

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και
Συγκοινωνιακής Υποδομής



Διερεύνηση θεμάτων δικτύων μεταφοράς φυσικού αερίου στην Ευρώπη



Διπλωματική εργασία του

Παναγιώτη Σωτηρόπουλου

Επιβλέπων: Μπαλλής Αθανάσιος
Αναπληρωτής καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2017

Διερεύνηση θεμάτων δικτύων μεταφοράς φυσικού αερίου στην

Ευρώπη

Παναγιώτης Σωτηρόπουλος

Περίληψη

Η ζήτηση φυσικού αερίου συνεχίζει να αυξάνεται με τη πάροδο των χρόνων και η τροφοδοσία της Ευρώπης βασίζεται σε περιορισμένο αριθμό πηγών, με κύρια αυτή της Ρωσίας. Το γεγονός ότι υπάρχει έλλειψη αξιόπιστων και μελλοντικά σταθερών επιλογών τροφοδοσίας της, δημιουργεί πρόβλημα στην ενεργειακή της ασφάλεια. Η παρούσα διπλωματική εργασία, παρουσιάζει την ανάπτυξη ενός μοντέλου που προσομοιάζει τη λειτουργία του υφιστάμενου δικτύου αγωγών τροφοδοσίας της Ευρώπης με φυσικό αέριο, χρησιμοποιώντας τα προγράμματα ArcGIS και TransCAD, αναλύοντας τις διαδρομές του από τα κοιτάσματα παραγωγής στις χώρες κατανάλωσης. Το μοντέλο που παρουσιάζεται εξετάζει και συγκρίνει σενάρια ενεργειακής ασφάλειας που έχουν να κάνουν με την προσφορά και τη ζήτηση φυσικού αερίου και εξάγονται συμπεράσματα για τις σχέσεις ενεργειακής εξάρτησης της Ευρώπης με τις χώρες παραγωγής. Τέλος, το μοντέλο προσομοιάζει τη λειτουργία του δικτύου φυσικού αερίου τροφοδοσίας της Ευρώπης που θα προκύψει μετά από την κατασκευή νέων αγωγών, εξετάζοντας τις νέες διαδρομές φυσικού αερίου που θα μπορούν να την τροφοδοτήσουν, διαφοροποιώντας έτσι τις ενεργειακές της πηγές.

Examination of issues concerning the natural gas pipeline network in

Europe

Panos Sotiropoulos

Abstract

There is a number of reasons to suggest that rising demand of gas will continue and the present gas supply to Europe depends on too few sources, basically of Russia supply. The lack of reliable and sustainable access to energy is a clear threat to European security. This thesis presents a model projection of the natural gas pipeline network system that supplies Europe, using ArcGIS and TransCAD programs examining the existing import patterns in Europe's gas consumers' countries. The model presented, describes natural gas demand-supply scenarios in order to analyze projections on increasing European external energy dependence and vulnerability. Comparison among different scenarios constitutes the basis of a critical review of existing energy security policies, suggesting alternative or complementary future actions. Moreover the model projects the construction of new pipelines into the current natural gas network, examining different optional routes of supplying Europe, diversifying its energy sources.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.	Εισαγωγή	1
1.1	Η ενέργεια στο σύγχρονο κόσμο	1
1.2	Φυσικό και υγροποιημένο αέριο	2
1.3	Μεταφορά φυσικού και υγροποιημένου αερίου	6
1.4	Σκοπός και στόχος της εργασίας	12
1.5	Δομή της εργασίας	12
2.	Βιβλιογραφική επισκόπηση	14
3.	Δίκτυα φυσικού αερίου στην Ευρώπη	22
3.1	Τεχνικά στοιχεία συστημάτων μεταφοράς φυσικού αερίου	22
3.2	Υφιστάμενο δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου στην Ευρώπη	24
3.2.1	Αγωγοί φυσικού αερίου από τη Ρωσία	26
3.2.2	Αγωγοί φυσικού αερίου από χώρες της Μέσης Ανατολής	43
3.2.3	Αγωγοί φυσικού αερίου από τη Βόρεια Θάλασσα	55
3.2.4	Αγωγοί φυσικού αερίου από την Αφρική	68
3.2.5	Στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης φυσικού αερίου	75
4.	Ανάπτυξη υπολογιστικού μοντέλου αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου στην Ευρώπη	78
4.1	Μεθοδολογική προσέγγιση	78
4.2	Υπολογιστικά εργαλεία	80
4.2.1	Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ArcGIS	80
4.2.2	Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών TransCAD	81
4.3	Λεπτομερής περιγραφή δομής μοντέλου	82
4.3.1	Περιγραφή Δικτύου σε περιβάλλον ArcGIS	82
4.3.2	Εισαγωγή του δικτύου ArcGIS στο λογισμικό TransCAD	93
4.4	Ανάπτυξη και επίλυση σεναρίων ενεργειακής ασφάλειας	104
4.4.1	Σενάριο μείωσης τροφοδοσίας της Ευρώπης από τη Ρωσία	104
4.4.2	Σενάριο αναβάθμισης υφιστάμενου δικτύου με υπό κατασκευή αγωγούς	110
5	Συμπεράσματα	117
6	Εισήγηση για περαιτέρω διερεύνηση	118
	Βιβλιογραφία	119

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 Κατανομή ενέργειας σε διάφορους τομείς δραστηριοτήτων. Πηγή: [1].....	1
Σχήμα 2 Συμμετοχή διαφόρων καυσίμων στη παγκόσμια κατανάλωση το 2015. Πηγή: [2] ...	2
Σχήμα 3 Παραγωγή φυσικού αερίου ανά χώρα σε παγκόσμιο επίπεδο σε m ³ . Πηγή: [4].....	4
Σχήμα 4 Οι οδοί του διεθνούς εμπορίου φυσικού αερίου το 2013 σε δισεκατομμύρια m ³ /έτος . Πηγή: [3]	7
Σχήμα 5 Ροή διεργασιών κατά τη μεταφορά υγροποιημένου αερίου. Πηγή: [7]	8
Σχήμα 6 Συγκριτικός Πίνακας κόστους-απόστασης μεταφοράς για είδη αγωγών. Πηγή: [6].	9
Σχήμα 7 Συγκριτικός Πίνακας κόστους – διαδρομής μεταφοράς φυσικού αερίου μέσω διαφόρων τύπων αγωγών και LNG μέσω πλοίων για μεταφορά 30 bcm. Πηγή: [8]	10
Σχήμα 8 Δυνατότητες μεταφοράς αγωγών. Πηγή: [22].....	23
Σχήμα 9 Λεπτομερής χάρτης αγωγών φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Πηγή: [23].....	25
Σχήμα 10 Κύριες λεκάνες παραγωγής φυσικού αερίου στη Ρωσία. Πηγή: [24]	26
Σχήμα 11 Κύριοι αγωγοί τροφοδοσίας Ευρώπης με προέλευση τη Ρωσία. Πηγή: [25].....	27
Σχήμα 12 Αγωγός Turkish Stream (υπό κατασκευή) και South Stream (ακυρωμένος). Πηγή: [26]	28
Σχήμα 13 Ο αγωγός φυσικού αερίου Yamal-Europe. Πηγή: [28]	30
Σχήμα 14 Η διαδρομή του Nord Stream και Nord Stream 2. Πηγή: [35].....	33
Σχήμα 15 Ο σταθμός συμπίεσης της Portovaya. Πηγή: [35].....	34
Σχήμα 16 Θέση αγωγού Blue Stream. Πηγή: [37]	37
Σχήμα 17 Απεικόνιση διαδρομής Blue Stream. Πηγή: [39]	39
Σχήμα 18 Θέση του αγωγού Turkstream. Πηγή: [41]	40
Σχήμα 19 Εσωτερικές και εξωτερικές επικαλύψεις αγωγού. Πηγή: [42]	42
Σχήμα 20 Σκάφος πόντισης σωλήνων. Πηγή: [42]	42
Σχήμα 21 Αγωγοί φυσικού αερίου Μέσης Ανατολής. Πηγή: [43][44].....	44
Σχήμα 22 Αγωγοί του Southern Gas Corridor. Πηγή: [45]	45
Σχήμα 23 Συνδετήριο αγωγός (ITGI). Πηγή: [47].....	46
Σχήμα 24 Ο αγωγός South Caucasus	49
Σχήμα 25 Ο αγωγός Tabriz Ankara. Πηγή: [50]	50
Σχήμα 26 Ο αγωγός TANAP. Πηγή: [52]	51
Σχήμα 27 Η διαδρομή του TAP. Πηγή: [54].....	53
Σχήμα 28 Κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου στη Βόρεια Θάλασσα. Πηγή: [55]	55
Σχήμα 29 Παραγωγές φυσικού αερίου Νορβηγίας και Αγγλίας (1970-2015) σε δισεκ. κυβικά μέτρα. Πηγή: [55]	56
Σχήμα 30 Το Νορβηγικό δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου στη Βόρεια Θάλασσα. Πηγή: [56]	57
Σχήμα 31 Ο αγωγός φυσικού αερίου Fulmar.....	60
Σχήμα 32 Το σύστημα αγωγών CATS. Πηγή: [58].....	61
Σχήμα 33 Το σύστημα αγωγών Vesterled. Πηγή: [60]	62
Σχήμα 34 Η διαδρομή του αγωγού Langeled. Πηγή: [62].....	63
Σχήμα 35 Ο αγωγός φυσικού αερίου Norpipe. Πηγή: [67].....	66
Σχήμα 36 Το δίκτυο αγωγών τροφοδοσίας της Ευρώπης από την Αφρική. Πηγή: [70]	68
Σχήμα 37 Αγωγοί φυσικού αερίου από την Αφρική στην Ευρώπη. Πηγή: [71].....	69
Σχήμα 38: Τερματικοί σταθμοί LNG στην Ευρώπη. Πηγή: [78]	77

Σχήμα 39 Διάγραμμα ροής κατασκευής μοντέλου	79
Σχήμα 40 Κόμβοι εσωτερικού δικτύου Ευρώπης	84
Σχήμα 41 Αγωγοί φυσικού αερίου με προέλευση τα κοιτάσματα της Σιβηρίας στο μοντέλο	86
Σχήμα 42 Αγωγοί φυσικού αερίου με προέλευση κοιτάσματα Μέσης Ανατολής στο μοντέλο	88
Σχήμα 43 Αγωγοί φυσικού αερίου με προέλευση κοιτάσματα Βόρειας Θάλασσας στο μοντέλο.....	90
Σχήμα 44 Αγωγοί φυσικού αερίου με προέλευση κοιτάσματα Αφρικής.....	91
Σχήμα 45 Εσωτερικό Δίκτυο Αγωγών Ευρώπης στο μοντέλο	92
Σχήμα 46 Συνολικό δίκτυο φυσικού αερίου σε περιβάλλον του TransCAD	93
Σχήμα 47 Στάδιο δημιουργίας συνόλων στο πρόγραμμα TransCAD	94
Σχήμα 48 Σύνολα κόμβων παραγωγής και ζήτησης στο πρόγραμμα TransCAD	94
Σχήμα 49 Δημιουργία δικτύου στο πρόγραμμα TransCAD	97
Σχήμα 50 Προσδιορισμός συνθηκών για τη μέθοδο 'minimum cost flow' στο TransCAD	98
Σχήμα 51 Σχεδιασμός μοντέλου στο TransCAD χωρίς τη χρήση lower bound	99
Σχήμα 52 Σχεδιασμός μοντέλου στο TransCAD με τη χρήση lower bound	101
Σχήμα 53 Νέα σύνολα κόμβων παραγωγής και ζήτησης στο πρόγραμμα TransCAD	105
Σχήμα 54 Προσομοίωση ροής φυσικού αερίου συνολικού δικτύου σε λογισμικό TransCAD, με την προσθήκη λειτουργίας των αγωγών Tanap, Tap και Galsi.	114

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Χρήσεις φυσικού αερίου και υποκαθιστάμενα καύσιμα. Πηγή: [5]	5
Πίνακας 2 Στοιχεία κύριων αγωγών φυσικού αερίου από Ρωσία.....	29
Πίνακας 3 Στοιχεία κύριων αγωγών φυσικού αερίου από χώρες της Μέσης Ανατολής	48
Πίνακας 4 Στοιχεία κύριων αγωγών φυσικού αερίου από Βόρεια Θάλασσα	59
Πίνακας 5 Στοιχεία κύριων αγωγών φυσικού αερίου από την Αφρική.....	70
Πίνακας 6 Ετήσια καθαρή ζήτηση φυσικού αερίου ανά χώρα [27]	76
Πίνακας 7 Ετήσια παραγωγή φυσικού αερίου ανά χώρα / περιοχή [27].....	77
Πίνακας 8 Πραγματικά στοιχεία κατανάλωσης και ζήτησης κόμβων [27]	95
Πίνακας 9 Ενεργειακό ισοζύγιο παραγωγής και κατανάλωσης κόμβων μοντέλου	103
Πίνακας 10 Αποτελέσματα λόγω μείωσης τροφοδοσίας από τη Ρωσία σε ποσοστά 50% και 30%	107
Πίνακας 11 Αποτελέσματα μείωσης τροφοδοσίας από Ρωσία και αντίστοιχης αύξησης τροφοδοσίας από τη Βόρεια Θάλασσα και την Αφρική	109
Πίνακας 12 Αύξηση ζήτησης κόμβων κατανάλωσης (bcm), σε ποσοστό 5%	112
Πίνακας 13 Ισοζύγιο παραγωγής και ζήτησης κόμβων μοντέλου για αύξηση ζήτησης κατά 5%	115

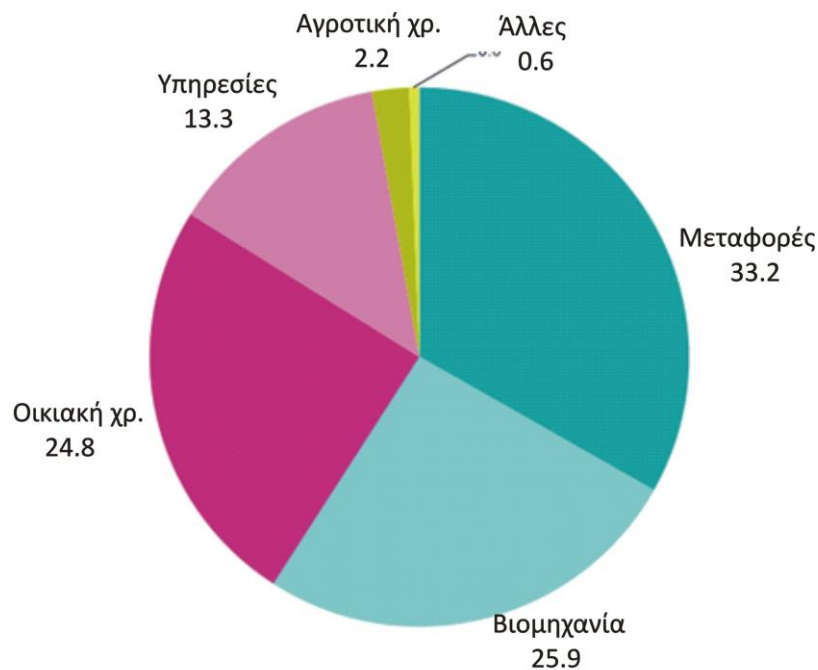
Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αθανάσιο Μπαλλή, της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την καθοδήγηση και την αμέριστη υποστήριξη του καθόλη τη διάρκεια της εργασίας, όπως και την ευκαιρία μου έδωσε για να εργαστώ επάνω σε ένα επίκαιρο θέμα.

1. Εισαγωγή

1.1 Η ενέργεια στο σύγχρονο κόσμο

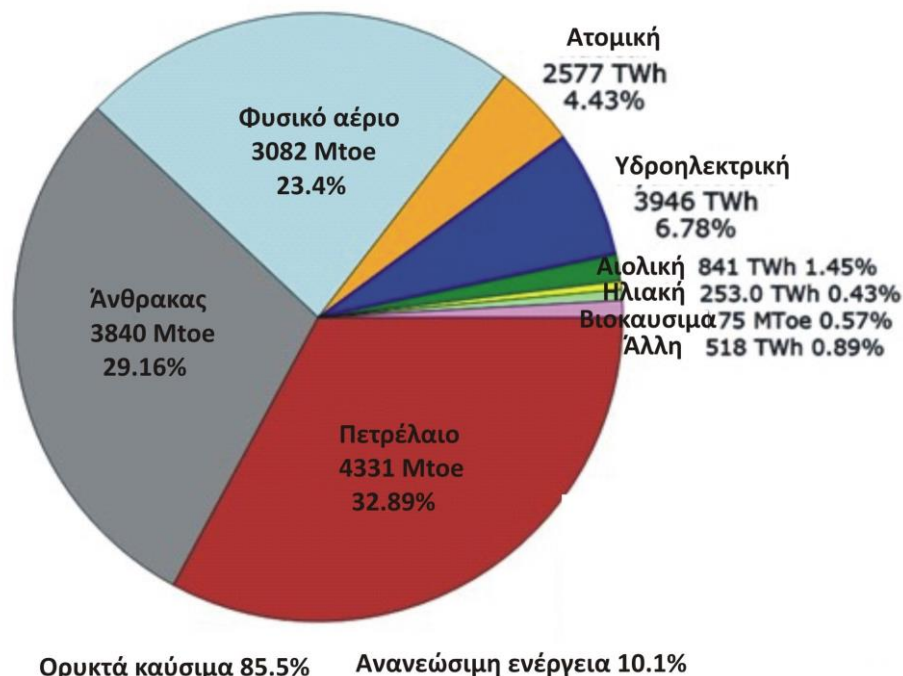
Η χρήση ενέργειας στο σύγχρονο κόσμο είναι σήμερα κάτι από παραπάνω απαραίτητη σε όλους τους τομείς δραστηριοτήτων, όπως στις διάφορες υπηρεσίες, στις μεταφορές, στη βιομηχανία, στην οικιακή χρήση κλπ. Με στοιχεία της Eurostat η κατανάλωση το 2014 στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 28 χωρών ήταν 1606 εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου (Mtoe) [1]. Ποσοστιαία κατανομή της ενέργειας στους διάφορους τομείς παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Η κατανάλωση ενέργειας το 2014 ήταν κατά 12,7% χαμηλότερη από την προηγούμενη κορυφή των 1840 Mtoe που καταγράφηκε το 2006, που ισοδυναμεί με μια μέση μείωση της τάξης του 1,7% ετησίως [1]. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει δεσμευθεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας κατά 20% (σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα) από το 2020 με προοδευτική μείωση των συμβατικών (ορυκτών) καυσίμων και την αντικατάστασή τους με εναλλακτικά καύσιμα ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.



Σχήμα 1 Κατανομή ενέργειας σε διάφορους τομείς δραστηριοτήτων. Πηγή: [1]

Η συμμετοχή του φυσικού αερίου στη κατανάλωση ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο είναι σημαντική φθάνοντας στο 23,5% το 2015 (Σχήμα 2)[2]. Τα γνωστά κοιτάσματα φυσικού αερίου μπορούν να καλύψουν ζήτηση 120 χρόνων με βάση τα σημερινά

δεδομένα κατανάλωσης 1. Μεταξύ των ετών 2009-2035 η κατανάλωση ενέργειας παγκοσμίως αναμένεται να αυξηθεί κατά 40% (World Economic Forum).



