας	Περιορισμένη	Μεγαλύτερη αλλά ακανόνιστη	Μεγαλύτερη και κανονική
	Μέσος Χρόνος Διείσδυσης Αλμυρών Υδάτων (σε μήνες)	0	6	12
	Έκταση Υφαλμύρωσης	Μέχρι τα θυροφράγματα	Μέχρι τον ποταμό Spui	Μέχρι τον ποταμό Hollandsch Diep
	Ποιότητα Υδάτων και Ιζημάτων	Μικρή	Μέτρια	Καλή
	Κινητικότητα Ρυπασμένων Ιζημάτων	Μικρή	Περιορισμένη	Σημαντική
Επιφάνεια Σημαντικών Βιοτόπων (km ²)	Υφάλμυροι Βάλτοι	0	3,5	4,0
	Βλάστηση Καλαμιών και Αγριόχορτων	43,0	46,5	39,0
	Βλάστηση Καλαμιών και Θάμνων	16,5	15,5	18,0
	Δάση Μαλακής Ξυλείας	5,0	8,0	5,0
	Δάση Σκληρής Ξυλείας	30,0	35,0	25,0
	Παλιρροϊκή Ζώνη μεταξύ Μέσης Ανώτερης και Μέσης Κατώτερης στάθμης	10,5	19,5	32,5
	Βυθισμένη Θαλάσσια Βλάστηση	16,5	7,0	8,5

Παράμετροι		Εναλλακτικά Σχέδια Διαχείρισης Θυροφραγμάτων		
		Παρούσα Διαχείριση HV0	Ενδιάμεση Διαχείριση HV2	Σχέδιο Διαχείρισης HV4
Λειτουργικές Παράμετροι	Βάθος Ναυσιπλοΐας	Αμετάβλητο	Μικρή μείωση	Μείωση στα θυροφράγματα στο φράγμα Volkerak
	Συνθήκες για την Αλιεία	Κακές	Μέτριες	Καλές
	Κόστος για Ανάκτηση Χώρων Αναψυχής	0	4,2	6,8
	Ποιότητα Νερού Κολύμβησης	Κακή	Μέτρια	Καλή
	Ελκυστικότητα	Αμετάβλητη	Ελαφρά αύξηση	Σημαντική Αύξηση
Κόστος (σε εκατομμύρια ολλανδικά φιορίνια)	Κόστος Προσαρμογής στα Θυροφράγματα Haringvliet	0	18,0	18,0
	Κόστη Αγροτικών Αποζημιώσεων	0	52,0-176,0	909,0
	Κόστος Αποζημιώσεως Πόσιμου Νερού	0	18,0	103,0-123,0

(Πηγή: Smit H., Velde G., Smits R. and Coops H. (1997). Ecosystem Responses in the Rhine-Meuse Delta During Two Decades After Enclosure and Steps Toward Estuary Restoration. *Journal of Estuaries Research Federation*, Vol. 20, No. 3, September, pp. 504-520.)

7.8.3. Σημασία της Αποκατάστασης της Εκβολής

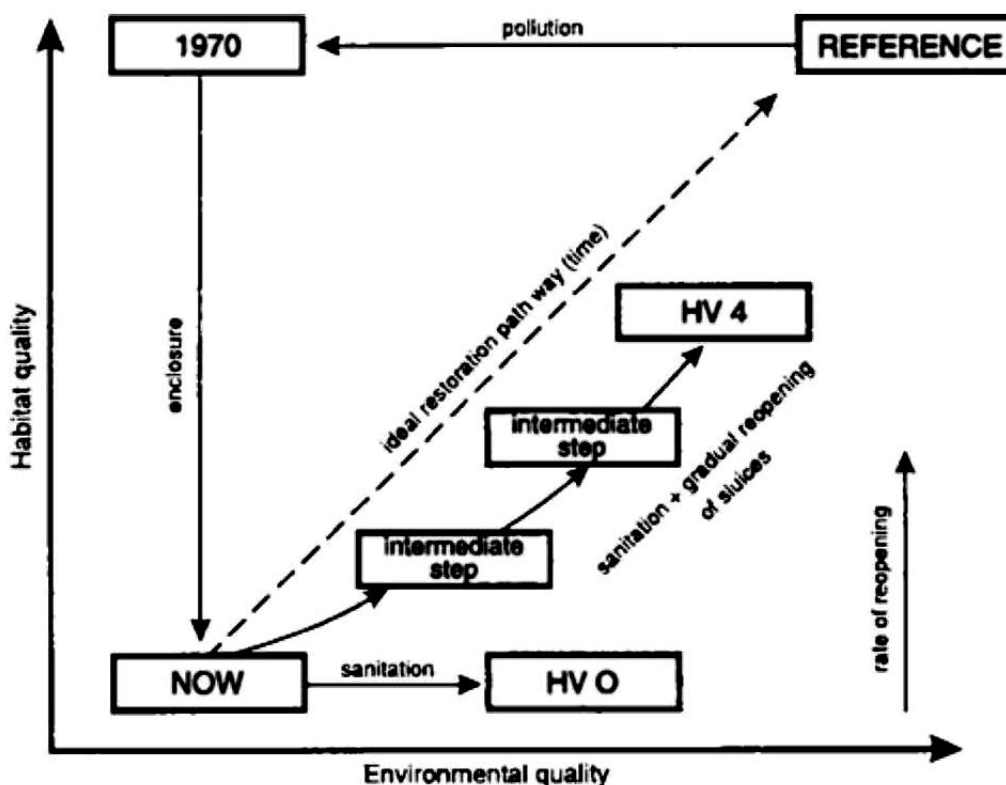
Δεδομένου ότι η εκβολή του Ρήνου και του Μεύση συνδέει τους ποταμούς αυτούς με τη Βόρεια Θάλασσα, η διαχείρισή της συσχετίζεται ιδιαίτερα με τα προγράμματα αποκατάστασης αυτών των μεγάλων ποταμών όπως το πρόγραμμα δράσης του Ρήνου (IKSR 1987) και της Βόρειας Θάλασσας με το πρόγραμμα δράσης της Βόρειας Θάλασσας (ICONA 1986). Η σημαντική υποβάθμιση του οικοσυστήματος της εκβολής κατά τη διάρκεια των τελευταίων 25 ετών εμποδίζει την ολοκλήρωση και των δύο προγραμμάτων δράσης. Οι ευνοϊκές δυνατότητες για τη μετακίνηση των μεταναστευτικών ειδών ψαριών είναι απαραίτητες για να επιτευχθεί ένας από τους κύριους στόχους του προγράμματος δράσης του Ρήνου που αφορά την επιστροφή κάποιων ειδών ψαριών όπως ο σολομός. Η αποτελεσματικότερη διαδικασία ανάμειξης του γλυκού και του αλμυρού νερού στην εκβολή θα βοηθήσει να λυθούν τα προβλήματα ευτροφισμού στη Βόρεια Θάλασσα που αποτελεί έναν σημαντικό στόχο του προγράμματος δράσης της Βόρειας Θάλασσας.

