

*Μοντέλα πρόβλεψης αξιοπιστίας αγωγών μεταφοράς
φυσικού αερίου και πετρελαίου.*



*ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΚΟΥΒΑΡΗ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΠΑΚΟΥΡΟΣ*

ΚΟΖΑΝΗ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρουσία και η υποστήριξη κάποιων ανθρώπων συνέβαλαν στην υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής.

Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ιωάννη Μπακούρο για την συνεργασία και την υποστήριξη καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και να ευχαριστήσω και τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής για την καθοδήγησή τους.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου για την ηθική στήριξη, που με υπομονή και κουράγιο προσέφεραν την απαραίτητη ηθική συμπαράσταση για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.	5
1.1 Γενικά.....	5
1.2 Πετρέλαιο.	6
1.3 Φυσικό αέριο.	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΡΕΥΣΤΩΝ.	13
2.1 Στάδια μεταφοράς ρευστών από την εξόρυξη στους τόπους κατανάλωσης.	13
2.2 : Κανονισμοί ασφαλείας στο σύστημα μεταφοράς αγωγών ρευστών.	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΑΓΩΓΩΝ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ.	24
3.1 Γενικά.....	24
3.2 Παράμετροι αξιοπιστίας σε ένα μοντέλο πρόβλεψης.	27
3.3 Τύποι / αιτίες αποτυχίας αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου.....	29
3.4 Προηγούμενες προσεγγίσεις - μελέτες της αξιοπιστίας των αγωγών φυσικού αερίου και πετρελαίου.	31
3.5 Λοιπά λογισμικά και μοντέλα πρόβλεψης της αξιοπιστίας των αγωγών φυσικού αερίου.	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ. ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ MINITAB.....	40
4.1 Διαχωριστική ανάλυση.....	40
4.2 Δυαδική λογιστική παλινδρόμηση.	43
4.3 Χρήση του στατιστικού πακέτου Minitab Release 2019 για πρόβλεψη αξιοπιστίας αγωγών.....	47
4.3.1. Διαχωριστική Ανάλυση.....	48
4.3.2. Λογιστική παλινδρόμηση.	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.	63
Ελληνική βιβλιογραφία.....	64
Αγγλική βιβλιογραφία.....	64
Παράρτημα Α.....	67

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Συστατικά φυσικού αερίου.....	8
Εικόνα 2: Σταθμός πύλης.....	16
Εικόνα 3: Σύστημα διανομής.....	17
Εικόνα 4: μορφή συνάρτησης δυαδικής λογιστικής παλινδρόμησης.....	44

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1: Συστατικά φυσικού αερίου	7
Πίνακας 2: Αξιολόγηση της περιοχής τοποθέτησης του αγωγού.	21
Πίνακας 3: Απλές και ομαδοποιημένες μεταβλητές του μοντέλου.....	41
Πίνακας 4: Μέσος όρος, τυπική απόκλιση, μέγιστη τιμή και ελάχιστη τιμή αγωγών.	42

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να περιγράψει την ασφάλεια και αξιοπιστία των αγωγών μεταφοράς ρευστών. Αρχικά, αναφέρθηκαν τα χαρακτηριστικά του φυσικού αερίου και πετρελαίου καθώς και η παρουσίαση των αγωγών στον ελλαδικό χώρο. Έπειτα, έγινε περιγραφή των διάφορων κατηγοριών των δικτύων μεταφοράς του φυσικού αερίου και των σταδίων μεταφοράς φυσικού αερίου από την εξόρυξη στους τόπους κατανάλωσης. Στην συνέχεια, δόθηκαν οι κανονισμοί ασφαλείας και οι οδηγίες στο σύστημα μεταφοράς αγωγών φυσικού αερίου, λόγω της ιδιαιτερότητας του αγωγού φυσικού αερίου ΤΑΠ που διέρχεται από την περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας

Τέλος, έγινε χρήση της μεθόδου διαχωριστικής ανάλυσης και του στατιστικού πακέτου Minitab Release 19 για έλεγχο της αξιοπιστίας 168 αγωγών πετρελαίου της Βορείου Θάλασσας. Τα αρχικά δεδομένα μου δόθηκαν από τη βάση δεδομένων που υπάρχουν στο εργαστήριο MATERLAB υπό την ευθύνη του καθηγητή Ιωάννη Μπακούρου.

Abstract

The purpose of the present work is to describe the safety and reliability of fluid transfer pipelines. Initially, the characteristics of gas and oil as well as the presentation of pipelines in Greece were mentioned. Subsequently, the safety regulations and instructions were given to the gas pipeline transmission system, due to the specificity of the TAP gas pipeline passing through the region of Western Macedonia

Finally, the separation analysis method and the Minitab Release 19 statistical package were used to test the reliability of 168 North Sea oil pipelines. The initial data were provided to me by the database available in the MATERLAB laboratory under the responsibility of Professor Ioannis Bakouros.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.

1.1 Γενικά.

Ο βιομηχανικός τομέας και η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχουν προσφέρει πολλά θετικά στην ανθρώπινη κοινωνία αλλά ταυτόχρονα υπάρχει και η αρνητική πλευρά τους λαμβάνοντάς υπόψη τους κινδύνους που εγκυμονούν. Η διπλωματική αυτή εργασία ασχολείται με τον τομέα της μεταφοράς του φυσικού αερίου και πετρελαίου και πιο συγκεκριμένα με την αξιοπιστία ενός συστήματος μεταφοράς πετρελαίου με υποθαλάσσιους αγωγούς. Υπάρχουν κίνδυνοι που αφορούν την εκπομπή τοξικών υλικών, τον θόρυβο και κάποιες μη ορατές απειλές (οι κατασκευές αυτές είναι πολύ σύνθετες και μπορεί να περιλαμβάνουν μέρη υψηλής επικινδυνότητας). Πλέον οι κίνδυνοι είναι αντιληπτοί και έχει τεθεί ως κύριος στόχος των βιομηχανιών η ελαχιστοποίηση ή και η εξάλειψη των κινδύνων εάν αυτό είναι δυνατόν.

Στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του φυσικού αερίου και του πετρελαίου, η ιστορική εξέλιξή τους στον ελλαδικό χώρο και οι υπάρχοντες και οι υπό κατασκευή αγωγοί ρευστών στον Ελλαδικό χώρο και τα είδη των συστημάτων αγωγών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφεται η μεταφορά ρευστών με αγωγούς. Η μεταφορά του φυσικού αερίου και πετρελαίου σε αγωγούς είναι μία διαδικασία που εμπεριέχει πολλούς κινδύνους γιατί οι χαλύβδινοι αγωγοί διαβρώνονται με την πάροδο του χρόνου. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο περιγράφονται τα στάδια μεταφοράς ρευστών από την εξόρυξη στους τόπους κατανάλωσης και στην συνέχεια δίνονται οι σχετικοί κανονισμοί ασφαλείας τόσο σε εθνικό επίπεδο όσο και σε παγκόσμιο.

Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τις υπάρχουσες μελέτες και τεχνικές πρόβλεψης της αξιοπιστίας των αγωγών καθώς και την περιγραφή των μοντέλων αστοχίας των αγωγών και των στατιστικών πακέτων που μπορούν να βοηθήσουν στην πρόβλεψη αυτή.

Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή της διαχωριστικής ανάλυσης και η παρουσίαση μιας εφαρμογής αξιοπιστίας 168 αγωγών με χρήση του στατιστικού

πακέτου Minitab Release. Έγινε χρήση της διαχωριστικής ανάλυσης και της λογιστικής παλινδρόμησης μέσω του συγκεκριμένου πακέτου. Με τη διαχωριστική ανάλυση υπολογίσαμε τα σωστά ποσοστά ταξινόμησης, τους συντελεστές U_i με τη μεγαλύτερη βαρύτητα και τις εσφαλμένες παρατηρήσεις πραγματικών αποτελεσμάτων και προβλεπόμενων αποτελεσμάτων. Με την λογιστική παλινδρόμηση υπολογίσαμε το συνολικό ποσοστό σωστής ταξινόμησης και κάποιους χρήσιμους δείκτες για την εγκυρότητα του μοντέλου. Με την πολυμεταβλητή ανάλυση διακύμανσης υπολογίσαμε κάποιους δείκτες που είναι κριτήρια για το αν ο διαχωρισμός του μοντέλου είναι ικανοποιητικός.

1.2 Πετρέλαιο.

Το πετρέλαιο αποκαλείται και μαύρος χρυσός, είναι παχύρρευστο, μαύρο ή βαθύ καφετί ή πρασινωπό υγρό πέτρωμα, που αποτελεί και τη σπουδαιότερη σήμερα φυσική πηγή ενέργειας. Το αργό πετρέλαιο είναι μίγμα υδρογονανθράκων αλλά περιέχει εκτός από αλκάνια και αρωματικούς υδρογονάνθρακες, καθώς και άλλες οργανικές ενώσεις. Από τις πετρελαιοπηγές μεταφέρεται με διάφορους τρόπους στους τόπους κατανάλωσης αλλά κυρίως με αγωγούς. Το πετρέλαιο συνυπάρχει με αέρια, νερό και με μικρές ποσότητες άμμου.

Οι ποσότητες πετρελαίου που υπάρχουν στον πλανήτη είναι περιορισμένες και κρίνεται απαραίτητη η αναζήτηση άλλων εναλλακτικών μορφών ενέργειας. Μία εναλλακτική μορφή ενέργειας είναι η χρήση φυσικού αερίου.

1.3 Φυσικό αέριο.

A. Ιστορικά στοιχεία.

Το φυσικό αέριο είναι γνωστό από την αρχαιότητα από την Τρίτη χιλιετηρίδα π.Χ. στην περιοχή του κράτους Ιράν. Βάσει κάποιων αναφορών, γύρω στο 1000 π.Χ.

στην περιοχή της Κίνας υπήρχαν αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου φτιαγμένοι από μπαμπού. (Roberts, 2006)

Η πρώτη εμφάνιση του φυσικού αερίου στον ευρωπαϊκό χώρο ήταν στην Αγγλία το 1659. Μέχρι τότε το εκμεταλλεύσιμο φυσικό αέριο προερχόταν μόνο από κοιτάσματα του εδάφους, αλλά το 1670 ανακαλύφθηκε η παραγωγή φυσικού αερίου από απόσταξη ανθράκων. Η χρήση του άρχισε να είναι ευρεία για φωτισμό και στις μηχανές εσωτερικής καύσης.

Ο όρος "φυσικό αέριο" προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Spallanzani στα τέλη του 17^{ου} αιώνα και το 1865 ο Hofmann έθεσε την εποχή του φυσικού αερίου. (Ηλιάκη Ιωάννα, Παπανδρέου Ευ., 2011). Η μεταφορά του φυσικού αερίου σε μεγάλες αποστάσεις ήταν πολύ δύσκολη και έτσι η χρήση του ήταν περιορισμένη. Από το 1920 και ύστερα αναπτύχθηκε η μεταφορά του φυσικού αερίου με αγωγούς. Έτσι άρχισε η ευρεία χρήση του φυσικού αερίου και συνεχίζεται μέχρι σήμερα με ολοένα αυξανόμενο ρυθμό παγκοσμίως.

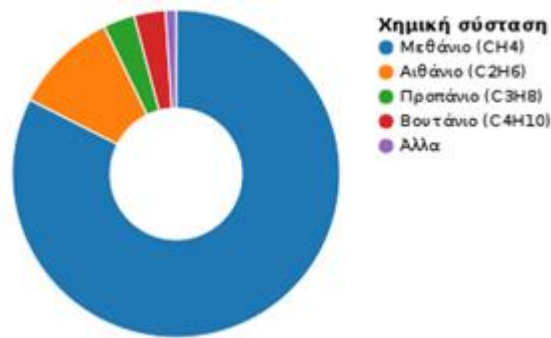
Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι την δεκαετία του 1950 το ποσοστό της ενέργειας που προέρχεται από φυσικό αέριο ήταν 12% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης. Βάσει εκτιμήσεων του διεθνούς οργανισμού ενέργειας (ΔΟΕ) η κατανάλωση φυσικού αερίου θα καλύπτει το 25% των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών το 2030. (Τζαγάκης, 2017)

B. Τα συστατικά του φυσικού αερίου.

Το φυσικό αέριο αποτελείται από κορεσμένους υδρογονάνθρακες κυρίως μεθάνιο και από μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, αζώτου και υδρόθειου όπως φαίνεται στον πίνακα 1.

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	% ΚΑΤ' ΟΓΚΟ ΣΥΣΤΑΣΗ
Μεθάνιο (CH ₄)	70-90
Αιθάνιο (C ₂ H ₆)	5-15
Προπάνιο (C ₃ H ₈) και Βουτάνιο (C ₄ H ₁₀)	< 5
CO ₂ , N ₂ , H ₂ S	μικρότερες ποσότητες

Πίνακας 1: Συστατικά φυσικού αερίου



Εικόνα 1: Συστατικά φυσικού αερίου.

Το φυσικό αέριο διακρίνεται σε υγρό και ξηρό. Το ξηρό φυσικό αέριο δεν περιέχει άλλου είδους υδρογονάνθρακες πέραν του μεθανίου. Το φυσικό αέριο θεωρείται οικολογικό καύσιμο. (Μιχαηλίδης, 2010)

Γ. Η προέλευση και οι ιδιότητες του φυσικού αερίου.

Το φυσικό αέριο βρίσκεται σε κοιτάσματα στο έδαφος σε συνύπαρξη με πετρέλαιο. Δεν υφίσταται επεξεργασία διότι δεν έχει προσμίξεις και μεταφέρεται είτε σε υγρή μορφή με πλοία είτε σε αέρια μορφή με αγωγούς. Στους αγωγούς ο κύριος μηχανισμός μεταφοράς του φυσικού αερίου είναι η πολύ υψηλή πίεση του. Τα σημεία εξαγωγής του φυσικού αερίου είναι αρκετά μακριά από τόπους κατανάλωσής του. (Τζαγάκης, 2017)

Το φυσικό αέριο είναι άχρωμο και άοσμο. Για να γίνεται αντιληπτό στις διαρροές τεχνητά του δίνουν χαρακτηριστική οσμή. Είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και έχει ειδικό βάρος ίσο με 0,59.

Η καύση του φυσικού αερίου, σε σχέση με αυτή άλλων καυσίμων όπως ο γαιάνθρακας ή το πετρέλαιο, έχει λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον. Παράγει μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας. (Δημόπουλος, 2008)

Δ. Χρήσεις φυσικού αερίου.

Με τη χρήση του φυσικού αερίου είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και υδρογόνου. Χρησιμοποιείται και ως καύσιμο οχημάτων σε οικολογικά οχήματα και για οικιακή χρήση όπως θέρμανση, μαγειρική κτλ. Το φυσικό αέριο παρουσιάζει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών κυρίως στον βιομηχανικό τομέα όπως στην παραγωγή γυαλιού, υφασμάτων, ατσαλιού, πλαστικών κ.α.

Ιδιαίτερα στον τομέα της βιομηχανίας, η χρήση φυσικού αερίου αποφέρει οικονομικά οφέλη για την επιχείρηση διότι δεν είναι απαραίτητη η δέσμευση κεφαλαίων για την ύπαρξη αποθεμάτων και χώρων αποθήκευσης. (Δημόπουλος, 2008)

Ε. Χρονική εξέλιξη του Φυσικού αερίου στην Ελλάδα.

Το 1983 η Δημόσια Επιχείρηση Πετρελαίου (ΔΕΠ) υλοποίησε την πρώτη μελέτη για την μεταφορά του φυσικού αερίου στην ελλαδικό χώρο. Το 1987 υπογράφεται συμφωνία μεταξύ Ελλάδας και Ρωσίας με στόχο την προμήθεια φυσικού αερίου στην χώρα μας. Έπειτα, ακολούθησαν οι συμφωνίες με τις εταιρίες Gazexport της Ρωσίας και Sonatrach της Αλγερίας. Το 1988 έχουμε την ίδρυση της Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (ΔΕΠΑ) και έπειτα ενσωμάτωσε την Δημόσια επιχείρηση Φυσικού Αερίου (ΔΕΦΑ).

Το 1996 έχουμε τον πρώτο βιομηχανικό καταναλωτή φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο προμηθεύεται με αγωγό από την Ρωσία και με δεξαμενόπλοια σε υγροποιημένη μορφή από την Αλγερία. (Ηλιάκη Ιωάννα ,Παπανδρέου Ευ., 2011)

ΣΤ. Υπό κατασκευή αγωγοί διανομής φυσικού αερίου στον ελλαδικό χώρο.

Στην Ελλάδα αυτή την στιγμή είναι υπό κατασκευή οι αγωγοί TAP και Eastmed. Οι εργασίες της κατασκευής του αγωγού Μπουργκάς-Αλεξανδρούπολης σταμάτησαν το 2010.

Οι αγωγοί τοποθετούνται σε βάθος 2-2,5 m από την επιφάνεια του εδάφους και η κατασκευή τους είναι τέτοια ώστε να προστατεύονται από την υγρασία και διάφορες καταπονήσεις. Η κινητήρια δύναμη του φυσικού αερίου είναι η υψηλή πίεσή του. Στα κατώτερα σημεία του δικτύου υπάρχουν συστήματα συγκράτησης των υγροποιημένων υδρογονανθράκων. Ο χρόνος ζωής ενός τέτοιου αγωγού εκτιμάται να είναι τουλάχιστον 50 έτη.

Οι υποθαλάσσιοι αγωγοί υπάρχουν μέχρι το βάθος των 2000 m . Τέτοιες συνδέσεις υπάρχουν μεταξύ Αλγερίας και Ιταλίας, Τυνησίας και Σικελίας και πηγών βόρειας θάλασσας με Σκωτία, Αγγλία και Νορβηγία. (Ηλιάκη Ιωάννα, Παπανδρέου Ευ., 2011)

Ο αγωγός TAP

Ο αγωγός TAP περνάει από την Ελλάδα, την Αλβανία και την Ιταλία και σχεδόν το μισό του τμήμα βρίσκεται σε ελληνικό έδαφος. Αποτελεί την συνέχεια των αγωγών TANAP της Τουρκίας και SCP της Γεωργίας. Το συνολικό του μήκος είναι 3000 km και θα μεταφέρει φυσικό αέριο από το κοιτάσμα του Σαχ Ντενίζ II του Αζερμπαϊτζάν, το οποίο θα δωθείς την παραγωγή περίπου το 2020. (<<Πόλεμος στη Μεσόγειο! Οι αγωγοί φυσικού αερίου βάζουν φωτιά στη γειτονιά μας>>,2018)

Τον TAP στηρίζουν οι ΗΠΑ. Μέτοχοι είναι οι εταιρείες BP, SOCAR (Αζερμπαϊτζάν), Snam (Ιταλία), Fluxys (Βέλγιο), Enagas (Ισπανία) και Axpo (Ελβετία).