Σχήμα 2 Συμμετοχή διαφόρων καυσίμων στη παγκόσμια κατανάλωση το 2015. Πηγή: [2]

1.2 Φυσικό και υγροποιημένο αέριο

Το φυσικό αέριο (natural gas) είναι ένα αέριο μίγμα υδρογονανθράκων που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4), περίπου 70-90% της κατά όγκο σύστασης του [3]. Εκτός από το μεθάνιο περιέχει επίσης και άλλους υδρογονάνθρακες όπως αιθάνιο (C_2H_6) περίπου 5-15% της σύστασης του. Το προπάνιο (C_3H_8) και το βουτάνιο (C_4H_{10}), συμμετέχουν συνήθως με λιγότερο του 5% στη σύσταση του φυσικού αερίου. Πολύ μικρά ποσοστά συμμετοχής έχουν το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το άζωτο (N_2), το υδρόθειο (H_2S), το νερό (H_2O), τα στερεά σωματίδια κ.α.

Γενικά, η σύσταση του φυσικού αερίου διαφέρει ανάλογα με την πηγή. Το φυσικό αέριο δεν έχει σταθερή σύσταση, αφού η σύνθεση του εξαρτάται από την προέλευση και το είδος της οργανικής ύλης από την οποία σχηματίστηκε.

Το υγροποιημένο αέριο (LNG) είναι το φυσικό αέριο που έχει μετατραπεί προσωρινά σε υγρό. Αυτό γίνεται για εξοικονόμηση χώρου, επειδή 610 κυβικά πόδια φυσικού

αερίου μπορεί να μετατραπούν σε ένα μόνο κυβικό πόδι LNG. Με τη μετατροπή του φυσικού αερίου σε LNG γίνεται ευκολότερη η αποθήκευση και η μεταφορά, όπου αγωγοί δεν είναι διαθέσιμοι.

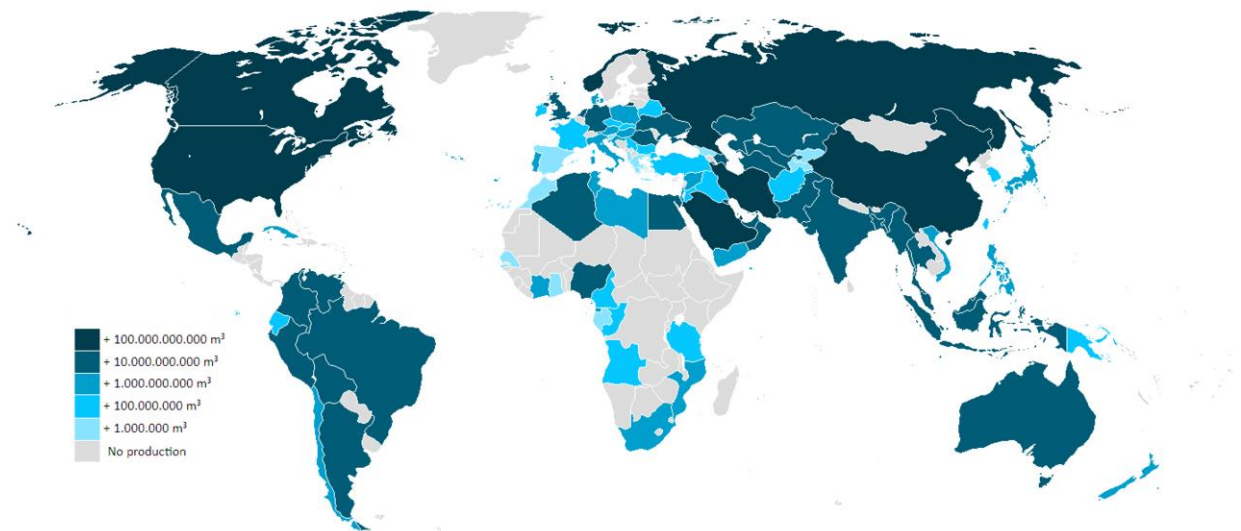
Το φυσικό αέριο δημιουργήθηκε από την βραδεία αναερόβια αποσύνθεση φυτικής και ζωικής ύλης που υπήρχε παγιδευμένη κάτω από πετρώματα σε συνθήκες μεγάλης πίεσης για πολλά εκατομμύρια έτη. Το παραγόμενο αέριο μετά τη γένεση του ανέρχεται από τους βαθύτερους ορίζοντες σε ρηχότερους, όπου τοπικά παγιδεύεται σε πορώδεις γεωλογικούς σχηματισμούς που βρίσκονται κάτω από αντίστοιχους μη πορώδεις, δημιουργώντας κοιτάσματα.

Το φυσικό αέριο συνήθως συνυπάρχει με νερό (δύο φάσεις) ή είναι συνδεδεμένο με αργό πετρέλαιο και νερό (τρεις φάσεις).

Το φυσικό αέριο που είναι απαλλαγμένο από τους υδρογονάνθρακες πέραν του μεθανίου, δηλαδή το καθαρό μεθάνιο, συχνά αποκαλείται και ξηρό φυσικό αέριο. Αντίστοιχα, το φυσικό αέριο που συμπεριλαμβάνει και άλλους υδρογονάνθρακες εκτός από το μεθάνιο, αποκαλείται και υγρό φυσικό αέριο.

Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου βρίσκονται συνήθως μακριά από τα κύρια κέντρα καταναλώσεως – συνεπώς το αέριο θα πρέπει να μεταφερθεί σε κάποια απόσταση μέχρι να καταναλωθεί, αν και οι βιομηχανίες χημικής επεξεργασίας είναι συχνά εγκατεστημένες στην περιοχή της παραγωγής. Οι έρευνες για πετρέλαιο έχουν αποκαλύψει την ύπαρξη μεγάλων κοιτασμάτων αερίου στην Αφρική, Μέση Ανατολή, Αλάσκα και αλλού (Σχήμα 3)[4].

Το 1960 η παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου ήταν 470 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα και το 1979 ήταν 1,459 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Το 1970 το φυσικό αέριο αποτελούσε το 19% περίπου της καταναλισκόμενης παγκοσμίως ενέργειας, ένα ποσοστό που αυξήθηκε σε 21% το 1990 και σε 24% το 2010.



Σχήμα 3 Παραγωγή φυσικού αερίου ανά χώρα σε παγκόσμιο επίπεδο σε m³. Πηγή: [4]

Όσον αφορά τις φυσικές ιδιότητες, το φυσικό αέριο είναι άχρωμο άοσμο και μη τοξικό. Η χαρακτηριστική του οσμή δίνεται τεχνικά με ορισμένες ουσίες για σκοπούς ασφαλείας, ώστε να γίνεται αντιληπτό σε περιπτώσεις διαρροής. Ανήκει στη δεύτερη οικογένεια των αέριων καυσίμων, το ειδικό του βάρος είναι ίσο με 0,59 και είναι ελαφρύτερο από τον αέρα [4]. Έτσι σε περιπτώσεις σε περίπτωση διαφυγής, ανέρχεται σε μεγάλο ύψος, αραιώνεται και καθίσταται μη επικίνδυνο. Το φυσικό αέριο επίσης έχει υψηλή θερμική απόδοση, σε σχέση με αυτή άλλων συμβατικών καυσίμων, όπως ο γαιάνθρακας ή το πετρέλαιο, παράγει μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας και κατά συνέπεια έχει λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον.

Το φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πλήθος εφαρμογών και περιπτώσεων στο σπίτι, στις επιχειρήσεις και στη βιομηχανία [5].

Η οικιακή χρήση περιλαμβάνει θέρμανση (κεντρική πολυκατοικίας ή αυτόνομη μονοκατοικίας ή διαμερίσματος, παροχή ζεστού νερού), μαγείρεμα και κλιματισμό.

Η επαγγελματική χρήση περιλαμβάνει θέρμανση, μαγείρεμα και ψήσιμο, παραγωγή ζεστού νερού, παραγωγή ατμού, κλιματισμό και συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Μια σειρά επαγγελματιών μπορεί να χρησιμοποιήσει το φυσικό αέριο καλύπτοντας τις καθημερινές ανάγκες των επιχειρήσεών τους, όπως αρτοποιεία, εστιατόρια, εργαστήρια ζαχαροπλαστικής, κομμωτήρια, εργαστήρια αργυροχρυσοχοΐας, στεγνωκαθαριστήρια, συνεργεία αυτοκινήτων με φούρνους βαφής κ.ά. [5].

Επίσης, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, εκπαιδευτικά ιδρύματα, μεγάλα κτίρια γραφείων, εμπορικά κέντρα και καταστήματα, κολυμβητήρια, αθλητικές εγκαταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιήσουν το φυσικό αέριο καλύπτοντας τις ενεργειακές τους ανάγκες με οικονομία και ασφάλεια.

Στη βιομηχανική χρήση αποτελεί το φυσικό αέριο είναι βασική πηγή για τη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, στη παραγωγή υδρογόνου, στη κάλυψη θερμικών αναγκών για όλες τις παραγωγικές διαδικασίες (παραγωγή ατμού, ξήρανση), το κλιματισμό. Άλλες χρήσεις φυσικού αερίου είναι στη παραγωγή γυαλιού, υφασμάτων, ατσαλιού, πλαστικών, ειδών χρωματισμού και άλλων προϊόντων. Το ποσοστό συμμετοχής του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα φτάνει το 22%.

Στην αυτοκίνηση επίσης έχει αυξανόμενη τάση η χρήση φυσικού αερίου. Ο αριθμός των οχημάτων που κινούνται με φυσικό αέριο στην Ευρώπη είναι περίπου 1.850.000 και συνεχώς αυξάνεται. Το 2005, οι χώρες με τον μεγαλύτερο αριθμό οικολογικών οχημάτων ήταν η Αργεντινή, η Βραζιλία, το Πακιστάν, η Ιταλία, το Ιράν και οι Η.Π.Α. Το φυσικό αέριο μπορεί να υποκαταστήσει όλα τα γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα καύσιμα και μορφές ενέργειας.

Πίνακας 1 Χρήσεις φυσικού αερίου και υποκαθιστάμενα καύσιμα. Πηγή: [5]

ΧΡΗΣΗ	ΥΠΟΚΑΘΙΣΤΑΜΕΝΟ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ
Θέρμανση χώρων (κεντρική ή αυτόνομη)	Πετρέλαιο Θέρμανσης & Ηλεκτρισμός
Παραγωγή ζεστού νερού	Ηλεκτρισμός & Πετρέλαιο Κίνησης
Παραγωγή ατμού	Πετρέλαιο Κίνησης & Μαζούτ
Μαγείρεμα-Ψήσιμο	Ηλεκτρισμός, Υγραέριο & Πετρέλαιο Κίνησης
Κλιματισμός (ψύξη-θέρμανση)	Ηλεκτρισμός
Αυτοκίνηση	Βενζίνη, πετρέλαιο
Βιομηχανικές χρήσεις	Μαζούτ, Πετρέλαιο Κίνησης & Υγραέριο

Πολλαπλά οφέλη για τον καταναλωτή φέρνει η χρήση φυσικού αερίου [3] [4]. Αναλυτικά επιτυγχάνεται υψηλός βαθμός απόδοσης και εξοικονόμηση ενέργειας ιδίως στις οικιακές εφαρμογές λόγω της χημικής σύστασης του φυσικού αερίου και της σύστασης των καυσαερίων του. Επίσης, εξαιτίας της απουσίας προσμίξεων επιβαρυντικών για τα μέρη των συσκευών και των εγκαταστάσεων (καυστήρες,

θάλαμοι καύσης, απαγωγή καυσαερίων κλπ), είναι απολύτως εφικτή η διατήρηση σταθερού βαθμού απόδοσης για ιδιαίτερα μεγάλες περιόδους. Για παράδειγμα, η αποδοτικότητα μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 60%, με τη χρήση φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, επειδή τα προϊόντα της καύσης του φυσικού αερίου αποτελούνται κυρίως από νερό (υδρατμούς), καθίσταται εύκολα δυνατή η αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας των καυσαερίων (διαδικασία συμπύκνωσης), με αποτέλεσμα την αύξηση (πάνω από 20%) της ωφέλιμης θερμότητας που λαμβάνεται από δεδομένη ποσότητα καυσίμου που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για τον τελικό καταναλωτή αφού μπορεί να εξυπηρετήσει την εγκατάστασή του με λιγότερο καύσιμο [4].

Σημαντικά όμως είναι και τα περιβαλλοντολογικά οφέλη από τη χρήση φυσικού αερίου. Αυτό συμβαίνει γιατί το φυσικό αέριο έχει μειωμένες εκπομπές ρύπων σε σχέση με άλλα καύσιμα [4]. Έτσι η χρήση του φυσικού αερίου συμβάλλει στο καθαρότερο περιβάλλον και στην καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αναλυτικότερα, το φυσικό αέριο εκλύει 25-30% λιγότερο CO₂ από το πετρέλαιο και 40-50% από τον άνθρακα ανά παραγόμενη ενεργειακή μονάδα γεγονός που έχει σημαντική θετική συνεισφορά στην αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί ότι αντικαθιστώντας σταθμό ηλεκτροπαραγωγής άνθρακα με συνδυασμένου κύκλου (CCGT), οι εκπομπές CO₂ μειώνονται μέχρι 70% .

1.3 Μεταφορά φυσικού και υγροποιημένου αερίου

Συνήθως το φυσικό αέριο χρειάζεται να μεταφερθεί σε μεγάλη απόσταση αφού οι χώροι παραγωγής του βρίσκονται μακριά από αστικά και βιομηχανικά κέντρα. Η μεταφορά του φυσικού αερίου είναι εφικτή με δύο μεθόδους, είτε

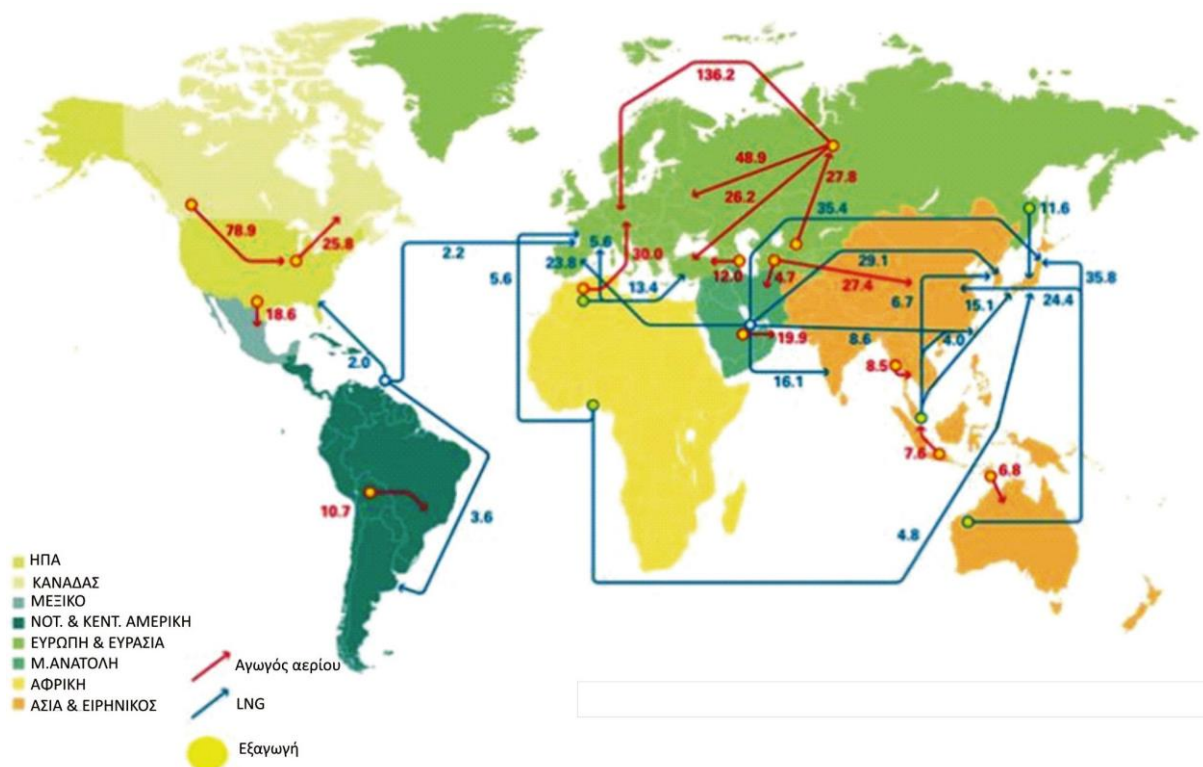
- με αγωγούς επίγειους και/ή υποθαλάσσιους, όπου το φυσικό αέριο μεταφέρεται στη φυσική του κατάσταση (αέριο) υπό πίεση είτε
- μέσω θαλάσσης με ειδικά κατασκευασμένα πλοία, όπου μεταφέρεται σε υγροποιημένη μορφή (LNG) σε ατμοσφαιρική πίεση.

Η επιλογή συστήματος μεταφοράς έχει να κάνει γεωγραφικά, πολιτικά και τεχνικοοικονομικά κριτήρια. Η μεταφορά φυσικού αερίου μέσω αγωγών και ως LNG μέσω θαλάσσης υφίσταται εδώ και δεκαετίες. Στο Σχήμα 4 φαίνονται οι κύριες διαδρομές φυσικού αερίου και LNG.

Το μεγαλύτερο ποσοστό διακινούμενων ποσοτήτων φυσικού αερίου επιτυγχάνεται μέσω χαλύβδινων πιεστικών αγωγών. Οι αγωγοί φυσικού αερίου είτε είναι χερσαίοι είτε υποθαλάσσιοι. Οι υποθαλάσσιοι αγωγοί χρησιμοποιούνται είτε για τη σύνδεση

θαλάσσιων πηγών με καταναλωτές στη ξηρά, είτε για τη σύνδεση πηγών στη ξηρά με καταναλωτές στην απέναντι όχθη. Γενικότερα, οι αγωγοί μεταφοράς διακρίνονται ανάλογα με την πίεση σε [6]:

- Αγωγούς μεταφοράς υψηλής πίεσης (40-100 bar)
- Αγωγούς μεταφοράς μέσης πίεσης (περίπου 20 bar)
- Αγωγούς διανομής χαμηλής πίεσης (4-7 bar)



Σχήμα 4 Οι οδοί του διεθνούς εμπορίου φυσικού αερίου το 2013 σε δισεκατομμύρια m³ /έτος . Πηγή: [3]

Οι αγωγοί υψηλής και μέσης πίεσης χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν μεγάλους όγκους φυσικού αερίου σε αντίθεση με αυτούς χαμηλής πίεσης οι οποίοι μεταφέρουν μικρές ποσότητες, με μεγαλύτερη ασφάλεια και μικρότερο κόστος. Ο πρώτος τύπος αγωγών χρησιμοποιείται για τη διακρατική μεταφορά του αερίου ενώ ο δεύτερος για την παροχή φυσικού αερίου στις πόλεις.