Επιπλέον μία περιοχή εκβολής μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μεγάλης κλίμακας φίλτρο θρεπτικών στοιχείων. Τόσο οι χημικές όσο και οι βιολογικές διαδικασίες συμβάλλουν σε αυτήν την λειτουργία ως φίλτρο. Η μίξη του γλυκού και του αλμυρού ύδατος ενισχύει την κροκίδωση των αιωρούμενων και ως εκ τούτου την αφαίρεση των φωσφορικών. Επιπλέον στην ίδια περιοχή η απονιτροποίηση των νιτρικών στη διεπιφάνεια ιζήματος-ύδατος μπορεί να αφαιρέσει ένα σημαντικό μέρος του φορτίου του αζώτου. Τα ιδιαίτερα παραγωγικά είδη ζωής και η υψηλή παραγωγή βιομάζας των ασπόνδυλων στις παλιρροϊκές περιοχές μπορούν επίσης να ενισχύσουν την αποθήκευση και την εσωτερική ανακύκλωση των θρεπτικών και των οργανικών ουσιών πετυχαίνοντας με αυτόν τον τρόπο την μείωση της απορροής αυτών των συστατικών στη Βόρεια Θάλασσα. Επίσης η υψηλή παραγωγικότητα βιομάζας στις εκβολές βελτιώνει τα φυσικά χαρακτηριστικά των οργανισμών στα ανώτερα τροφικά επίπεδα. Η υψηλή παραγωγή βιομάζας προωθεί την ιζηματογένεση, τη διατήρηση και τη διαδοχή της βλάστησης που οδηγεί σε μια μεγαλύτερη ποικιλομορφία των υγροτόπων στην εκβολή ενώ επιπλέον η φυτική παραγωγή μπορεί να θρέψει τους αυξανόμενους αριθμούς πουλιών ύδατος. Η μεγάλη βιομάζα των ασπόνδυλων οργανισμών ενισχύει την εκβολή ως ένας σταθμός σημαντικών λειτουργιών για την επιβίωση πολλών ειδών θαλασσίων ψαριών. Οι παλιρροϊκές περιοχές σε ολόκληρη την περιοχή του δέλτα έχουν μια πολύ σημαντική λειτουργία ως περιοχή παροχής τροφής για τα αποδημητικά πουλιά και ως περιοχή διαμονής για τα πουλιά που αναπαράγονται στην βόρεια Ευρώπη.

Εάν το δέλτα των ποταμών Ρήνου και Μεύση πρόκειται να διαχειριστεί ως εκβολή η εναλλακτική λύση HV4 είναι η μόνη έγκυρη και αποτελεσματική λύση αφού μόνο αυτό το διαχειριστικό σχέδιο προσφέρει μια σημαντική και τακτική ανταλλαγή των παλιρροϊκών όγκων υδάτων μιας εκτεταμένης παλιρροϊκής περιοχής με σταθερό ρυθμό. Οι παράγοντες αυτοί είναι ουσιαστικοί για την ύπαρξη των κοινοτήτων στις εκβολές. Σε αντίθεση η ενδιάμεση εναλλακτική λύση HV2 είναι λιγότερο οικολογικά ελκυστική. Η εναλλακτική HV2 δεν αποτελεί μόνο μία μέση λύση μεταξύ της παρούσας διαχείρισης HV0 και της άλλης εναλλακτικής λύσης HV4, αφού σε αυτήν η συνηθισμένη παλιρροϊκή κίνηση απουσιάζει εντελώς λόγω του κλεισίματος των θυροφραγμάτων σε περιόδους μικρών απορροών από τον Ρήνο. Η διάρκεια κλεισίματος των θυροφραγμάτων στο διαχειριστικό σενάριο HV2 είναι μακροχρόνια και επιβλαβής για τα περισσότερα είδη ζωής που εξαρτώνται από την παλίρροια για να επιζήσουν ενώ επιπλέον κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου η μετανάστευση των ψαριών εμποδίζεται σημαντικά.

7.8.4. Η Λύση της Αποκατάστασης

Εάν πρόκειται να αποκατασταθεί η εκβολή πρέπει να γίνει το συντομότερο δυνατόν προτού οι μη αναστρέψιμες διαδικασίες συμπεριλαμβανομένων των γεωμορφολογικών αλλαγών και της εξάλειψης των εναπομεινάντων ειδών ζωής αναπτυχθούν πολύ. Από την άλλη πλευρά το πρόβλημα των ρυπασμένων ιζημάτων πρέπει να λυθεί πρώτα ώστε να αποτραπεί η διάδοσή τους. Οι δαπάνες για την απομάκρυνση των ρυπασμένων ιζημάτων είναι πολύ υψηλές αφού απαιτούνται 125 εκατομμύρια δολάρια για να αφαιρεθεί όλη η ποσότητα της κατηγορίας ρύπανσης 4 των ιζημάτων που είναι και η κατηγορία των ακραία ρυπασμένων ιζημάτων και περίπου 400 εκατομμύρια δολάρια για την αφαίρεση όλων των ποσοτήτων ιζήματος κατηγορίας ρύπανσης 3 και 4. Εξαιτίας της ύπαρξης των θυροφραγμάτων δεν έχουν εξαπλωθεί τα ρυπασμένα ιζήματα στη Βόρεια Θάλασσα, η οποία όμως έχει δημιουργήσει τη δυνατότητα αφαίρεσης ή επεξεργασίας επί τόπου (in situ) στην περιοχή. Η ιδανική διαδικασία αποκατάστασης θα περιελάμβανε ταυτόχρονες προσεγγίσεις και στους βιότοπους και στα προβλήματα ρύπανσης (Εικόνα 173). Επενδύοντας στον ένα παράγοντα χωρίς όμως ταυτόχρονα στον άλλο θα επιφέρει μη βέλτιστα αποτελέσματα. Ως εκ τούτου το πρόγραμμα αφαίρεσης των ρυπασμένων ιζημάτων πρέπει να συνεχιστεί το συντομότερο δυνατόν με το βαθμιαίο άνοιγμα των θυροφραγμάτων καταλήγοντας τελικά στο πλήρες άνοιγμά τους (εναλλακτική λύση HV4). Η ταυτόχρονη πρόοδος και στα δύο προβλήματα μπορεί να θεωρηθεί ως η μόνη διαδρομή για μία βιώσιμη ανάπτυξη αφού αναπτύσσεται η περιοχή με έναν βιώσιμο τρόπο και σε συνεργασία με τις φυσικές διεργασίες και το περιβάλλον παρά ενάντια τους (Smit *et al.*, 1997).