Ο TAP ουσιαστικά μπλόκαρε το μεγάλο ρωσικό δίκτυο αγωγών South Stream που σχεδίαζε η Gazprom. Το ελληνικό τμήμα του TAP αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2019. Ο αγωγός που από την Καστοριά θα περνά στην Αλβανία έχει σαν σκοπό τη μεταφορά φυσικού αερίου προς την Ιταλία και την παροχή εναλλακτικών ποσοτήτων στις χώρες των Βαλκανίων έναντι του ρωσικού αερίου.

Τους τελευταίους μήνες, αναφέρουν πηγές εκτός Ελλάδας, επικρατεί έντονος προβληματισμός ως προς τη δυνατότητα του Σαχ Ντενίζ να είναι έτοιμος το 2020 να εφοδιάσει με αέριο τον αγωγό λόγω της οικονομικής δυσκολίας που αντιμετώπισε το Αζερμπαϊτζάν. Οι ίδιες πηγές θέλουν να εξετάζεται ο εναλλακτικός εφοδιασμός του

από το Τουρκμενιστάν. (<<Πόλεμος στη Μεσόγειο! Οι αγωγοί φυσικού αερίου βάζουν φωτιά στη γειτονιά μας>>,2018)

Ο αγωγός EastMed

Είναι έργο που ξεκίνησε η ΔΕΠΑ για τη μεταφορά ποσοτήτων φυσικού αερίου από το Ισραήλ και την Κύπρο και στη συνέχεια μέσω Κρήτης, Πελοποννήσου και Δυτικής Ελλάδας στην Ιταλία.

Το 2012 – 2013 ο EastMed γνώρισε έντονο ανταγωνισμό από την Κύπρο, η οποία σχεδίαζε την κατασκευή τερματικού σταθμού εισαγωγής κι εξαγωγής αερίου. Επενδυτικό σχέδιο, το οποίο τελικά δεν στήριξε η ΕΕ.

Το 2014 στο συγκεκριμένο έργο συμμετείχε και η ιταλική Edison, με την οποία η ΔΕΠΑ ίδρυσε την εταιρία Poseidon για το έργο του ελληνοϊταλικού αγωγού (IGI) καθώς και για τον ελληνοβουλγαρικό IGB. Η Edison είναι παραγωγός στα κοιτάσματα του Ισραήλ και της Αιγύπτου, οπότε ο EastMed είναι ο επικρατέστερος έναντι άλλων επενδυτικών σχεδίων. Μάλιστα η ΕΕ τον έχει εντάξει στα έργα κοινού ενδιαφέροντος χρηματοδοτώντας τα διάφορα στάδια προετοιμασίας του.

Ένα από τα ανταγωνιστικά του έργα ήταν κι εκείνο που ήθελαν οι Ισραηλινοί να προωθήσουν, δηλαδή αγωγό που θα περνάει απέναντι στην Τουρκία και θα συνδέεται με το δίκτυο των TANAP – TAP.

Ωστόσο, η ΕΕ φαίνεται να μη στηρίζει τη συγκεκριμένη όδευση, καθώς όπως αναφέρουν αρμόδιοι παράγοντες δεν θέλει να δει την Τουρκία ως μία νέα Ουκρανία και να προκληθεί πρόβλημα στην ασφάλεια εφοδιασμού των κρατών – μελών της. Η κατασκευή του δεν αναμένεται να ξεκινήσει πριν το 2022.

Ο Νότιος Ευρωπαϊκός Αγωγός. Το έργο προωθούν οι ΔΕΠΑ, Edison και Gazprom. Ο αγωγός, που αποτελεί συνέχεια του Turk Stream II, θα μεταφέρει ρωσικό αέριο στην Ιταλία και την Κεντρική Ευρώπη.

Οι ΗΠΑ δεν επιθυμούν την κατασκευή του. Τον θέλουν, όμως, οι Ιταλία και Γαλλία για να μην είναι εξαρτημένες από τη Γερμανία. Η τελευταία εξασφάλισε επιπλέον φυσικό αέριο από τη Gazprom μέσω του νέου βόρειου αγωγού Nord Stream

II. (<<Πόλεμος στη Μεσόγειο! Οι αγωγοί φυσικού αερίου βάζουν φωτιά στη γειτονιά μας>>,2018)

Ο αγωγός Μπουργκάς-Αλεξανδρούπολης μεταφοράς πετρελαίου

Ο συγκεκριμένος αγωγός ήταν σχεδιασμένος να μεταφέρει πετρέλαιο από το λιμάνι του Μπουργκάς της Βουλγαρίας, το οποίο θα προερχόταν από την Κασπία Θάλασσα, στην Αλεξανδρούπολη. Όμως, οι εργασίες κατασκευής του σταμάτησαν το 2010.

Z. Εξωτερικά και εσωτερικά δίκτυα διανομής στον ελλαδικό χώρο.

Η Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (ΔΕΠΑ) είναι αρμόδια για την κατασκευή και συντήρηση των δικτύων. Τα δίκτυα αποτελούνται από τον κεντρικό αγωγό, το πρωτεύον και δευτερεύον δίκτυο. Το πρωτεύον δίκτυο αποτελείται από δακτυλίους περιμέτρου 50km, κατασκευασμένοι από χάλυβα, οι οποίοι συνδέονται με τον κεντρικό αγωγό και υποβιβάζουν την υψηλή πίεση σε πίεση των 19bar.

Το δευτερεύον δίκτυο απαρτίζεται από αγωγούς μικρότερης διαμέτρου, πολυαιθυλενίου και λειτουργίας 4bar και μέσω αυτών γίνεται η διανομή του φυσικού αερίου στις συνοικίες της πόλης.

Τα εσωτερικά δίκτυα διανομής είναι σωληνώσεις από τον μετρητή αερίου ως και την συσκευή κατανάλωσης. (Ηλιάκη Ιωάννα, Παπανδρέου Ευ., 2011)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΡΕΣΥΤΩΝ.

2.1 Στάδια μεταφοράς ρευστών από την εξόρυξη στους τόπους κατανάλωσης.

A. Σύστημα παράδοσης φυσικού αερίου.

Τις τελευταίες δεκαετίες όλο και περισσότερο στρεφόμαστε προς τα συστήματα παροχής φυσικού αερίου έναντι των συστημάτων παροχής άνθρακα και των εργοστασίων πυρηνικής ενέργειας. Η αξιοπιστία της υποδομής φυσικού αερίου βρίσκεται σε δοκιμασία καθώς το σημερινό σύστημα δεν θα είναι σε θέση να χειριστεί την αυξημένη ανάγκη.

Όπως ένα φυσικό σύστημα αποστράγγισης νερού, το σύστημα φυσικού αερίου ξεκινά με μικρότερες γραμμές συλλογής που συγκεντρώνουν το αέριο από την πηγή και το φέρνουν σε έναν αγωγό συγκέντρωσης μεγαλύτερης διαμέτρου. Καθώς το φυσικό αέριο συλλέγεται, αυξάνεται σε όγκο, πηγαίνει στο σύστημα μετάδοσης που αποτελείται από σωληνώσεις μεγαλύτερης διαμέτρου ώστε να γίνει χειρισμός μεγαλύτερης χωρητικότητας και να μετακινηθεί σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Σε ορισμένα σημεία, ένας σταθμός συμπίεστη ασκεί πίεση για να μεταφέρει το αέριο στον αγωγό ή στη μονάδα. (<http://www.snelsonco.com/reliability-natural-gas/>)

Το αέριο που ρέει από την υψηλότερη σε χαμηλότερη πίεση είναι η θεμελιώδης αρχή του συστήματος παροχής φυσικού αερίου. Η ποσότητα πίεσης σε έναν αγωγό μετράται σε kPa ή σε Psi (λίβρες ανά τετραγωνική ίντσα) στο βρετανικό σύστημα. Από την εξόρυξη, το φυσικό αέριο μπαίνει σε γραμμές "συλλογής", οι οποίες είναι σαν κλαδιά δέντρου και μεγαλώνουν καθώς πλησιάζουν στο κεντρικό σημείο συλλογής. (American Gas Association)

B. Συστήματα συλλογής - Gathering Systems.

Ένα σύστημα συλλογής μπορεί να χρειαστεί έναν ή περισσότερους συμπιεστές πεδίου για να μετακινήσει το αέριο στον αγωγό ή στη μονάδα επεξεργασίας. Ένας συμπιεστής είναι ένα μηχάνημα που κινείται από μια μηχανή εσωτερικής καύσης ή στρόβιλο που δημιουργεί πίεση για να «ωθήσει» το αέριο μέσω των γραμμών. Οι περισσότεροι συμπιεστές στο σύστημα παροχής φυσικού αερίου χρησιμοποιούν ως καύσιμο μια μικρή ποσότητα φυσικού αερίου από τις δικές τους γραμμές.

Ορισμένα συστήματα συλλογής φυσικού αερίου περιλαμβάνουν μια εγκατάσταση επεξεργασίας, η οποία εκτελεί λειτουργίες όπως η αφαίρεση ακαθαρσιών όπως το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα ή το θείο που μπορεί να διαβρώσει έναν αγωγό ή αδρανή αέρια, όπως το ήλιο, που θα μειώσουν την ενεργειακή αξία του αερίου. Οι μονάδες επεξεργασίας μπορούν επίσης να απομακρύνουν μικρές ποσότητες προπανίου και βουτανίου. Αυτά τα αέρια χρησιμοποιούνται για χημικές πρώτες ύλες και άλλες εφαρμογές. (American Gas Association)

Γ. Το Σύστημα Μεταφοράς - The Transmission System.

Από το σύστημα συλλογής, το φυσικό αέριο μετακινείται στο σύστημα μετάδοσης, το οποίο αποτελείται γενικά από πολλές χιλιάδες km χάλυβα υψηλής αντοχής.

Αυτές οι μεγάλες γραμμές μεταφοράς φυσικού αερίου μπορούν να συγκριθούν με το διακρατικό σύστημα εθνικών οδών για τα αυτοκίνητα. Μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες φυσικού αερίου χιλιάδες km από τις περιοχές παραγωγής στις τοπικές εταιρείες διανομής. Η πίεση του αερίου σε κάθε τμήμα της γραμμής κυμαίνεται συνήθως από 1400 ως 10340 kPa, ανάλογα με τον τύπο περιοχής στην οποία λειτουργεί ο αγωγός. Ως μέτρο ασφάλειας, οι αγωγοί είναι σχεδιασμένοι και κατασκευασμένοι για να χειρίζονται πολύ μεγαλύτερη πίεση από ό, τι πραγματικά

φθάνει στο σύστημα. Για παράδειγμα, οι αγωγοί σε περιοχές με μεγαλύτερη πυκνότητα λειτουργούν σε λιγότερο από το ήμισυ του επιπέδου σχεδιασμού τους.

Πολλοί μεγάλοι διακρατικοί αγωγοί είναι "βρόχοι" - υπάρχουν δύο ή περισσότερες γραμμές που τρέχουν παράλληλα μεταξύ τους με το ίδιο δικαίωμα διέλευσης. Αυτό παρέχει μέγιστη χωρητικότητα κατά τις περιόδους μέγιστης ζήτησης. (American Gas Association)

Δ. Σταθμοί συμπιεστών - Compressor Stations.

Οι σταθμοί συμπιεστών τοποθετούνται περίπου κάθε 80 έως 100 km κατά μήκος κάθε αγωγού για να αυξήσουν την πίεση που χάνεται από την τριβή του φυσικού αερίου που κινείται μέσω του αγωγού χάλυβα. Πολλοί σταθμοί συμπιεστών είναι πλήρως αυτοματοποιημένοι, οπότε ο εξοπλισμός μπορεί να ξεκινήσει ή να σταματήσει από την κεντρική αίθουσα ελέγχου του αγωγού. Ο χώρος ελέγχου μπορεί επίσης να λειτουργήσει εξ αποστάσεως βαλβίδες διακοπής κατά μήκος του συστήματος μετάδοσης. Οι χειριστές του συστήματος διατηρούν λεπτομερή δεδομένα λειτουργίας σε κάθε σταθμό συμπιεστή και προσαρμόζουν συνεχώς το μείγμα κινητήρων που λειτουργούν για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης και της ασφάλειας.

Το φυσικό αέριο μετακινείται μέσω του συστήματος μετάδοσης έως και 48 km την ώρα, οπότε διαρκεί αρκετές ημέρες για το φυσικό αέριο από την πηγή για να φθάσει σε σημείο απόδειξης χρησιμότητας . Στην πορεία, υπάρχουν πολλές διασυνδέσεις με άλλους αγωγούς και άλλα συστήματα κοινής ωφέλειας, τα οποία παρέχουν στους φορείς εκμετάλλευσης συστημάτων μεγάλη ευελιξία στη μετακίνηση του φυσικού αερίου.

(Τζαγάκης, 2017)

Ε. Γραμμή συσκευασίας – line pack.

Οι αγωγοί φυσικού αερίου και οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας χρησιμοποιούν πολύ εξελιγμένα μοντέλα υπολογιστών της ζήτησης πελατών για φυσικό αέριο, τα οποία συνδέουν τις καθημερινές και τις ωριαίες τάσεις κατανάλωσης με εποχιακούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι πελάτες μπορούν να εξαρτώνται από την αξιοπιστία του φυσικού αερίου - όταν χρειάζεται, είναι εκεί. (American Gas Association)

Η ποσότητα του φυσικού αερίου που βρίσκεται μέσα στον αγωγό οποιαδήποτε χρονική στιγμή ονομάζεται linepack. Αυτή η ποσότητα μπορεί να ελεγχθεί με αύξηση ή μείωση της πίεσης στον σωλήνα. Με τη μείωση της πίεσης, το αέριο θα επιβραδυνθεί και οι εταιρείες μπορούν να αποθηκεύσουν αποτελεσματικά το φυσικό αέριο στη σωλήνωση όταν μειωθεί η ζήτηση. Ομοίως, μπορούν να επιταχύνουν την παράδοση αυξάνοντας την πίεση στους σταθμούς συμπίεστων. (Τζαγάκης, 2017)

ΣΤ. Πύλες σταθμών – Gate Station.

Όταν το φυσικό αέριο σε έναν αγωγό μεταφοράς φθάνει σε τοπικό ωφέλιμο δίκτυο φυσικού αερίου, περνά κανονικά μέσω ενός "σταθμού πύλης". Οι επιχειρήσεις κοινής ωφελείας έχουν συχνά σταθμούς πύλης που δέχονται αέριο σε πολλές διαφορετικές τοποθεσίες και από διαφορετικούς αγωγούς.



Εικόνα 2: Σταθμός πύλης

Οι σταθμοί πύλης εξυπηρετούν τρεις σκοπούς:

Πρώτον, μειώνουν την πίεση στη γραμμή από τα επίπεδα μετάδοσης (1400 έως 10340 kPa) σε επίπεδα διανομής, τα οποία κυμαίνονται από 1,7 έως 1400 kPa.

Στη συνέχεια, προστίθεται ένας οσμηρός, το χαρακτηριστικό ξινό άρωμα που σχετίζεται με το φυσικό αέριο, ώστε οι καταναλωτές να μπορούν να μυρίσουν ακόμη και μικρές ποσότητες αερίου.

Τέλος, ο σταθμός μέτρησης μετρά την παροχή του αερίου για να προσδιορίσει την ποσότητα που λαμβάνεται από το βοηθητικό πρόγραμμα.

(Τζαγάκης, 2017)

Z. Το Σύστημα Διανομής.

Από το σταθμό πύλης, το φυσικό αέριο μετακινείται σε γραμμές διανομής ή "δίκτυο" που κυμαίνονται από 5,08 cm έως περισσότερο από 60,96 cm σε διάμετρο. Σε κάθε σύστημα διανομής υπάρχουν τμήματα που λειτουργούν σε διαφορετικές πιέσεις, με ρυθμιστές που ελέγχουν την πίεση. Ορισμένοι ρυθμιστές ελέγχονται εξ αποστάσεως από το βοηθητικό πρόγραμμα για να αλλάξουν τις πιέσεις σε τμήματα του συστήματος για να βελτιστοποιήσουν την απόδοση. Σε γενικές γραμμές, όσο πιο κοντά το φυσικό αέριο φτάνει σε έναν πελάτη, τόσο μικρότερη είναι η διάμετρος του σωλήνα και τόσο χαμηλότερη είναι η πίεση.



Εικόνα 3: Σύστημα διανομής.

Γενικά, το κεντρικό κέντρο ελέγχου του βοηθητικού αερίου παρακολουθεί συνεχώς τα ποσοστά ροής και τις πιέσεις σε διάφορα σημεία του συστήματός του. Οι χειριστές πρέπει να εξασφαλίζουν ότι το αέριο φθάνει σε κάθε πελάτη με επαρκή παροχή και πίεση για να τροφοδοτήσει τον εξοπλισμό και τις συσκευές. Εξασφαλίζουν επίσης ότι οι πιέσεις παραμένουν κάτω από τη μέγιστη πίεση για τα παρακολουθούμενα τμήματα εντός του συστήματος. Οι γραμμές διανομής λειτουργούν συνήθως σε λιγότερο από το ένα πέμπτο της σχεδιαστικής τους πίεσης. (<http://www.snelsonco.com/reliability-natural-gas/>)

Καθώς το αέριο ρέει μέσω του συστήματος, οι ρυθμιστές ελέγχουν τη ροή από υψηλότερες προς χαμηλότερες πιέσεις. Εάν ένας ρυθμιστής αισθάνεται ότι η πίεση έχει πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο σημείο, θα ανοίξει ανάλογα για να επιτρέψει τη ροή περισσότερου αερίου. Αντίθετα, όταν η πίεση ανεβαίνει πάνω από ένα καθορισμένο σημείο, ο ρυθμιστής θα κλείσει για να προσαρμοστεί. Ως πρόσθετο μέτρο ασφάλειας, οι βαλβίδες ανάσχεσης εγκαθίστανται σε αγωγούς για την εξαέρωση του αερίου στην ατμόσφαιρα όπου χρειάζεται.

Τα εξελιγμένα προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της χωρητικότητας παράδοσης του δικτύου και για την εξασφάλιση επαρκούς παροχής φυσικού αερίου σε όλους τους πελάτες σε ή πάνω από το ελάχιστο επίπεδο πίεσης που απαιτείται από τις συσκευές αερίου τους.

Τα δίκτυα διανομής αλληλοσυνδέονται σε πολλαπλά σχήματα πλέγματος με στρατηγικά τοποθετημένες βαλβίδες διακοπής. Αυτές οι βαλβίδες ελαχιστοποιούν την ανάγκη διακοπής λειτουργίας του πελάτη κατά τη διάρκεια εργασιών συντήρησης και έκτακτης ανάγκης.