Στη περίπτωση μη ύπαρξης αγωγών το φυσικό αέριο μεταφέρεται σε υγρή κατάσταση με δεξαμενόπλοια ειδικά κατασκευασμένα για τον σκοπό αυτό. Στην τελευταία περίπτωση ακολουθείται μια σειρά διεργασιών που λαμβάνουν χώρα μετά

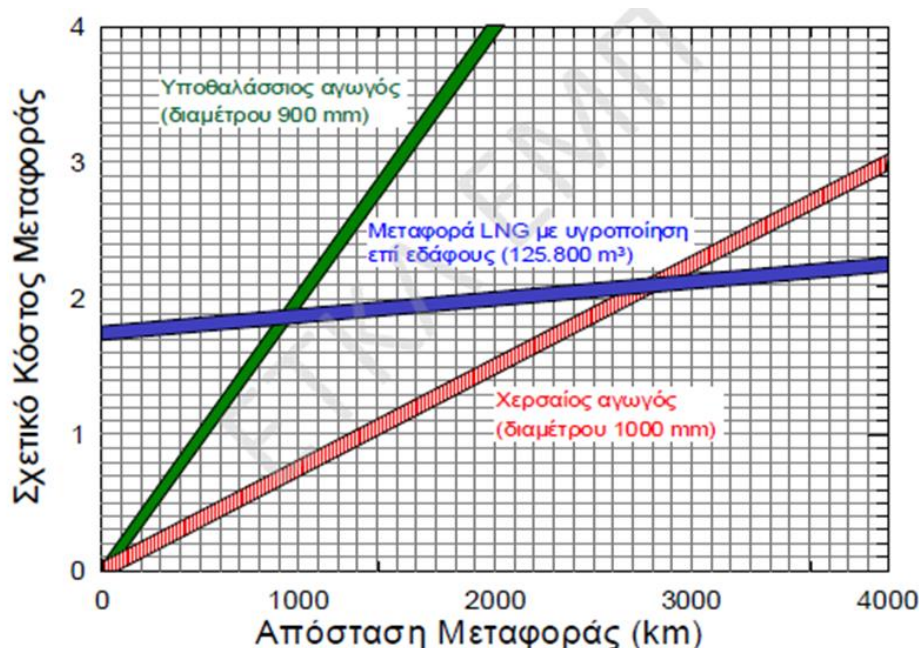
τη παραγωγή και πριν τη τελική χρήση του φυσικού αερίου (Σχήμα 5) [7]. Από τη θέση παραγωγής φυσικού αερίου (1 στο Σχήμα 5), το αέριο μεταφέρεται μέσω μιας σειράς σωληνώσεων και δοχείων όπου διαχωρίζεται από τα βαρύτερα υγρά, και καθαρίζονται από ακαθαρσίες (στάδιο 2 στο Σχήμα 5). Μία διεργασία ψύξης χρησιμοποιείται για να συμπυκνώσει το φυσικό αέριο σε LNG με ψύξη σε θερμοκρασία μείον 160 βαθμούς Κελσίου (στάδιο 3, Σχήμα 5). Εκεί το αέριο συρρικνώνεται σε όγκο κατά 600 φορές, και μετατρέπεται σε υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Αυτή η διαδικασία ψύξης συνήθως συνοδεύεται από διεργασίες που απομακρύνουν το νερό, διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο και άλλες ακαθαρσίες. Για να διατηρηθεί αυτή η χαμηλή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και της μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου θα πρέπει να τοποθετηθεί σε κρουονικές δεξαμενές - μονωμένες δεξαμενές εξοπλισμένες με μονάδες ψύξης (στάδιο 4, Σχήμα 5).



Σχήμα 5 Ροή διεργασιών κατά τη μεταφορά υγροποιημένου αερίου. Πηγή: [7]

Τώρα, σε υγρή μορφή, το φυσικό αέριο μεταφέρεται σε δεξαμενές πλοίου, και αποστέλλεται στο εξωτερικό από πλοία μεταφοράς LNG (στάδιο 5, Σχήμα 5). Όταν το φορτίο φτάνει στο λιμάνι, το LNG αντλείται σε χερσαίες δεξαμενές αποθήκευσης (στάδιο 6, Σχήμα 5). Όταν μια αποστολή υγροποιημένου φυσικού αερίου φτάνει στον προορισμό της ή όταν το LNG αφαιρείται από το απόθεμα πρέπει να επαναεριοποιείται. Αυτό γίνεται με θέρμανση του LNG και του επιτρέπει να εξατμιστεί πίσω σε φυσικό αέριο. Επαναεριοποίηση λαμβάνει συνήθως χώρα σε μια εγκατάσταση, όπου το αέριο μπορεί να τοποθετηθεί σε αποθήκη/δεξαμενή ή απευθείας σε έναν αγωγό για τη μεταφορά (στάδιο 7, Σχήμα 5). Τέλος, το φυσικό αέριο διανέμεται μέσω αγωγών στον τελικό προορισμό του (στάδιο 8, Σχήμα 5).

Το κόστος μεταφοράς έχει να κάνει με τη δυναμικότητα και την απόσταση της διαδρομής του φυσικού αερίου, καθώς επίσης και με την επιλογή του μέσου μεταφοράς. Όσον αφορά τους αγωγούς το κόστος κατασκευής έχει να κάνει με την επιλογή διαμέτρου, τη πίεση λειτουργίας, την απόσταση της διαδρομής καθώς επίσης και με το είδος της επιφάνειας. Το λειτουργικό κόστος έχει να κάνει κυρίως με τους σταθμούς συμπίεσης οι οποίοι καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες καυσίμων. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η επένδυση που απαιτείται για αγωγό μεγάλου μήκους διαμέτρου 46 - 60 ίντσες ανέρχεται σε 1 - 1.5 δισεκατομμύρια δολάρια ανά 1000 χλμ επιτρέποντας μια μεταφορά περίπου 15 - 30 bcm ετησίως. Στο Σχήμα 6 φαίνονται οι διαφορές κόστους μεταφοράς σε αγωγούς ανάλογα με το είδος τους.



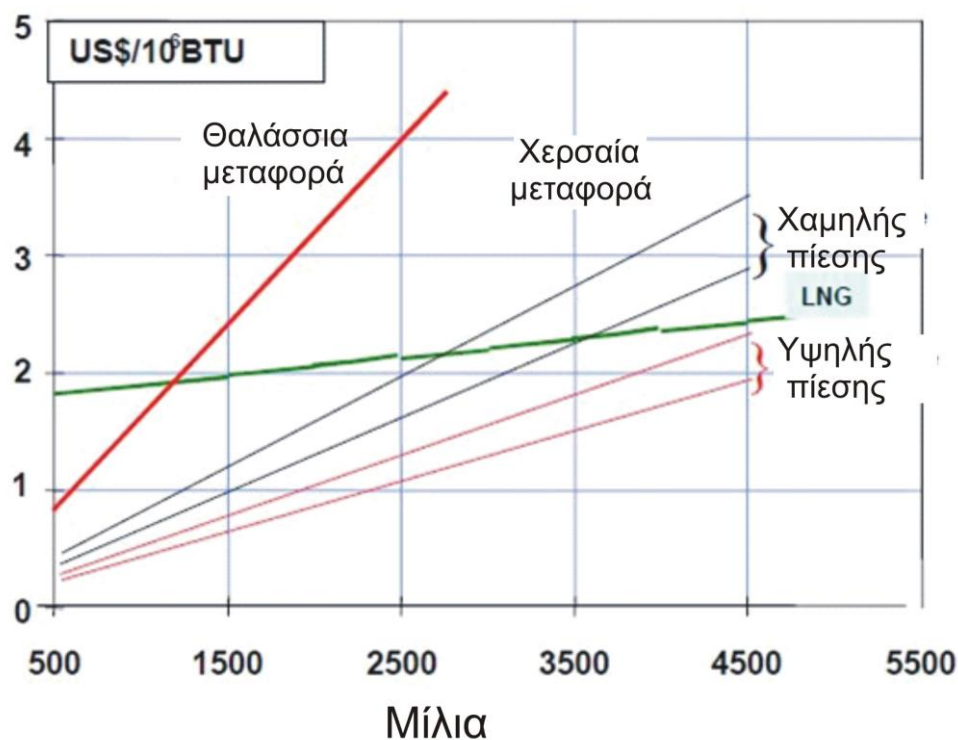
Σχήμα 6 Συγκριτικός Πίνακας κόστους-απόστασης μεταφοράς για είδη αγωγών. Πηγή: [6]

Είναι φανερό ότι οι υποθαλάσσιοι αγωγοί έχουν μεγαλύτερο κόστος μεταφοράς, όμως η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει επιτύχει να μειώσει το κόστος μονάδος τους έως και 50% και έχει καταστήσει δυνατή τη κατασκευή τους σε πολύ μεγάλα βάθη. Όσον αφορά το κόστος μεταφοράς των αγωγών σε σχέση με το LNG, η μεταφορά με αγωγούς είναι πιο οικονομική για μικρότερες αποστάσεις, ενώ η μεταφορά με LNG για πολύ μεγαλύτερες.

Οι αγωγοί υψηλής πίεσης φαίνεται να είναι προτιμότεροι για δυναμικότητες έως και 30 bcm ετησίως, ενώ η μεταφορά με LNG φαίνεται ανταγωνιστική για μεγάλες αποστάσεις και δυναμικότητες μικρότερες των 10 bcm (Σχήμα 7) [8]. Ένα ενδιαφέρον παράδειγμα είναι αυτό της τροφοδοσίας της Ευρώπης από τη Μέση Ανατολή των

οποίων η απόσταση είναι 4500 - 6000 μίλια και η μεταφορά με LNG μπορεί να φέρει μείωση κόστους έως και 30%. Οι κύριες ποσότητες LNG φτάνουν στη Νοτιοδυτική Ευρώπη αφού εκεί βρίσκονται και οι τερματικοί σταθμοί LNG.

Η παρούσα εργασία ασχολείται κυρίως με τη μεταφορά φυσικού αερίου μέσω χερσαίων και υποθαλάσσιων αγωγών στις Ευρωπαϊκές χώρες κατανάλωσης. Οι αγωγοί που παρουσιάζονται ανήκουν στη κατηγορία των αγωγών υψηλής πίεσης.



Σχήμα 7 Συγκριτικός Πίνακας κόστους – διαδρομής μεταφοράς φυσικού αερίου μέσω διαφόρων τύπων αγωγών και LNG μέσω πλοίων για μεταφορά 30 bcm. Πηγή: [8]

Οι κύριες ποσότητες παραγωγής φυσικού αερίου, από τις οποίες τροφοδοτούνται προέρχονται από τις ευρύτερες περιοχές της Ρωσίας, της Βόρειας Θάλασσας, της Μέσης Ανατολής και της Αφρικής. Πιο συγκεκριμένα:

- Η Ρωσία τροφοδοτεί την Ευρώπη με τις μεγαλύτερες ποσότητες φυσικού αερίου μέσω δύο κεντρικών αξόνων. Ο βορειότερος αποτελείται από δύο βασικούς παράλληλους χερσαίους αγωγούς που έχουν ως κοινό αρχικό προορισμό τη Λευκορωσία και ένα υποθαλάσσιο ο οποίος έχει ως προορισμό τη Γερμανία. Ο νοτιότερος άξονας, ο οποίος παρέχει και τις μεγαλύτερες ποσότητες, αποτελείται

κυρίως από δύο χερσαίους αγωγούς οι οποίοι προορισμό έχουν την Ουκρανία. Η πορεία του φυσικού αερίου προφανώς, μετά την Λευκορωσία και Ουκρανία συνεχίζει κεντρικότερα.

- Στην ευρύτερη περιοχή της Μέσης Ανατολής οι κύριες χώρες παραγωγής είναι το Ιράν και το Αζερμπαϊτζάν. Βασικοί κόμβοι για την διαδρομή του φυσικού αερίου προς την Ευρώπη είναι η Τουρκία και η Ελλάδα. Τα κοιτάσματα της Μέσης Ανατολής κατέχουν μείζονα ρόλο στην ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης. Το βασικότερο έργο που θα είναι ικανό να μεταφέρει τις ζητούμενες ποσότητες φυσικού αερίου στην Ευρώπη είναι ο Νότιος Διάδρομος φυσικού αερίου, ο οποίος αποτελείται από τρεις αγωγούς. Οι δύο από αυτούς είναι οι Tap και Tapanar, οι οποίοι βρίσκονται σε φάση κατασκευής.

- Η ευρύτερη περιοχή της Βόρειας Θάλασσας, η οποία είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή τροφοδοσίας με φυσικό αέριο, χαρακτηρίζεται από ένα πυκνό δίκτυο υποθαλάσσιων αγωγών. Τα κύρια κοιτάσματα τροφοδοσίας ανήκουν στη Νορβηγία η οποία θεωρείται και ο μεγαλύτερος εξαγωγέας φυσικού αερίου της ευρύτερης περιοχής. Το φυσικό αέριο διέρχεται μέσω των υποθαλάσσιων αγωγών στις βόρειες Ευρωπαϊκές χώρες που βρέχονται από τη Βόρεια Θάλασσα και μετά συνεχίζει κεντρικότερα.

- Στην ευρύτερη περιοχή της Βόρειας Αφρικής κύριοι παραγωγοί φυσικού αερίου θεωρούνται η Αλγερία και η Λιβύη. Συνολικά η τροφοδοσία επιτυγχάνεται από τέσσερεις υποθαλάσσιους αγωγούς, τρεις από τους οποίους ξεκινούν από την Αλγερία και ο άλλος από τη Λιβύη. Οι αγωγοί από τη Βόρεια Αφρική φτάνουν στην Ισπανία και την Ιταλία και στη συνέχεια μέσω συνδέσεων με άλλους αγωγούς το φυσικό αέριο κινείται βορειότερα.

Η αυξανόμενη ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη σε συνδυασμό με τους κινδύνους που κρύβονται από την εξάρτηση της τροφοδοσίας της από τη Ρωσία κάνουν επιτακτική την ανάγκη εύρεσης νέων πηγών και διαδρομών τροφοδοσίας. Η ευρύτερη περιοχή της Βόρειας Θάλασσας παρέχει μεγάλες ποσότητες φυσικού αερίου στην Ευρώπη αλλά τα κοιτάσματα της όσο περνούν τα χρόνια εξαντλούνται με αποτέλεσμα η κατάσταση να γίνεται δυσμενέστερη. Τα κοιτάσματα της ευρύτερης περιοχής της Μέσης Ανατολής φαίνεται να αποτελούν μία εναλλακτική για την Ευρώπη αλλά δεν υπάρχουν ακόμα ολοκληρωμένες υποδομές. Όλα αυτά σε συνδυασμό με τις πολιτικές εντάσεις μεταξύ Ευρώπης, Ρωσίας και Τουρκίας συνθέτουν ένα ενδιαφέρον ζήτημα που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής και μελέτης.

1.4 Σκοπός και στόχος της εργασίας

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η κατασκευή ενός μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του υφιστάμενου δικτύου αγωγών τροφοδοσίας της Ευρώπης. Στόχο έχει, μέσα από τη προσομοίωση αυτή, να διερευνήσει θέματα που έχουν να κάνουν με την ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης όσον αφορά το φυσικό αέριο.

Αρχικά μελετάται το υφιστάμενο δίκτυο, το οποίο αποτελείται από τα κοιτάσματα παραγωγής (παραγωγοί), τις χώρες κατανάλωσης (καταναλωτές) και τις συνδέσεις αυτών μέσα από τις διαδρομές των κύριων αγωγών τροφοδοσίας. Στη συνέχεια αφού προσδιοριστούν οι παραπάνω συνιστώσες, κατασκευάζεται το μοντέλο του απλοποιημένου υφιστάμενου δικτύου και προσομοιώνεται η λειτουργία του χρησιμοποιώντας τα λογισμικά των ArcGIS και TransCAD. Η προσομοίωση λειτουργίας του γίνεται μέσα από τη μέθοδο ελάχιστου κόστους (minimum cost flow). Στη προσομοίωση γίνεται έλεγχος του ενεργειακού ισοζυγίου παραγωγής-κατανάλωσης και συγκρίνεται η λειτουργία του μοντέλου σε σχέση με το πραγματικό δίκτυο. Αφού ολοκληρώνονται οι απαραίτητες ρυθμίσεις ώστε το μοντέλο να δίνει ρεαλιστικά αποτελέσματα εξετάζονται κάποια σενάρια ενεργειακής ασφάλειας της Ευρώπης τα οποία οδηγούν σε αντίστοιχα συμπεράσματα.

1.5 Δομή της εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η εισαγωγή στο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας. Πιο συγκεκριμένα το υποκεφάλαιο 1.1 αναφέρεται γενικότερα στην ενέργεια και στη συμμετοχή του φυσικού αερίου, στοιχεία για το οποίο δίνονται στο υποκεφάλαιο 1.2. Το υποκεφάλαιο 1.3 αναφέρεται στα βασικά συστήματα μεταφοράς του φυσικού αερίου από τους παραγωγούς στους καταναλωτές, δίνοντας και συγκριτικά στοιχεία κόστους, ενώ στη συνέχεια επικεντρώνεται στη μεταφορά με αγωγούς φυσικού αερίου που είναι και το βασικό μέσο μεταφοράς που εξετάζεται.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η βιβλιογραφική επισκόπηση των άρθρων που μελετήθηκαν. Τα άρθρα αυτά εξετάζουν κυρίως θέματα βελτιστοποίησης διαδρομής αγωγών φυσικού αερίου καθώς επίσης και θέματα ενεργειακής ασφάλειας Όσον αφορά το φυσικό αέριο.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετάται το υφιστάμενο δίκτυο αγωγών τροφοδοσίας της Ευρώπης. Πιο συγκεκριμένα στο υποκεφάλαιο 3.1 περιγράφονται τα τεχνικά στοιχεία ενός δικτύου φυσικού αερίου, ενώ στο 3.2 αναλύονται τα τέσσερα επιμέρους δίκτυα τροφοδοσίας της Ευρώπης που αποτελούν το συνολικό δίκτυο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η ανάπτυξη του υπολογιστικού μοντέλου αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Πιο συγκεκριμένα, στο 4.1 αναλύεται η μεθοδολογική προσέγγιση, ενώ στο 4.2 περιγράφονται τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου. Στο 4.3 γίνεται η λεπτομερής περιγραφή δομής του μοντέλου καθώς και οι απαραίτητες ρυθμίσεις του ώστε να δίνει ρεαλιστικά αποτελέσματα. Στο 4.4 γίνεται ανάπτυξη και επίλυση των σεναρίων ενεργειακής ασφάλειας που έχουν να κάνουν με τη μείωση ποσοτήτων τροφοδοσίας από την Ρωσία καθώς επίσης και με την εξέταση δυνατότητας κάλυψης μεγαλύτερων ποσοτήτων ζήτησης φυσικού αερίου στην Ευρώπη, μέσα από την κατασκευή νέων υποδομών. Επίσης στο ίδιο υποκεφάλαιο δίνονται τα αποτελέσματα της επίλυσης των σεναρίων με τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας ενώ στο έκτο κεφάλαιο γίνεται εισήγηση για περαιτέρω διερεύνηση όσον αφορά τη τροφοδοσία με φυσικό αέριο της Ευρώπης με χρήση του υπολογιστικού μοντέλου.