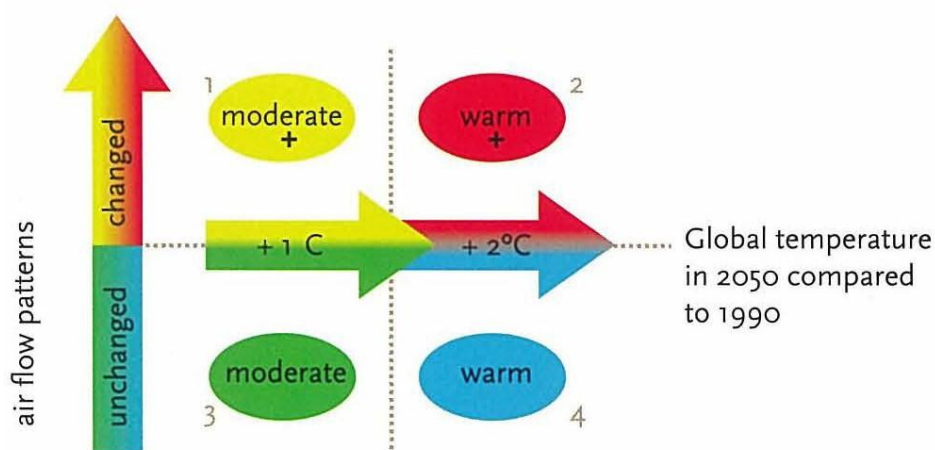
Εικόνα 173. Γραφική απεικόνιση εξέλιξης οικοσυστήματος το 1970 έως την μελλοντική αποκατάστασή του.

(Πηγή: Smit H., Velde G., Smits R. and Coops H. (1997). Ecosystem Responses in the Rhine-Meuse Delta During Two Decades After Enclosure and Steps Toward Estuary Restoration. *Journal of Estuaries Research Federation*, Vol. 20, No. 3, September, pp. 504-520.)

8. Μελλοντική Εξέλιξη

8.1. Φυσικές και Κοινωνικές Μεταβολές

Από την χρονική στιγμή που διατυπώθηκαν διάφορα κλιματικά σενάρια το 2000 στο εθνικό πρόγραμμα για την Διαχείριση των Υδάτων στην Ολλανδία τον 21^ο αιώνα, έχουν καταστρωθεί αρκετά μοντέλα τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο για την πρόβλεψη του κλίματος. Βασισμένο στις πρόσφατες εξελίξεις και στις νέες γνώσεις που αποκτούνται, το Βασιλικό Ινστιτούτο Μετεωρολογίας της Ολλανδίας (KNMI) διατύπωσε τέσσερα σενάρια το 2006. Αυτά τα σενάρια προβλέπουν μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C μέχρι το 2050 (Εικόνα 174) (Arnold *et al.*, 2009).



Εικόνα 174. Τα τέσσερα κλιματικά σενάρια.

(Πηγή: Arnold G., Kielen N., Bos H., Luijn F., Doef R. and Goud R. (2009). *Water Management in the Netherlands*. Amsterdam, Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water and Rijkswaterstaat, Centre for Water Management, pp. 1-80.)

Η γενική εικόνα και τα αποτελέσματα και των τεσσάρων σεναρίων οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η παγκόσμια υπερθέρμανση βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη. Κατά συνέπεια θα υπάρχουν περισσότεροι ήπιοι χειμώνες και πιο θερμά καλοκαίρια. Επιπλέον οι χειμώνες θα γίνουν κατά μέσο όρο πιο υγροί και θα συμβαίνουν με μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης ακραίες βροχοπτώσεις. Ειδικά το καλοκαίρι θα υπάρχουν έντονες καταιγίδες ενώ αντίθετα ο αριθμός των βροχερών ημερών το καλοκαίρι θα μειωθεί. Εάν το καθεστώς πνοής των ανέμων πάνω από τη δυτική Ευρώπη αλλάξει που αποτελεί πρόσθετο σενάριο κλιματικής αλλαγής, οι χειμώνες θα γίνουν σημαντικά πιο υγροί και τα καλοκαίρια πολύ πιο ξηρά. Όμως προβλέπεται ότι η μεταβολή στο καθεστώς των ανέμων θα είναι πολύ μικρή ενώ και στα τέσσερα σενάρια υπάρχει η κοινή πρόβλεψη της πιθανής ανόδου της στάθμης της θάλασσας.

Σε ένα μεγάλο τμήμα των βόρειων και δυτικών περιοχών της Ολλανδίας με χαμηλά υψόμετρα αναμένεται καθίζηση των εδαφών συνεπεία των μακροχρόνιων εδαφολογικών διεργασιών και της έντονης άντλησης υδάτων. Η μεγαλύτερη καθίζηση αναμένεται στην περιοχή Γκρόνινγκεν λόγω της εξαγωγής του φυσικού αερίου και στην περιοχή Flevoland λόγω των γεωλογικών μεταβολών. Από την άλλη πλευρά μια μικρή ανύψωση των εδαφών αναμένεται στις νότιες και ανατολικές περιοχές της χώρας λόγω των τεκτονικών

μετακινήσεων (Εικόνα 175).