Στη συνέχεια το φυσικό αέριο ρέει μέσω του συστήματος διανομής, το οποίο είναι κατασκευασμένο από σωλήνες μικρότερης διαμέτρου, όχι μόνο επειδή υπάρχει λιγότερη χωρητικότητα, αλλά οι σωληνώσεις μικρότερης διαμέτρου θεωρούνται ασφαλέστερες σε αστικές και πιο ανεπτυγμένες περιοχές. Έπειτα, το αέριο μεταφέρεται στις γραμμές παροχής που εκτείνονται από τις κύριες γραμμές διανομής στα σπίτια. Αυτός ο αγωγός είναι κάτω από μια ίντσα σε διάμετρο, περνά μέσα από το μετρητή και γίνεται ιδιοκτησία των καταναλωτών.

(Αβραμίδου, 2013)

H. Μετακίνηση φυσικού αερίου στο σπίτι - Moving Natural Gas Into the Home.

Το φυσικό αέριο ρέει από το κύριο αγωγό σε ένα σπίτι ή επιχείρηση. Όλος ο εξοπλισμός και οι γραμμές τροφοδοσίας αερίου κατάντη του οικιακού μετρητή είναι υπό την ευθύνη του πελάτη.

Όταν το αέριο φθάνει στον μετρητή ενός πελάτη, περνά μέσα από έναν άλλο ρυθμιστή πίεσης για να μειώσει την πίεση του σε 1,7 kPa, εάν είναι απαραίτητο. Ορισμένες γραμμές υπηρεσιών μεταφέρουν αέριο που βρίσκεται ήδη σε πολύ χαμηλή πίεση. Αυτή είναι η φυσιολογική πίεση για το φυσικό αέριο μέσα σε ένα σύστημα σωληνώσεων οικιακής χρήσης και είναι μικρότερη από την πίεση που δημιουργείται από ένα παιδί που φυσάει φυσαλίδες με ένα καλάμακι σε ένα ποτήρι γάλα. Όταν μπαίνει σε λειτουργία ένας λέβητας αερίου, η πίεση του αερίου είναι ελαφρώς υψηλότερη από την πίεση του αέρα, έτσι το αέριο ρέει έξω από τον καυστήρα και αναφλέγεται με μπλε φλόγα.

2.2 : Κανονισμοί ασφαλείας στο σύστημα μεταφοράς αγωγών ρευστών.

Με το πέρασμα των χρόνων, στα δίκτυα μεταφοράς ρευστών έχουν συμβεί ατυχήματα και πρέπει να πληρούνται συγκεκριμένοι κανονισμοί για την πρόληψη των ατυχημάτων αυτών. Η οδηγία Seveso II συμπεριλαμβάνει τέτοιου είδους κανονισμούς για την ασφάλεια που είναι υποχρεωμένες να τηρούν οι επιχειρήσεις που διαχειρίζονται επικίνδυνα υλικά.

- Νομοθεσία Ευρωπαϊκού Συμβουλίου για αγωγούς μεταφοράς.
- Εθνική νομοθεσία για την ασφάλεια μεταφοράς επικίνδυνων ουσιών.

(Δημόπουλος,2008)

A. Οδηγίες και συστάσεις ασφαλείας για το αέριο.

Πολλοί κίνδυνοι στα δίκτυα μεταφοράς ρευστών σχετίζονται με την διαρροή αερίου ή σπάσιμο του αγωγού. Τα σημαντικά σημεία της αξιοπιστίας των αγωγών φυσικού αερίου περιγράφονται σε τέσσερα βιβλία τα οποία αναφέρονται συνοπτικά ως εξής:

- Η μεθοδολογία προσδιορισμού και επεξεργασίας των πιθανοτήτων (Κόκκινη Βίβλος - CPR 12E).
- Η μελέτη των φυσικών αποτελεσμάτων από τις απελευθερώσεις των επικίνδυνων υλικών (Κίτρινη Βίβλος- CPR 14E).
- Οι μέθοδοι προσδιορισμού της πιθανής ζημίας στους ανθρώπους (Πράσινη Βίβλος -CPR 16E).

Οι κίνδυνοι λόγω της μεταφοράς των επικίνδυνων ουσιών μέσω των αγωγών (και άλλων εγκαταστάσεων) υπολογίζονται σύμφωνα με τις «Οδηγίες για την ποσοτική αξιολόγηση του κινδύνου» (Πορφυρή Βίβλος- CPR 18E).

B. Αξιολόγηση κινδύνου.

Για την αξιολόγηση του κινδύνου είναι απαραίτητο αρχικά να βρεθεί ο τρόπος που διέφυγε το αέριο και διασκορπίστηκε από τον αγωγό διότι το αέριο είναι εύφλεκτο, εκρηκτικό και τοξικό. Ακόμη, είναι σημαντικό να παρατεθεί η ανάλυση των πιθανών σεναρίων ατυχημάτων.

Στη δημιουργία ενός αγωγού λαμβάνονται υπόψη οι μεταβολές των παρακάτω παραμέτρων: το μεταφερόμενο μέσο, η μέγιστη πίεση λειτουργίας, η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας και η περιοχή γύρω από τον αγωγό ως αποτέλεσμα φυσικών μεταβολών. (Δημόπουλος,2008)

Γ. Αξιολόγηση περιοχής.

Ανάλογα το είδος της χρήσης εκείνης της περιοχής υπάρχει ο εξής διαχωρισμός:

Περιοχή	Αξιολόγηση
Αραιές ή μη οικιστικές περιοχές	1
Λιγότερο σημαντικά ειδικά κτήρια	2
Οικιστικές, βιομηχανικές περιοχές ή περιοχές διασκέδασης	3
Κτήρια με διαμερίσματα ή σημαντικά ειδικά κτήρια	4

Πίνακας 2: Αξιολόγηση της περιοχής τοποθέτησης του αγωγού.

Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός αξιολόγησης, τόσο μικρότερος είναι ο αποδεκτός κίνδυνος.

Για την τοποθέτηση του δικτύου πρέπει να βρεθεί η κατάλληλη περιοχή συμπεριλαμβανομένων των παραμέτρων (CPR 1999):

- την πληθυσμιακή πυκνότητα
- την πυκνότητα κτηρίων
- την παρουσία ευαίσθητων περιοχών (με έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα)
- τα επίπεδα βιομηχανικής δραστηριότητας και οικονομίας.

Δ. Δευτερεύοντες παράγοντες μείωσης του κινδύνου.

Οι αγωγοί πρέπει να τοποθετούνται όσο το δυνατόν βαθύτερα στο έδαφος ώστε να προστατεύονται από οργώματα και εκσκαφές αλλά και στην περίπτωση που τοποθετούνται κάτω από οδικές αρτηρίες. Το ελάχιστο προτεινόμενο βάθος είναι 80cm και να προστατεύεται με επίστρωση σκυροδέματος. Υπάρχουν αρκετοί κανονισμοί που αφορούν το κατάλληλο πάχος των τοιχωμάτων ώστε να προστατεύονται από μηχανικές βλάβες και διάβρωση (CPR 1999).

Ε. Πολιτική επιθεώρησης, αναφοράς και συντήρησης.

Τα στοιχεία αποτυχίας δείχνουν ότι τα περισσότερα ατυχήματα συμβαίνουν εξαιτίας δραστηριοτήτων τρίτων (τοποθέτηση καλωδίων τηλεπικοινωνιών, θεμελιώσεις κ.λπ.). Οι υπόγειοι αγωγοί πρέπει να είναι καταγεγραμμένοι και όταν γίνονται εργασίες να υπάρχει εποπτεία από υπάλληλο της εταιρίας αερίου. Ένα πρότυπο συστήματος αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου θα συμπεριλάμβανε τα παρακάτω:

- χρήση τεχνικών προτύπων στο σχεδιασμό, την κατασκευή, την εγκατάσταση και τη λειτουργία των εγκαταστάσεων,
- καταμερισμός ευθυνών
- ύπαρξη συστημάτων ελέγχου (συστήματα συναγερμών, συστήματα μέτρησης θερμοκρασίας και πίεσης, συστήματα έκτακτης ανάγκης)
- καταλληλότητα του εξοπλισμού
- πρόβλεψη έκτακτων αναγκών
- ύπαρξη συστήματος επικοινωνίας έκτακτης ανάγκης για την επικοινωνία μέσα στην εγκατάσταση και με τις αρμόδιες αρχές πυρόσβεσης και επειγόντων περιστατικών
- εκπαιδευμένο προσωπικό

Ένας παράγοντας αστοχίας του αγωγού είναι η διάβρωση, εξαιτίας της οποίας επέρχεται μείωση του πάχους των τοιχωμάτων των αγωγών. Υπάρχει ένα σύστημα ελέγχου το οποίο είναι αρκετά δαπανηρό. Εισάγεται στο εσωτερικό του αγωγού μία συσκευή που πάνω της έχει αισθητήρες και ταξιδεύει κατά μήκος του αγωγού ταυτόχρονα με την ροή του αερίου και καταγράφει πιθανές διαβρώσεις. (Δημόπουλος,2008)

ΣΤ. Συσκευή M.F.L.

Οι «ευφυές συσκευές» δίνουν πληροφορίες σχετικά:

A) με την απώλεια μετάλλου εσωτερικά, ενδιάμεσα και εξωτερικά του αγωγού, την ύπαρξη ρωγμών ή και σφαλμάτων της κατασκευής του αγωγού. Ανιχνεύει ακόμα βαλβίδες, συνδέσεις, τάπες και το περίβλημα προστασίας. Βασική αρχή λειτουργίας είναι η αρχή διαρροής της μαγνητικής ροής. Η απώλεια του τοιχώματος προσδιορίζεται σε σχέση με το αρχικό πάχος του αγωγού και δεν ανιχνεύεται με βεβαιότητα εάν είναι μικρότερη του 10%.

B) με τη θέση που βρίσκεται η απώλεια μετάλλου. Εάν η απώλεια μετάλλου είναι μεγάλη πρέπει να επιδιορθωθεί. Η συσκευή M.F.L. σε συνδυασμό με σύστημα G.P.S. προσδιορίζει την ακριβή θέση βάσει συστήματος αναφοράς συντεταγμένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΑΓΩΓΩΝ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ.

3.1 Γενικά.

Οι αγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου μεταφέρουν χιλιάδες τόνους ρευστού καθημερινά παγκοσμίως. Παρόλο που είναι ο ασφαλέστερος τρόπος μεταφοράς του πετρελαίου, υπάρχουν πάρα πολλές περιβαλλοντικές ζημιές και ατυχήματα λόγω αστοχίας των αγωγών. Για την μελλοντική αποφυγή παρόμοιων ατυχημάτων έχουν αναπτυχθεί πολλά προβλεπτικά μοντέλα αστοχίας των αγωγών. Οι αντίστοιχες αναλύσεις που σχετίζονται με αυτά τα μοντέλα είναι βασισμένες σε συστήματα αγωγών που ήδη παρουσίασαν αστοχία.

Οι σωληνώσεις, οι οποίες αποτελούν τη ραχοκοκαλιά της πετρελαϊκής βιομηχανίας, μεταφέρουν εκατομμύρια δολάρια διαφόρων τύπων προϊόντων σε διαφορετικά περιβάλλοντα (δηλαδή στην ανοικτή θάλασσα ή στην ξηρά). Ο πρώτος αγωγός πετρελαίου, ο οποίος χτίστηκε το 1879 στην Πενσυλβάνια, ήταν μήκους 109 μιλίων και διάμετρος 6 ίντσες (Kennedy, 1993). Σήμερα, περισσότερες από 60 χώρες διαθέτουν δίκτυα αγωγών μήκους άνω των 2000 χιλιομέτρων. Οι ΗΠΑ έχουν το μεγαλύτερο δίκτυο αγωγών. (Goodland, 2005).

Οι σωληνώσεις αντιπροσωπεύουν τον ασφαλέστερο τρόπο μεταφοράς προϊόντων πετρελαίου επειδή έχουν χαμηλότερο ποσοστό ατυχημάτων από τους σιδηροδρόμους και τους αυτοκινητοδρόμους. Ωστόσο, τα ατυχήματα αγωγών θα μπορούσαν να προκαλέσουν καταστροφικές περιβαλλοντικές ζημιές λόγω διαρροής πετρελαίου καθώς και οικονομικές απώλειες λόγω διακοπής της παραγωγής (Dey, 2001). Σύμφωνα με την έκθεση CONCAWE (Clean Air and Water in Europe) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Πετρελαϊκών Εταιρειών για το Περιβάλλον, την Υγεία και την Ασφάλεια στη Διύλιση και τη Διανομή, οι αποτυχίες του πετρελαιαγωγού οφείλονται στις ακόλουθες αιτίες: μηχανικές, λειτουργικές, διάβρωση, φυσικούς κινδύνους και δραστηριότητα τρίτου μέρους. Το CONCAWE είναι ένας οργανισμός που ιδρύθηκε το 1963 από μια ομάδα κορυφαίων πετρελαϊκών εταιρειών για να

διεξάγει έρευνα σε περιβαλλοντικά θέματα που σχετίζονται με τη βιομηχανία πετρελαίου.

Προκειμένου να διατηρηθεί ο αγωγός σε ασφαλή κατάσταση, οι συχνές επιθεωρήσεις είναι υποχρεωτικές. Αρκετές τεχνικές επιθεώρησης έχουν αναπτυχθεί την τελευταία δεκαετία, όπως η διαρροή μαγνητικής ροής και ο υπέρηχος. Αυτές οι τεχνικές παρέχουν στην βιομηχανία αγωγών με ακριβή και αποτελεσματικά εργαλεία για την ανίχνευση αγωγών με κάποιο ελάττωμα που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αποτυχία. Παρόλο που οι τεχνικές επιθεώρησης αγωγών, και ιδίως οι επιτόπιες επιθεωρήσεις, ανιχνεύουν σαφώς και / ή προβλέπουν τις ανωμαλίες του αγωγού πετρελαίου, είναι εξαιρετικά δαπανηρές και χρονοβόρες. Η πλειοψηφία των μοντέλων πρόβλεψης για την εκτίμηση ή την πρόβλεψη αποτυχίας είναι είτε υποκειμενική (δηλαδή, ανάλογα με τη γνώμη των εμπειρογνομόνων) είτε όχι (δηλαδή αφορά μόνο μία αιτία αποτυχίας). Συνεπώς, υπάρχει ανάγκη για την ανάπτυξη ενός πιο αντικειμενικού μοντέλου πρόβλεψης αποτυχίας για αγωγούς πετρελαίου και φυσικού αερίου που βασίζεται σε ιστορικά ατυχήματα.

Έχουν γίνει διάφορες μελέτες και έχουν αναπτυχθεί διάφορα στατιστικά μοντέλα για να βοηθήσουν στη πρόβλεψη της εμφάνισης της βλάβης. Παρακάτω θα γίνει η περιγραφή διάφορων τεχνικών, μοντέλων και στατιστικών πακέτων.

Οι προσεγγίσεις de la Mare, Cannon και Veritec προσεγγίζουν τον ρυθμό αποτυχίας των αγωγών.

Τα μοντέλα ανάλυσης παλινδρόμησης, υπολειμματικής ανάλυσης και τεχνητών νευρωνικών δικτύων (ANNs-artificial neural networks) αναπτύχθηκαν με βάση ιστορικά δεδομένα ατυχημάτων αγωγών. Τα δύο μοντέλα ήταν σε θέση να προβλέψουν επαρκείς αποτυχίες αγωγών λόγω μηχανικών, λειτουργικών, αντιδιαβρωτικών, τρίτων και φυσικών κινδύνων με μέση ισχύ 90% για το μοντέλο παλινδρόμησης και 92% για το μοντέλο ANN. Τα αναπτυγμένα μοντέλα βοηθούν τους υπεύθυνους για τη λήψη αποφάσεων και τους χειριστές αγωγών να προβλέψουν την αναμενόμενη αιτία βλάβης και να λάβουν τα απαραίτητα μέτρα για την αποφυγή τους.

Έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες την τελευταία δεκαετία για την αξιολόγηση των συνθηκών του πετρελαιαγωγού και του φυσικού αερίου. Οι Noor, Ozman και Yahaya (2011) και Noor, Yahaya, Ozman και Othman (2010)

χρησιμοποίησαν μια προκαθορισμένη μεθοδολογία με χρήση πιθανοτήτων για την πρόβλεψη της υπολειπόμενης ισχύος υποθαλάσσιων αγωγών που έχουν υποστεί εσωτερική διάβρωση. Οι Bersani, Citro, Gagliardi, Sacile και Tomasoni (2010) ανέπτυξαν ένα μοντέλο αξιολόγησης κινδύνου χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα από το Υπουργείο Μεταφορών των Ηνωμένων Πολιτειών (DOT) για να προβλέψουν την αποτυχία που προκλήθηκε από τη δραστηριότητα τρίτου μέρους. Τα ιστορικά δεδομένα αποτυχίας χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την ανάπτυξη ενός εργαλείου για την πρόβλεψη της τάξης κάθε διαρροής σε σωλήνες λαδιού χρησιμοποιώντας ταξινόμηση στατιστικής ανάλυσης και το δέντρο παλινδρόμησης (Bertolini & Bevilacqua, 2006). Οι Li, Yu, Zeng, Li και Liang (2009) παρουσίασαν μια μεθοδολογία για την πρόβλεψη της διάβρωσης και της υπολειμματικής ζωής των υπόγειων αγωγών με ένα μοντέλο πιθανοτήτων που βασίζεται στη μηχανική, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση τυχαιότητας στη διάβρωση των σωληνώσεων. Η τεχνική προσομοίωσης Monte Carlo χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της υπολειπόμενης ζωής και της σωρευτικής λειτουργίας της κατανομής.

Οι Peng, Zhang και Chen (2009) ανέπτυξαν ένα μοντέλο ασαφούς νευρωνικού δικτύου, το οποίο βασίζεται σε δένδρο αποτυχίας και ασαφούς υπολογιστικής, για να προβλέψει τον ρυθμό αποτυχίας των αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου μακράς διάρκειας. Οι Dawotola, VanGelder και Vrijling (2009) πρότειναν μια συνδυασμένη αναλυτική ιεραρχία και ανάλυση δένδρων ανωμαλιών για τη στήριξη του σχεδιασμού, της κατασκευής και της επιθεώρησης και συντήρησης των αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου προτείνοντας μια βέλτιστη στρατηγική επιλογής βασισμένη στην πιθανότητα και τις συνέπειες της αποτυχίας. Επιπλέον, η διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας χρησιμοποιήθηκε από τον Dey (2001) για την ανάπτυξη ενός μοντέλου που θα βοηθήσει τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να επιλέξουν ένα κατάλληλο τύπο τεχνικής επιθεώρησης ή παρακολούθησης για τους αγωγούς.