2. Βιβλιογραφική επισκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η βιβλιογραφική επισκόπηση των άρθρων που μελετήθηκαν για την παρούσα διπλωματική. Τα άρθρα αυτά ουσιαστικά εξετάζουν ουσιαστικά τη διαδικασία επιλογής της βέλτιστης διαδρομής διηπειρωτικών χερσαίων και υποθαλάσσιων αγωγών, τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους, καθώς επίσης σε γενικότερα θέματα που επικεντρώνονται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ζήτησης και της προσφοράς φυσικού αερίου και στις πολιτικές που ακολουθούνται.

Όσον αφορά την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής των διηπειρωτικών αγωγών φυσικού αερίου, χαρακτηρίζεται από πολυπλοκότητα, σε σχέση με τους αγωγούς σε εθνικό επίπεδο ή σε επίπεδο δύο κρατών. Για την επιλογή της διαδρομής τους απαιτείται η διαχείριση περισσότερων πληροφοριών σε σχέση με τους αγωγούς μικρότερης κλίμακας. Στη διαδικασία αυτή, χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι που:

- εξετάζουν τη προσφορά και τη ζήτηση του φυσικού αερίου στις παρούσες και στις μελλοντικές συνθήκες που θα εξασφαλίσουν την οικονομική βιωσιμότητα του έργου
- εξετάζουν τις εναλλακτικές διαδρομές
- επιλέγουν τη βέλτιστη διαδρομή

Για την επίλυση του προβλήματος επιλογής βέλτιστης διαδρομής χρησιμοποιούνται διάφορα λογισμικά και μέθοδοι τα οποία αναφέρονται αναλυτικά στα επόμενα άρθρα. Πιο συγκεκριμένα:

Ο **F. Thomaidis** στην εργασία του **'Method for route selection of transcontinental natural gas pipelines'** [9] χρησιμοποιεί σαν λογισμικό εργαλείο το Gas-PRS το οποίο επιτρέπει τη γρήγορη εφαρμογή της μεθόδου και διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων κατά την εξέταση της συνεπειών των διαφορετικών επιλογών. Στη συγκεκριμένη διατριβή χρησιμοποιήθηκε για το καθορισμό της βέλτιστης διαδρομής του διηπειρωτικού αγωγού μεταφοράς φυσικού αερίου από την ευρύτερη Κασπίας προς Δυτική Ευρώπη. Εξετάστηκαν τέσσερις εναλλακτικοί αγωγοί που να ξεκινούν από το Ερζερούμ και να τερματίζουν στα αυστριακά σύνορα. Ως βέλτιστη διαδρομή καθορίστηκε αυτή που περνά μέσα από τη Βόρεια Ελλάδα και στη συνέχεια διακλαδίζεται βόρεια με τη Βουλγαρία. Καθοριστικοί παράγοντες που έπαιξαν ρόλο ήταν η πολιτική οικονομική και κανονιστική σταθερότητα των κρατών από τα οποία περνά ο αγωγός, το μειωμένο κόστος κατασκευής και λειτουργίας λόγω της χρήσης της διασύνδεσης Ελλάδας – Ιταλίας και το ότι διασχίζει μεγάλες ώριμες και αναδυόμενες αγορές φυσικού αερίου.

Οι **F. Thomaidis** και **D. Mavrakis** στην εργασία τους **'Optimum Route of the South Transcontinental Gas Pipeline in SE Europe using AHP'** [10] χρησιμοποιούν τη μέθοδο της αναλυτικής διαδικασίας ιεράρχησης (analytic hierarchy process, AHP) για τον καθορισμό της πλέον προτιμώμενης οδού του διηπειρωτικού αγωγού φυσικού αερίου από τη περιοχή της Κασπίας σε στοχευμένες αγορές της Ευρώπης. Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη γεωπολιτικά, οικονομικά και τεχνικά κριτήρια που μπορούν να συνοψιστούν στο ρίσκο του έργου, το κόστος του έργου και τις δυνατότητες αξιοποίησης των ενδιαμέσων αγορών. Οι εναλλακτικές διαδρομές των αγωγών αξιολογήθηκαν σύμφωνα με την πολιτική και την οικονομική σταθερότητα των χωρών διαμετακόμισης, την ύπαρξη νομοθεσίας για το φυσικό αέριο, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του έργου, το κόστος μεταφοράς και τα τέλη διέλευσης, τη πιθανή χρήση των υφιστάμενων υποδομών του φυσικού αερίου και τέλος τις προοπτικές για τη μελλοντική ανάπτυξη των χωρών υποδοχής του φυσικού αερίου.

Ο **Prasanta Kumar Dey** στην εργασία του **'An integrated assessment model for cross-country pipelines'** [11] δημιουργεί ένα σύνθετο μοντέλο μέσω υποστηρικτικής μεθοδολογίας για να χρησιμοποιηθεί σε έργο κατασκευής αγωγού πετρελαίου στην Ινδία. Οι αγωγοί πετρελαίου συχνά περνούν μέσα από περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές όπως καλλιέργειες, δάση, ποτάμια, κατοικημένες περιοχές και θάλασσα. Οποιαδήποτε δυσλειτουργία αυτών των αγωγών μπορεί να προκαλέσει καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον. Συνεπώς, οι φορείς εκμετάλλευσης του αγωγού λαμβάνουν υπόψη στο σχεδιασμό του έργου τους περιβαλλοντικούς κινδύνους, υιοθετώντας τεχνολογικές εναλλακτικές λύσεις. Γενικά οι κανόνες που ακολουθούνται είναι:

- ✓ η χάραξη της συντομότερης δυνατής διαδρομής που συνδέει τη παραγωγή με τις τερματικές τοποθεσίες.
- ✓ τη διασφάλιση, όσο είναι εφικτό, της προσβασιμότητας κατά τη λειτουργία και τη συντήρηση
- ✓ τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας και την αποφυγή / ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών ζημιών.
- ✓ η διαδρομή θα πρέπει να παραμένει μακριά από τα δάση όσο το δυνατόν περισσότερο.
- ✓ η αποφυγή κατοικημένων περιοχών, για λόγους δημόσιας ασφάλειας.
- ✓ η αποφυγή διασταυρώσεων με σιδηροδρομικές γραμμές, οδικές αρτηρίες, ποτάμια
- ✓ η αποφυγή λοφώδους αναγλύφου ή βραχώδους εδάφους
- ✓ η αποφυγή διαδρομής παράλληλης με τις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης

- ✓ η αποφυγή άλλα εμποδίων, όπως πηγάδια, σπίτια, περιβόλια, λίμνες

Η ανάλυση της αγοράς και της ζήτησης καθορίζει τη διακίνηση των αγωγών και τα σημεία προσφοράς-ζήτησης. Αυτά τα στοιχεία καθορίζουν τη διαδρομή του αγωγού μέσα από μεταγενέστερη έρευνα των αναγνωρίσεων. Στην τεχνική ανάλυση επιλέγονται διαφορετικοί παράμετροι όπως η διάμετρος των αγωγών, ο αριθμός των ενδιάμεσων σταθμών και αναλύονται.

Η βέλτιστη τεχνική εναλλακτική επιλέγεται με τη χρήση χρηματοοικονομικής ανάλυσης όπου χρησιμοποιούνται κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης, όπως η καθαρή παρούσα αξία (net present value, NPV), η ροή επιστροφών κλπ. Οι αξιολογήσεις επιπτώσεων (Impact assessments, IA), διενεργούνται για να τεκμηριώσουν την επιλογή και την επακόλουθη εκ του νόμου έγκριση. Ωστόσο, οι παραπάνω αξιολογήσεις συχνά προτείνουν εναλλακτικές τοποθεσίες / τεχνολογίες και μεθοδολογίες υλοποίησης, που σαν αποτέλεσμα έχουν την αναθεώρηση του συνόλου των τεχνικών και οικονομικών αναλύσεων.

Αυτή η μελέτη εξετάζει τα παραπάνω ζητήματα, με την εφαρμογή της αναλυτικής διαδικασίας ιεράρχησης (analytic hierarchy process, AHP), που αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο λήψης αποφάσεων που περιλαμβάνεται στη μελέτη σκοπιμότητας του έργου. Το μοντέλο εξετάζει τις πιθανές τεχνικές επιπτώσεις, τις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο με τελικό σκοπό την επιλογή του καλύτερου έργου ανάμεσα από σειρά εναλλακτικών υλοποιήσιμων έργων. Επακόλουθη οικονομική ανάλυση, στη συνέχεια η οποία δικαιολογεί την επιλογή.

Στη **τεχνική ανάλυση** περιλαμβάνονται οι παρακάτω μεταβλητές:

- το μήκος του αγωγού που σχετίζεται άμεσα με το τι ανάγκες πρέπει να ικανοποιηθούν, και με το συνολικό κόστος του έργου
- η λειτουργικότητα. Η υδραυλική κλίση είναι ένας σημαντικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη. Στη περίπτωση αρνητικής υδραυλικής κλίσης απαιτούνται επιπρόσθετα κεφάλαια. Επιπλέον πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη επεκτάσεων / αύξησης παροχής με επιπλέον αντλιοστάσια για να καλυφθεί τυχόν επιπλέον αύξηση της ζήτησης.
- Η συντηρησιμότητα. Μια σειρά αστοχιών πρέπει να προβλεφτούν όπως:
 - η διάβρωση μετάλλων λόγω κακοτεχνιών
 - κακόβουλες ενέργειες (σαμποτάζ ή κλοπή) από ανταγωνιστικές εταιρείες ή ντόπιο πληθυσμό που μπορεί να επιφέρουν σημαντικές ζημιές στον αγωγό
 - χρησιμοποίηση κακής ποιότητας υλικών
 - ανθρώπινα ή κατασκευαστικά λάθη / αστοχίες

- καταστροφές σε ευαίσθητες περιοχές λόγω γεωλογικών ή κλιματολογικών παραγόντων (σεισμοί, κατολισθήσεις, πλημμύρες κλπ.)
- Η προσβασιμότητα των αγωγών για λόγους επιθεώρησης και συντήρησης. Ο ιδανικός αγωγός είναι αυτός που τοποθετείται κατά μήκος μεγάλων οδικών αρτηριών ή σιδηροδρομικών γραμμών
- Η κατασκευασιμότητα. Σημαντικές μεταβλητές είναι οι προστατευμένες περιβαλλοντικά περιοχές, περιοχές όπως σύνορα χωρών που απαιτείται άδεια από κυβερνητικές αρχές, η απόσταση από την αγορά, η διαθεσιμότητα του ρεύματος και του νερού, ο αριθμός των ειδικευμένων και ανειδίκευτων εργατών, οι ειδικές συνθήκες εδάφους.

Στη **περιβαλλοντική ανάλυση** πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι πιθανές επιπτώσεις και οι τρόποι αντιμετώπισής τους κατά τη διάρκεια των εργασιών κατασκευής και λειτουργίας των αγωγών και των σταθμών τους.

Στη **κοινωνικοοικονομική ανάλυση** υπάρχουν τα στάδια:

- **του σχεδιασμού** που περιλαμβάνει αποζημιώσεις χρήσης γης, παροχή εργασίας, εργασίες αποκατάστασης, μετεγκατάστασης κλπ
- **της κατασκευής** με θετική βραχυχρόνια επίπτωση τη δημιουργία νέων θέσεων απασχόλησης, τόνωση τοπικής αγοράς και με αρνητική βραχυχρόνια την επιβάρυνση των τοπικών υποδομών (πχ. συγκοινωνιών) και δραστηριοτήτων (πχ. καλλιεργειών).
- **το επιχειρησιακό** με επιπτώσεις μακροπρόθεσμες, που διαρκούν όσο η λειτουργία των αγωγών.

Οι **M. Delavar** και **F. Naghibi** στην εργασία τους **'Pipeline Routing Using Geospatial Information System Analysis'** [12] χρησιμοποιούν ArcGIS για το καθορισμό της διαδρομής ελάχιστου κόστους. Ο αγωγός της εργασίας που επιλέχθηκε για την ανάπτυξη του πρωτοτύπου είναι ο πετρελαιοαγωγός που συνδέει το Marun με το Ahnavaz στο ΝΔ Ιράν. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε για να προσδιορίσει ένα ελάχιστο κόστος ενσωματώνει το μήκος του αγωγού, την τοπογραφία, τη γεωλογία, τη χρήση γης, το ρεύμα, τους υγρότοπους, τους οδικούς άξονες και σιδηροδρομικές διαβάσεις. Το Σύστημα Πληροφοριών Geospatial (ArcGIS) χρησιμοποιήθηκε για το χωροταξικό μοντελοποίηση και επικάλυψη. Δαπάνες που συνδέονται με τις συνθήκες εδάφους, γεωλογία και χρήσης γης δόθηκαν από τις πραγματικές δαπάνες που χρησιμοποιούνται στο τμήμα του αγωγού από την Ιρανική εθνική εταιρεία πετρελαίου. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων είναι αποκαλυπτική, αφού η βέλτιστη διαδρομή του αγωγού που προέκυψε με τη χρήση ArcGIS είναι 35 χλμ, ήτοι κατά ένα χιλιόμετρο μεγαλύτερη σε σχέση με τον υπάρχοντα αγωγό, που είναι όμως κατά 29%

φθηνότερη στη κατασκευή από τον υπάρχοντα αγωγό. Η διαφορά στο κόστος οφείλεται στο γεγονός ότι η διαδρομή του ήδη υπάρχοντος αγωγού βρίσκεται πλησιέστερα σε αστικές περιοχές και δρόμους σε σχέση με την ιδανική διαδρομή που υπολογίστηκε με τη χρήση ArcGIS στην οποία παρακάμφθηκαν μεγαλύτερος αριθμός παρόμοιων περιοχών.

Η εργασία των **S. Feldman, R. Pelletier, E. Walsler, J. Smoot και D. Ahl** με τίτλο **'A Prototype for Pipeline Routing Using Remotely Sensed Data and Geographic Information System Analysis'** [13] είναι ένα άλλο παράδειγμα χρησιμοποίησης τηλεσκοπικών δεδομένων και ανάλυσης ArcGIS για το καθορισμό βέλτιστης διαδρομής που αφορά ένα τμήμα προτεινόμενου αγωγού. Το συνολικό μήκος του αγωγού είναι 700 χλμ και ο οποίος μεταφέρει πετρέλαιο από τη περιοχή Tengiz (Κασπία Θάλασσα) στο Καζακστάν όπου υπάρχουν πετρελαϊκά κοιτάσματα μέχρι στο Νοβοροσίσκ (Μαύρη Θάλασσα) στη Ρωσία. Το μοντέλο που εφαρμόστηκε περιέλαβε στους υπολογισμούς, το μήκος του αγωγού, την τοπογραφία, τη γεωλογία, τη χρήση της γης, τα ρέματα, τους υγροτόπους, τις οδικές και σιδηροδρομικές διασταυρώσεις για τον καθορισμό της διαδρομής με το ελάχιστο κόστος. Εικόνες από δορυφορική τηλεπισκόπηση επίσης χρησιμοποιήθηκαν για την αποτύπωση της κάλυψης γης ArcGIS ανάλυση χρησιμοποιήθηκε για χωρική μοντελοποίηση και ομαδοποίηση δεδομένων. Κόστη που σχετίζονται με τις συνθήκες εδάφους, τη γεωλογία, και τη χρήση γης υπολογίστηκαν με βάση πραγματικές δαπάνες που έγιναν σε ανάλογο έργο. Για τη σύγκριση επιλέχθηκε μια διαδρομή που περνά από τέσσερα συγκεκριμένα προκαθορισμένα σημεία πάνω σε μια ευθεία. Η ευθεία αρχική διαδρομή ήταν 42 χιλιόμετρα, ενώ η διαδρομή ελάχιστου κόστους που προέκυψε ήταν 51 χιλιόμετρα. Παρά το γεγονός ότι είναι μεγαλύτερη σε μήκος κατά 9 χιλιόμετρα, το κόστος της προτεινόμενης διαδρομής είναι μικρότερο κατά 14% από ότι η διαδρομή σε ευθεία γραμμή. Η εξοικονόμηση που επετεύχθη οφείλεται στην αποφυγή αστικών και βιομηχανικών περιοχών που βρισκόταν επάνω στην αρχική διαδρομή. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης καταδεικνύουν τα οφέλη της ενσωμάτωση των τηλεπισκοπικών δεδομένων με την ανάλυση GIS ως πρώτη ματιά για την χάραξη της διαδρομής του αγωγού.

Η εργασία των **R. Rios-Mercado και C. Borraz-Sanchez** με τίτλο **'Optimization problems in natural gas transportation systems A state-of-the-art review'** [14] παρέχει μια ανασκόπηση σχετικά με τις πιο σχετικές ερευνητικές εργασίες με θέμα την επίλυση προβλημάτων κατά τη μεταφορά φυσικού αερίου μέσω των αγωγών. Τρία κύρια συστήματα αγωγών φυσικού αερίου υπάρχουν, συλλογής, μεταφοράς και διανομής. Η εργασία αυτή εστιάζει στη βελτιστοποίηση των γραμμών μεταφοράς

φυσικού αερίου. Επικεντρώνεται στις πιο προχωρημένες μεθοδολογίες που αντιμετωπίζουν θέματα όπως τη βραχυπρόθεσμη αποθήκευση του φυσικού αερίου, τη ποιότητά του, και τη μοντελοποίηση του σταθμού συμπίεσης. Επίσης εξετάζονται μοντέλα βελτιστοποίησης τόσο σταθερής όσο και μεταβατικής κατάστασης. Η εργασία αυτή αποτελεί μια ολοκληρωμένη επανεξέταση θεμάτων στη μεταφορά φυσικού αερίου μέσα από το πρίσμα της επιχειρησιακής έρευνας. Συνεπώς η εργασία αυτή αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στην απόκτηση γνώσεων σχετικά με την εξέλιξη πολλών εφαρμογών στην αντιμετώπιση πραγματικών καταστάσεων αλλά και στην ενημέρωση των πιο πρόσφατων εξελίξεων στις μεθοδολογίες που υιοθετούνται για την επίλυση προβλημάτων στη λήψη αποφάσεων.

Οι **B. Rothfarb, H. Frank, D. Rosenbaum, K. Steiglitz, D. Kleitman** με την εργασία **Optimal Design of Offshore Natural-Gas Pipeline Systems** [15] μελετούν την εκμετάλλευση των υπεράκτιων αποθεμάτων φυσικού αερίου που περιλαμβάνει αρκετές φάσεις. Αυτό το άρθρο αναπτύσσει τεχνικές για την επίλυση σε προβλήματα που παρουσιάζονται στις φάσεις αυτές, τα βασικότερα των οποίων είναι:

- Η επιλογή των διαμέτρων σωλήνων σε ένα συγκεκριμένο δίκτυο αγωγών για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, επένδυσης και λειτουργίας.
- Η επιλογή της διαδρομής του δικτύου που έχει ελάχιστο κόστος, με δεδομένη τη τοποθεσία του κοιτάσματος και τις απαιτήσεις ροής.
- Η βέλτιστη επέκταση υφιστάμενων δικτύων αγωγών ώστε να συμπεριλάβει ποσότητες από νέα κοιτάσματα φυσικού αερίου.