Η ποσότητα της υπόγειας αλατότητας των εδαφών θα αυξηθεί λόγω των ακόλουθων τριών αιτιών, πρώτον λόγω της καθυστερημένης και ετεροχρονισμένης εμφάνισης των επιπτώσεων των προηγούμενων σχεδίων και ενεργειών αποκατάστασης γης, δεύτερον λόγω της καθίζησης του εδάφους και τρίτον λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Κατά συνέπεια θα αυξηθεί η πίεση από το αλμυρό-θαλασσινό νερό στα υπόγεια ύδατα με αποτέλεσμα την διείσδυση και άντληση μεγαλύτερης ποσότητας υφάλμυρων υδάτων. Ιδιαίτερη αύξηση των υφάλμυρων υδάτων αναμένεται στις παράκτιες επαρχίες Zeeland, Friesland και ειδικά στην περιοχή Γκρόνινγκεν, όπως επίσης και σε μερικές αποξηραμένες περιοχές στις επαρχίες Noord-Holland, Zuid-Holland και Flevoland. Η συγκέντρωση της αλατότητας των υδάτων θα μειωθεί μόνο σε έναν περιορισμένο αριθμό περιοχών και θα οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αυξημένη βροχόπτωση που θα εμπλουτίσει με γλυκά ύδατα τους υπόγειους υδροφορείς.

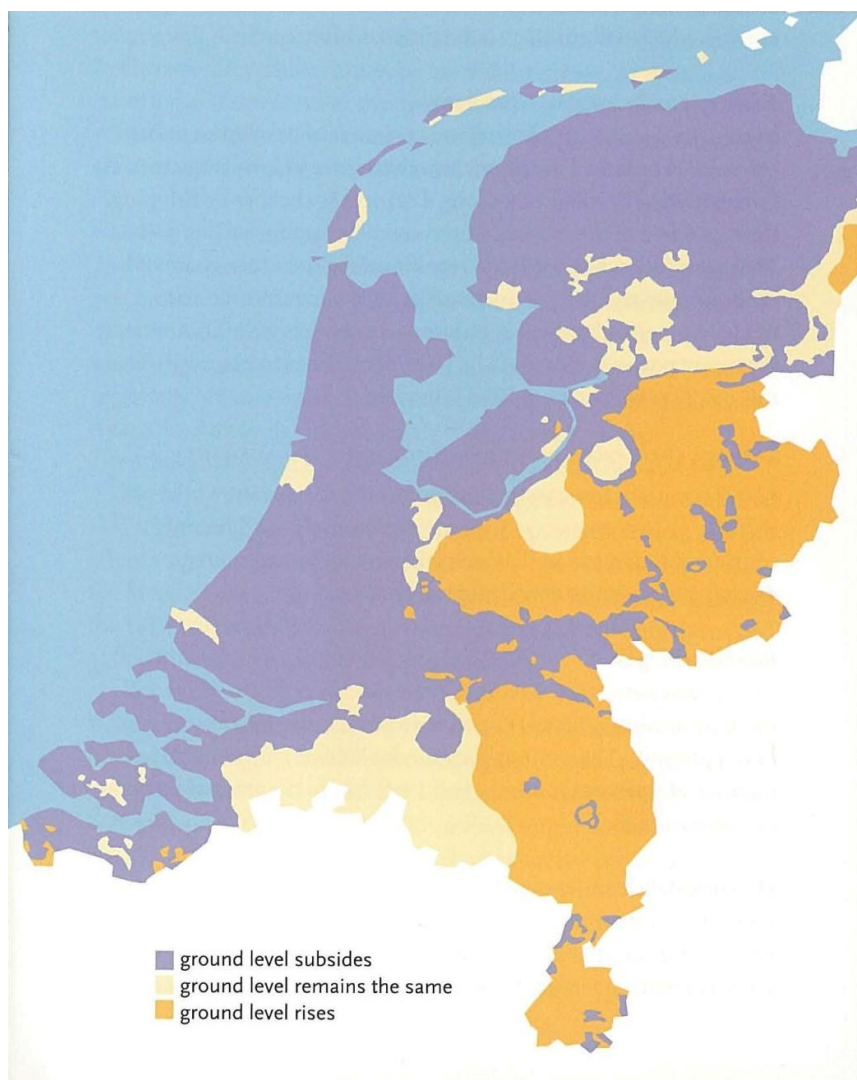
Στις επερχόμενες δεκαετίες οι απαιτήσεις για περισσότερο χώρο θα συνεχίσουν να μεγαλώνουν τόσο για εμπορικές δραστηριότητες όσο και για χρήσεις κατοικίας σε περιοχές που βρίσκονται σε χαμηλά υψόμετρα στην Ολλανδία. Δεδομένου ότι η μεταφορά των εμπορευματικών φορτίων σε μεγάλες αποστάσεις είναι φτηνότερη μέσω της ναυτιλίας, η επέκταση των διεθνών υδάτινων οδών κρίνεται απαραίτητη και επομένως προβλέπεται ότι θα συνεχιστεί. Η αναψυχή που προσφέρεται από τους υδατικούς πόρους και την αξιοποίηση των υδατικών συστημάτων έχει γίνει ένας σημαντικός παράγοντας τόσο από την κοινωνική όσο και από την οικονομική άποψη και θα συνεχίσει να αυξάνεται τόσο σε μέγεθος όσο και σε ένταση. Επιπλέον η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια θα συνεχίζει να αυξάνεται λόγω της οικονομικής μεγέθυνσης της χώρας απαιτώντας την ύπαρξη και κατασκευή περισσότερων σταθμών παραγωγής ρεύματος σε θέσεις που μερικές φορές θα έρχονται σε αντίθεση με άλλες μορφές εκμετάλλευσης των υδάτων στις θέσεις αυτές.

8.2. Πιθανές Συνέπειες της Κλιματικής Αλλαγής στη Διαχείριση Υδάτων

Τα σενάρια που διατυπώθηκαν από το Βασιλικό Ινστιτούτο Μετεωρολογίας της Ολλανδίας (KNMI) προβλέπουν ότι η ελάχιστη αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι 1°C. Στο δυσμενέστερο σενάριο αύξησης της θερμοκρασίας τα καλοκαίρια πιθανόν να είναι σημαντικά πιο ξηρά προκαλώντας σημαντικές επιπτώσεις στις απορροές των ποταμών, στο ισοζύγιο υγρασίας που θα οδηγήσει σε μείωσή της και στην υφαλμύρωση των υδατικών πόρων (Arnold *et al.*, 2009).