Οι Hallen, Caleyο και Gonzalez (2003) παρουσίασαν ένα πλαίσιο ανάλυσης πιθανοτήτων για την αξιολόγηση της κατάστασης ενός διαβρωτικού αγωγού και την εξέλιξη της πιθανότητας αποτυχίας του με το χρόνο. Οι Sinha και Pandey (2002) ανέπτυξαν ένα μοντέλο πιθανοτικών ασαφών νευρωνικών δικτύων με βάση την προσομοίωση για να εκτιμήσουν την πιθανότητα αποτυχίας της γήρανσης των αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου που είναι ευάλωτοι στη διάβρωση. Ο

Ahammed (1998) παρουσίασε μια μεθοδολογία για την εκτίμηση της υπολειπόμενης διάρκειας ζωής ενός πεπιεσμένου αγωγού που περιέχει ενεργά ελαττώματα διάβρωσης. Μια πιθανή προσέγγιση προσαρμόστηκε σε αυτή τη μεθοδολογία, όπου οι σχετικές μεταβλητές αντιπροσωπεύονταν από κανονικές ή μη κανονικές πιθανολογικές κατανομές. Χρησιμοποιήθηκε μοντέλο πίεσης αποτυχίας, βασισμένο στη μηχανική θραύσης, για την εκτίμηση της πίεσης λόγω αποτυχίας αγωγών και του γραμμικού ιδεαλισμού του μακροχρόνιου ρυθμού ανάπτυξης διάβρωσης.

Τα παραπάνω μοντέλα ήταν είτε υποκειμενικά είτε δεν κάλυπταν όλες τις αιτίες αποτυχίας των αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου. Με άλλα λόγια, δεν έχουν την αντικειμενικότητα στην πρόβλεψη των διαφορετικών τύπων ατυχημάτων των αγωγών.

(Ahmed Senouci, Mohamed Elabbasy, Emad Elwakil, Bassem Abdrabou & Tarek Zayed, 2013)

3.2 Παράμετροι αξιοπιστίας σε ένα μοντέλο πρόβλεψης.

Με την πάροδο των χρόνων οι αγωγοί εμφανίζουν φθορές, κυρίως λόγω διάβρωσης με αυξανόμενη συχνότητα. Έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα πρόβλεψης της αξιοπιστίας των αγωγών μεταφοράς ρευστών με σκοπό την προστασία τους από την διάβρωση καθώς και την ανίχνευση των αδύνατων σημείων ώστε να αντικατασταθούν.

Τα περισσότερα στατιστικά μοντέλα συσχετίζουν την αξιοπιστία των αγωγών με τα χαρακτηριστικά των σωληνώσεων και του περιβάλλοντος.

Τέτοια μοντέλα πρόβλεψης είναι πολύ σημαντικά για την οικονομία μιας χώρας ή μιας εταιρίας που έχει αναλάβει ένα τέτοιο έργο γιατί η επένδυση των χρήματων είναι πάρα πολύ μεγάλη.

Σε τέτοιου είδους στατιστικά μοντέλα λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά των αγωγών και του περιβάλλοντος.

Χαρακτηριστικά αγωγών

- πάχος τοιχωμάτων αγωγών
- διάμετρος αγωγών

- Μήκος αγωγού
- Πίεση λειτουργίας εντός του αγωγού
- Χρόνος ζωής του αγωγού
- προστατευτικό κάλυμμα εδάφους
- επίστρωμα (πίσσα ή πολυαιθυλένιο)

Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά

- συχνότητα της δραστηριότητας κατασκευών
- συχνότητα της αποχέτευσης, τοποθέτησης στύλων, βαθιού οργώματος,
- ποσοστό επί τοις εκατό του αγωγού που βρίσκεται κάτω από τη στάθμη νερού
- ποσοστό επί τοις εκατό του αγωγού που εκτίθεται στην κυμαινόμενη στάθμη νερού
- ποσοστό επί τοις εκατό του αγωγού που εκτίθεται στην ανάπτυξη μεγάλων ριζών
- ποσοστό επί τοις εκατό του αγωγού που εκτίθεται στη χημική μόλυνση
- τύπος εδάφους (άμμος, χώμα, τύρφη)
- τιμή του pH του εδάφους
- ειδική αντίσταση εδάφους
- παρουσία καθοδικής προστασίας
- αριθμός επεμβάσεων επιδιόρθωσης
- συχνότητα της επιθεώρησης των επιδιορθώσεων
- αριθμός κόμβων του συστήματος (bond sites)

Στα μοντέλα υπεισέρχονται πολλοί παράμετροι, τα διαθέσιμα στοιχεία για την αποτυχία πρέπει να αθροίζονται σε μεγάλους πληθυσμούς και οι αποφάσεις συντήρησης να αναφέρονται σε συγκεκριμένα τμήματα αγωγών.

Παράγοντες διάβρωσης

Η πιθανότητα αστοχίας του σωλήνα εξαιτίας της διάβρωσης εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

1. χημική μόλυνση εδάφους
2. τύπος εδάφους (άμμος, χώμα, τύρφη)

3. ειδική αντίσταση εδάφους
4. πάχος σωλήνα
5. υπόγεια στάθμη νερού
6. διάμετρος σωλήνα
7. επιθεώρηση σωλήνα
8. ρεύματα διασποράς
9. ρίζες δέντρων
10. ενέργειες τρίτων
11. επίβλεψη
12. επισκευή
13. οξύτητα
14. ηλικία του σωλήνα

Κατά τη διάβρωση επέρχεται οξείδωση των μετάλλων. Έτσι μεταφέρονται ηλεκτρόνια από την εξωτερική στιβάδα των ατόμων του μετάλλου και μεταφέρονται σε άλλη θέση της δομής του μετάλλου. Για να μειωθεί η διάβρωση εφαρμόζεται ηλεκτρικό πεδίο γύρω από τον αγωγό (καθοδική προστασία).

Για την αποφυγή της διάβρωσης των αγωγών, η κατασκευή τους παρουσιάζει δύο γραμμές προστασίας. Η πρώτη αφορά το επίστρωμα και η δεύτερη το σύστημα προστασίας καθοδικού ρεύματος (διασποράς). Αυτά τα συστήματα προστασίας λειτουργούν από το 1970. (E.J. Bonano, A.L. Camp, M.J. Majors, R.A. Thompson (eds), Elsevier, 2002)

3.3 Τύποι / αιτίες αποτυχίας αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Οι τύποι αποτυχιών που θα μπορούσαν να συμβούν στους αγωγούς πετρελαίου και φυσικού αερίου στις ακόλουθες πέντε κατηγορίες:

Μηχανική: βλάβη που απορρέει είτε από σχεδιασμό είτε από βλάβη υλικού (π.χ. μεταλλουργικό ελάττωμα και ακατάλληλη προδιαγραφή υλικού) ή κατασκευαστικό σφάλμα (π.χ. ελαττωματική συγκόλληση και ανεπαρκής στήριξη). Αυτό περιλαμβάνει επίσης την αποτυχία των συσκευών σφράγισης (φλάντζα, σφράγιση αντλίας, κλπ.).

Λειτουργική: βλάβη οφειλόμενη σε λειτουργικές διαταραχές, δυσλειτουργίες ή ανεπάρκειες των συστημάτων προστασίας (π.χ. οργάνωση και μηχανικό σύστημα ανακούφισης της πίεσης) ή από σφάλματα χειριστή.

Διάβρωση: μια αστοχία που οφείλεται στην εσωτερική ή εξωτερική διάβρωση ενός αγωγού ή ενός εξαρτήματος. Προβλέπεται ξεχωριστή κατηγορία για ρωγμές διάβρωσης λόγω τάσεων.

A) Εξωτερική βλάβη: Πρόκειται για μια ατμοσφαιρική διάβρωση των εξαρτημάτων αγωγού υπεράνω του εδάφους που εκτίθενται στην ατμόσφαιρα. Είναι ένας σπάνιος μηχανισμός αποτυχίας λόγω του αργού ρυθμού του ατμοσφαιρικού μηχανισμού διάβρωσης. Η εξωτερική διάβρωση μπορεί επίσης να συμβεί και ως επιφανειακή διάβρωση σε θαμμένους αγωγούς. Η υποβρύχια διάβρωση είναι πιο επικίνδυνη από την ατμοσφαιρική διάβρωση λόγω του περίπλοκου μηχανισμού. Θα μπορούσε να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση καθοδικής προστασίας και επικάλυψης αγωγών (Muhlbauer, 2004).

B) Εσωτερική βλάβη: Επιτίθεται στην εσωτερική επιφάνεια του αγωγού και είναι λιγότερο σοβαρή από την υποβρύχια διάβρωση αλλά πιο επικίνδυνη από την ατμοσφαιρική διάβρωση. Εξαρτάται συνήθως από το προϊόν που μεταφέρεται από τον αγωγό.

Γ) Σπασίματα πίεσης: προκαλείται από τη συνδυασμένη επίδραση της τάσης εφελκυσμού και του διαβρωτικού περιβάλλοντος.

4) Φυσικός κίνδυνος: μια αστοχία που οφείλεται σε φυσικό φαινόμενο, όπως η μετακίνηση της γης, η πλημμύρα και η αστραπή.

5) Βλάβη λόγω εξωτερικών παραγόντων: μια αποτυχία που απορρέει από μια ενέργεια τρίτου είτε τυχαία είτε σκόπιμη. Περιλαμβάνει επίσης «τυχαία» ζημιά τρίτων, η οποία δεν εντοπίστηκε όταν είχε αρχικά εμφανιστεί, αλλά είχε ως αποτέλεσμα την αποτυχία ορισμένου χρόνου αργότερα.

Η αξιοπιστία είναι ένα μέτρο εκτίμησης του βαθμού επιτυχίας ενός συστήματος που έχει προκαθορισμένη διάρκεια αποστολής και προκαθορισμένες συνθήκες λειτουργίας. Γνωρίζοντας το ποσοστό αξιοπιστίας ενός συστήματος, μπορούμε να προγραμματίσουμε την συντήρησή του με σκοπό να μειωθούν οι μελλοντικές βλάβες και κατά συνέπεια να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος. Η αξιοπιστία ενός συστήματος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος και

του περιβάλλοντός του. Με τη χρήση της στατιστικής και των τεχνικών διαχωριστικής ανάλυσης και ταξινόμησης, μπορούμε να πετύχουμε την ανάλυση που θέλουμε.

3.4 Προηγούμενες προσεγγίσεις - μελέτες της αξιοπιστίας των αγωγών φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Για την εκτίμηση της αξιοπιστίας αγωγών υπάρχουν μέχρι στιγμής κάποιες μελέτες-προσεγγίσεις που έχουν να κάνουν με τον ρυθμό αποτυχίας-αστοχίας των αγωγών, καθώς και την βελτίωση της ασφάλειας. Παρακάτω, θα περιγράψουμε τις προσεγγίσεις de la Mare(1980), Cannon(1985) και Veritec.

Προσέγγιση De la Mare.

Η αναφορά των De la Mare και Anderson (1980) είχε ως στόχο να εκτιμήσει τα χαρακτηριστικά της αξιοπιστίας, στην συγκεκριμένη περίπτωση, για τους πετρελαιαγωγούς της Βορείου Θάλασσας. Παρόλη την έλλειψη διαθέσιμων δεδομένων αποτυχιών, το πεδίο της συγκεκριμένης μελέτης εκτάθηκε ώστε να συμπεριλάβει και άλλα μεγάλα συστήματα πετρελαιαγωγών ανοικτής θαλάσσης από όλο τον κόσμο, όπως την περίπτωση του κόλπου του Μεξικού, με σκοπό να ερευνηθεί αν οι ρυθμοί αποτυχιών παρουσιάζονταν επαρκώς παρεμφερείς με αυτούς των αγωγών της Βορείου Θάλασσας. Ο σκοπός της μελέτης αυτής αφορά τις γραμμές μεταφοράς αργού πετρελαίου, φυσικού αερίου και άλλων προϊόντων πετρελαίου. Η αποτυχία μιας γραμμής μεταφοράς καθοριζόταν ως κάθε γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα την διαρροή του προϊόντος στην γραμμή αυτή. Διαρροές από αγωγούς συγκέντρωσης, σταθμούς άντλησης, βαλβίδες, συστήματα οργάνων καθώς και ζημιές σε γραμμές μεταφοράς που δεν είχε διαρροή δεν συμπεριλήφθηκαν από την μελέτη αυτή, γιατί δεν αποτελούσαν αστοχίες αγωγών όπως αυτές καθορίζονται εδώ. Στην μελέτη de la Mare, οι **ταξινόμηση των αποτυχιών** γίνεται βάσει τεσσάρων θεμελιωδών κατηγοριών αστοχιών:

Κατηγορία A- μηχανική αστοχία: Λόγω κατασκευαστικών ατελειών-στρέβλωση, κόπωση, ελαττώματα υλικού και σφάλματα.

Κατηγορία C - διάβρωση: Λόγω εσωτερικής και εξωτερικής διάβρωσης.

Κατηγορία D- φυσικοί κίνδυνοι: Λόγω ασταθούς και ολισθηρού εδάφους, καταιγίδων, αέρα και πλημμυρών.

Κατηγορία E - τρίτοι παράγοντες: Λόγω σύγκρουσης εκσκαφένων, αγκύρων κλπ.

Λοιπά: Αταξινόμητα αίτια.

Στην μελέτη αυτή λαμβάνουμε υπόψη ότι η συμπεριφορά των αποτυχιών των αγωγών, δεδομένου ότι οι αγωγοί θεωρούνται ισοδύναμες οντότητες, μπορεί να μην είναι η κατάλληλη, αφού όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του αγωγού τόσο μεγαλύτερη είναι και η πιθανότητα αποτυχίας, σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα.

Η εκτιμήτρια του ρυθμού αποτυχιών R, η οποία χρησιμοποιείται συνήθως στην τεχνολογία των αγωγών, έχει καθοριστεί από την ακόλουθη μαθηματική έκφραση:

$$N=Li/T$$

όπου

N: ο αριθμός των αποτυχιών των αγωγών που λαμβάνουν χώρα σε κάποιο καθορισμένο χρονικό διάστημα,

Li: το μήκος του αγωγού που λειτουργεί σ' αυτό το χρονικό διάστημα,

T: ο συνολικός αριθμός αγωγών που λειτουργούν σ' αυτό το χρονικό διάστημα.

Προσέγγιση Cannon

Η μελέτη που δημοσιεύτηκε από τον Cannon (1985) περιέγραφε μια έρευνα αξιοπιστίας για συστήματα αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου που λειτουργούν στον Βρετανικό τομέα της Βορείου Θάλασσας. Η ανάλυση των δεδομένων αφορούσε μόνο τις αποτυχίες των αγωγών οι οποίες και χωρίζονταν σε τρεις κύριες κατηγορίες:

1. Όλα τα αναφερόμενα γεγονότα. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλα τα συμβάντα που απαιτούν λεπτομερή ανάλυση.

2. Γεγονότα που προκαλούν διακοπή λειτουργίας. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει:

- συμβάντα όπου η διακοπή λειτουργίας εμφανίστηκε είτε πριν την εμφάνιση της βλάβης είτε στο στάδιο επισκευής της βλάβης και
- συμβάντα στα οποία συνέβη σοβαρή βλάβη.

Τέλος, μερικά σημαντικά συμπεράσματα της μελέτης του Cannon είναι:

- i. Το κύριο μέρος του ρυθμού αποτυχιών προερχόταν από βλάβες που οφείλονταν σε άγκυρες και δίκτυα,
- ii. Τα δίκτυα αγωγών μήκους έως δύο μίλια είχαν μεγαλύτερο ρυθμό αποτυχιών και
- iii. Οι αγωγοί με μικρότερες διαμέτρους παρουσίασαν μεγαλύτερο ρυθμό αποτυχιών.

Προσέγγιση Veritec

Η μελέτη του Veritec (1984) ασχολήθηκε με ορισμένους σημαντικούς παράγοντες οι οποίοι είχαν ως σκοπό να εξασφαλίσουν την χρήση αγωγών υψηλής χωρητικότητας αλλά και την διαθεσιμότητα μεγάλου μήκους αγωγών με υψηλή λειτουργικότητα. Το έργο επικεντρώθηκε στα παρακάτω σημεία:

- a) οικονομικοί παράγοντες
- β) έννοια της διαθεσιμότητας
- γ) κατηγορίες αποτυχιών των αγωγών και ρυθμοί των αποτυχιών
- δ) σχεδιαστικές μελέτες.

Μια γενική εικόνα των αιτιών και των συχνότητων των αποτυχιών υποβρυχίων και μη αγωγών, οι οποίοι μεταφέρουν αργό πετρέλαιο και φυσικό αέριο, αποτέλεσε μέρος της μελέτης αυτής. Επίσης, διεξήχθη μια ανάλυση των αιτιών των αποτυχιών και ερευνήθηκε εν συντομία η επίδραση διαφόρων παραγόντων όπως η ηλικία του αγωγού, η τοποθεσία, η διάμετρος και το μεταφερόμενο προϊόν, σε σχέση με τον ρυθμό αποτυχιών.

Στην έρευνα αυτή, δόθηκαν οι ακόλουθοι ορισμοί:

Αποτυχία αγωγού: Κάθε τυχαίο γεγονός ή κακή λειτουργία η οποία απαιτεί επισκευή και προκαλεί διακοπή λειτουργίας του αγωγού.

Ρυθμός αποτυχιών: Η συχνότητα των αποτυχιών των αγωγών ανά χρόνο και μονάδα μήκους.

Λειτουργική εμπειρία: Μήκος του αγωγού και χρόνια λειτουργίας.

Οι αποτυχίες των αγωγών ταξινομήθηκαν στις παρακάτω κατηγορίες:

- * Μηχανικές αποτυχίες (δευτερεύων εξοπλισμός όπως βαλβίδες, σύνδεσμοι, φλάντζες, ως αποτέλεσμα κακής λειτουργίας που απαιτούν επισκευή).
- * Αποτυχία γραμμής (ελαττωματικά υλικά, διάβρωση, απουσία προστατευτικού περιβλήματος, σφάλματα συγκολλήσεων).
- * Καταστροφές από άγκυρες ή από δραστηριότητες ψαρέματος (συμβάντα τα οποία είτε προκαλούν άμεση καταστροφή είτε οδηγούν σε μηχανική επιτυχία ή αποτυχία γραμμής).

Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα – ANN (Artificial Neural Networks)

Η τεχνική του τεχνητού νευρωνικού δικτύου (ANN) παρέχει καλές προβλέψεις βάσει των διαθέσιμων ιστορικών δεδομένων. Το ANN μιμείται την ικανότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου να προβλέψει πρότυπα βασισμένα στις διαδικασίες μάθησης και ανάκλησης. Είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο πρόβλεψης λόγω της ικανότητάς του να μαθαίνει από ιστορικά δεδομένα. Οι Sadiq, Kleiner και Rajani (2004) δήλωσαν ότι η ANN είναι μια τεχνική μοντελοποίησης που είναι χρήσιμη για εφαρμογές όπου οι σχέσεις μεταξύ μεταβλητών είναι άγνωστες. Το ANN είναι χρήσιμο για προβλήματα όπου οι λύσεις δεν είναι σαφώς αρθρωμένες ή όπου οι σχέσεις μεταξύ των εισροών και των αποτελεσμάτων δεν είναι επαρκώς προσδιορισμένες. Το ANN αποτελείται από μεγάλο αριθμό τεχνητών νευρώνων που

είναι τυχαία διατεταγμένοι και συνδεδεμένοι σε διαφορετικά στρώματα (εισόδου, κρυφά και εξόδου). (Zayed & Halpin, 2005)

Το μοντέλο ANN αναπτύσσεται χρησιμοποιώντας πακέτο Neuroshell (Ward Systems Group, Inc., 1996). Τα δεδομένα για τους επιλεγμένους παράγοντες χρησιμοποιούνται για την κατάρτιση του ANN προκειμένου να αποκτηθεί ένα πρότυπο αποτυχίας που βασίζεται σε ANN. Τα δεδομένα χωρίζονται σε δύο τυχαία επιλεγμένα σύνολα, δηλαδή στην εκπαίδευση (80%) και στην επικύρωση (20%), τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση και τη δοκιμή του δικτύου, αντίστοιχα. Η εισαγωγή των δεδομένων επικύρωσης εισάγεται στο εκπαιδευμένο μοντέλο προκειμένου να δημιουργηθεί η προβλεπόμενη έξοδος, η οποία στη συνέχεια συγκρίνεται με την πραγματική έξοδο. Εάν είναι κοντά, το μοντέλο είναι έγκυρο και αντίστροφα. Η επιλογή των μεταβλητών εισόδου και εξόδου επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την αρχιτεκτονική ANN. Η επιλογή αυτών των μεταβλητών εξαρτάται από τη φύση του προβλήματος. Κάθε μεταβλητή αντιπροσωπεύεται από έναν τεχνητό νευρώνα στο επίπεδο εισόδου του δικτύου.

Το ANN έχει μόνο έναν νευρώνα εξόδου που αντιπροσωπεύει τον τύπο αστοχίας / αιτία. Επομένως, η αρχιτεκτονική ANN αποτελείται από πέντε νευρώνες στο στρώμα εισόδου και ένα νευρώνα στο στρώμα εξόδου. Το κρυφό επίπεδο βασίζεται στο διαθέσιμο σύνολο δεδομένων του κτιρίου μοντέλου και στη φύση των εξόδων. Χρησιμοποιούνται αρκετές επαναλήψεις για τη δημιουργία του βέλτιστου αριθμού νευρώνων στο κρυμμένο στρώμα (Ahmed Senouci, Mohamed Elabbasy, Emad Elwakil, Bassem Abdrabou & Tarek Zayed, 2013).

Υπολειμματική ανάλυση (Residual analysis)

Με τη μέθοδο αυτή αναλύουμε τα υπολείμματα του μοντέλου και τα πρότυπά τους. Αυτοί οι διαγνωστικοί έλεγχοι, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση των παραδοχών της γραμμικής παλινδρόμησης, περιλαμβάνουν το σφάλμα κανονικότητας, την ομοιότητα και την ανεξαρτησία του σφάλματος. Τα κανονικά διαγράμματα πιθανοτήτων και συχνοτήτων υπολειμμάτων για το αναπτυγμένο

μοντέλο ελέγχονται οπτικά. Η γραφική παράσταση κανονικής πιθανότητας δείχνει ότι οι όροι σφάλματος είναι σχεδόν φυσιολογικοί με μικρή απόκλιση από την κανονικότητα, η οποία δεν δημιουργεί κανένα σοβαρό πρόβλημα. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα θεωρούνται ικανοποιητικά. Τα σημεία αναχώρησης ενδέχεται να είναι υπερβολικά υψηλά. Προκειμένου να ελεγχθεί η πιθανότητα υπερβολικών τιμών και σφαλμάτων σε κανονικά διαγράμματα πιθανότητας, αφαιρούνται ασυνήθιστες παρατηρήσεις. Το μοντέλο, το οποίο ελέγχεται μετά την αφαίρεση των αποδόσεων, δείχνει καλύτερη συσχέτιση. Το αναπτυγμένο μοντέλο κατασκευάζεται λαμβάνοντας υπόψη τα αποθέματα, διότι μερικές φορές τα ακραία αποτελέσματα αντιπροσωπεύουν σημαντικά πρότυπα στα δεδομένα.

Η παραδοχή ότι η μεταβολή γύρω από μια γραμμή παλινδρόμησης είναι σταθερή για όλες τις τιμές του X μπορεί να επαληθευτεί χρησιμοποιώντας τη γραφική παράσταση των υπολειμμάτων έναντι της προσαρμοσμένης τιμής. Επιπλέον, τα σφάλματα γύρω από τη γραμμή παλινδρόμησης θα πρέπει να είναι ανεξάρτητα για κάθε τιμή των προγνωστικών. Εντούτοις, τα υπολείμματα έναντι της σειράς δεδομένων για το εξεταζόμενο μοντέλο έδειξαν θετικά υπολείμματα στις εσωτερικές ζώνες των τιμών X και οι εξωτερικές ζώνες αποτελούσαν σε μεγάλο βαθμό αρνητικά υπολείμματα. Με βάση την παραπάνω στατιστική συζήτηση, το αναπτυγμένο μοντέλο θεωρείται στατιστικά σωστό. (Ahmed Senouci, Mohamed Elabbasy, Emad Elwakil, Bassem Abdrabou & Tarek Zayed, 2013)

Διαχωριστική Ανάλυση και Ταξινόμηση. Βασικές αρχές.

Η ανάλυση της παλινδρόμησης είναι μια στατιστική μεθοδολογία που χρησιμοποιεί τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων ποσοτικών ή ποιοτικών μεταβλητών για την πρόβλεψη εξαρτημένων μεταβλητών από τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Στην απλούστερη μορφή του, το μοντέλο μπορεί να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση (Neter, Kutner, Nachtsheim & Wasserman, 1996):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i, \quad (1)$$

όπου Y_i είναι η τιμή της μεταβλητής απόκρισης στην i -δοκιμή, b_0 και b_1 είναι οι παράμετροι παλινδρόμησης, X_i είναι η τιμή της μεταβλητής πρόβλεψης στην i -δοκιμή και ε_i είναι το τυχαίο σφάλμα. Σε μοντέλα πολλαπλής παλινδρόμησης χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία μεταβλητές για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς της μεταβλητής απόκρισης. Επομένως, η παραπάνω εξίσωση μπορεί να μετασχηματιστεί στην ακόλουθη εξίσωση:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{ip-1} + \varepsilon_i. \quad (2)$$

Η εξίσωση αναμένεται να δώσει μια καλύτερη καμπύλη προσαρμογής και να έχει σφάλματα παραλλαγής λαμβάνοντας υπόψη τις ακόλουθες παραδοχές: (1) τα σφάλματα γύρω από μια παλινδρομική γραμμή είναι ανεξάρτητα για κάθε τιμή της μεταβλητής πρόβλεψης. (2) τα σφάλματα γύρω από μια γραμμή παλινδρόμησης θεωρούνται σταθερά για όλες τις μεταβλητές τιμές και (3) τα σφάλματα γύρω από μια παλινδρομική γραμμή υποτίθεται ότι κανονικά κατανέμονται σε κάθε τιμή του X . (Levine, Stephanm, Krehbiel, Berenson, & Bliss, 2002)

Η μελέτη της αξιοπιστίας των υποθαλάσσιων αγωγών με χρήση της διαχωριστικής ανάλυσης και ταξινόμησης.

Οι τεχνικές αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της αξιοπιστίας των υποθαλάσσιων αγωγών μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου. Παρακάτω, αναφέρουμε τα πλεονεκτήματα της μεταφοράς του φυσικού αερίου μέσω αγωγών και οι σημαντικότερες προσεγγίσεις που έχουν δημοσιευτεί μέχρι τώρα.

Πλεονεκτήματα

- Είναι ο πιο οικονομικός τρόπος μεταφοράς του φυσικού αερίου και πετρελαίου, καθώς αποτελούν την πιο σύντομη διαδρομή από τους τόπους εξόρυξης στα τελικά σημεία διανομής. Το κόστος λειτουργίας είναι χαμηλό και το συνολικό τους κόστος σταθερό διότι δεν επηρεάζεται από την αύξηση της τιμής του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Υψηλό είναι μόνο το κόστος κεφαλαίου. Ακόμη, οι αγωγοί αυτοί δεν έχουν φορολογία για την διακίνηση του φυσικού αερίου, ενώ τα τάνκερ έχουν.

- Οι υπόγειοι αγωγοί δεν επηρεάζονται από ανθρώπινα λάθη και λειτουργούν αυτόματα, χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή.
- Οι υποθαλάσσιοι αγωγοί δεν αποτελούν εμπόδιο για την πλεύση των πλοίων και οι υπόγειοι δεν προκαλούν καταστροφές για το φυσικό περιβάλλον.

Μειονεκτήματα

- Το αρχικό κόστος κεφαλαίου είναι υψηλό, οπότε πρέπει πριν την κατασκευή ενός τέτοιου έργου, να εκτιμηθεί το πλήθος των αγωγών.
- Είναι πολύ μεγάλο το κόστος εάν χρειαστεί να αλλάξει η διαδρομή των αγωγών.
- Η πιθανή άντληση στερεών μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα και δυσλειτουργία των αγωγών.
- Δύσκολος ο εντοπισμός των θέσεων διαρροής κατά μήκος των αγωγών.
- Δύσκολη συντήρηση και έλεγχος των υπόγειων αγωγών.

3.5 Λοιπά λογισμικά και μοντέλα πρόβλεψης της αξιοπιστίας των αγωγών φυσικού αερίου.

Μοντέλο Bayes

Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε προηγούμενα στοιχεία αποτυχίας εγκαταστάσεων και προβλέπει ποσοστά αποτυχίας και ενημερώνει σύγχρονες εγκαταστάσεις ίδιου τύπου. Έχουμε την δυνατότητα να παίρνουμε πληροφορίες σχετικά με τις παραμέτρους που δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε από τα στοιχεία που τις χαρακτηρίζουν.

Μοντέλο Ski

Για να εκτιμηθεί η διάρκεια ζωής των αγωγών πρέπει να μελετηθούν παλιές εγκαταστάσεις με πανομοιότυπες μεταβλητές αποτυχίας. Οι όροι διαφορετικών εγκαταστάσεων που λαμβάνονται υπόψη στην συγκεκριμένη διαδικασία οδηγούν σε διαφορετικό ποσοστό αποτυχίας για κάθε εγκατάσταση.

Λογισμικό Minitab

Με το συγκεκριμένο λογισμικό γίνεται χρήση ενός αλγόριθμου, όπου μελετάται η συσχέτιση δύο μεταβλητών, του ορίου διαρροής (grade) και του προϊόντος μεταφοράς (product). Οι δύο μεταβλητές μελετήθηκαν αρχικά ξεχωριστά ως προς την ακρίβεια και έπειτα σε συνδυασμό.

Αρχικά, γίνεται διαχωρισμός των δεδομένων σε δύο ομάδες: επιτυχίας και αστοχίας. Στην ομάδα της επιτυχίας ανήκουν οι αγωγοί μεταφοράς του αερίου που κατά την διάρκεια εξέτασής τους δεν παρουσίασαν κάποια βλάβη, ενώ στην ομάδα της αποτυχίας ανήκουν οι αγωγοί που παρουσιάζουν τουλάχιστον μια φορά βλάβη, είτε πριν είτε μετά την τοποθέτηση και λειτουργία τους.

Έπειτα επιλέγονται τα χαρακτηριστικά των αγωγών που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση ευαισθησίας ώστε να περιγράφεται με τον βέλτιστο μαθηματικό τρόπο η συμπεριφορά των αγωγών.

Τέλος, με τον συνδυασμό των δυο τεχνικών της διαχωριστικής ανάλυσης και της ταξινόμησης, έγινε η εκτίμηση της πιθανότητας ενός αγωγού, εκ των προτέρων, να ανήκει στην ομάδα των επιτυχιών ή των αποτυχιών, απλώς έχοντας μετρήσει τα χαρακτηριστικά του αγωγού. (E.J. Bonano, A.L. Camp, M.J. Majors, R.A. Thompson (eds),Elsevier, 2002)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ. ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ MINITAB.

4.1 Διαχωριστική ανάλυση.

Για την επίλυση προβλημάτων αξιοπιστίας αγωγών, χρησιμοποιούνται δύο τεχνικές πολυμεταβλητών, η διαχωριστική ανάλυση και η ταξινόμηση. Στην πρώτη τεχνική μελετάμε τα δεδομένα των αγωγών και τα χωρίζουμε σε δύο ομάδες, επιτυχιών και αποτυχιών. Στην ομάδα των επιτυχιών ανήκουν οι αγωγοί οι οποίοι σε όλο το χρονικό διάστημα συλλογής των δεδομένων δεν παρουσίασαν κάποια βλάβη, ενώ στην ομάδα των αποτυχιών ανήκουν οι αγωγοί που παρουσίασαν έστω και μία φορά βλάβη πριν και μετά την τοποθέτηση τους.

Η διαχωριστική συνάρτηση είναι ένας γραμμικός συνδυασμός που αποτελείται από τα βασικά χαρακτηριστικά των στοιχείων ενός πληθυσμού. Στην συγκεκριμένη περίπτωση αποτελείται από χαρακτηριστικά των αγωγών. Σε κάποια μοντέλα πρόβλεψης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και δευτεροβάθμιες εκθετικές ή λογαριθμικές συναρτήσεις.

Όταν ο πληθυσμός μας έχει μεγάλο μέγεθος, επιλέγουμε τα άτομα δειγματοληπτικά.

Τα χαρακτηριστικά των αγωγών μπορεί να είναι είτε συνεχή είτε ασυνεχή. Η γραμμική διαχωριστική ανάλυση εφαρμόζεται σε προβλήματα ανεξαρτήτως του παραπάνω γεγονός, δηλαδή είναι ανεξάρτητη από τις κατανομές των χαρακτηριστικών και αυτό που μας δίνει είναι την συμμετοχή κάθε χαρακτηριστικού στο διαχωρισμό.

Η μορφή της συνάρτησης είναι:

$$Z_m = U_0 + U_1X_{1m} + U_2X_{2m} + \dots + U_iX_{im}$$

Z_m : η τιμή της διαχωριστικής μεταβλητής για τον αγωγό m .

X_{im} : η μέτρηση του i χαρακτηριστικού του ατόμου m .

U_i : ο καλύτερος διαχωριστικός συντελεστής που επιδέχεται το χαρακτηριστικό i έτσι ώστε να προκύψει ο καλύτερος δυνατός διαχωρισμός.

Υπολογίζουμε τα Z_m για κάθε αγωγό m και συγκρίνοντας τη τιμή που θα πάρουμε με το $Z_{score} = 1,439$, διαχωρίζουμε τον πληθυσμό σε δύο ομάδες αποτυχιών και επιτυχιών. Προφανώς, ο σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι να διαχωρίσει τις δύο κατανομές πυκνότητας πιθανότητας όσο το δυνατόν καλύτερα. Ο καλύτερος διαχωρισμός επιτυγχάνεται στην περίπτωση που οι κατανομές αυτές δεν επικαλύπτονται. Στην περίπτωση της επικάλυψης, ο διαχωρισμός δεν είναι τέλειος γιατί τα άτομα που έχουν τιμή Z που βρίσκεται στην περιοχή επικάλυψης δεν διαχωρίζονται σωστά.

Σκοπός της διαχωριστικής ανάλυσης είναι η εύρεση των χαρακτηριστικών X_i και των συντελεστών U_i , οι οποίοι κάνουν τον καλύτερο διαχωρισμό του προβλήματος σε δύο ομάδες.

Τα στάδια της μεθόδου είναι τα εξής:

1. Επιλέγουμε αντιπροσωπευτικά δείγματα ατόμων- αγωγών από τις δύο ομάδες.
2. Γνωρίζουμε τις τιμές X_i των χαρακτηριστικών i όλων των ατόμων.

Για κάθε αγωγό οι τιμές X_i είναι απλές ή ομαδοποιημένες μεταβλητές, όπως το μήκος, η διάμετρος, το πάχος του αγωγού, η πίεση λειτουργίας, η τάση διαρροής καθώς και οι ομαδοποιημένες μεταβλητές DIM1, DIM2, DIM3, DIM4, DIM5.

Simple	Symbol	Units	Joint		Units/comments
Length	L	Km	DIM1	$[Grade/0.1(Pressure)]$	dimensionless/is a safety coefficient
Diameter	D	inches	DIM2	$[100(Length)] / [2.54(Diameter)]$	dimensionless/is a magnitude measure
Wall thickness	TH	inches	DIM3	$[1000(Thickness)/(Diameter)]$	dimensionless/how important TH is
Operating pressure	OP	bar	DIM4	$[100(\sigma_L)(\sigma_E)(0.1^2)/(Grade)^2]$	dimensionless/combines three pipe parameters
Grade	GR	N/mm ²	DIM5	$2.54 \pi 10^{-5} (Diameter)(Length)(Lifetime)$	[m ² .months]/is the product of the pipe surface times its lifetime
Product	PR				
Lifetime	LT	Months			

Πίνακας 3: Απλές και ομαδοποιημένες μεταβλητές του μοντέλου.

4. Υπολογισμός των συντελεστών U_i .

Οι συντελεστές U_i προσδιορίζουν την βαρύτητα του κάθε χαρακτηριστικού στο διαχωρισμό των ομάδων. Εκφράζουν τη διαχωριστική ισχύ κάθε χαρακτηριστικού.

Έτσι, μπορεί να προκύψουν χαρακτηριστικά χωρίς διαχωριστική ισχύ εάν ο αντίστοιχος συντελεστής είναι πολύ μικρός και αντίθετα χαρακτηριστικά με μεγάλη διαχωριστική ισχύ εάν ο συντελεστής είναι πολύ μεγάλος.

5. Υπολογισμός της μεταβλητής Z.

Με κριτήριο το Zscore ίσο με 1,439, οι αγωγοί που εμφανίζουν Z μεγαλύτερο του Zscore ανήκουν στην ομάδα των αποτυχιών, ενώ με μικρότερο ανήκουν στην ομάδα των επιτυχιών.

Από την ανάλυση των δύο προηγούμενων βάσεων αποτυχιών και επιτυχιών που έχουμε ως δεδομένα, δημιουργούμε έναν πίνακα που παρουσιάζονται τα εξής στοιχεία από τις μετρήσεις που πήραμε: για κάθε χαρακτηριστικό αγωγού υπολογίζουμε την συνολική **μέση τιμή, τυπική απόκλιση, την μέγιστη και ελάχιστη τιμή** του.

	ΜΗΚΟΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΑΧΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	50,4291667	0,13312429	0,003633574	0,669975907	0,385239512
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	65,5851299	8,80691848	0,165536316	32,6445504	52,36089934
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	452	36	1	255	221
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	1	3	0,079	18	0

Πίνακας 4: Μέσος όρος, τυπική απόκλιση, μέγιστη τιμή και ελάχιστη τιμή αγωγών.

Βάσει του παραπάνω πίνακα και της γραμμικής διαχωριστικής συνάρτησης υπολογίζεται το Zscore.

Η τιμή της διαχωριστικής μεταβλητής διαφέρει για κάθε άτομο- αγωγό, επειδή κάθε άτομο παρουσιάζει διαφορετικά Χi.

6. Υπολογισμός ποσοστών ταξινόμησης.

Ο όρος N_{ij} συμβολίζει τον αριθμό των αγωγών που ανήκουν στην πραγματικότητα στην ομάδα i και ταξινομούνται στην ομάδα j, οπότε έχουμε έναν πίνακα 2x2.

		Predicted Group		
		1	2	
Actual	Group 1	N_{11}	N_{12}	N_1
	Group 2	N_{21}	N_{22}	N_2
		N_1	N_2	

Πίνακας 2x2 αγωγών που ανήκουν πραγματικά στην ομάδα επιτυχιών και αποτυχιών.

Όπου N_1 ο αριθμός των αγωγών που πραγματικά ανήκουν στην ομάδα των αποτυχιών, N_{11} ο αριθμός των αποτυχιών από την πρόβλεψη του μοντέλου και N_{12} ο αριθμός των επιτυχιών από την πρόβλεψη του μοντέλου. Αντίστοιχα και τα N_2 , N_{21} και N_{22} .

Παρακάτω υπολογίζονται τα ποσοστά σωστής ταξινόμησης για την ομάδα αποτυχιών, επιτυχιών και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης για όλο τον πληθυσμό.

$$\begin{aligned}\text{Effectiveness 1 (EF}_1\text{)} &= N_{11}/N_1 * 100\% \\ \text{Effectiveness 2 (EF}_2\text{)} &= N_{22}/N_2 * 100\% \\ \text{Effectiveness Total (Ef}_t\text{)} &= (N_{11}+N_{22})/N * 100\%\end{aligned}$$

4.2 Δυαδική λογιστική παλινδρόμηση.

Η λογιστική παλινδρόμηση (Logistic regression) αποτελεί ένα μοντέλο ταξινόμησης των τιμών μιας μεταβλητής απόκρισης Y με βάση τη θεωρία των πιθανοτήτων. Στο μοντέλο αυτό όπου η μεταβλητή Y συνήθως έχει δυαδικό χαρακτήρα (λαμβάνει δύο τιμές αποτυχία ή επιτυχία αγωγού) στοχεύεται η πρόβλεψη της έκβασης αυτής από ένα πλήθος μεταβλητών του αγωγού.

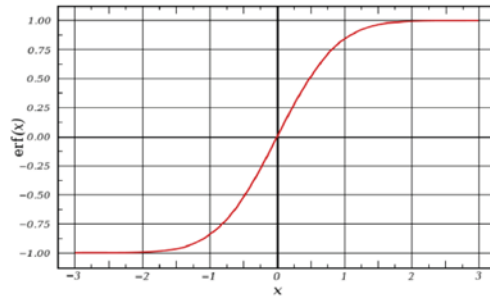
Η σημαντικότερη διαφοροποίηση μεταξύ λογιστικής και γραμμικής παλινδρόμησης βασίζεται στη φύση της επιλεγμένης μεταβλητής απόκρισης, η οποία στην μεν πρώτη μπορεί να είναι κατηγορική, στη δε δεύτερη αποκλειστικά ποσοτική.

Η δυαδική λογιστική παλινδρόμηση δίνει ως αποτέλεσμα δύο εκβάσεις, όπως ναι/όχι, σωστό/λάθος, αποτυχία/επιτυχία.

Η λογιστική παλινδρόμηση επινοήθηκε ως εναλλακτική επιλογή της γραμμικής διακριτικής ανάλυσης για την ταξινόμηση των στοιχείων της εξαρτημένης, με ευρεία απήχηση σε πολλά διαφορετικά επιστημονικά πεδία και κυρίως στην ιατρική, τις κοινωνικές επιστήμες και τη μηχανική.

Ανάπτυξη του μοντέλου

Η συνάρτηση της δυαδικής λογιστικής παλινδρόμησης έχει σιγμοειδή μορφή όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 4: μορφή συνάρτησης δυαδικής λογιστικής παλινδρόμησης.

Η δυαδική λογιστική παλινδρόμηση αποτελεί μια διωνυμική εξίσωση στην οποία η μεταβλητή απόκρισης Y είναι το τυχαίο αποτέλεσμα εμφάνισης μιας από δύο δυνητικές εκβάσεις του τύπου επιτυχία ή αποτυχία.

Η δίτιμη λογιστική παλινδρόμηση έχει τη μορφή:

$$f(z) = \frac{e^z}{1+e^z} = \frac{1}{1+e^{-z}}$$

όπου z είναι η μεταβλητή εισόδου και $f(z)$ το αποτέλεσμα αυτής. Στα πλεονεκτήματα της εξίσωσης συγκαταλέγεται και το γεγονός ότι η μεταβλητή εισόδου λαμβάνει θετικές και αρνητικές τιμές ενώ το αποτέλεσμα αυτής $f(z)$ περιορίζεται σε εύρος τιμών μεταξύ 0 και 1. Αναλυτικότερα, η μεταβλητή z εκπροσωπεί τη δράση μιας ομάδας ανεξάρτητων μεταβλητών ενώ η $f(z)$ προσδιορίζει την πιθανότητα ενός συγκεκριμένου αποτελέσματος λόγω της δράσης της ομάδας αυτής. Η μεταβλητή z (λογιστική) εκφράζει επίσης το μέτρο της ολικής συνεισφοράς όλων των συμμετεχουσών ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο και ορίζεται ως:

$$z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

όπου β_0 είναι το ύψος της κλίσης της γραμμής παλινδρόμησης και ισούται με την τιμή z όταν οι τιμές όλων των ανεξάρτητων μεταβλητών ισούνται με 0, ενώ β_i είναι οι

συντελεστές παλινδρόμησης καθένας των οποίων εκφράζει το μέγεθος συνεισφοράς της αντίστοιχης μεταβλητής.

- ✓ Η σημασία του προσήμου στους συντελεστές της διαχωριστικής συνάρτησης σχετίζεται κάθε φορά με τον τρόπο που επηρεάζει το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό την τιμή της διαχωριστικής μεταβλητής. Έτσι ο αρνητικό συντελεστής ενός χαρακτηριστικού X δηλώνει ότι η αύξηση της τιμής του χαρακτηριστικού αυτού έχει ως συνέπεια την μείωση της τιμής της μεταβλητής Z και επομένως αυξάνεται η πιθανότητα ταξινόμησης του αγωγού στην ομάδα των επιτυχιών και αντίστροφα.
- ✓ Υψηλή τιμή του συντελεστή σημαίνει ότι η ανεξάρτητη μεταβλητή επηρεάζει πολύ ισχυρά την πιθανότητα να συμβεί το γεγονός ή μη, ενώ χαμηλή τιμή δηλώνει μικρή επίδραση της ανεξάρτητης μεταβλητής στην πιθανότητα εμφάνισης της ανάλογης έκβασης.

Με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης μπορούμε να υπολογίσουμε σημαντικούς στατιστικούς δείκτες:

- Την τυπική απόκλιση και τον μέσο όρο και το κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής
- Την σταθμισμένη τυπική απόκλιση και τον σταθμισμένο μέσο όρο κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής
- Το χ^2 τεστ κάθε μεταβλητής

Είναι το σταθμισμένο άθροισμα τετραγώνων των διακυμάνσεων Pearson και ελέγχει αν δύο μεταβλητές συσχετίζονται.

- Το p-value κάθε μεταβλητής

Εκφράζει πόσο στατιστικά σημαντική είναι κάθε μεταβλητή στο αποτέλεσμα. Για να προσδιορίσουμε εάν η σχέση μεταξύ της απόκρισης και κάθε όρου στο μοντέλο είναι στατιστικά σημαντική, συγκρίνουμε την τιμή p για τον όρο με το επίπεδο σημαντικότητας για να αξιολογήσετε την μηδενική υπόθεση. **Η μηδενική υπόθεση είναι ότι ο συντελεστής του όρου είναι ίσος με το μηδέν, πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχει σχέση μεταξύ του όρου και της απόκρισης.** Συνήθως, ένα επίπεδο σπουδαιότητας (δηλ. α ή α) των 0,05 λειτουργεί καλά. Ένα επίπεδο

σημαντικότητας 0,05 δείχνει κίνδυνο 5% να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι υπάρχει σύνδεση όταν δεν υπάρχει πραγματική σύνδεση.

Εάν η τιμή p είναι μικρότερη ή ίση με το επίπεδο σημαντικότητας, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ της μεταβλητής απόκρισης και του όρου.

- Τον συντελεστή προσδιορισμού R^2

Ο συντελεστή προσδιορισμού R^2 ο οποίος εκφράζει το ποσοστό της ολικής μεταβλητότητας του Z σε συνάρτηση με τις ανεξάρτητες μεταβλητές x_1, x_2, \dots

- Τον συντελεστή μερικής συσχέτισης Coef

Ο συντελεστής (coefficient) της κάθε μεταβλητής αντιπροσωπεύει την εκτιμώμενη αλλαγή στον λόγο $\log[P(\text{success})/P(\text{failure})]$ όταν η μεταβλητή αυξάνει κατά μία μονάδα με τις υπόλοιπες μεταβλητές να μένουν σταθερές.

Αφορά τη μέτρηση του μεγέθους της σχέσης μεταξύ του αποτελέσματος Z και μιας ανεξάρτητης μεταβλητής, θεωρώντας τις άλλες σταθερές.

- Τον συντελεστή SE Coef

Το τυπικό σφάλμα του συντελεστή υπολογίζει τη μεταβλητότητα μεταξύ των εκτιμήσεων συντελεστών που θα αποκτούσατε αν πήρατε ξανά και ξανά δείγματα από τον ίδιο πληθυσμό. Όσο μικρότερο είναι το τυπικό σφάλμα, τόσο πιο ακριβής είναι η εκτίμηση.

- Τον δείκτη VIF

Ο συντελεστής πληθωρισμού διακύμανσης (VIF) υποδεικνύει πόσο διογκώνεται η διακύμανση ενός συντελεστή λόγω των συσχετισμών μεταξύ των προγνωστικών στο μοντέλο. Κατάσταση του προγνωστικού

1. $VIF = 1$ Δεν συσχετίζεται η μεταβλητή με την απόκριση
2. $1 < VIF < 5$ Μέτρια συσχέτιση μεταβλητής και αποτελέσματος
3. $VIF > 5$ Πολύ συσχετισμένη η μεταβλητή με το αποτέλεσμα

- Τον δείκτη Odds και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% CI

Είναι ένας δείκτης που εκφράζει την πιθανότητα επιτυχίας προς την πιθανότητα αποτυχίας κάθε παράγοντα.

Όταν $OR=1$ δεν παρατηρείται πρόκληση αιτίου στην έκβαση ενός αποτελέσματος (πυρετός)

Όταν $OR > 1$ η πρόκληση του αιτίου σχετίζεται με υψηλή πιθανότητα να συμβεί ευνοϊκό αποτέλεσμα

Όταν $OR < 1$ η πρόκληση του αιτίου σχετίζεται με χαμηλή πιθανότητα εμφάνισης της ευνοϊκής έκβασης.

- Resid – τα υπολείμματα

Ένα υπόλειμμα (e_i) είναι η διαφορά μεταξύ μιας παρατηρούμενης τιμής (y) και της αντίστοιχης προσαρμοσμένης τιμής, (\hat{Y}), η οποία είναι η τιμή που προβλέπεται από το μοντέλο.

Η εξέταση των υπολειμμάτων μπορεί να παράσχει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με το πόσο καλά προσαρμόζεται το μοντέλο στα δεδομένα. Γενικά, τα υπολείμματα πρέπει να κατανέμονται τυχαία χωρίς προφανή πρότυπα και χωρίς ασυνήθιστες τιμές.

- Std Resid

Το τυποποιημένο υπόλοιπο ισούται με την τιμή ενός υπολειμματικού (e_i) διαιρούμενο με εκτίμηση της τυπικής απόκλισης.

- Τον δείκτη Somers' D

Ο δείκτης Somers' D συγκρίνει τις προβλέψεις των μοντέλων. Υψηλότερες τιμές υποδεικνύουν καλύτερη απόδοση πρόβλεψης. Για παράδειγμα, αν το 75% των ζευγών είναι σύμφωνο και το 25% είναι ασύμφωνο, τότε το Somers' D είναι 0,5.

- Τον δείκτη Goodman-Kruskal Gamma

Συγκρίνει παρόμοια με τον δείκτη Somers' D

- Τον δείκτη Kendall's Tau-a

Ο δείκτης Tau-a του Kendall χρησιμοποιείται για τη σύγκριση της πρόβλεψης των μοντέλων.

4.3 Χρήση του στατιστικού πακέτου Minitab Release 2019 για πρόβλεψη αξιοπιστίας αγωγών.

Παρακάτω αναπτύχθηκε ένα μοντέλο πρόβλεψης αξιοπιστίας 168 αγωγών μεταφοράς πετρελαίου στην Βόρεια Θάλασσα. Τα στοιχεία πάρθηκαν από την διδακτορική διατριβή του κ. Ι. Μπακούρου "Offshore Pipeline Prediction" (1988) (Παράρτημα Α).

Στο κεφάλαιο 4.3.1 παρουσιάζεται η διαχωριστική ανάλυση του προβλήματος, δηλαδή θα παρουσιαστεί το ποσοστό των πραγματικών δεδομένων που ταυτίζονται με το μοντέλο. Δίνονται ως αποτελέσματα τα ποσοστά σωστής ταξινόμησης, η βαρύτητα των συντελεστών U_i , δηλαδή ποια χαρακτηριστικά του αγωγού επηρεάζουν περισσότερο το μοντέλο και οι εσφαλμένες παρατηρήσεις του μοντέλου (Misclassified Observations).

Στο κεφάλαιο 4.3.2 παρουσιάζεται η μέθοδος της δυαδικής λογιστικής παλινδρόμησης με την οποία παίρνουμε ως αποτέλεσμα διάφορα χρήσιμα για τη μελέτη μας στατιστικά μεγέθη.

4.3.1. Διαχωριστική Ανάλυση.

Στο minitab ακολουθήσαμε τα εξής βήματα :Stat→ Multivariate→ Discriminant Analysis

Η διαχωριστική ανάλυση είναι μια παραμετρική τεχνική για τον **προσδιορισμό των βαρών των ποσοτικών μεταβλητών** ή των προγνωστικών που χρησιμοποιούνται για την διάκριση μεταξύ 2 ή περισσότερων από 2 ομάδων. Η ανάλυση δημιουργεί μια διαχωριστική συνάρτηση που είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των σταθμίσεων και των βαθμολογιών αυτών των μεταβλητών.

Ο μέγιστος αριθμός συναρτήσεων είναι είτε ο αριθμός των προγνωστικών μεταβλητών είτε ο αριθμός των ομάδων μείον ένα, όποια από τις δύο αυτές τιμές είναι μικρότερη. Η διαχωριστική ανάλυση διασπάται σε μια διαδικασία δύο σταδίων: (1) τη δοκιμαστική σημασία ενός συνόλου διακριτικών λειτουργιών και (2) ταξινόμηση. Το πρώτο βήμα είναι ταυτόσημα υπολογιστικά με τη MANOVA. Υπάρχει ένας πίνακας συνολικών αποκλίσεων και συνδιακυμάνσεων. ομοίως, υπάρχει ένας πίνακας συγκεντρωτικών διακυμάνσεων εντός της ομάδας και των συνδιακυμάνσεων. Οι δύο πίνακες συγκρίνονται μέσω πολυπαραγοντικών δοκιμών F προκειμένου να προσδιοριστεί εάν υπάρχουν ή όχι σημαντικές διαφορές (σε σχέση με όλες τις μεταβλητές) μεταξύ των ομάδων. Ο πρώτος εκτελεί τη δοκιμή πολλαπλών μεταβλητών και, εάν είναι στατιστικά σημαντικός, προχωράει να δει ποιες από τις μεταβλητές είναι σημαντικά διαφορετικές μέσα στις ομάδες. Μόλις διαπιστωθεί ότι

τα μέσα ομάδας διαφέρουν στατιστικά σημαντικά, γίνεται ταξινόμηση των μεταβλητών. Η διαχωριστική ανάλυση καθορίζει αυτόματα κάποιον βέλτιστο συνδυασμό μεταβλητών, έτσι ώστε η πρώτη συνάρτηση να παρέχει τη μεγαλύτερη συνολική διάκριση μεταξύ των ομάδων, η δεύτερη να παρέχει τη δεύτερη μεγαλύτερη και ούτω καθεξής. Επιπλέον, οι συναρτήσεις θα είναι ανεξάρτητες ή ορθογώνιες, δηλαδή, οι συνεισφορές τους στις διακρίσεις μεταξύ των ομάδων δεν θα επικαλύπτονται. Υπολογιστικά, εκτελείται μια κανονική ανάλυση συσχέτισης που θα καθορίσει τις διαδοχικές συναρτήσεις ρίζες. Η ταξινόμηση είναι επομένως δυνατή από τις κανονικές συναρτήσεις. Τα άτομα ταξινομούνται στις ομάδες στις οποίες είχαν τις υψηλότερες βαθμολογίες ταξινόμησης.