Εκτός όμως από τη βελτιστοποίηση της διαδρομής των αγωγών σημαντικό θέμα είναι και αυτό της βελτιστοποίησης της λειτουργικότητας των αγωγών. Τα άρθρα τα οποία μελετήθηκαν είναι τα εξής:

Οι **A. Chebouba, F. Yalaoui, A. Smati, L. Amodeo, K. Younsi και A. Tairi** με την εργασία τους **‘Optimization of natural gas pipeline transportation using ant colony optimization’** [16] προτείνουν έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης (ACO) της λειτουργίας ενός αγωγού φυσικού αερίου ροής σταθερής ροής. Ο όρος ACO προκύπτει από τις λέξεις **ant colony optimization** και είναι μια πιθανολογική τεχνική για την επίλυση υπολογιστικών προβλημάτων τα οποία μπορεί να μειωθούν βρίσκοντας καλές διαδρομές μέσα από γραφήματα. Πήρε την ονομασία αυτή γιατί ο πρώτος αλγόριθμος με στόχο την αναζήτηση μιας βέλτιστης διαδρομής σε ένα γράφημα, έγινε με βάση τη συμπεριφορά των μυρμηγκιών που αναζητούν τη βέλτιστη διαδρομή μεταξύ της αποικία τους και της πηγής τροφής τους. Οι μεταβλητές στον αλγόριθμο είναι ο αριθμός των στροβιλοσυμπιεστών και η πίεση

εκκένωσης για κάθε σταθμό συμπίεσης. Η αντικειμενική συνάρτηση είναι η ενέργεια που καταναλώνεται στο σύστημα από αυτούς τους σταθμούς. Η χρήση του αλγόριθμου ACO εφαρμόστηκε για πραγματικά δεδομένα. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του παραπάνω αλγορίθμου συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν με την χρησιμοποίηση της δυναμικής μεθόδου προγραμματισμού.

Οι **P. Wong και R. Larson** με το άρθρο '**Optimization of natural-gas pipeline systems via dynamic programming**' [17] παρουσιάζουν τη πολυπλοκότητα και το κόστος των λειτουργικών συστημάτων αγωγών φυσικού αερίου και τους τρόπους που επιζητούν οι βιομηχανίες για τη βέλτιστη λειτουργία τους. Δεδομένου ότι η λειτουργία ενός δικτύου φυσικού αερίου χαρακτηρίζεται από εγγενή μη γραμμικότητες και πολυάριθμα εμπόδια, ο δυναμικός προγραμματισμός παρέχει μια εξαιρετικά ισχυρή μεθοδολογία για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του. Το παρόν άρθρο παρουσιάζει τις τεχνικές δυναμικού προγραμματισμού για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης που εμφανίζονται σε δίκτυα μεταφοράς φυσικού αερίου με σταθερή και μη σταθερή ροή.

Όσον αφορά τα ζητήματα που αφορούν τη σχέση ζήτησης και παραγωγής φυσικού αερίου και τις επακόλουθες πολιτικές των χωρών που εμπλέκονται χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. Πιο συγκεκριμένα στα παρακάτω άρθρα εξετάζεται η ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης σε φυσικό αέριο αφού πρώτα αναλύονται οι επιδράσεις της Ρωσίας και της Τουρκίας σε αυτή. Η μελέτη του συγκεκριμένου θέματος για να είναι πλήρης πρέπει εκτός από την εξέταση των πολιτικών που ακολουθούνται από τις εκάστοτε χώρες σε σχέση με την Ευρώπη να εξετάζει και πιθανά μελλοντικά σενάρια εξάγοντας τα αντίστοιχα συμπεράσματα. Πιο συγκεκριμένα:

Ο **B. Hacisalihoglu** με την εργασία του '**Turkey's natural gas policy**' [18] ασχολείται με την πολιτική που ακολουθεί η Τουρκία όσον αφορά το φυσικό αέριο. Τα τελευταία χρόνια, το φυσικό αέριο έχει καταστεί η ταχύτερα αναπτυσσόμενη πηγή πρωτογενούς ενέργειας στην Τουρκία και καθίσταται ολοένα και πιο σημαντικό για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της. Η τοπική παραγωγή σε φυσικό αέριο πληροί μόνο ποσοστό 3% των εγχώριων απαιτήσεων κατανάλωσης της, οι οποίες τείνουν να αυξηθούν δραματικά τα επόμενα χρόνια, αφού φαίνεται να προτιμάται ως βασικό καύσιμο για την βιομηχανία και μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας. Κύριος προμηθευτής της Τουρκίας είναι η Ρωσία, όμως το Τουρκμενιστάν και το Ιράν αντιπροσωπεύουν οικονομικά υγιείς εναλλακτικές λύσεις. Η στρατηγικά πλεονεκτική θέση της όσον αφορά την αγορά φυσικού αερίου της δίνει τη δυνατότητα να μπορεί να εισάγει φυσικό αέριο από διάφορες χώρες ώστε να διαφοροποιήσει τις πηγές της.

Το κίνητρο της Τουρκίας για την εύρεση εναλλακτικών πηγών φυσικού αερίου προέρχεται από την επιθυμία της να συμβαδίσει με τις προϋποθέσεις της ΕΕ στον τομέα της ενέργειας για την ένταξη της σε αυτή.

Οι **W. Lise, B. Hobbs, F. Van Oostvoorn** με την εργασία τους **‘Natural gas corridors between the EU and its main suppliers: Simulation results with the dynamic GASTALE model’**[19] επικεντρώνονται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ζήτησης και της προσφοράς φυσικού αερίου. Επίσης ασχολείται με τις επενδύσεις που αφορούν, διαδρόμους μεταφοράς φυσικού αερίου, είτε μέσω αγωγών είτε μέσω πλοίων LNG, καθώς και με τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης, που θα επηρεάζουν την ευρωπαϊκή αγορά φυσικού αερίου κατά την περίοδο 2005-2030. Μέσα από τη δημιουργία σεναρίων στόχο έχει να μελετήσει τις επιπτώσεις που έχει η αβεβαιότητα στη μελλοντική ζήτηση φυσικού αερίου, στις επενδύσεις που γίνονται για τις υποδομές μεταφοράς του. Επίσης γίνεται ανάλυση σεναρίων διακοπής της τροφοδοσίας της Ευρώπης από κάποιους παραγωγούς, με τη μορφή μειωμένης δυναμικότητας παροχής των αντίστοιχων αγωγών. Η ανάλυση δείχνει ότι τμήματα της Ευρώπης θα μπορούσε να αντιμετωπίσουν τις αυξήσεις στις τιμές φυσικού αερίου έως και 100% στην περίπτωση μιας μεγάλης χρονικά διακοπής παροχής. Σαν συμπέρασμα έχει ότι για την ταυτόχρονη κάλυψη των αναγκών σε φυσικό αέριο και τη μείωση του ρίσκου για πιθανές διαταραχές στη τροφοδοσία, πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στις συνδέσεις αγωγών από την Ανατολή στη Δύση.

Ο **M. Bilgin** με την εργασία του **‘Geopolitics of European natural gas demand: Supplies from Russia, Caspian and the Middle East’** [20] εξετάζει ζητήματα που αφορούν την ευρωπαϊκή ενεργειακή ασφάλεια Όσον αφορά το φυσικό αέριο. Επικεντρώνεται πρώτα σχετικά με την αυξανόμενη ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη και ασχολείται με τυχόν κινδύνους που κρύβονται στην εξάρτηση από τη Ρωσία. Ένα γεγονός που εξετάζεται είναι η διαφωνία της Gazprom με την Ουκρανία, η οποία οδήγησε σε μια διεθνή κρίση του φυσικού αερίου τον Ιανουάριο του 2006, αλλά και πιο πρόσφατα, τον Ιανουάριο του 2009. Επίσης αναλύονται κίνητρα και εμπόδια στη τροφοδοσία της Ευρώπης με χώρες στην ευρύτερη περιοχή της Κασπίας όπως το Αζερμπαϊτζάν, το Καζακστάν και το Τουρκμενιστάν καθώς και της Μέσης Ανατολής όπως το Ιράν, το Ιράκ και την Αίγυπτο. Η γεωπολιτική ανάλυση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η καλύτερη στρατηγική είναι η Ευρώπη να περιλαμβάνει τουλάχιστον δύο χώρες από το Αζερμπαϊτζάν, το Τουρκμενιστάν, το Ιράν και το Ιράκ στο πλαίσιο του συστήματος παροχής της με φυσικό αέριο.

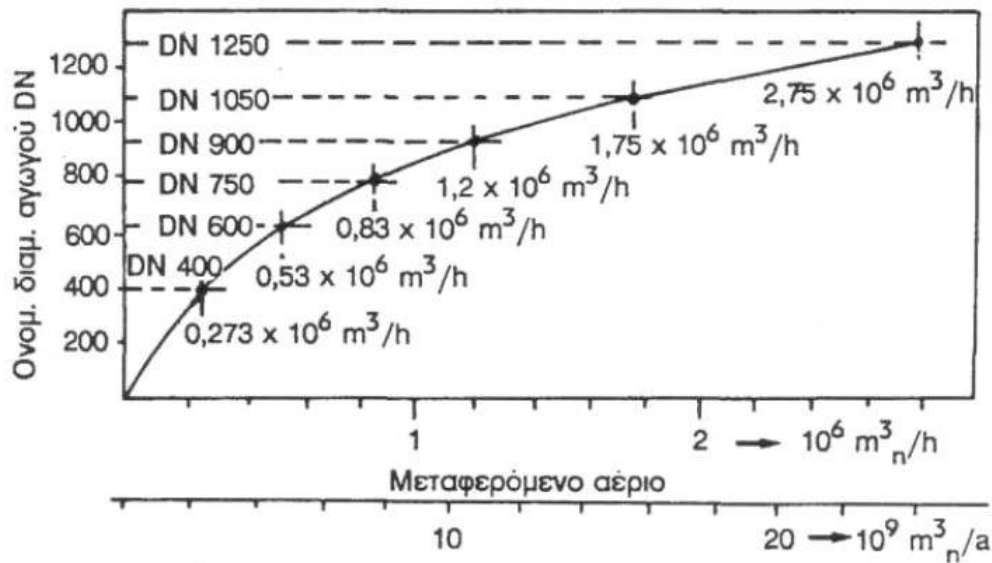
3. Δίκτυα φυσικού αερίου στην Ευρώπη

3.1 Τεχνικά στοιχεία συστημάτων μεταφοράς φυσικού αερίου

Τα δίκτυα φυσικού αερίου χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν μεγάλους όγκους φυσικού αερίου σε μεγάλες αποστάσεις. Ένα δίκτυο φυσικού αερίου αποτελείται από σύνολο υποδομών οι οποίες είναι απαραίτητες για την ομαλή και ολοκληρωμένη λειτουργία του. Πιο κάτω αναφέρονται οι βασικότερες και εξηγείται ο ρόλος τους [21].

Σωληνογραμμές: Η ίδια η σωλήνωση, αποκαλούμενη συνήθως "σωληνογραμμή", αποτελείται από ένα χάλυβα υψηλής αντοχής, που κατασκευάζεται για να ανταποκριθεί στα πρότυπα που καθορίζονται από τους αρμόδιους οργανισμούς και νομοθεσίες. Υπάρχουν δύο διαφορετικές τεχνικές παραγωγής, μια για τους σωλήνες μικρών διαμέτρων και μια για τους σωλήνες μεγάλων διαμέτρων. Για τους σωλήνες μεγάλων διαμέτρων, από 500 mm έως 1060 mm σε διάμετρο, οι σωλήνες παράγονται από φύλλα μετάλλου που είναι διπλωμένα σε Σχήμα κυλίνδρου, με τις άκρες τους να συγκολλούνται έτσι ώστε να διαμορφώσουν ένα τμήμα σωλήνωσης. Ο σωλήνας μικρής διαμέτρου, αντιθέτως, μπορεί να παραχθεί χωρίς ραφή. Αυτό περιλαμβάνει τη θέρμανση μιας μεταλλικής ράβδου σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και κατόπιν τη διάτρηση μιας τρύπας στο κέντρο της διατομής της ράβδου, για να παραχθεί τελικά ένας κούλος σωλήνας. Η σωληνογραμμή καλύπτεται επίσης με ένα ειδικό επίστρωμα για να εξασφαλισθεί ότι δεν θα διαβρωθεί αφού τοποθετηθεί στο έδαφος. Ο σκοπός του επιστρώματος είναι να προστατεύσει τον αγωγό από την υγρασία, η οποία προκαλεί διάβρωση και οξείδωση. Όσον αφορά τη διάμετρο, κυμαίνεται μεταξύ 150 mm και 1420 mm σε διάμετρο, ανάλογα με τη λειτουργία τους. Οι περισσότεροι διακρατικοί αγωγοί είναι μεταξύ 610 mm και 920 mm ίντσες σε διάμετρο, ενώ τα παρακλάδια τους (πλευρικοί αγωγοί) τα οποία παρέχουν φυσικό αέριο από την κεντρική γραμμή, είναι συνήθως μεταξύ 150 mm και 400 mm σε διάμετρο. Στο Σχήμα 8 φαίνεται η δυναμικότητα του αγωγού συναρτήσει της διαμέτρου και του μήκους του αγωγού [22].

Σταθμοί συμπίεσης: Για να εξασφαλισθεί η υψηλής πίεσης ροή του φυσικού αερίου σε οποιοδήποτε σημείο της σωλήνωσης, απαιτείται περιοδικά κατά μήκος του σωλήνα η συμπίεσή του. Αυτό υλοποιείται από τους σταθμούς συμπίεστων, που τοποθετούνται συνήθως σε διαστήματα 65 έως 160 χλμ κατά μήκος της σωλήνωσης. Για τους υποθαλάσσιους αγωγούς οι σταθμοί συμπίεσης κατασκευάζονται σε πλωτές εξέδρες και η πίεση τους φτάνει μέχρι και τα 150 bar. Το φυσικό αέριο ουσιαστικά εισέρχεται στο σταθμό συμπίεστων, όπου συμπιέζεται είτε από ένα στρόβιλο, κινητήρα, ή μηχανή.



Σχήμα 8 Δυνατότητες μεταφοράς αγωγών. Πηγή: [22]

Σταθμοί Μέτρησης: Εκτός από τους συμπιεστές φυσικού αερίου, κατά μήκος των διακρατικών σωληνώσεων τοποθετούνται περιοδικά και σταθμοί μέτρησης. Αυτοί οι σταθμοί επιτρέπουν στις επιχειρήσεις τοποθέτησης σωληνώσεων να ελέγξουν και να διαχειριστούν το φυσικό αέριο στους αγωγούς τους. Ουσιαστικά, οι σταθμοί μέτρησης μετρούν τη ροή του αερίου κατά μήκος της σωλήνωσης, και επιτρέπουν στις επιχειρήσεις σωληνώσεων να "παρακολουθήσουν" το φυσικό αέριο καθώς ρέει κατά μήκος της σωλήνωσης. Για τη λειτουργία τους χρησιμοποιούν εξειδικευμένους μετρητές που μετρούν το φυσικό αέριο καθώς διατρέχει τη σωλήνωση, χωρίς παρακώλυση της ροής του.

Βαλβίδες: Οι διακρατικές σωληνώσεις περιλαμβάνουν έναν μεγάλο αριθμό βαλβίδων κατά μήκος τους. Αυτές οι βαλβίδες λειτουργούν όπως οι πύλες και είτε είναι ανοικτές και επιτρέπουν την ελεύθερη ροή του φυσικού αερίου είτε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να σταματήσουν τη ροή του αερίου κατά μήκος ενός ορισμένου τμήματος του αγωγού. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους μια σωλήνωση μπορεί να χρειαστεί να περιορίσει τη ροή του αερίου σε ορισμένες περιοχές. Παραδείγματος χάριν, εάν ένα τμήμα του σωλήνα χρήζει αντικατάστασης ή συντήρησης. Αυτές οι μεγάλες βαλβίδες μπορούν να τοποθετηθούν κάθε 5 έως 30 χλμ κατά μήκος της σωλήνωσης και υπόκεινται στους κανονισμούς από τους κώδικες ασφάλειας.

Συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης: Το μεγαλύτερο μέρος των δεδομένων που λαμβάνεται από έναν σταθμό ελέγχου παρέχεται από τα Εποπτικά Συστήματα Ελέγχου και Λήψης Δεδομένων. Αυτά τα συστήματα είναι ουσιαστικά περίπλοκα συστήματα επικοινωνιών που παίρνουν μετρήσεις και συλλέγουν δεδομένα κατά μήκος της σωλήνωσης (συνήθως σε σταθμούς μέτρησης, σταθμούς συμπιεστών ή βαλβίδες) και τα διαβιβάζουν στο κεντρικό σταθμό ελέγχου. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν στοιχεία όπως η παροχή εντός της σωλήνωσης, η λειτουργική κατάσταση, η πίεση, καθώς και η θερμοκρασία. Αυτές οι πληροφορίες, αναμεταδίδονται σε έναν κεντρικό σταθμό ελέγχου και επιτρέπουν στους μηχανικούς σωληνώσεων να γνωρίζουν πάντα τι ακριβώς συμβαίνει κατά μήκος της σωλήνωσης. Αυτό επιτρέπει γρήγορες αντιδράσεις στις όποιες δυσλειτουργίες του εξοπλισμού, διαρροές, ή οποιαδήποτε άλλη ασυνήθιστη δραστηριότητα κατά μήκος της σωλήνωσης.