8.2.1. Πιθανές Συνέπειες στις Απορροές των Ποταμών

Όλα τα σενάρια προβλέπουν ότι η μέση απορροή του Ρήνου θα αυξηθεί το χειμώνα προσεγγίζοντας μια ποσοστιαία αύξηση κατά 12% ενώ θα μειωθεί το καλοκαίρι προσεγγίζοντας μια ποσοστιαία μείωση κατά 23%, ενώ κάτι ανάλογο προβλέπεται και για τον Μεύση με μια μέγιστη αύξηση κατά 5% το χειμώνα και μια μέγιστη μείωση κατά 20% το καλοκαίρι.



Εικόνα 175. Χάρτης πρόβλεψης ανύψωσης ή καθίζησης εδάφους μέχρι το έτος 2050.

(Πηγή: Arnold G., Kielen N., Bos H., Luijn F., Doef R. and Goud R. (2009). *Water Management in the Netherlands*. Amsterdam, Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water and Rijkswaterstaat, Centre for Water Management, pp. 1-80.)

8.2.2. Πιθανές Συνέπειες στο Έλλειμμα Υγρασίας και στην Ξηρασία

Εάν δεν υπάρξει ριζική αλλαγή στο καθεστώς πνοής των ανέμων κάτι άλλωστε που είναι και το πιο πιθανό πάνω από τη δυτική Ευρώπη η μέση βροχόπτωση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες θα αυξηθεί από 3% έως 6%. Εντούτοις εάν επικρατούν ανατολικοί άνεμοι η βροχόπτωση θα μπορούσε να μειωθεί κατά 10% έως 19%. Εκτός από αυτό η πιθανότητα εμφάνισης ακραίων ξηρασιών είναι μεγαλύτερη επειδή στις υψηλές θερμοκρασίες η εξάτμιση υπερβαίνει την ποσότητα της πρόσθετης βροχόπτωσης.

8.2.3. Πιθανές Συνέπειες στην Υφαλμύρωση Υδάτων

Ο συνδυασμός της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και της πιθανής μείωσης των απορροών των ποταμών κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών θα οδηγήσει

αναπόφευκτα σε εντονότερη υφαλμύρωση των υδάτων. Η θαλάσσια σφήνα θα διεισδύσει περαιτέρω στο εσωτερικό της χώρας και θα αυξηθεί ο αριθμός των ημερών που τα σημεία εισόδου των γλυκών νερών δεν θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Συγχρόνως οι ποσότητες υδάτων που μπορούν να ληφθούν από το κύριο εθνικό σύστημα διαχείρισης των υδάτων προκειμένου να καταπολεμηθεί η εσωτερική υφαλμύρωση στο περιφερειακό σύστημα θα μειώνονται ενώ ταυτόχρονα οι ανάγκες για πόσιμο νερό θα αυξάνονται.

8.2.4. Πλημμύρες

Η Ολλανδία θα βιώσει συχνότερες περιόδους ακραίων βροχοπτώσεων που θα είναι μεγαλύτερης διάρκειας το χειμώνα και μικρότερης αλλά εντονότερες το καλοκαίρι. Οι ακραίες βροχοπτώσεις μπορούν να οδηγήσουν σε πλημμύρες και σε αντίθεση με την ξηρασία οι πλημμύρες εμφανίζονται συχνά σε τοπικό ή περιφερειακό επίπεδο επειδή η βροχόπτωση μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά από περιοχή σε περιοχή. Κατά μήκος των καναλιών Άμστερνταμ-Rijkkanaal, Noordzeekanaal, Twenthekanalen, της περιοχής Veerse Meer και κατά μήκος του ποταμού Hollandsche IJssel η πιθανότητα για αυτές τις υδάτινες περιοχές να αποτελέσουν αιτία για πλημμύρα είναι αμελητέα εξαιτίας της ύπαρξης αντιπλημμυρικών έργων με ικανό επίπεδο προστασίας ωστόσο εάν ένα ανάχωμα αστοχήσει τότε θα επηρεαστεί μια σημαντικά μεγάλη περιοχή. Κατά μήκος της διαδρομής ανάντη των ποταμών Merpelerdiep, Zuid-Willemsvaart, του καναλιού Wilhelminakanaal και της λίμνης Volkerak-Zoommeer υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος να αποτελέσουν αιτία για πλημμύρες προκαλώντας σημαντικές ζημιές.

8.2.5. Ασφάλεια

Εάν το κλίμα εξελιχθεί σύμφωνα με τα ανωτέρω σενάρια τότε οι προδιαγραφές σχεδιασμού με παροχή 16.000 m³/sec για τον Ρήνο και 3.800 m³/sec για τον Μεύση έχουν ήδη ξεπεραστεί τουλάχιστον σύμφωνα με τη μελέτη που εκπονήθηκε το 2008 με τίτλο "Κλιματική Αλλαγή και Ανθεκτικότητα Έργων στην Ολλανδία". Όμως η πιθανότητα να αστοχήσουν τα αναχώματα κατά μήκος των ποταμών στις ανατολικές και κεντρικές περιοχές της χώρας είναι πολύ μικρή ιδιαίτερα εάν μέχρι το 2015 εφαρμοστούν όλα τα προγραμματισμένα μέτρα στο πλαίσιο της αντιπλημμυρικής προστασίας των ποταμών. Η μελέτη επίσης έδειξε ότι εάν η αλλαγή του κλίματος συμβεί σύμφωνα με το πιο δυσμενές σενάριο, υπάρχει σημαντική πιθανότητα η ήδη προσαυξημένη παροχή σχεδιασμού των 18.000 m³/sec για τον Ρήνο να μην επαρκεί μεταξύ των ετών 2040 και 2045.