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε η διαχωριστική ανάλυση με σκοπό τον διαχωρισμό των επιτυχιών (S) και αποτυχιών (F) από μετρήσεις που αφορούν το μήκος, τη διάμετρο, το πάχος, την πίεση, το χρόνο ζωής και την τάση διαρροής. Τα αποτελέσματα δίνονται παρακάτω. Από την ανάλυση προέκυψε ότι οι δύο διαχωριστικές συναρτήσεις είναι οι:

$$Z_{mf} = -50.055 - 0.229 * \text{length} + 1.66 * \text{diameter} - 21.689 * \text{thickness} + 0.269 * \text{op.pressure} + 0.009 * \text{lifetime} + 0.381 * \text{DIM1} + 0.156 * \text{DIM2} + 0.741 * \text{DIM3} + 0.5 * \text{DIM4} - 0.302 * \text{DIM5}$$

$$Z_{ms} = -51.867 - 0.225 * \text{length} + 1.952 * \text{diameter} - 30.234 * \text{thickness} + 0.269 * \text{op.pressure} + 0.08 * \text{lifetime} + 0.328 * \text{DIM1} + 0.169 * \text{DIM2} + 0.835 * \text{DIM3} + 0.233 * \text{DIM4} - 0.295 * \text{DIM5}$$

Απλές μεταβλητές

Length= μήκος, diameter=διάμετρος, thickness= πάχος, op. pressure= πίεση λειτουργίας, lifetime=χρόνος ζωής

Ομαδοποιημένες μεταβλητές

DIM1= τάση διαρροής/ (0.1* πίεση λειτουργίας)

$$\text{DIM2} = \text{μήκος} / (2.54 * \text{διάμετρος}) * 100$$

$$\text{DIM3} = (\text{πάχος} / \text{διάμετρος}) * 1000$$

$$\text{DIM4} = (((\text{πίεση λειτουργίας}^2) * (\text{διάμετρος}^2) * (0.1^2)) / (8 * (\text{πάχος}^2) * (\text{τάση διαρροής}^2))) * 100$$

$$\text{DIM5} = ((2.54 * 0.01 * 3.14) / 1000) * \text{διάμετρος} * \text{μήκος} * \text{χρόνος ζωής}$$

Discriminant Analysis: OMAΔA versus Length (km); ... M3; DIM4; DIM5

Linear Method for Response: OMAΔA

Predictors: Length (km); Diameter (in); Thickness (in); Op. Pressure (bar); LIFE TIME; DIM1; DIM2; DIM3; DIM4; DIM5

Groups

Group	F	S
Count	59	109

Summary of Classification – ποσοστά σωστής ταξινόμησης

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η διαχωριστική ανάλυση επιτυγχάνει σωστή ταξινόμηση στις 58 από τις 59 περιπτώσεις αποτυχίας (F) που ισοδυναμεί με ποσοστό σωστής ταξινόμησης 98.3%.

Παρόμοια, η διαχωριστική ανάλυση επιτυγχάνει σωστή ταξινόμηση στις 96 από τις 109 περιπτώσεις επιτυχίας (S) που ισοδυναμεί με ποσοστό σωστής ταξινόμησης 88.1%.

Συνολικά η διαχωριστική ανάλυση επιτυγχάνει σωστή ταξινόμηση στις 154 από τις 168 περιπτώσεις που ισοδυναμεί με **ποσοστό σωστής ταξινόμησης 91.7%** (πίνακας ταξινόμησης).

Τα επιμέρους ποσοστά σωστής ταξινόμησης και το συνολικό ποσοστό ταξινόμησης είναι αρκετά υψηλά, αυτό σημαίνει ότι το προγνωστικό μοντέλο είναι πάρα πολύ ικανοποιητικό. Συγκεκριμένα το 0.917 που βλέπουμε στον παρακάτω

πίνακα δηλώνει ότι έχουμε ταύτιση πραγματικών και προβλεπόμενων δεδομένων εννιά στις δέκα περιπτώσεις.

Put into Group	True Group	
	F	S
F	58	13
S	1	96
Total N	59	109
N correct	58	96
Proportion	0,983	0,881

Correct Classifications

N	Correct	Proportion
168	154	0,917

Από τον πίνακα των συντελεστών U_f και U_s (Linear Discriminant Function for Groups) προκύπτει ότι **οι μεταβλητές που συνεισφέρουν περισσότερο στο διαχωρισμό είναι το πάχος και η διάμετρος** καθώς έχουν την υψηλότερη τιμή στους συντελεστές U_f και U_s και στις δύο συναρτήσεις.

Επιπρόσθετα, η ανάλυση μας δίνει τις **μέσες τιμές** και τις **τυπικές αποκλίσεις** για τις δύο ομάδες (επιτυχίες και αποτυχίες).

Squared Distance Between Groups: Τετραγωνική απόσταση μεταξύ των ομάδων

	F	S
F	0,00000	6,83859
S	6,83859	0,00000

Linear Discriminant Function for Groups : πίνακας των συντελεστών Uf και Us

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε ότι το πάχος του αγωγού επηρεάζει πολύ περισσότερο σε σχέση με τις άλλες μεταβλητές τους συντελεστές Zf και Zs, η τιμή των συντελεστών πάχους είναι κατά πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με την τιμή των άλλων συντελεστών.

Linear Discriminant Function for Groups

	F	S
Constant	-50,055	-51,867
Length (km)	-0,229	-0,252
Diameter (in)	1,660	1,952
Thickness (in)	-21,689	-30,234
Op. Pressure (bar)	0,269	0,269
LIFE TIME	0,009	0,080
DIM1	0,381	0,328
DIM2	0,156	0,169
DIM3	0,741	0,835
DIM4	0,500	0,233
DIM5	-0,302	-0,295

Group Means : μέσες τιμές των ομάδων F και S

Variable	Pooled Mean	Means for Group	
		F	S
Length (km)	50,429	71,724	38,903
Diameter (in)	22,365	23,881	21,544
Thickness (in)	0,61044	0,62253	0,60390
Op. Pressure (bar)	112,56	124,83	105,91
LIFE TIME	64,720	15,102	91,578
DIM1	41,830	35,610	45,197
DIM2	78,993	96,738	69,388

DIM3	30,589	27,216	32,415
DIM4	13,574	17,314	11,550
DIM5	6,2782	2,7761	8,1738

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις αυξομειώσεις των χαρακτηριστικών των αγωγών.

Group Standard Deviations : τυπικές αποκλίσεις των ομάδων F και S

Variable	Pooled StDev	StDev for Group	
		F	S
Length (km)	63,87	84,94	48,93
Diameter (in)	8,762	8,654	8,819
Thickness (in)	0,1658	0,1865	0,1535
Op. Pressure (bar)	31,46	23,85	34,87
LIFE TIME	37,54	22,23	43,60
DIM1	24,52	12,28	29,04
DIM2	80,13	95,46	70,53
DIM3	12,92	6,83	15,22
DIM4	7,812	6,743	8,329
DIM5	11,65	5,15	13,94

Pooled Covariance Matrix : σ^2 διακύμανση

	Length (km)	Diamete r (in)	Thickn ess (in)	Op. Pressu re (bar)	LIFE TIME	DIM1	DIM2	DIM3
Length (km)	4078,9							
Diameter (in)	301,9	76,8						
Thickness (in)	4,5	1,1	0,0					
Op. Pressure (bar)	388,4	2,4	1,1	989,6				

LIFE TIME	153,4	77,5	0,2	-186,5	1409,5			
DIM1	-169,9	12,2	-0,4	-559,4	231,4	601,4		
DIM2	4735,3	206,6	3,1	447,1	51,0	-224,1	6420,6	
DIM3	-201,2	-71,8	-0,1	96,3	-141,0	-54,8	-107,7	167,0
DIM4	207,4	37,1	0,2	123,7	63,5	-83,0	173,8	-52,1
DIM5	436,0	49,4	0,6	69,3	198,3	-12,8	461,4	-45,5

DIM4 DIM5

Length (km)		
Diameter (in)		
Thickness (in)		
Op. Pressure (bar)		
LIFE TIME		
DIM1		
DIM2		
DIM3		
DIM4	61,0	
DIM5	42,1	135,7

Covariance matrix for Group F : πίνακας συν διακύμανσης για την ομάδα των αποτυχιών

	Length (km)	Diameter (in)	Thickne ss (in)	Op. Pressu re (bar)	LIFE TIME	DIM1	DIM2
Length (km)	7215,61						
Diameter (in)	543,23	74,90					
Thickness (in)	9,00	1,36	0,03				
Op. Pressure (bar)	310,45	53,45	1,25	568,59			
LIFE TIME	105,23	1,27	0,15	-79,67	494,23		
DIM1	-171,41	-29,88	-0,61	-	7,52	150,87	
				266,70			

DIM2	7871,13	522,38	8,44	169,19	274,34	-	9112,94
						134,78	
DIM3	-215,26	-27,90	0,03	-39,39	11,53	21,97	-
							210,04
DIM4	273,06	31,34	0,27	96,29	-9,51	-	257,90
						53,02	
DIM5	209,39	19,89	0,34	7,58	69,60	-7,29	247,94

DIM3 DIM4 DIM5

Length (km)

Diameter (in)

Thickness (in)

Op. Pressure (bar)

LIFE TIME

DIM1

DIM2

DIM3 46,59

DIM4 -30,89 45,47

DIM5 -7,91 7,80 26,55

Covariance matrix for Group S : πίνακας συνδιακύμανσης για την ομάδα των επιτυχιών

	Length (km)	Diameter (in)	Thickness (in)	Op. Pressu re (bar)	LIFE TIME	DIM1	DIM2
Length (km)	2394,39						
Diameter (in)	172,23	77,77					
Thickness (in)	2,12	0,91	0,02				
Op. Pressure (bar)	430,25	-24,96	1,02	1215,62			
LIFE TIME	179,33	118,41	0,27	-	1901,01		
				243,92			
DIM1	-169,09	34,73	-0,31	-	351,59	843,40	
				716,66			

DIM2	3051,19	37,06	0,19	596,36	-68,97	-	4974,272,14	66
DIM3	-193,59	-95,33	-0,15	169,24	-222,99	-	-52,6796,04	
DIM4	172,19	40,15	0,23	138,43	102,74	-	128,599,14	7
DIM5	557,77	65,30	0,77	102,44	267,48	-	576,015,76	1

	DIM3	DIM4	DIM5
Length (km)			
Diameter (in)			
Thickness (in)			
Op. Pressure (bar)			
LIFE TIME			
DIM1			
DIM2			
DIM3	231,59		
DIM4	-63,48	69,38	
DIM5	-65,68	60,52	194,37

Summary of Misclassified Observations : περίληψη εσφαλμένων παρατηρήσεων

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε συγκεκριμένους αγωγούς του μοντέλου που τα πραγματικά αποτελέσματα δεν ταυτίζονται με την πρόβλεψη του μοντέλου. Αυτό συμβαίνει όταν η τιμή του Z ενός αγωγού βρίσκεται στην κοινή περιοχή των καμπυλών αποτυχίας και επιτυχίας. Για παράδειγμα, ο αγωγός 47 στην πραγματικότητα ανήκει στην ομάδα των αποτυχιών αλλά το μοντέλο μας έδωσε ως αποτέλεσμα ότι ανήκει στην ομάδα των επιτυχιών. Η πιθανότητα να ανήκει στην ομάδα των αποτυχιών είναι 0,001 και αντίστοιχα η πιθανότητα να ανήκει στην ομάδα των επιτυχιών είναι 0.999.

Αναλυτικά βλέπουμε παρακάτω ποιες παρατηρήσεις, η ανάλυση τις πήγε σε λάθος ταξινόμηση.

Summary of Misclassified Observations

Observation	True Group	Pred Group	Group	Squared Distance	Probability
47**	F	S	F	20,622	0,001
			S	7,521	0,999
113**	S	F	F	6,332	0,958
			S	12,594	0,042
119**	S	F	F	17,05	0,746
			S	19,20	0,254
120**	S	F	F	2,130	0,741
			S	4,231	0,259
122**	S	F	F	17,55	0,869
			S	21,33	0,131
125**	S	F	F	13,40	0,501
			S	13,41	0,499
134**	S	F	F	14,10	0,799
			S	16,86	0,201
137**	S	F	F	7,757	0,820
			S	10,796	0,180
139**	S	F	F	6,101	0,551
			S	6,509	0,449
141**	S	F	F	2,628	0,637
			S	3,756	0,363
148**	S	F	F	2,155	0,673
			S	3,594	0,327
150**	S	F	F	2,552	0,683
			S	4,087	0,317
158**	S	F	F	38,60	0,621
			S	39,59	0,379
163**	S	F	F	4,524	0,843
			S	7,883	0,157

4.3.2. Λογιστική παλινδρόμηση.

Στο minitab ακολουθήσαμε τα εξής βήματα: Stat→ Regression→ Binary Logistic Regression

Η λογιστική παλινδρόμηση είναι μία άλλη μέθοδος κατάταξης υψηλότερης προβλεπτικής ικανότητας. Η δυαδική λογιστική παλινδρόμηση είναι ένα προγνωστικό μοντέλο που προσαρμόζεται όταν υπάρχει μια διχοτομημένη / δυαδική εξαρτώμενη μεταβλητή όπως στην περίπτωση αυτή όπου ο ερευνητής ενδιαφέρεται για το αν υπήρξε επιτυχία ή όχι. Τα αποτελέσματα της λογιστικής παλινδρόμησης δίνονται στη συνέχεια. Η συνάρτηση λογιστικής παλινδρόμησης είναι η:

$$Z = -5,22 - 0,0468 \text{ Length (km)} + 0,607 \text{ Diameter (in)} - 15,30 \text{ Thickness (in)} + 0,0132 \text{ Op. Pressure (bar)} + 0,0986 \text{ LIFE TIME} - 0,0717 \text{ DIM1} + 0,0293 \text{ DIM2} + 0,150 \text{ DIM3} - 0,393 \text{ DIM4} - 0,0550 \text{ DIM5}$$

Βάζοντας τα στοιχεία ενός αγωγού στην παραπάνω εξίσωση, παίρνουμε μία τιμή και μπορούμε να την συγκρίνουμε με το Zscore το οποίο ισούται με 1,439. Στην περίπτωση που το Z είναι μεγαλύτερο του Zscore, τότε ο αγωγός ανήκει στην ομάδα των αποτυχιών, ενώ είναι μικρότερο ανήκει στην ομάδα των επιτυχιών.

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη ενός νέου αγωγού βάζοντας τις τιμές των χαρακτηριστικών του και να προβλέψουμε έτσι σε ποια ομάδα θα ανήκει.

Από την ανάλυση των συντελεστών των μεταβλητών προκύπτει ότι σημαντικοί προβλεπτικοί παράγοντες της επιτυχίας είναι η διάμετρος ($u_i=6.860$, $p=0.009<0.05$), το πάχος ($u_i=3.712$, $p=0.054<0.10$), η διάρκεια ζωής ($u_i=51.230$, $p=0.000<0.05$), η DIM3 ($u_i=4.330$, $p=0.037<0.05$) και η DIM4 ($u_i=7.777$, $p=0.005<0.05$). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η λογιστική παλινδρόμηση επιτυγχάνει σωστή ταξινόμηση στο 97.4% των περιπτώσεων.

Binary Logistic Regression: ΟΜΑΔΑ versus Length (km); ... IM4; DIM5

Στον πίνακα αποκλίσεων (deviance table) βλέπουμε το επίπεδο σημαντικότητας των χαρακτηριστικών και ως όριο επιλέξαμε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Τα χαρακτηριστικά που έχουν p-value μικρότερη του 0.05 είναι σημαντικοί δείκτες πρόβλεψης, δηλώνουν δηλαδή ένα στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα.

Method

Link function Logit

Rows used 168

Response Information

Variable	Value	Count
ΟΜΑΔΑ	S	109 (Event)
	F	59
	Total	168

Deviance Table – πίνακας αποκλίσεων

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	10	158,251	15,8251	158,25	0,000
Length (km)	1	2,531	2,5314	2,53	0,112
Diameter (in)	1	6,860	6,8596	6,86	0,009
Thickness (in)	1	3,712	3,7117	3,71	0,054
Op. Pressure (bar)	1	0,129	0,1286	0,13	0,720
LIFE TIME	1	51,230	51,2298	51,23	0,000
DIM1	1	1,315	1,3153	1,32	0,251
DIM2	1	2,897	2,8972	2,90	0,089
DIM3	1	4,330	4,3303	4,33	0,037
DIM4	1	7,777	7,7775	7,78	0,005
DIM5	1	0,309	0,3087	0,31	0,579
Error	157	59,537	0,3792		
Total	167	217,789			

Βλέπουμε τον **συντελεστή προσδιορισμού R^2** ο οποίος εκφράζει το ποσοστό της ολικής μεταβλητότητας του Z σε συνάρτηση με τις ανεξάρτητες μεταβλητές χ_1, χ_2, \dots

Model Summary

Deviance R-Sq	Deviance R-Sq(adj)	AIC
72,66%	68,07%	81,54

Coefficients : συντελεστές

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-5,22	7,87	
Length (km)	-0,0468	0,0313	31,80
Diameter (in)	0,607	0,292	45,11
Thickness (in)	-15,30	9,71	16,08
Op. Pressure (bar)	0,0132	0,0382	8,15
LIFE TIME	0,0986	0,0217	2,28
DIM1	-0,0717	0,0606	5,47
DIM2	0,0293	0,0185	20,84
DIM3	0,150	0,106	8,19
DIM4	-0,393	0,164	13,40
DIM5	-0,0550	0,0896	4,68

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Length (km)	0,9543	(0,8974; 1,0147)
Diameter (in)	1,8347	(1,0358; 3,2499)
Thickness (in)	0,0000	(0,0000; 41,4801)
Op. Pressure (bar)	1,0133	(0,9401; 1,0921)
LIFE TIME	1,1036	(1,0576; 1,1516)
DIM1	0,9308	(0,8265; 1,0483)
DIM2	1,0298	(0,9932; 1,0677)
DIM3	1,1613	(0,9432; 1,4299)
DIM4	0,6748	(0,4894; 0,9303)

DIM5 0,9465 (0,7940; 1,1282)

Regression Equation

$$P(S) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = -5,22 - 0,0468 \text{ Length (km)} + 0,607 \text{ Diameter (in)} - 15,30 \text{ Thickness (in)} \\ + 0,0132 \text{ Op. Pressure (bar)} + 0,0986 \text{ LIFE TIME} - 0,0717 \text{ DIM1} \\ + 0,0293 \text{ DIM2} + 0,150 \text{ DIM3} \\ - 0,393 \text{ DIM4} - 0,0550 \text{ DIM5}$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	157	59,54	1,000
Pearson	157	20016,72	0,000
Hosmer-Lemeshow	8	363,83	0,000

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
1	0,000	0,166	-0,603	-0,70	X
2	0,000	0,180	-0,629	-1,00	X
28	0,000	0,356	-0,938	-1,06	X
43	0,000	0,851	-1,951	-2,11	R
47	0,000	1,000	-4,450	-4,45	R
55	0,000	0,291	-0,830	-1,07	X
81	1,000	0,955	0,303	0,35	X
82	1,000	0,955	0,304	0,35	X
93	1,000	0,870	0,527	0,62	X
113	1,000	0,043	2,506	2,61	R
119	1,000	0,837	0,596	0,67	X
122	1,000	0,659	0,913	1,13	X
125	1,000	0,784	0,698	0,83	X
134	1,000	0,824	0,621	0,72	X
137	1,000	0,646	0,935	1,07	X
143	1,000	0,797	0,674	0,80	X
149	1,000	0,898	0,464	0,52	X
158	1,000	0,794	0,680	1,13	X
160	1,000	0,941	0,349	0,39	X

R Large residual

X Unusual X

Measures of Association

Pairs	Number	Percent	Summary Measures	Value
Concordant	6262	97,4	Somers' D	0,95
Discordant	122	1,9	Goodman-Kruskal Gamma	0,96
Ties	47	0,7	Kendall's Tau-a	0,44
Total	6431	100,0		

Association is between the response variable and predicted probabilities

Οι τιμές των Somer's D, Goodman-Kruskal gamma, Kendall's Tau-a είναι περιλήψεις του πίνακα των σύμφωνων και ασύμφωνων ζευγαριών. Αυτές οι τιμές συνήθως κυμαίνονται μεταξύ του 0 και του 1 και οι μεγαλύτερες τιμές δείχνουν ότι το μοντέλο έχει καλύτερη προβλεπτική ικανότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.