3.2 Υφιστάμενο δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου στην Ευρώπη

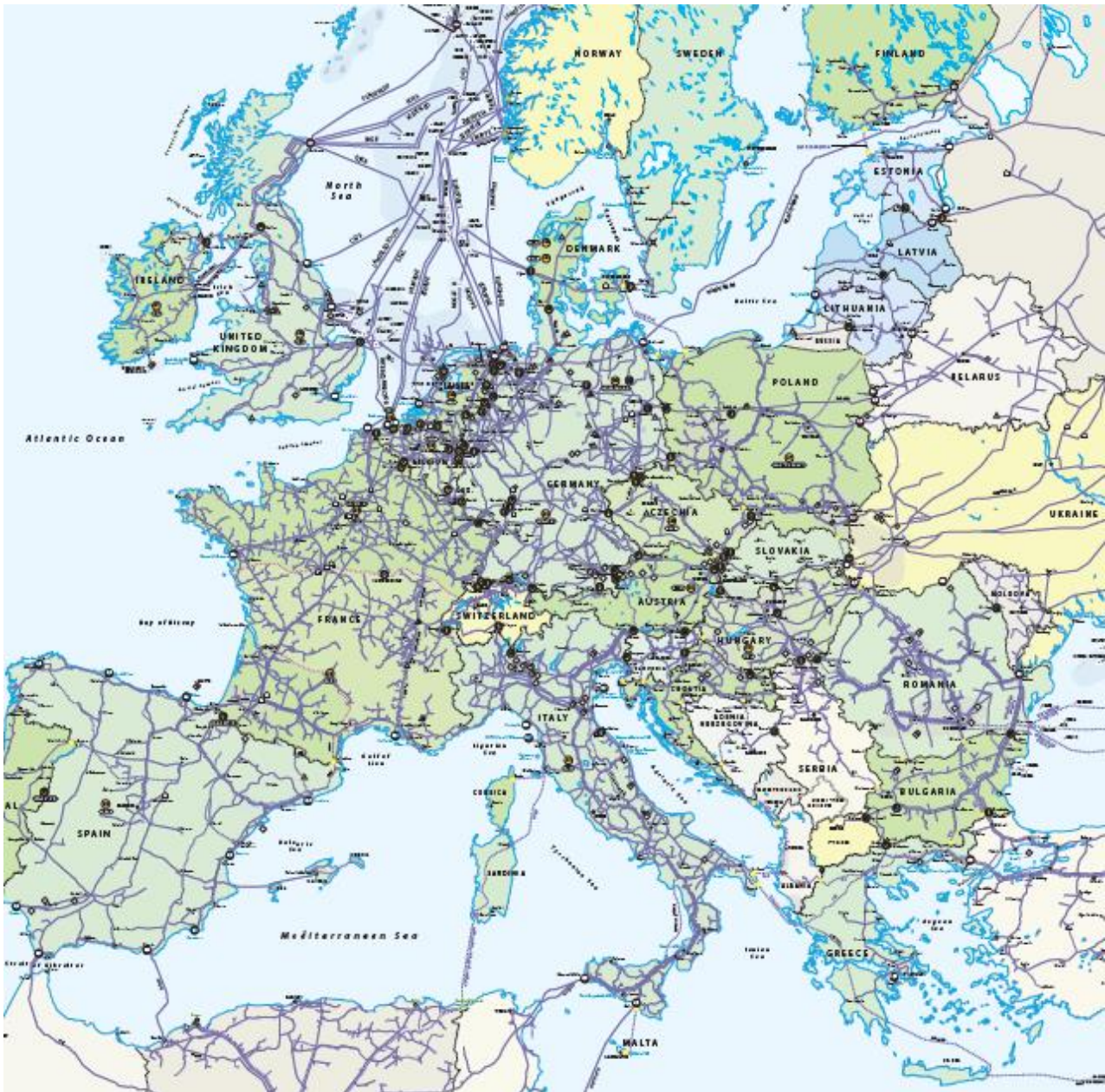
Η μελέτη του υφιστάμενου δικτύου που γίνεται σε αυτό το κεφάλαιο είναι απαραίτητη για το ρεαλιστικό σχεδιασμό και τη προσομοίωση της λειτουργίας του που θα γίνει στα επόμενα κεφάλαια. Για την ολοκληρωμένη παρουσίαση και περιγραφή του ήταν απαραίτητη η αναζήτηση και μελέτη πολλών διαφορετικών χαρτών. Επειδή υπάρχουν πολλοί χάρτες που αναπαριστούν το ευρύτερο υφιστάμενο δίκτυο, πολλοί εκ των οποίων είναι πολύ λεπτομερείς, άλλοι δε πολύ απλοποιημένοι δημιουργείται η ανάγκη να αξιολογηθούν οι πληροφορίες του καθενός ξεχωριστά. Ένας αρχικός χάρτης του δικτύου παροχής φυσικού αερίου της Ευρώπης παρουσιάζεται στο Σχήμα 9 [23].

Ο παραπάνω χάρτης, όντας πολύ αναλυτικός, δεν μπορεί να προσομοιωθεί εύκολα σε ArcGIS, μπορεί όμως να δώσει μία γενική εικόνα της προέλευσης και των βασικών ροών φυσικού αερίου με προορισμό την Ευρώπη. Όπως φαίνεται, οι βασικές πηγές τροφοδοσίας της Ευρώπης προέρχονται από κοιτάσματα που βρίσκονται στις παρακάτω περιοχές:

- Ρωσία
- Αζερμπαϊτζάν και Μέση Ανατολή
- Βόρειας Θάλασσας
- Αφρική

Το εσωτερικό δίκτυο της Ευρώπης είναι πολύ πυκνό με πολλές διασυνδέσεις χωρών, γεγονός που θα οδηγήσει σε απαραίτητες απλοποιήσεις στο κεφάλαιο της κατασκευής του μοντέλου.

Για να γίνει πιο κατανοητό το δίκτυο τροφοδοσίας, θα αναλυθούν οι ροές του βάσει της προέλευσης τους από την παραπάνω ομαδοποίηση ευρύτερων περιοχών παραγωγής φυσικού αερίου.



Σχήμα 9 Λεπτομερής χάρτης αγωγών φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Πηγή: [23]

3.2.1 Αγωγοί φυσικού αερίου από τη Ρωσία

Η Ρωσία αποτελεί την κύρια πηγή τροφοδοσίας της Ευρώπης με φυσικό αέριο από το παρελθόν μέχρι και σήμερα. Τα περισσότερα κοιτάσματα της συγκεντρώνονται στην ευρύτερη Σιβηρική περιοχή, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 10 [24].

Οι αγωγοί που ξεκινούν από την Ρωσία και έχουν προορισμό την Ευρώπη ακολουθούν είτε χερσαία είτε θαλάσσια διαδρομή. Με μια πρώτη ματιά οι χερσαίοι ρωσικοί αγωγοί που τροφοδοτούν την Ευρώπη, έχουν δύο κύριες κατευθύνσεις.



Σχήμα 10 Κύριες λεκάνες παραγωγής φυσικού αερίου στη Ρωσία. Πηγή: [24]

Η πρώτη και βορειότερη καταλήγει στη Λευκορωσία ενώ η δεύτερη και νοτιότερη καταλήγει στην Ουκρανία (Σχήμα 11). Από εκεί συνεχίζουν κεντρικότερα μέχρι να συνδεθούν με Ευρωπαϊκούς αγωγούς. Η κύρια θαλάσσια διαδρομή καταλήγει στη Γερμανία και είναι προέκταση της βορειότερης διαδρομής.

Ο πρώτος άξονας του δικτύου, ο βορειότερος, περιλαμβάνει δύο αγωγούς, τον Yamal-Europe και τον Northern Lights οι οποίοι τρέχουν παράλληλα μέχρι τη Λευκορωσία [25]. Πιο συγκεκριμένα ο Yamal συνεχίζει διασχίζοντας την Πολωνία και καταλήγει να ενώνεται με το γερμανικό δίκτυο αερίου μέσω του Jagal. Ο αγωγός Northern Lights έχει πολλά παρακλάδια κατά μήκος της διαδρομής του, με

αποτέλεσμα μετά τη Λευκορωσία να εισέρχεται με διαφορετικά τμήματα του, στη Λιθουανία, στη Πολωνία και στην Ουκρανία. Από εκεί το φυσικό αέριο συνεχίζει δυτικότερα στην Ευρώπη μέσω συνδέσεων με άλλους αγωγούς.

Όπως φαίνεται όμως και στο Σχήμα 11 [25], πριν φτάσει στη Λευκορωσία, η προέκταση του Northern Lights πηγαίνει βορειότερα και τροφοδοτεί την ευρύτερη περιοχή της Αγίας Πετρούπολης και τη Φινλανδία ενώ δεύτερο τμήμα με ίδια κατεύθυνση τροφοδοτεί τον υποθαλάσσιο αγωγό Nord Stream ο οποίος καταλήγει στη Γερμανία και μέσω του Opal τροφοδοτεί την κεντρική Ευρώπη. Η συνολική ετήσια δυναμικότητα του βορειότερου άξονα είναι ίση με 78 bcm.



Σχήμα 11 Κύριοι αγωγοί τροφοδοσίας Ευρώπης με προέλευση τη Ρωσία. Πηγή: [25]

Ο δεύτερος άξονας του δικτύου και νοτιότερος αποτελείται από δύο κύριους αγωγούς, τον Brotherhood και τον Soyuz (Σχήμα 11). Ο πρώτος αποτελεί τη μεγαλύτερη διαδρομή μεταφοράς φυσικού αερίου από τη Ρωσία μεταφέροντας πάνω από 100 bcm φυσικού αερίου ετησίως και ο οποίος διέρχεται από την Ουκρανία και φτάνει μέχρι και τη Σλοβακία. Στη Σλοβακία, ο αγωγός χωρίζεται σε δύο παρακλάδια, το ένα από τα οποία φτάνει στη Τσεχία και το άλλο στην Αυστρία. Το δεύτερο παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη τροφοδοσία ρωσικού φυσικού αερίου αφού από την Αυστρία φτάνει στην Ιταλία, τη Σλοβενία και την Ουγγαρία.

Ο Soyuz μεταφέρει φυσικό αέριο από τη Ρωσία και την κεντρική Ασία μέχρι την Ουκρανία ενώ από εκεί το αέριο διανέμεται και κεντρικότερα μέσω άλλων αγωγών. Μαζί οι δύο αγωγοί έχουν συνολική ετήσια δυναμικότητα μέχρι 150 bcm.

Η Ρωσία τροφοδοτεί επίσης σε μεγάλο ποσοστό στην αγορά της Τουρκίας με τον αγωγό Blue Stream, ενώ σε λίγα χρόνια θα προστεθεί και ο μεγαλύτερος αγωγός Turkish Stream [26]. Ο αγωγός Blue Stream, ο οποίος φαίνεται στο Σχήμα 12 [26], ήταν ο πρώτος αγωγός που ένωσε την Τουρκία με την Ρωσία δίνοντας στη Ρωσία την προοπτική μιας νέας διαδρομής φυσικού αερίου προς την Ευρώπη παρακάμπτοντας την Ουκρανία, γεγονός που της δίνει οικονομικά οφέλη και μεγαλύτερη αυτονομία.



Σχήμα 12 Αγωγός Turkish Stream (υπό κατασκευή) και South Stream (ακυρωμένος). Πηγή: [26]

Η κατασκευή του Blue Stream έγινε για να καλύπτει αποκλειστικά τη Τουρκία, ενώ η πρόταση για τη κατασκευή του Blue Stream 2 που θα τροφοδοτούσε την Ευρώπη αντικαταστάθηκε με αυτή του South Stream που και αυτή απορρίφθηκε το 2014.

Πίνακας 2 Στοιχεία κύριων αγωγών φυσικού αερίου από Ρωσία

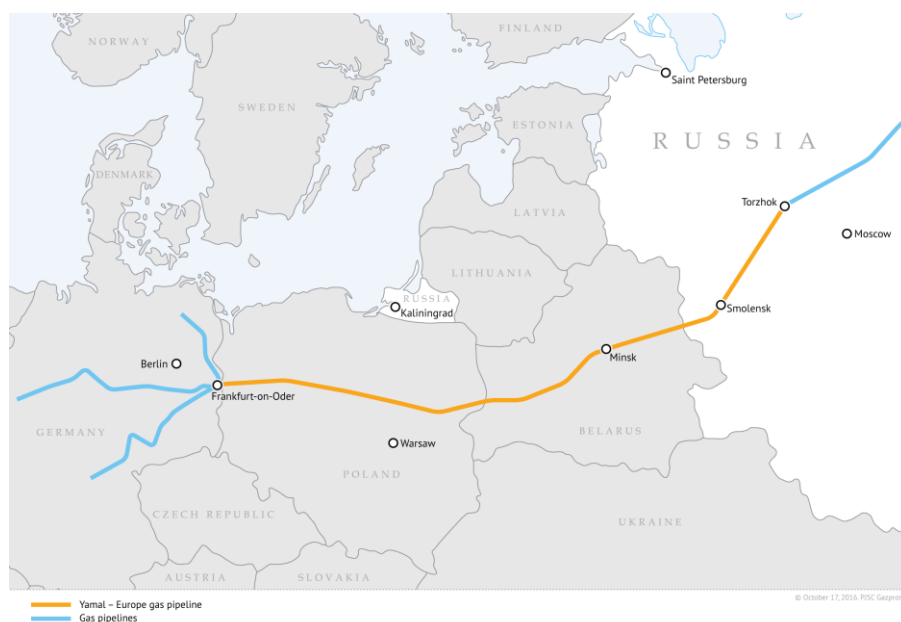
Αγωγός	Χερσαίος (X) / Υποθαλάσσιος (Y)	Μήκος (χλμ)	Διάμετρος (mm)	Συνολικό Μήκος (χλμ)	Δυναμικότητα (bcm/year) (Αναβάθμιση/έτος)	Σταθμοί Συμπίεσης	Κόστος
Yamal-Europe	Ρωσία (X)	402	1420	> 2000	33	14	
	Λευκορωσία (x)	575					
	Πολωνία (X)	683					
Soyuz	Ρωσία (X)	1108	1420	2675	26.1 (32)	12	
	Ουκρανία (X)	1567					
Northern Lights	Ρωσία- Λευκορωσία (X)	3x454	1200	7337	51		
	Λευκορωσία- Ουκρανία (X)	2x146	1220				
	Λευκορωσία- Πολωνία (X)	87	1020				
	Λευκορωσία- Λιθουανία (X)	196	1220				
	Ρωσία- Ουκρανία (X)	364	1420				
Nord Stream	Ρωσία (X)	2x1224	1220	1234	2 x 22.5 (110/2019)		7.4 δισεκ. €
	Γερμανία (X)						
Brotherhood	Ρωσία (X)	3340	1420	4500	>100	42	
	Ουκρανία (X)	1160					
Blue Stream	Ρωσία (X)	373	1200-	1213	16		3.2 δισεκ. €
	Τουρκία	444	1400				
	Μαύρη Θάλασσα (Y)	396	610				
Turkstream (υπό- κατασκ.)	Μαύρη Θάλασσα (Y)	2x900	810	910	2 x 15.75		20 δισεκ.\$
	Τουρκία (X)						

Τελικά το σχέδιο τροφοδοσίας της Ευρώπης μέσω της Μαύρης Θάλασσας θα γίνει πραγματικότητα μέσω του Turkish Stream, ο οποίος είναι υπό κατασκευή. Τα χαρακτηριστικά του αγωγού περιγράφονται στη συνέχεια. Στο Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των αγωγών που προμηθεύουν την Ευρώπη, προερχόμενο από τη Ρωσία

Συνολικά η Ρωσία θεωρείται ο μεγαλύτερος πάροχος φυσικού αερίου της Ευρώπης με συνολική ετήσια δυναμικότητα περίπου ίση με 230 bcm. Η ποσότητα φυσικού αερίου που παράγεται είναι ίση με 640 bcm ετησίως ενώ αυτή που καταναλώνει είναι περίπου ίση με 460 bcm ετησίως [27].

Αγωγός φυσικού αερίου Yamal-Europe

Πρόκειται για ένα διακρατικό αγωγό φυσικού αερίου που διέρχεται μέσα από τέσσερις χώρες [28]: τη Ρωσία, τη Λευκορωσία, την Πολωνία και τη Γερμανία (Σχήματα 11 και 13). Ο σχεδιασμός του έγινε το 1992 [29]. Το 1994, η Wingas, μια κοινοπραξία ανάμεσα στη Gazprom και τη Wintershall, θυγατρική της BASF, άρχισαν να κατασκευάζουν το γερμανικό τμήμα του αγωγού [30]. Οι πρώτες ποσότητες αερίου παραδόθηκε στη Γερμανία μέσω της Λευκορωσίας-Πολωνίας το 1997. Τα τμήματα του αγωγού στη Λευκορωσία και τη Πολωνία ολοκληρώθηκαν το Σεπτέμβριο του 1999 και ο αγωγός έφτασε την ονομαστική ετήσια παραγωγική ικανότητα του περίπου 33 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου το 2005, μετά την ολοκλήρωση όλων των σταθμών συμπίεσης [30]. Ο αγωγός έχει 14 σταθμούς συμπίεσης, με διάμετρο σωλήνα του 1420 χιλιοστά (56 ίντσες), και συνολικό μήκος πάνω από 2.000 χιλιόμετρα [28].



Σχήμα 13 Ο αγωγός φυσικού αερίου Yamal-Europe. Πηγή: [28]

Ο αγωγός ξεκινά από τον κόμβο του Torzhok όπου δέχεται φυσικό αέριο προερχόμενο από κοιτάσματα στις βόρειες επαρχίες (Δυτική Σιβηρία) μέσα από τον αγωγό Torzhok. Το ρωσικό τμήμα του αγωγού έχει μήκος 402 χιλιομέτρων, με τρεις σταθμούς συμπίεσης: Rzhevskaya, Holm-Zhirkovskaya και Smolenskaya [30]. Ο αγωγός στο ρωσικό τμήμα ανήκει στη Gazprom [29].

Στη Λευκορωσία ο αγωγός έχει μήκος 575 χιλιόμετρα, με πέντε σταθμούς συμπίεσης: Nesvizhskaya, Κρούπσκαγια, Slonimskaya, Minskaya και Orshanskaya. Η Gazprom είναι ο μοναδικός ιδιοκτήτης του αγωγού στη Λευκορωσία [29].

Στη Πολωνία ο αγωγός έχει μήκος 683 χιλιόμετρα, με πέντε σταθμούς συμπίεσης: Ciechanów, Szamotuły, Zambrów, Włocławek και Kondratki [29]. Η πολωνική τομέα του αγωγού ανήκει από την Europol GAZ, μια κοινοπραξία μεταξύ της Gazprom (48%) και της PGNiG της Πολωνίας (48%) [30].

Το δυτικότερο σημείο του αγωγού είναι ο σταθμός συμπίεσης Mallnow κοντά στην Frankfurt an der Oder κοντά στα γερμανο-πολωνικά σύνορα, όπου ο αγωγός συνδέεται με το σύστημα μεταφοράς φυσικού αερίου JAGAL-Nord, ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται με την STEGAL West-MIDAL-Rehden UGS συστήματος μεταφοράς φυσικού αερίου και STEGAL East-Olbernhau, όπου συναντώνται τα γερμανικά και τα τσεχικά συστήματα μεταφοράς [29]. Το γερμανικό τμήμα του αγωγού ανήκει στη Gascade (πρώην WINGAS Μεταφορών).

Αγωγός φυσικού αερίου Soyuz

Ο αγωγός συνδέει τη Ρωσία με τη Δυτική Ευρώπη έχοντας μήκος 2675 χιλιόμετρα διάμετρο 1420 mm (56 ίντσες) [31]. Κατασκευάστηκε τη περίοδο 1975-1978. Μεταφέρει φυσικό αέριο από κοιτάσματα που βρίσκονται στη Ρωσία και στη κεντρική Ασία στην Ευρώπη μέσω Ουκρανίας (Σχήμα 11). Συγκεκριμένα ξεκινά από το κοιτάσμα Orenburg και εισέρχεται στην Ουκρανία ανατολικά του Novorpskon μέσω του μετρητικού σταθμού φυσικού αερίου Sokhranonka στη Ρωσία [32]. Μέχρι το Novorpskon, τρέχει παράλληλα με τον αγωγό Orenburg-Novorpskon. Από εκεί, ο αγωγός Soyuz κατευθύνεται προς τα δυτικά μέχρι το Bar όπου ενώνεται με το διάδρομο των αγωγών Urengoy – Pomary – Uzhgorod (ή αγωγός Brotherhood). Ο Soyuz αφήνει την Ουκρανία μέσω του σταθμού Uzhgorod στα σύνορα με τη Σλοβακία [32]. Το μήκος του αγωγού στο ουκρανικό τμήμα είναι 1.567 χιλιόμετρα και η δυναμικότητα του 26,1 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως με πίεση 7,5 MPa [33]. Ο αγωγός αυτός έχει αποτελέσει θέμα τριβής μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας. Ο αγωγός διαθέτει 12 σταθμούς συμπίεσης. Ο σταθμός συμπίεσης Bar διαθέτει επτά μονάδες συνολικής δυναμικότητας 70000 kw [33].