Συμπεράσματα-Μελλοντική επέκταση των έργων

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση της παρούσας εργασίας συνοψίζονται στα παρακάτω:

- 1) Τα έργα συνέβαλλαν ουσιαστικά στην αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής μειώνοντας ταυτόχρονα και το συνολικό μήκος των αναχωμάτων κατά 700 Km.
- 2) Η προσφορά του γλυκού νερού βελτιώθηκε επειδή η διεπιφάνεια μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού μεταφέρθηκε δυτικότερα, απαιτώντας μικρότερη ποσότητα γλυκού νερού για να ισορροπηθεί η διείσδυση του αλμυρού νερού. Η περίσσεια του νερού μπορεί να μεταφερθεί στα βόρεια των Κάτω Χωρών, στην περιοχή της λίμνης IJsselmeer όπου η επιπλέον ποσότητα γλυκού νερού συνεισφέρει στη βελτίωση της ποιότητάς του.
- 3) Βελτιώθηκε το υδατικό ισοζύγιο και η διαχείριση των υδατικών πόρων στην περιοχή του δέλτα. Χάρη στην κατασκευή των κύριων και των βοηθητικών φραγμάτων τα ρεύματα στην περιοχή μπορούν να διαχειριστούν πιο εύκολα με την κατασκευή των διαφορετικών τύπων θυροφραγμάτων καθιστώντας δυνατή την είσοδο φρέσκου νερού, ή την απόρριψη του ρυπασμένου ή του πλεονάζοντος.
- 4) Η εσωτερική ναυσιπλοΐα υποστηρίχθηκε από την κατασκευή του όλου έργου. Το 1976 το Βέλγιο και οι Κάτω Χώρες υπέγραψαν μια σύμβαση που θα ρύθμιζε την ναυσιπλοΐα μεταξύ των λιμανιών της Αμβέρσας και του Ρότερνταμ και που έπρεπε να ληφθεί υπόψη κατά την κατασκευή των έργων.
- 5) Η κατασκευή του έργου ενίσχυσε την οδική σύνδεση και την κυκλοφορία μεταξύ των πολλών νησιών και χερσονήσων. Για παράδειγμα μεγάλα τμήματα της επαρχίας Zeeland είχαν κυριολεκτικά απομονωθεί για αιώνες και η κατασκευή της ομώνυμης γέφυρας στην περιοχή μαζί με μία υποθαλάσσια οδική σήραγγα στο δυτικό τμήμα του ποταμού Σελντ το 2003, βοήθησαν στη βελτίωση της μεταφορικής ικανότητας.
- 6) Στην πλειονότητα των περιπτώσεων η κατασκευή των έργων στο δέλτα ήταν πολύ πιο γρήγορη και φθηνότερη λύση από ό,τι η ενίσχυση των υπάρχοντων αναχωμάτων.
- 7) Επιπλέον τα έργα επηρέασαν τομείς όπως αυτούς του περιβάλλοντος και της αναψυχής. Είναι ευνόητο ότι ορισμένα φυσικά στοιχεία πληγώθηκαν ανεπανόρθωτα αλλά ως αποζημίωση έχουν δημιουργηθεί νέες φυσικές προστατευόμενες περιοχές ενώ πολλές αποξηραμένες ακτές χρησιμοποιούνται ως χώροι αναψυχής.

Έξι δεκαετίες μετά την καταστροφή η Ολλανδία αντιμετωπίζει άλλες ευκαιρίες και απειλές. Η εκτέλεση του παραπάνω σχεδίου ήταν ένα σημαντικό κεφάλαιο στην ιστορία της μάχης κατά της θάλασσας ωστόσο δεν αποτελεί την τελευταία λέξη. Για να διατηρηθεί η περιοχή στο δέλτα και το υπόλοιπο της Ολλανδίας ασφαλής θα πρέπει να γίνουν περισσότερες ενέργειες από απλά συντηρώντας τα φράγματα.

Δεδομένης της καταστροφής από τις πλημμύρες του 1953 οι ολλανδικές αρχές έχουν αναπτύξει μια νέα πολιτική για τη διαχείριση των υδάτων αφού έγινε αντιληπτό ότι δεν αποτελεί απειλή μόνο η θάλασσα αλλά ότι το νερό μπορεί να είναι επικίνδυνο και από άλλη προέλευση όπως από την απορροή των ποταμών και τις έντονες βροχοπτώσεις. Λόγω των πιθανών αλλαγών του κλίματος η ποσότητα του νερού θα αυξηθεί ειδικά το χειμώνα χωρίς όμως απόλυτη βεβαιότητα. Με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται από το Βασιλικό Ολλανδικό Μετεωρολογικό Ινστιτούτο (KNMI) βρέθηκε ότι το καλοκαίρι του 2004 ήταν το πιο υγρό από το 1951. Κατά μέσο όρο το ύψος της βροχόπτωσης ήταν 314 mm για το σύνολο

της χώρας ενώ η μέση βροχόπτωση ανέρχεται στα 202 mm οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι το καλοκαίρι ήταν πολύ υγρό. Ως αποτέλεσμα συνέβησαν έντονες πλημμύρες που σημειώθηκαν σε πολλά σημεία και ως εκ τούτου τα ποτάμια έπρεπε να διοχετεύσουν μεγάλες ποσότητες νερού. Οι εξελίξεις ανάγκασαν την πολιτική αρχή διαχείρισης των υδάτων να αξιολογήσει το συνολικό πρόβλημα της αντιπλημμυρικής προστασίας και όχι μόνο την απλή προστασία των ακτών, καθώς η εικόνα της θάλασσας ως ο μοναδικός εχθρός έχει αποδειχθεί λανθασμένη ή καλύτερα ελλιπής. Η ασφάλεια για τους ανθρώπους που ζουν σε παράκτιες περιοχές εξακολουθεί να είναι η πρώτη προτεραιότητα αλλά πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη παράγοντες όπως η φύση, η αναψυχή και η κατοικία που μπορούν να κινδυνεύσουν από πλημμύρες οφειλόμενες σε ακραίες βροχοπτώσεις.