Σε γενικά πλαίσια, ο σκοπός της εργασίας ήταν να μελετήσει τη χρησιμότητα της εφαρμογής πολυμεταβλητών στατιστικών τεχνικών της διαχωριστικής ανάλυσης και της δυαδικής λογιστικής παλινδρόμησης με χρήση απλών και ομαδοποιημένων μεταβλητών, στην πρόβλεψη της αξιοπιστίας ενός συστήματος υποθαλάσσιων αγωγών μεταφοράς πετρελαίου στην Βόρεια Θάλασσα. Η μελέτη έγινε με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου MINITAB.

Την καλύτερη κατάταξη αγωγών με μεγαλύτερη πιθανότητα να αποτύχουν την έδωσε η διαχωριστική ανάλυση. Με τη μέθοδο αυτή δόθηκαν τα ποσοστά σωστής ταξινόμησης, οι συντελεστές των χαρακτηριστικών με την μεγαλύτερη βαρύτητα και οι εσφαλμένες παρατηρήσεις των αγωγών.

Επειδή η παρούσα μελέτη αφορά ένα μοντέλο πρόβλεψης αστοχίας υποθαλάσσιων αγωγών, θα μπορούσε στο μέλλον, ανάλογα τη διαθεσιμότητα των στοιχείων, να εξετάσουμε εάν η μέθοδος αυτή θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε σύστημα χερσαίων αγωγών για την πρόβλεψη της αξιοπιστίας του καθώς να εφαρμοστεί και σε άλλα μηχανικά συστήματα.

Προτείνεται να υπάρξει επικοινωνία του Πανεπιστημίου με την Εταιρία κατασκευής του ΤΑΠ, έτσι ώστε να αποκτήσει πρόσβαση στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σε μελλοντικό χρόνο με σκοπό την πρόβλεψη βλαβών του δικτύου του. Απαιτείται βέβαια αρκετός χρόνος ώστε να επιτευχθεί μια τέτοια συνεργασία.

Ελληνική βιβλιογραφία

Σκλαβούνος, Ρ. (2010). Χρήσεις Φυσικού Αερίου και Εξοικονόμηση Ενέργειας. Καβάλα: Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών.

Δημόπουλος, Δ. (2008). Ανάλυση Δεδομένων Αξιοπιστίας για Αγωγούς Μεταφοράς Αερίου. Κοζάνη.

Γουργούλης, Α. (2010). Ο Στρατιωτικός Ρόλος του Πετρελαίου στην Οικονομία της Ελλάδος. Μεσολόγγι: Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας.

Τζαγάκης, Ε. (2017). Η Αγορά Αργού Πετρελαίου και Παράγοντες που την Επηρεάζουν. Ηράκλειο: Σχολή Διοίκησης και Παράγοντες που την Επηρεάζουν.

Αβραμίδου, Ε. (2013). Θαλάσσιες Γεωτρήσεις και Συστήματα Σταθεροποίησης. Καβάλα: Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών.

Αποκρεμιάτη, Κ. (2009). Το Φυσικό Αέριο στην Ελλάδα: Βασικός Σχεδιασμός και Ανάλυση Παραμέτρων. Χανιά: Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος.

Γιασιδίης, Ν. (2014). Ο Ρόλος του Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου στην Ελληνική και Ευρωπαϊκή Οικονομία: Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας.

Εφημερίδα < ΤΑ ΝΕΑ > (2018). Πόλεμος στη Μεσόγειο! Οι αγωγοί Φυσικού Αερίου Βάζουν Φωτιά στη Γειτονιά μας.

www.snelsonco.com. Αξιοπιστία Φυσικού Αερίου.

www.depa.gr. Οφέλη από τη Χρήση Φυσικού Αερίου.

Αγγλική βιβλιογραφία

Basalo C. (1992). Water and Gas Mains Corrosion, Degradation and Protection, Ellis Horwood, New York.

Bushman J.B. and Mehalick T.E. (1989). Statistical Analysis of Soil Characteristics to Predict Mean Time to Corrosion Failure of Underground Metallic Structures Effects of Soil Characteristics on Corrosion ASTM STP 1013.

Camitz G. and Vinka T.G. (1989). Corrosion of Steel and Metal-Coated Steel in Swedish Soils Effects of Soil Parameters Effects of Soil Characteristics on Corrosion ASTM STP 1013.

Cooke R. (1991). Experts in Uncertainty, Oxford University Press, Oxford, UK.

Cooke R.M. and Jager E. (1998). A Probabilistic Model for the Failure Frequency of Underground Gas Pipelines. Risk Analysis 18:4, 511-527.

Cooke R.M. (1995). UNICORN, Methods and Code for Uncertainty Analysis, AEA Technology, The SRD Association, Thomson House, Risely, Warrington, Cheshire, UK.

Chaker V. and Palmer J.D. (eds) (1989). Effects of Soil Characteristics on Corrosion ASTM STP 1013.

Geervliet S. (1994). Modelling van de Faalkans van Ondergronds Transportleidingen, Report for Two Year Post Graduate Program, Department of Mathematics and Informatics, performed under contract with the Netherlands Gasunie, Delft University of Technology, Delft.

Hopkins P., Corder I. and Corbin P. (1992). The resistance of gas transmission pipelines to mechanical damage, European Pipeline Research Group.

Kiefner J.F., Vieth P.H. and Feder P.I. (1990). Methods for Prioritizing Pipeline Maintenance and Rehabilitation, American Gas Association, Washington.

Ahammed, M. (1998). Probabilistic estimation of remaining life of a pipeline in the presence of active corrosion defects. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 75(4), 321–329.

Al-Barqawi, H., & Zayed, T. (2008). Sustainable infrastructure management: Performance of water main. ASCE Journal of Infrastructure Systems, 14(4), 305–318.

Bersani, C., Citro, L., Gagliardi, R.V., Sacile, R., & Tomasoni, A. M. (2010). Accident occurrence evaluation in the pipeline transport dangerous goods. Chemical Engineering Transactions, 19, 249–254.

Bertolini, M., & Bevilacqua, N. (2006). Methodology and theory oil pipeline cause analysis a classification tree approach. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 12(2), 186–198.

Davis, P.M., Dubois, J., Gambardella, F., & Uhlig, F. (2010). Performance of European cross-country oil pipelines: Statistical summary of reported spillages in 2008 and since 1971.

R.M. Cooke, E. J. (2002). Reliability Model For Underground Gas Pipelines. Delft, Netherlands.

Roberts. (2006). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1467-6486.2006.00618.x>.

Senouci, A., Elabbasy, M., Elwakil, E., Abdrabou, B., & Zayed, T. (2013, jan). A Model for Predicting Failure of Oil Pipelines. Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance.

Bakouros Y., “Offshore Pipeline Prediction”, PhD Thesis, Bradford Univ. (1988)

Παράρτημα Α

Pipeline Number	Frequency (N)	Length (km)	Diameter (in)	Thickness (in)	Grade (N/mm ²)	Op. Pressure (bar)	Product	Life time	F-S
6	1	80,00	16	0,438	414	60	0,1	0	F
7	1	13,00	10	0,625	317	39	4	25	F
19	2	123,00	34	0,719	414	114	4	44	F
19		123,00	34	0,719	414	114	4	12	F
21	1	113,00	34	0,719	414	114	4	40	F
24	2	148,00	36	0,875	414	132	5,9	19	F
		148,00	36	0,875	414	132	5,9	31	F
26	2	3,00	26	1	414	170	5,9	12	F
		3,00	26	1	414	170	5,9	15	F
36	1	1,70	10	0,25	414	105	4	0	F
38	3	35,00	30	0,75	414	120	4	0	F
		35,00	30	0,75	414	120	4	0	F
		35,00	30	0,75	414	120	4	0	F
39	1	452,00	36	0,867	414	148	0,1	0	F
42	6	12,00	16	0,375	414	140	4	0	F
		12,00	16	0,375	414	140	4	0	F
		12,00	16	0,375	414	140	4	0	F
		12,00	16	0,375	414	140	4	0	F
		12,00	16	0,375	414	140	4	0	F
		12,00	16	0,375	414	140	4	24	F
44	5	150,00	36	0,867	414	135	4	0	F
		150,00	36	0,867	414	135	4	0	F
		150,00	36	0,867	414	135	4	9	F
		150,00	36	0,867	414	135	4	10	F
		150,00	36	0,867	414	135	4	13	F
47	1	35,00	24	0,625	480	135	4	0	F
48	2	179,00	32	0,75	480	135	4	27	F
		179,00	32	0,75	480	135	4	40	F
53	1	170,00	36	0,75	480	135	4	0	F
55	1	2,00	24	0,625	480	135	4	12	F
56	3	200,00	30	0,75	414	135	4	20	F
		200,00	30	0,75	414	135	4	23	F
		200,00	30	0,75	414	135	4	43	F
59	1	22,00	24	0,625	414	135	4	0	F
60	6	11,00	16	0,438	480	135	4	0	F
		11,00	16	0,438	480	135	4	4	F
		11,00	16	0,438	480	135	4	26	F
		11,00	16	0,438	480	135	4	19	F
		11,00	16	0,438	480	135	4	0	F
		11,00	16	0,438	480	135	4	0	F

62	2	15,00	20	0,625	359	120	5,9	27	F
		15,00	20	0,625	359	120	5,9	11	F
64	1	40,00	30	0,688	359	120	5,9	77	F
70	3	29,00	16	0,5	359	120	5,9	3	F
		29,00	16	0,5	359	120	5,9	24	F
		29,00	16	0,5	359	120	5,9	48	F
72	1	67,00	16	0,5	359	110	5,9	131	F
81	4	16,00	16	0,625	415,7	125	5,9	0	F
		16,00	16	0,625	415,7	125	5,9	5	F
		16,00	16	0,625	415,7	125	5,9	10	F
		16,00	16	0,625	415,7	125	5,9	10	F
82	2	178,00	36	0,75	414	120	5,9	0	F
		178,00	36	0,75	414	120	5,9	0	F
100	2	3,00	16	0,406	414	50	4	12	F
		3,00	16	0,406	414	50	4	34	F
102	1	4,00	28	0,688	414	116	5,9	0	F
134	1	110,00	20	0,406	415,7	116	5,9	0	F
135	1	79,00	25	0,63	415,7	116	0,1	10	F
275	1	1,00	12	0,33	414	149	0,1	21	F
2	1	13,0	18,0	0,500	359,0	58	4	92	S
3	1	13,0	24,0	0,562	359,0	58	5,9	92	S
4	1	7,5	18,0	0,500	359,0	58	4	92	S
5	1	7,5	24,0	0,562	359,0	58	5,9	92	S
8	1	13,0	12,0	0,625	317,0	62	5,9	84	S
9	1	6,0	24,0	0,562	359,0	61	4	89	S
10	1	6,0	30,0	0,625	359,0	61	5,9	89	S
11	1	18,0	24,0	0,562	359,0	61	4	89	S
12	1	18,0	30,0	0,625	359,0	61	5,9	89	S
13	1	12,0	12,0	0,375	359,0	48	4	102	S
14	1	12,0	14,0	0,438	359,0	61	5,9	102	S
15	1	8,0	24,0	0,562	414,0	67	0,1	109	S
16	1	2,5	20,0	0,500	359,0	50	0,1	152	S
17	1	2,0	18,0	0,438	359,0	54	0,1	152	S
18	1	2,0	22,0	0,562	359,0	52	0,1	152	S
20	1	111,0	34,0	0,719	414,0	114	4	151	S
22	1	148,0	36,0	0,875	414,0	132	5,9	132	S
23	1	142,0	36,0	0,875	414,0	132	5,9	132	S
25	1	3,0	26,0	1,000	414,0	170	5,9	107	S
27	1	33,0	26,0	1,000	414,0	170	5,9	107	S
28	1	11,0	24,0	0,623	414,0	79,4	5,9	107	S
29	1	188,0	32,0	0,750	480,0	148	5,9	107	S
30	1	188,5	32,0	0,750	480,0	148	5,9	107	S
31	1	174,0	32,0	0,750	480,0	148	5,9	107	S
32	1	174,0	32,0	0,750	480,0	148	5,9	107	S
33	1	2,2	36,0	0,875	414,0	51	4	85	S
34	1	2,2	36,0	0,875	414,0	51	4	55	S

35	1	48,8	12,0	0,661	414,0	87,5	4	140	S
37	1	48,8	25,8	0,661	414,0	87,5	0,1	128	S
40	1	40,5	16,0	0,500	414,0	134	5,9	56	S
41	1	48,5	25,0	0,655	414,0	89	4	68	S
43	1	35,0	16,0	0,375	414,0	106	5,9	103	S
45	1	10,0	20,0	0,469	414,0	135	4	84	S
46	1	12,0	10,0	0,250	480,0	149	5,9	84	S
49	1	35,0	16,0	0,406	414,0	135	4	99	S
50	1	15,0	8,0	0,604	480,0	149	5,9	92	S
51	1	38,9	21,5	0,604	407,7	106	4	127	S
52	1	16,0	16,0	0,406	480,0	135	4	75	S
54	1	17,0	10,0	0,750	359,0	149	5,9	84	S
57	1	56,0	18,0	0,438	480,0	120	5,9	107	S
58	1	19,0	18,0	0,438	480,0	120	5,9	71	S
61	1	2,2	16,0	0,438	480,0	106	4	106	S
63	1	32,0	30,0	0,688	359,0	120	5,9	163	S
65	1	56,0	30,0	0,688	359,0	120	5,9	221	S
66	1	61,0	30,0	0,625	359,0	108	5,9	207	S
67	1	64,0	30,0	0,688	359,0	120	5,9	197	S
68	1	58,0	30,0	0,688	359,0	120	5,9	163	S
69	1	8,0	30,0	0,688	359,0	120	5,9	199	S
71	1	138,0	28,0	0,562	359,0	120	5,9	174	S
73	1	38,9	21,5	0,604	407,7	106	4	63	S
74	1	27,0	10,0	0,604	407,7	106	4	63	S
75	1	38,9	21,5	0,604	407,7	106	4	68	S
76	1	38,9	21,5	0,604	407,7	106	4	68	S
77	1	218,0	30,0	0,736	414,0	138	4	39	S
78	1	25,0	36,0	0,750	480,0	100	5,9	106	S
79	1	38,9	36,0	0,750	480,0	100	5,9	130	S
80	1	116,0	36,0	0,750	480,0	100	5,9	109	S
83	1	61,0	24,0	0,562	480,0	106	5,9	99	S
84	1	68,0	16,0	0,604	480,0	106	4	91	S
85	1	38,0	36,0	0,604	407,7	106	5,9	59	S
86	1	19,0	24,0	0,604	407,7	106	5,9	31	S
87	1	71,0	24,0	0,562	480,0	120	5,9	59	S
88	1	32,0	36,0	0,604	407,7	106	5,9	47	S
89	1	2,0	18,0	0,604	407,7	106	5,9	47	S
90	1	51,0	12,0	0,604	407,7	106	4	47	S
91	1	121,0	30,0	1,000	480,0	135	4	47	S
92	1	6,0	12,0	0,604	407,7	106	4	92	S
93	1	13,0	20,0	0,500	480,0	106	4	54	S
94	1	38,9	16,0	0,604	407,7	106	5,9	92	S
95	1	92,0	24,0	0,604	407,7	106	4	47	S
96	1	38,9	20,0	0,604	407,7	106	5,9	51	S
97	1	9,0	8,0	0,604	407,7	106	5,9	51	S
98	1	2,6	8,0	0,604	407,7	148	5,9	42	S

99	1	3,5	16,0	0,406	414,0	50	4	127	S
101	1	2,4	36,0	0,867	414,0	148	5,9	56	S
103	1	3,0	36,0	0,867	414,0	106	5,9	120	S
104	1	4,4	24,0	0,562	414,0	120	4	121	S
105	1	4,4	30,0	0,750	414,0	148	5,9	56	S
106	1	4,2	20,0	0,625	414,0	120	4	121	S
107	1	4,2	24,0	0,750	414,0	148	5,9	56	S
108	1	15,0	16,0	0,406	407,7	106	5,9	92	S
109	1	22,0	20,0	0,604	407,7	106	5,9	31	S
110	1	2,2	36,0	0,875	414,0	106	4	92	S
111	1	34,0	20,0	0,625	359,0	45	4	51	S
112	1	34,0	20,0	0,625	359,0	90	5,9	51	S
113	1	38,9	30,0	0,625	414,0	18	4	186	S
114	1	38,9	30,0	0,625	414,0	18	4	186	S
115	1	38,9	21,5	0,604	407,7	106	4	58	S
116	1	38,9	21,5	0,604	407,7	106	4	31	S
117	1	11,0	10,0	0,604	407,7	106	5,9	31	S
118	1	11,0	21,5	0,604	407,7	106	0,1	31	S
119	1	3,0	14,0	0,604	407,7	106	5,9	31	S
120	1	3,0	6,0	0,500	407,7	106	0,1	31	S
121	1	11,0	6,0	0,500	407,7	255	0,1	49	S
122	1	35,0	12,0	0,604	407,7	106	5,9	31	S
123	1	16,0	14,0	0,604	407,7	106	5,9	31	S
124	1	1,6	12,0	0,604	407,7	106	0,1	68	S
125	1	16,0	8,0	0,604	407,7	106	0,1	31	S
126	1	217,0	20,0	0,500	414,0	105	4	31	S
127	1	5,9	6,0	0,244	253,0	133	5,9	103	S
128	1	4,0	10,0	0,394	253,0	133	5,9	103	S
129	1	31,0	24,0	0,545	415,7	120	5,9	108	S
130	1	10,0	16,0	0,604	407,7	106	5,9	79	S
131	1	85,0	24,0	0,456	407,7	100	5,9	43	S
132	1	22,0	12,0	0,571	415,7	135	5,9	115	S
133	1	38,9	20,0	0,604	407,7	106	4	55	S
136	1	16,0	4,0	0,213	415,7	135	0,1	115	S
137	1	16,0	3,0	0,079	415,7	52	0,1	115	S
138	1	16,0	12,0	0,571	415,7	135	5,9	115	S