Έχει προγραμματιστεί να πραγματοποιηθεί εκσυγχρονισμός των σταθμών συμπίεσης του αγωγού. Το κόστος του έργου είναι 227, 8 εκατομμύρια δολάρια .

Ο εκσυγχρονισμός του Soyuz θα βελτιώσει σημαντικά την τεχνική και οικονομική απόδοση του αγωγού. Το κόστος του φυσικού αερίου καυσίμου θα μειωθεί κατά 30%, ενώ η περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται να είναι 6 χρόνια. Η δυναμικότητα του αγωγού μετά τον εκσυγχρονισμό θα ανέρχεται σε 32 bcm ετησίως.

Αγωγός φυσικού αερίου Northern Lights

Ο Northern Lights (Βόρειο Σέλας) είναι ένα σύστημα αγωγού φυσικού αερίου που περνά από τη Ρωσία και τη Λευκορωσία (Σχήμα 11). Είναι ένας από τους κύριους αγωγούς στη βορειοδυτική Ρωσία και μια σημαντική διαδρομή διαμετακόμισης ρωσικού φυσικού αερίου προς την Ευρώπη [34].

Στη Σοβιετική Ένωση κατασκευάστηκε από τη δεκαετία του 1960 έως τη δεκαετία του 1980. Η κατασκευή του τμήματος Vuktyl-Ukhta-Gryazovets-Torzhok ξεκίνησε το 1967 και ολοκληρώθηκε το 1969. Μέχρι το 1974, ο αγωγός είχε επεκταθεί στο Minsk. Η δεύτερη κύρια γραμμή του αγωγού προστέθηκε κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970, ενώ η τρίτη κύρια γραμμή κορμού είχε κατασκευαστεί μέχρι το 1985. Αρχικά, το φυσικό αέριο προερχόταν από το κοίτασμα Vukhtyl, αλλά αργότερα ο αγωγός επεκτάθηκε και συνδέθηκε με το κοίτασμα φυσικού αερίου Urengoy.

Το σύστημα αγωγών Northern Lights έχει συνολικό μήκος 7.377 χιλιόμετρα, εκ των οποίων περίπου 2.500 χιλιόμετρα χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ρωσικού φυσικού αερίου προς την Ευρώπη [34]. Ο αγωγός εκτείνεται από το πεδίο φυσικού αερίου Urengoy μέσω Vuktyl, Ukhta, Gryazovets, Torzhok και Σμολένσκ στο Μινσκ στη Λευκορωσία και από εκεί στην Πολωνία, την Ουκρανία και τη Λιθουανία. Ένα τμήμα του νεότερου αγωγού Yamal-Europe τρέχει παράλληλα με τον αγωγό Northern Lights. Μια γραμμή διακλάδωσης από Gryazovets τροφοδοτεί την περιοχή της Αγίας Πετρούπολης και της Φινλανδίας. Μια τρίτη παράλληλη γραμμή θα προστεθούν σε αυτόν τον κλάδο για την προμήθεια με φυσικό αέριο του αγωγού Nord Stream. Στο Torzhok, ο αγωγός Northern Lights διασταυρώνεται με τον αγωγό Μόσχα - Αγία Πετρούπολη προμηθεύοντας με φυσικό αέριο τη περιοχή της Αγίας Πετρούπολης, της Λετονίας και της Εσθονίας. Η γραμμή κλάδου Minsk–Vilnius–Kaliningrad παρέχει φυσικό αέριο στη Λιθουανία και την περιφέρεια του Kaliningrad, ενώ η γραμμή κλάδου Ivatsevichy-Dolyga προμηθεύει την Ουκρανία και η γραμμή κλάδος Kobrin-Brest-Warsaw τροφοδοτεί την Πολωνία.

Αγωγός φυσικού αερίου Nord Stream

Ο Nord Stream είναι ένας αγωγός φυσικού αερίου που κατευθύνεται από τη Ρωσία προς την Ευρώπη και διαπερνά ολόκληρη τη Βαλτική Θάλασσα (Σχήμα 14) [35]. Αυτό που τον κάνει να ξεχωρίζει είναι ότι παρακάμπτει χώρες διαμετακόμισης, έτσι ο Nord Stream παρέχει στην Gazprom την άμεση πρόσβαση στους ευρωπαίους καταναλωτές.



Σχήμα 14 Η διαδρομή του Nord Stream και Nord Stream 2. Πηγή: [35]

Ο αγωγός εξασφαλίζει υψηλή αξιοπιστία στον εφοδιασμό της Ευρώπης με ρωσικό φυσικό αέριο. Η ετήσια δυναμικότητα των δύο αγωγών είναι 55 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου. Το μήκος του αγωγού είναι 1.224 χιλιόμετρα [35].

Ο διαχειριστής του Nord Stream είναι η κοινοπραξία Nord Stream AG που περιλαμβάνει την Gazprom (51%), η Wintershall και Uniper (E.ON μέχρι το 2016) με 15,5% συμμετοχή η κάθε μια και οι Gasunie και ENGIE με 9% η κάθε μια εταιρεία.

Ο Nord Stream είναι πολύ σημαντικός γιατί αποτελεί μια ασφαλή πηγή ενέργειας απαραίτητη για την ανάπτυξη της Ευρώπης.

Τον Απρίλιο του 2010, η κατασκευή του αγωγού Nord Stream ξεκίνησε στη Βαλτική Θάλασσα. Ο πρώτος αγωγός του Nord Stream τέθηκε σε λειτουργία το Νοέμβριο του 2011 και ο δεύτερος τον Οκτώβριο του 2012.

Ο Nord Stream χρησιμοποιεί τον σταθμό συμπίεσης της Portonava (Σχήμα 15). Με συνολική ισχύ 366 MW, ο σταθμός Portonava αποτελεί μια ξεχωριστή εγκατάσταση στην παγκόσμια βιομηχανία του φυσικού αερίου [3535].

Για τον Nord Stream χρησιμοποιήθηκαν σωλήνες διαμέτρου 1.220 χιλιοστά (48 ίντσες). Η πίεση εξόδου του αγωγού στην Ρωσία είναι 220 bar (220 κιλά ανά τετραγωνικό εκατοστό), ενώ η πίεση εξόδου στο σημείο εισαγωγής στη Γερμανία είναι 106 bar [35].



Σχήμα 15 Ο σταθμός συμπίεσης της Portonava. Πηγή: [35]

Πριν τον Nord Stream, δεν υπήρχε κανείς αγωγός στον κόσμο που να μπορούσε να μεταφέρει φυσικό αέριο για 1.224 χιλιόμετρα χωρίς τη χρήση σταθμούς συμπίεσης [35]. Υπάρχει μια εφεδρική πίεση στη γερμανική ακτή Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η διαθέσιμη ενέργεια είναι αρκετή για να μεταφερθεί το φυσικό αέριο, όχι μόνο δια μέσου της Βαλτικής Θάλασσας, αλλά και 100 χιλιόμετρα ακόμα στη ξηρά χωρίς τη χρήση επιπλέον σταθμών συμπίεσης.

Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται στο έργο είναι φτιαγμένες από μοναδικό χάλυβα. Χρειάστηκε χρόνος για να δημιουργηθεί ένα υλικό με τέτοια υψηλή αντοχή και ελαστικότητα. Επιπλέον, χάρη σε μια ειδική επεξεργασία, η τραχύτητα της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα είναι μικρότερη από 6 μικρά (ένα μικρό είναι ένα χιλιοστό του χιλιοστού). Για να επιτευχθεί αυτό, η επιφάνεια του σωλήνα είναι γυαλισμένη μηχανικά και στη συνέχεια καλύπτεται με ειδική πολυμερή επίστρωση. Χάρη στα υλικά, τις τεχνολογίες και τις λύσεις που χρησιμοποιούνται στο έργο, ο αγωγός φυσικού αερίου αναμένεται να λειτουργήσει άψογα για τουλάχιστον 50 χρόνια [35].

Ο υποθαλάσσιος αγωγός φυσικού αερίου δεν απαιτεί υψηλό κόστος συντήρησης. Η παρακολούθηση του αγωγού πραγματοποιείται με ειδικά εργαλεία ελέγχου, που ονομάζονται έξυπνοι χοίροι, κατά μήκος όλου του αγωγού από τη Ρωσία στη Γερμανία. Ο αγωγός έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να εξασφαλίζεται μια ανεμπόδιση δίοδος για τις συσκευές αυτές. Για το σκοπό αυτό, η εσωτερική διάμετρος του αγωγού διατηρείται σταθερή στα 1.153 χιλιοστά κατά μήκος ολόκληρης της διαδρομής με ένα σφάλμα της τάξης του ενός χιλιοστού μόνο [35].

Όσο ο αγωγός απομακρύνεται από τη Ρωσική ακτή, η εξωτερική διάμετρος του αγωγού μειώνεται σταθερά παράλληλα με την μείωση της πίεσης του αερίου. Ο αγωγός έχει σχεδιαστεί για πίεση λειτουργίας 220 bar κατά μήκος των πρώτων 300 χιλιομέτρων, 200 bar στα επόμενα περίπου 500 χιλιομέτρων και 170 bar έως το τέλος [35]. Το πάχος του τοιχώματος σε αυτά τα τρία τμήματα κυμαίνεται από 34 να 27 χιλιοστά. Αυτή η κατασκευή συνέβαλε στη μείωση του κόστους σωλήνων χωρίς να γίνει συμβιβασμός στην ποιότητα.

Η εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων έχει επικάλυψη από ειδικό αντιδιαβρωτικό σκυρόδεμα. Το τσιμέντο που χρησιμοποιείται είναι ειδικής σύνθεσης και επικαλύπτει τους σωλήνες και μαζί τον οπλισμό που είναι τυλιγμένος στον αγωγό, Η συγκεκριμένη επένδυση πρώτα από όλα προστατεύει τον αγωγό και τον κρατά στο βυθό της θάλασσας, εμποδίζοντάς τον να παρασυρθεί από υπόγεια ρεύματα. Δεύτερον, χρησιμεύει ως μόνωση, προστατεύοντας τον από εξωτερικό μηχανική ζημιά.

Αγωγός φυσικού αερίου Brotherhood

Ο αγωγός φέρει και το όνομα Urengoy–Pomary–Uzhgorod (Σχήμα 11) αλλά είναι επίσης γνωστός ως Δυτικός Σιβηρικός ή Δια-Σιβηρικός αγωγός και είναι ένας από τους κύριους αγωγούς εξαγωγής φυσικού αερίου της Ρωσίας που εν μέρει ανήκει και λειτουργεί από την Ουκρανία [36].

Ο αγωγός Brotherhood είναι ο μεγαλύτερος σε μήκος αγωγός μεταφοράς φυσικού αερίου. Μπορεί να μεταφέρει πάνω από 100 bcm φυσικού αερίου ετησίως, που διέρχονται από την Ουκρανία και τη Σλοβακία. Στη Σλοβακία, ο αγωγός χωρίζεται σε δύο κλάδους, ο πρώτος πηγαίνει στην Τσεχία ενώ ο δεύτερος πηγαίνει στην Αυστρία (Σχήμα 11).

Το έργο του αγωγού προτάθηκε το 1978 αρχικά σχεδιαζόταν να είχε ως αφετηρία το πεδίο του φυσικού αερίου Yamburg, στη πορεία όμως άλλαξαν τα σχέδια και αφετηρία αποφασίστηκε να είναι το πεδίο Urengoy, το οποίο ήταν ήδη σε χρήση.

Ο αγωγός κατασκευάστηκε το 1982-1984. Συμπληρώνει το διηπειρωτικό σύστημα μεταφοράς φυσικού αερίου από τη της Δυτική Σιβηρία στη Δυτική Ευρώπη, το οποίο

λειτουργεί από το 1973. Από το 2011, η Ukrtransgaz ξεκίνησε τον εκσυγχρονισμό του αγωγού [36].

Ο αγωγός κατευθύνεται αρχικά από το πεδίο του φυσικού αερίου Urengoy της Σιβηρίας στις στους σταθμούς συμπίεσης Romar στη Δυτική Ουκρανία αφού περάσει τα ρωσο-ουκρανικά σύνορα βόρεια του Σούμι. Μετά, το φυσικό αέριο μεταφέρεται σε χώρες της Κεντρικής και της Δυτικής Ευρώπης. Μαζί με τους αγωγούς Soyuz και Progres αποτελεί το δυτικό διάδρομο διέλευσης στην Ουκρανία. Στην Ουκρανία, παίρνει φυσικό αέριο στο αντλιοστάσιο Uzhgorod στα ουκρανικά σύνορα με τη Σλοβακία και σε μικρότερους σταθμούς στα ουγγρικά και ρουμανικά σύνορα. Ο αγωγός διασχίζει τα βουνά Ουράλια και Καρπάθια και πάνω από 600 ποτάμια συμπεριλαμβανομένων των Βόλγα, Δον και Δνείπερου [34].

Ο αγωγός έχει μήκος 4.500 χιλιόμετρα εκ των οποίων τα 1.160 χιλιόμετρα είναι στην Ουκρανία. Η διάμετρος του είναι 56 ίντσες (1.420 χιλιοστά). Η αρχική ετήσια δυναμικότητα του αγωγού ήταν 32 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου ετησίως [36]. Μέχρι το 2009, η πραγματική ετήσια δυναμικότητα ήταν 27.9 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Έχει 42 σταθμούς συμπίεσης, εκ των οποίων εννέα στην Ουκρανία.

Το ρωσικό τμήμα αυτού του αγωγού λειτουργεί από την Gazprom ενώ το ουκρανικό τμήμα λειτουργεί από την Ukrtransgaz.

Ο αγωγός αυτός ήταν η αιτία σφοδρής αντιπαράθεσης των ΗΠΑ και της Ρωσίας αφού με τη δυναμικότητά του άλλαζε την ισορροπία του εμπορίου ενέργειας στην Ευρώπη. Αποτέλεσε μια από τις πιο σοβαρές διατλαντικές κρίσεις του Ψυχρού Πολέμου. Όμως, Οι Δυτικοευρωπαίοι σύμμαχοι της Αμερικής αρνήθηκαν να υποκύψουν στις πιέσεις των ΗΠΑ για να μποϊκοτάρουν τον αγωγό, επιμένοντας ότι οι συμβάσεις που ήδη είχαν υπογραφεί μεταξύ των Σοβιετικών και των ευρωπαϊκών εταιρειών έπρεπε να υλοποιηθούν. Αυτό οδήγησε στο να τιμωρείται από την Κυβέρνηση των Η.Π.Α. αρκετές ευρωπαϊκές εταιρείες και να επιβάλλει εμπάργκο στην εξαγωγή υλικών και τεχνολογίας για την κατασκευή του αγωγού τη περίοδο 1980-1984 [36].

Αρκετά ατυχήματα έχουν λάβει χώρα στον αγωγό, τα πιο σοβαρά από αυτά σχετίζονται με εκρήξεις βομβών που είχαν σαν στόχο τμήματα του αγωγού σε περιοχές της Ουκρανίας κατά το 2007 και 2014.

Από το 2014 και μετά αποτελεί ένα από τα θέματα τριβής μεταξύ της Ρωσίας και της Ουκρανίας και πλέον αποτελεί στόχο από πλευράς της Ρωσίας να μειώσει την εξάρτηση της από την Ουκρανία σαν χώρα διακομιστή στη ροή φυσικού αερίου προς την Ευρώπη, με τη κατασκευή νέων αγωγών και με άλλες χώρες - διακομιστές της ΝΑ Ευρώπης.

Αγωγός φυσικού αερίου Blue Stream

Ο αγωγός φυσικού αερίου Blue Stream κατασκευάστηκε για να προμηθεύει με ρωσικό φυσικό αέριο την Τουρκία μέσω της Μαύρης Θάλασσας παρακάμπτοντας τις τρίτες χώρες (Σχήμα 16) [37] [38]39. Ο Blue Stream συμπληρώνει το διάδρομο μεταφοράς φυσικού αερίου που εκτείνεται από τη Ρωσία προς την Τουρκία μέσω της Ουκρανίας, της Μολδαβίας, της Ρουμανίας και της Βουλγαρίας. Ο αγωγός έχει ενισχύσει σημαντικά την αξιοπιστία της παροχής φυσικού αερίου προς την Τουρκία και συμβάλλει στην αγορά φυσικού αερίου και την ανάπτυξη των υποδομών στη χώρα αυτή.



Σχήμα 16 Θέση αγωγού Blue Stream. Πηγή: [37]

Η πλήρης δυναμικότητα του αγωγού φυσικού αερίου είναι 16 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου ετησίως [38]. Το συνολικό κόστος του αγωγού Blue Stream ανήλθε στα 3,2 δισεκατομμύρια δολάρια, συμπεριλαμβανομένων των 1,7 δισεκατομμύρια δολάρια για το υποβρύχιο τμήμα του.

Ο Blue Stream έχει χαρακτηριστικά που τον κάνουν να είναι ένα ξεχωριστό έργο μεταφοράς φυσικού αερίου στον κόσμο. Η Gazprom σαν κατασκευάστρια εταιρεία γύρισε μια νέα σελίδα στην ιστορία κατασκευής παρόμοιων έργων χρησιμοποιώντας τεχνολογία αιχμής.

Το συνολικό μήκος του αγωγού είναι 1.213 χιλιόμετρα. Στο χερσαίο ρωσικό τμήμα το μήκος του αγωγού είναι 373 χιλιόμετρα, και περιλαμβάνει δύο σταθμούς συμπίεσης Stavropol'skaya και Krasnodarskaya. Το υποθαλάσσιο τμήμα είναι 396 χιλιόμετρα και ξεκινά από τον σταθμό συμπίεσης Beregonaya έως το τερματικό Durusu που βρίσκεται 60 χιλιόμετρα από τη Σαμψούντα Τουρκίας. Το χερσαίο στη Τουρκία έχει μήκος 444 χιλιόμετρα και φθάνει έως την Άγκυρα [38].

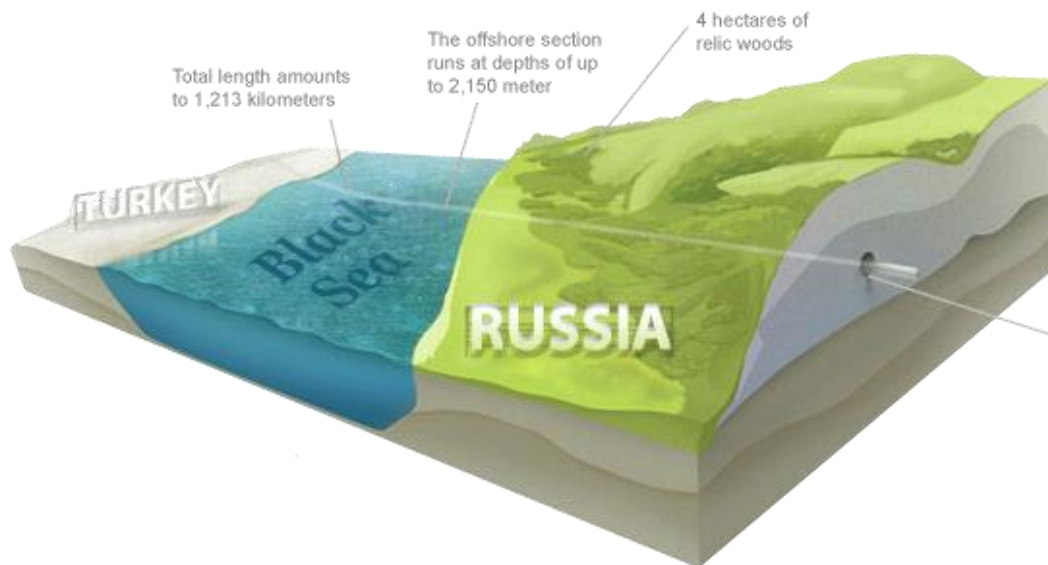
Ο αγωγός χρησιμοποιεί σωλήνες με διαφορετικές διαμέτρους: στη χερσαία διαδρομή 1400 χιλιοστά (55 ίντσες), στο ορεινό τμήμα 1.200 χιλιοστά (47 ίντσες) και στο υποθαλάσσιο τμήμα 610 χιλιοστά (24 ίντσες). Η πίεση του αερίου στο υποθαλάσσιο τμήμα είναι 25 MPa (250 atm) [39].