Η διαδικασία επιλογής για την κατασκευή ενός ανοικτού φράγματος αντιμετώπισης των κυμάτων καταιγίδας στην ανατολική περιοχή του ποταμού Σελντ αντί για ένα κλειστό-μόνιμο φράγμα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα κρίσιμο σημείο στη διαχείριση του νερού στην Ολλανδία και ως παράδειγμα λήψης μελλοντικών αποφάσεων για ζητήματα που αφορούν στην διαχείριση ενός τόσο πολύτιμου φυσικού πόρου όπως είναι το νερό. Παραδειγματικά αναφέρεται ότι μετά από διαρκείς συζητήσεις και την αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων κάθε εναλλακτικής λύσης αποφασίστηκε να κατασκευαστεί ένα φράγμα ανοικτής λειτουργίας αξιολογώντας ταυτόχρονα παράγοντες όπως η ποιότητα του νερού, το περιβάλλον, η φύση, η αλιεία, η αναψυχή, η γεωργία, η ναυτιλία και η βιομηχανία δίνοντας έμφαση σε μια πολιτική ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας που θα αναλύει και θα εξετάζει πολλούς διαφορετικούς παράγοντες ενώνοντας διαφορετικές σκέψεις και πολιτικές.

Λόγω των αλλαγών του κλίματος η στάθμη της θάλασσας πιθανολογείται ότι θα ανέβει κατά 20 έως 85 εκατοστά τον επόμενο αιώνα. Συγχρόνως οι δυτικές περιοχές της Ολλανδίας καθιζάνουν λόγω των μακροχρόνιων γεωλογικών διεργασιών, των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και της έντονης αποστράγγισης των υδάτων στη θάλασσα. Έτσι οι απειλές είναι διπτές αφού από τη μία πλευρά η στάθμη της θάλασσας αυξάνεται και από την άλλη πλευρά το έδαφος υποχωρεί. Επομένως για την προστασία της χώρας θα απαιτηθεί τα φράγματα και ειδικότερα τα Oosterschelde και Maeslant να κλείνουν πιο συχνά στο μέλλον κάτι που δεν συμβαίνει έως τώρα. Επιπλέον προκειμένου να διατηρείται ανοικτό για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα το φράγμα Oosterschelde ώστε να μην επηρεάζεται αρνητικά το οικοσύστημα λόγω του σφραγίσματος της περιοχής, θα πρέπει να ενισχυθούν τα αναχώματα γύρω από τις εκβολές του ποταμού. Ωστόσο τα μεγαλύτερα αναχώματα απαιτούν περισσότερο χώρο-χώρος που χρησιμοποιείται σήμερα για περιβαλλοντικούς λόγους, την κατοικία ή την αναψυχή και που άλλωστε δεν υπάρχει άπλετη προσφορά εκτάσεων κυρίως λόγω των τοπογραφικών ιδιοτεροτήτων που παρουσιάζει η χώρα. Οι χρήσεις γης συνεχώς μεταβάλλονται ενώ η οικονομική επέκταση της χώρας επιβάλλει την διαφοροποίηση στη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Η υλοποίηση του Σχεδίου Δέλτα έχει λύσει σίγουρα το πρόβλημα της ασφάλειας αλλά έχει δημιουργήσει ταυτόχρονα ένα άλλο, αυτό της αποτελεσματικής συνολικής διαχείρισης των υδάτων που υπερβαίνει κατά πολύ την ιδέα κατασκευής όλο και περισσότερων φραγμάτων και αναχωμάτων ώστε να αντιμετωπιστούν οι σύγχρονες απειλές-προκλήσεις καθιστώντας αναγκαία μια πολιτική ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας που θα αναλύει και θα εξετάζει ταυτόχρονα πολλούς διαφορετικούς παράγοντες όπως κοινωνικούς, περιβαλλοντικούς, τεχνικούς-τεχνολογικούς, οικονομικούς, πολιτισμικούς και πολιτικούς ενώνοντας διαφορετικές σκέψεις και πολιτικές.

Βιβλιογραφία-Πηγές

Arnold G., Kielen N., Bos H., Luijn F., Doef R. and Goud R. (2009). *Water Management in the Netherlands*. Amsterdam, Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water and Rijkswaterstaat, Centre for Water Management, pp. 1-80.

Bakker R. (2008). *Towards an Attractive and Sustainable Metropolis in the Dutch Delta*. Netherlands: Publication of Province of Noord-Holland, pp. 1-25.

de Ruig Joost H.M. (1998). Coastline Management in the Netherlands: Human Use Versus Natural Dynamics. *Proceedings of Journal of Coastal Conservation 4*, Sweden, November, pp. 127-134.

Dorst M., Flore B., Keizer V. and Sluijter T. (2008). *The Delta Project. Preserving the environment and securing Zeeland against flooding*. Netherlands: Publication of Deltapark Neeltje Jans and Florad Marketing Group, pp. 1-32.

Eijsbergen E., Poot K. and Geer I. (2008). *Flood risk. Understanding concepts*. Netherlands: Publication of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, pp. 1-69.

Harsema H. and Hendriks M. (2007). *Planning the Delta*. Oslo, Norway: Publication of Scape, pp. 23-36.

Hommes S., Kruijf J., Otter H. and Bouma G., (2008). *Knowledge and Perceptions in Participatory Policy Processes: Lessons from the Delta-Region in the Netherlands*. Publication of Springer, Water Resources Management, September, pp. 1641-1663.

Mostert E. (2006). Integrated Water Resources Management in The Netherlands: How Concepts Function. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, Universities Council on Water Resources, Issue 135, December, pp. 19-27.

Nienhuis P. (2008). Changes in Biodiversity: Birds and Mammals and their Use. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 509-535.

Nienhuis P. (2008). Changes in Biodiversity: Lower Organisms, Vegetation and Flora. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 481-507.

Nienhuis P. (2008). Changes in the Relation Between Man and Nature. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 143-168.

Nienhuis P. (2008). Changing Meuse Ecosystems: Pollution and Rehabilitation. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 355-378.

Nienhuis P. (2008). Changing Rhine Ecosystems: Pollution and Rehabilitation. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 329-353.

Nienhuis P. (2008). Eelgrass Wax and Wane: A Case Study. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 429-449.

Nienhuis P. (2008). Exotics and Invasions of Plants and Animals. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 451-479.

Nienhuis P. (2008). Floods and Flood Protection. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 231-268.

Nienhuis P. (2008). Human Intervention in the SW Delta. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 269-298.

Nienhuis P. (2008). Human Intervention in Tributaries of the Large Rivers. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 299-325.

Nienhuis P. (2008). Land Use: Agriculture and Use of Wood. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 169-201.

Nienhuis P. (2008). Pollution and Rehabilitation of the Aquatic Environment in the Delta. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 379-404.

Nienhuis P. (2008). Prehistory and Early History of the Delta. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 17-47.

Nienhuis P. (2008). River Fisheries Through the Ages. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 203-229.

Nienhuis P. (2008). River Management after 1800: Complete Regulation and Canalisation. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 111-139.

Nienhuis P. (2008). River-Fish Fauna of the Delta. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 407-428.

Nienhuis P. (2008). Technical Achievements in River Management (1500–1800). *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 81-110.

Nienhuis P. (2008). The Delta in the Later Middle Ages (800–1500). *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 49-79.

Nienhuis P. (2008). The Making of the Delta. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 539-561.

Nienhuis P. and Nienhuis A. (2008). The Future of the Delta. *Journal of Environmental History of the Rhine-Meuse Delta*, Publication of Springer Science and Business Media, pp. 563-588.

Pilarczyk K. (2007). Flood Protection And Management In The Netherlands. *Journal of Extreme Hydrological Events: New Concepts For Security*, Publication of Springer, pp. 385-407.

Schoeman P. (2010). Wadden Sea (The Netherlands), Euroasion Case Study. *Journal of National Institute for Coastal and Marine Management-RIKZ*, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Netherlands, pp. 1-18.

Sisternans P. and Nieuwenhuis O. (2010). Holland Coast (The Netherlands). Euroasion Case Study. *Journal of National Institute for Coastal and Marine Management-RIKZ*, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Netherlands, pp. 1-17.

Sisternans P. and Nieuwenhuis O. (2010). Western Scheldt Estuary (The Netherlands), Euroasion Case Study. *Journal of National Institute for Coastal and Marine Management-RIKZ*, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Netherlands, pp. 1-14.

Smit H., Velde G., Smits R. and Coops H. (1997). Ecosystem Responses in the Rhine-Meuse Delta During Two Decades After Enclosure and Steps Toward Estuary Restoration. *Journal of Estuaries Research Federation*, Vol. 20, No. 3, September, pp. 504-520.

Williams G. and Visser K. (1997). The Punaise: A Remotely Operated Submerged Dredging System. *Proceedings of WEDA XVIII Conference*, Number 69, June-July, Charleston, South Carolina, United States of America, pp. 20-28.

Wind H. G. and Peerbolte E. B. (1992). Coastal Zone Management. Tools for Initial Design. *Proceedings of the International Coastal Congress*, Publication no. 473, September 7-12, Kiel, Germany, pp. 1-10.

Yang S., Zhao Q., Chen S. and Ding P. (2001). Seasonal changes in coastal dynamics and morphological behavior of the central and southern Changjiang River delta. *Journal of Science in China (Series B)*, Vol. 44, August, China, pp. 72-79.

Δημητρίου Ι. (2005). *Εφαρμοσμένη Υδραυλική Τεύχος Α'*. Αθήνα: Εκδόσεις Τυπογραφείου Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Δουκάκης Ε. (2007). *Μέθοδοι Προσδιορισμού του Ρυθμού Μεταβολής των Ακτογραμμών*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

Δρίτσας Σ. (2005). Κλιματική Αλλαγή-Άνοδος της Στάθμης της Θάλασσας: Συνέπειες στις Παράκτιες Περιοχές. *Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης*, Τόμος ΙΙΙ, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, σελ.1465-1471.

Καραμπάς Θ. (2004). *Υπολογιστική Κυματομηχανική και Ακτομηχανική Θεωρητική Προσέγγιση*. Εκπαιδευτικό και Επιχειρησιακό Λογισμικό. Διδακτικό Βοήθημα Τμήματος Επιστημών Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.

Κουτσογιάννης Δ. (1999). *Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης*, Έκδοση 3.1. Αθήνα: Εκδόσεις Τυπογραφείου Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Κουτσογιάννης Δ. και Ξανθόπουλος Θ. (1999). *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3. Αθήνα: Εκδόσεις Τυπογραφείου Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Μαμάης Δ. (2009). *Υδατικά Οικοσυστήματα*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Περιβάλλον και Ανάπτυξη", Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

Μαμάης Δ. (2009). *Ρύπανση Υδατικών Οικοσυστημάτων*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Περιβάλλον και Ανάπτυξη", Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

Μαμάης Ν. (2009). *Κλίμα και κλιματική αλλαγή*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Περιβάλλον και Ανάπτυξη", Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

Μαμάης Ν. (2009). *Φυσικό και πιθανοτικό πλαίσιο πλημμυρών. Πρόληψη και μετριασμός των επιπτώσεών τους*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Περιβάλλον και Ανάπτυξη", Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

Μιμίκου Μ. (1994). *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων Β' Έκδοση*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Μουτάφης Ν. (2009). *Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα Μέρος Α'*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

Μουτάφης Ν. (2009). *Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα Μέρος Β'*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

Μουτάφης Ν. (2009). *Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα-Συστήματα Εκτροπής Μέρος Δ'*. Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

Μουτζούρης Κ. (1994). *Εισαγωγή στην Ακτομηχανική*. Αθήνα: Εκδόσεις Τυπογραφείου Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Μουτζούρης Κ. (1996). *Θαλάσσια Υδραυλική*. Αθήνα: Εκδόσεις Τυπογραφείου Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Διαδικτυακές Πηγές

<http://www.cbs.nl>

<http://www.coastbase.org>

<http://www.provincie-noordholland.nl>

<http://www.waterland.net>

<http://www.ihe.nl>

<http://www.learn-hazards.org/51.php?l=gr>

http://en.wikipedia.org/wiki/Coast#Formation_of_Coasts

<http://www.coastlearn.org/gr/pp-gr/caseholland.html>

<http://el.wikipedia.org/wiki/>

<http://www.weatheronline.gr/Netherlands.htm>

<http://library.thinkquest.org/C001635F/engdeltawerken1.htm>

http://www.holland.nl/uk/holland/sights/water_management.html

http://www.hydro.ntua.gr/scope-el/?set_language=el

<http://postgra.hydro.ntua.gr/>

<http://www.itia.ntua.gr/>

<http://www.deltawerken.com/en/10.html?setlanguage=en>

<http://www.springerlink.com/home/main.mpx>

<http://www.sciencedirect.com/science>