Θεωρείται ακόμα ένας από τα βαθύτερους αγωγούς στον κόσμο. Είναι τοποθετημένος σε βάθη ακόμα και 2,2 χιλιόμετρα τα οποία υπερβαίνουν το μέσο όρο βάθους γνωστών άλλων υποθαλάσσιων αγωγών.

Εξειδικευμένες λύσεις μηχανικής εφαρμόστηκαν προκειμένου να αντιμετωπιστούν προβλήματα στη κατασκευή στο ρωσικό ορεινό τμήμα που έχει μήκος πάνω από 60 χιλιόμετρα και στο υποθαλάσσιο τμήμα που βρίσκεται σε βάθη έως και 2.150 μέτρα σε ένα περιβάλλον με μεγάλες συγκεντρώσεις υδροθείου [39].

Για τον αγωγό χρησιμοποιήθηκαν υψηλής ποιότητας χαλυβδοσωλήνες ανθεκτικές στη διάβρωση, με εσωτερικά και εξωτερικά επιχρίσματα πολυμερούς. Για πρώτη φορά κατασκευάστηκαν εκτεταμένες σήραγγες στο ορεινό ρωσικό τμήμα του αγωγού φυσικού αερίου κάτω από τις οροσειρές Kobyla και Bezymyanny (Σχήμα 17). Το μήκος των σηράγγων ανήλθε σε 3.260 μέτρα [39].

Παράλληλα με την κατασκευή του αγωγού φυσικού αερίου λήφθηκαν περιβαλλοντικά μέτρα, όπως η αποκατάσταση εδαφών κατά μήκος όλης της διαδρομής του αγωγού και η διατήρηση δασών.



Σχήμα 17 Απεικόνιση διαδρομής Blue Stream. Πηγή: [39]

Ο αγωγός έχει κατασκευαστεί από την Blue Stream Pipeline B.V., την κοινοπραξία της ρωσικής Gazprom και της ιταλικής Eni. Το Blue Stream Pipeline B.V. είναι ο ιδιοκτήτης του τμήματος υποθαλάσσια των αγωγών, συμπεριλαμβανομένων των σταθμών συμπύεσης Beregonava, ενώ η Gazprom κατέχει και λειτουργεί το χερσαίο τμήμα του αγωγού στη ρωσική επικράτεια ενώ ο αγωγός επί του τουρκικού εδάφους ανήκει και λειτουργεί από την τουρκική ενεργειακή εταιρία BOTAS [38].

Η κατασκευή του χερσαίου τμήματος του Blue Stream μήκους 396 χιλιομέτρων ξεκίνησε τον Σεπτέμβριο του 2001 και ήταν ολοκληρώθηκε το Μάιο του 2002. Η τροφοδοσία με φυσικό αέριο μέσω του αγωγού ξεκίνησε τον Φεβρουάριο του 2003. Ωστόσο, η επίσημη τελετή εγκαινίων πραγματοποιήθηκε στο σταθμό μέτρησης του φυσικού αερίου Durusu μόλις στις 17 Νοεμβρίου 2005 λόγω διαφορών που υπήρχαν μεταξύ της Ρωσίας και της Τουρκίας σχετικά με τη τιμή του φυσικού αερίου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια περιόδων με χαμηλή θερμοκρασία η Τουρκία ζητά να μεταφέρεται καθημερινά ποσότητα φυσικού αερίου ίσης με το δυναμικό του αγωγού.

➤ Αγωγός φυσικού αερίου Turkstream

Ο Turkstream ή Turkish Stream είναι ένας αγωγός που θα συνδέσει τη Ρωσία με τη Θράκη (ευρωπαϊκό τμήμα της Τουρκίας) μέσω της Μαύρης Θάλασσας (Σχήμα 18) [40][41]. Ανακοινώθηκε από τον Ρώσο πρόεδρο Βλαντιμίρ Πούτιν την 1η Δεκεμβρίου 2014, κατά τη διάρκεια της επίσημης επίσκεψης του στην Τουρκία. Πριν από την επίσημη υπογραφή της συμφωνίας, τον Οκτώβριο του 2016 το έργο είχε προσωρινά διακοπεί. Ως μέρος της συμφωνίας, η Τουρκία θα λάβουν έκπτωση στις τιμές του φυσικού αερίου από τη Ρωσία.



Σχήμα 18 Θέση του αγωγού Turkstream. Πηγή: [41]

Η υπεράκτια συνιστώσα του συστήματος θα κατασκευαστεί από την Gazprom. Ο υποθαλάσσιος αγωγός θα έχει μήκος περίπου 900 χλμ και θα αποτελείται από δύο παράλληλους αγωγούς που θα τρέχουν μέσω της Μαύρης Θάλασσας. Οι αγωγοί θα υποβυθιστούν στο νερό κοντά στην Ανάπα, στη ρωσική ακτή, και θα βγουν στην ξηρά από την τουρκική ακτή περίπου 100 χιλιόμετρα δυτικά της Κωνσταντινούπολης, κοντά στο χωριό Κιγικου. Από Κιγικου, ένας υπόγειος αγωγός θα αναπτυχθεί συνδέοντας τον TurkStream με το υπάρχον δίκτυο φυσικού αερίου στο Luleburgaz. Η διαδρομή θα συνεχιστεί από εκεί στο τελικό σημείο της στη τουρκική πόλη Irsala, κοντά στα ελληνικά σύνορα (Σχήμα 18).

Ο TurkStream θα συνδέει άμεσα τα μεγάλα αποθέματα φυσικού αερίου στη Ρωσία με το τουρκικό δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου, για την παροχή αξιόπιστου ενεργειακού εφοδιασμού στην Τουρκία και στην Νοτιοανατολική Ευρώπη. Η σχεδιαζόμενη δυναμικότητα του αγωγού ανέρχεται σε 31.5 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου ετησίως (δύο αγωγοί δυναμικότητας 15,75 δισεκατομμυρίων

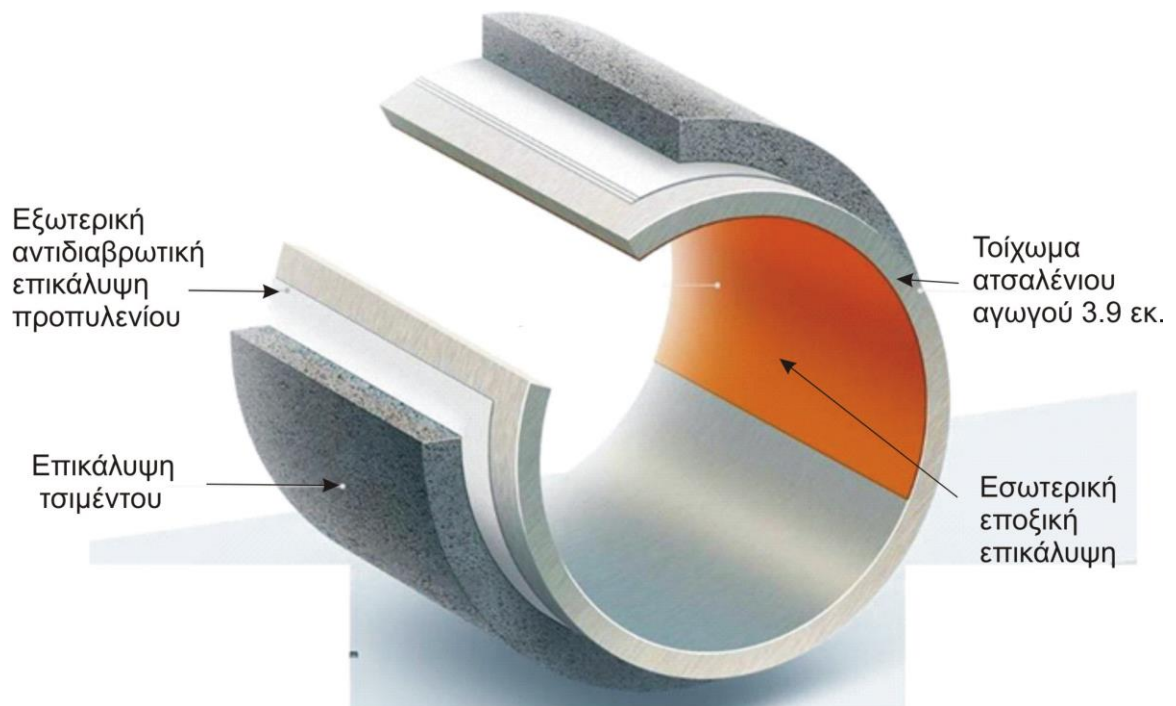
κυβικών μέτρων ο καθένας) [42]. Η Τουρκία θα λάβει περίπου 14 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως και το υπόλοιπο του φυσικού αερίου θα εξαχθεί στην Ευρώπη.

Η δυναμικότητα του αγωγού όπως φαίνεται από τα παραπάνω στοιχεία είναι πολύ μεγάλη και αναμένεται να φέρει μεγάλες αλλαγές στην Ευρωπαϊκή αγορά αερίου. Με βάση τη σημερινή κατανομή των αγωγών υπάρχει ανησυχία για το πώς θα γίνει η μεταφορά ενός τέτοιου όγκου από τα Ελληνική-τουρκικά σύνορα περαιτέρω στην Ευρώπη. Επίσης είναι πιθανό οι προσφερόμενοι όγκοι του προτεινόμενου αγωγού να υπερβαίνουν τις απαιτήσεις των πιθανών πελατών. Είναι πιθανόν, η Gazprom με το έργο του TurkStream να θέλει να μειώσει τον όγκο του ρωσικού φυσικού αερίου που παρέχεται στην Ευρώπη μέσω της Ουκρανίας. Να σημειωθεί ότι το 2015, η Gazprom διοχέτευσε μέσω Ουκρανίας προς την Ευρώπη 64,2 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (bcm) φυσικού αερίου.

Το έργο του TurkStream που θα γίνει και θα εκμεταλλευτεί από την Gazprom θα στοιχίσει τουλάχιστον 20 δισεκατομμύρια δολάρια.

Ο TurkStream είναι ένα έργο που θα χρησιμοποιήσει τη τελευταία λέξη της τεχνολογίας. Θα είναι ο πρώτος αγωγός μεγέθους 32 ιντσών που θα είναι ποντισμένος σε βάθη άνω των 2 χιλιομέτρων (μέγιστο βάθος 2200 μέτρα). Κάθε ένας από τα δύο αγωγούς ανοικτής θαλάσσης θα είναι φτιαγμένος από χιλιάδες σωλήνες μήκους ο καθένας 12 μέτρων [42]. Οι σωλήνες παράγονται σε ειδικά εργοστάσια και αποστέλλονται σε ναυπηγεία κατασκευής για επικάλυψη. Τα τοιχώματα του αγωγού κατασκευάζεται από 39 χιλιοστά υψηλής ποιότητας χάλυβα μαγγανίου άνθρακα, όπως και κάθε άρθρωση για τη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του σωλήνα έτσι ώστε να μπορεί να αντέξει την τεράστια πίεση (Σχήμα 19) [42]. Οι σωλήνες που θα τοποθετηθούν πιο κοντά στην ακτή είναι επικαλυμμένοι με μπετόν για πρόσθετη σταθερότητα και τη προστασία από θαλάσσιες δραστηριότητες'

Σωλήνες μεταφέρονται απευθείας από πλοίο σε ένα ειδικό σκάφος πόντισης αγωγών [42]. Επί του σκάφους, οι αρθρώσεις των σωλήνων συγκολλούνται πάνω στο κύριο σώμα του αγωγού. Στη συνέχεια, η συγκόλληση δοκιμάζεται και στη συνέχεια επικαλύπτεται, πριν ποντιστεί ο αγωγός στο νερό. Αργά αλλά σταθερά, το πλοίο πόντισης του αγωγού θα διασχίσει τη Μαύρη Θάλασσα προσθέτοντας νέα τμήματα στο κύριο αγωγό καθώς κινείται. Η διαδικασία είναι διαρκής σε όλο το εικοσιτετράωρο, με αποτέλεσμα το σκάφος να ποντίζει 3 χιλιόμετρα αγωγού κάθε ημέρα. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, οι σωλήνες συγκολλούνται μαζί οριζόντια, και μετά ποντίζονται στον πυθμένα της θάλασσας σε ένα σχήμα "S". Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε ρηχά όσο και βαθιά νερά.



Σχήμα 19 Εσωτερικές και εξωτερικές επικαλύψεις αγωγού. Πηγή: [42]



Σχήμα 20 Σκάφος πόντισης σωλήνων. Πηγή: [42]

Επιπλέον χρησιμοποιούνται εξελιγμένες τεχνικές για το καθορισμό της βέλτιστης διαδρομής [42] όπως:

- Σεισμικές έρευνες υψηλής ανάλυσης όπου ένα σκάφος μέσω έκρηξης παράγει ηχητικό κύμα που ανακλάται στο βυθό της θάλασσας δίνοντας μια ακουστική εικόνα με πληροφορίες τόσο για την μορφολογία του βυθού όσο και κάτω από αυτόν.
- Ηχοβολιστικές έρευνες, όπου εκπέμπεται ευρύς ακουστικός παλμός, που ανακλάται στο βυθό με διαφορετικούς τρόπους για να αποκαλύψει το ανάγλυφο του πυθμένα. Στη συνέχεια ένα 3D μοντέλο σχηματίζεται που δείχνει το βάθος του νερού και το σχήμα του πυθμένα της θάλασσας.
- Υπεδαφικές έρευνες, όπου πάλι με τη βοήθεια ηχητικών παλμών κάθετα προς τον πυθμένα, καταγράφονται τα στρώματα των ιζημάτων ή πετρωμάτων κάτω από το βυθό της θάλασσας για να διαπιστωθεί εάν είναι κατάλληλα για τη τοποθέτηση του αγωγού.
- Έρευνες πλευρικού σαρωτή με τις οποίες λαμβάνεται εικόνα μεγάλης περιοχής του πυθμένα της θάλασσας με σάρωση μέχρι 500 μέτρα αριστερά και δεξιά, για να διερευνηθεί τυχόν εμπόδια κοντά τη διαδρομή του αγωγού.
- Δειγματοληψία βυθού, όπου λαμβάνονται δείγματα από το βυθό της θάλασσας σε διαφορετικά βάθη. Το έδαφος στη συνέχεια αναλύεται σε εργαστήριο για να προσδιοριστεί αν ο βυθός είναι κατάλληλος για την τοποθέτηση του αγωγού.
- υποβρύχια κινηματογράφηση όπου τηλεχειριζόμενο όχημα (ROV) εκτελεί οπτική επιθεώρηση της διαδρομής και εξετάζει αντικείμενα με λεπτομέρεια. Το ROV μπορούν να μεταφέρουν και άλλα μέσα, όπως σόναρ ή μαγνητόμετρα.

3.2.2 Αγωγοί φυσικού αερίου από χώρες της Μέσης Ανατολής

Η ευρύτερη περιοχή της Μέσης Ανατολής διαθέτει μεγάλες ποσότητες παραγωγής φυσικού αερίου με κύριες χώρες παραγωγής το Ιράν, το Αζερμπαϊτζάν και το Τουρκμενιστάν. Για να γίνουν καλύτερα κατανοητές οι συνθήκες μεταφοράς φυσικού αερίου από τη Μέση Ανατολή προς την Ευρώπη πρέπει να εξεταστεί ο ρόλος που διαδραματίζει η Τουρκία, η οποία κατέχει μείζονα κόμβο μεταφοράς φυσικού αερίου από τον Καύκασο και την κεντρική Ασία. Η θέση της σε συνδυασμό με το γεγονός ότι είναι ένας κύριος καταναλωτής φυσικού αερίου, με ετήσια κατανάλωση ίση με 39.6 bcm την οδήγησαν να ασχοληθεί ενεργά με την μεταφορά φυσικού αερίου από το παρελθόν μέχρι και σήμερα. Η τροφοδοσία της Τουρκίας ξεκίνησε, όπως και της

Ελλάδας μέσω του διαβαλκανικού αγωγού TRANS-BALKAN ο οποίος ξεκινάει από τη Ρωσία και φτάνει στη Βουλγαρία διερχόμενος από την Ουκρανία, τη Μολδαβία και τη Ρουμανία. Τα συμφέροντα της Ρωσίας και της Τουρκίας οδήγησαν τις δύο χώρες, μετά από κάποια χρόνια, να ενωθούν απευθείας με τον υποθαλάσσιο αγωγό **Blue-Stream**, ο οποίος έκανε τη μεταφορά φυσικού αερίου οικονομικότερη αφού πλέον δεν θα υπήρχαν τέλη μεταφοράς από τις ενδιάμεσες χώρες, μειώνοντας έτσι το κόστος. Οι συνεχείς εντάσεις των δύο χωρών και η ικανότητα της Τουρκίας, λόγω θέσης, να μπορεί να τροφοδοτηθεί με φυσικό αέριο από το Ιράν και το Αζερμπαϊτζάν οδήγησαν στην κατασκευή δύο αγωγών, των **South-Caucasus** και **Tabriz-Ankara** με ετήσια δυναμικότητα μεταφοράς 25 bcm και 14 bcm αντίστοιχα. Με την κατασκευή τους για πρώτη φορά υπήρχε η δυνατότητα να παροχετευτεί φυσικό αέριο από κοιτάσματα της Μέσης Ανατολής στην Ευρώπη. Άξιο αναφοράς είναι ότι έγινε προσπάθεια ένωσης του Τουρκμενιστάν με το Αζερμπαϊτζάν με υποθαλάσσιο αγωγό, που στόχο είχε την αξιοποίηση κοιτασμάτων του πρώτου, αλλά αναβλήθηκε αφού τα υποθαλάσσια κοιτάσματα του Αζερμπαϊτζάν έδιναν ήδη τις απαιτούμενες ποσότητες φυσικού αερίου [43]. Οι αγωγοί που προαναφέρθηκαν φαίνονται στο Σχήμα 21 [43][44].



Σχήμα 21 Αγωγοί φυσικού αερίου Μέσης Ανατολής. Πηγή: [43][44]

Παρόλο που το φυσικό αέριο πλέον έφτανε στην Τουρκία δημιουργούταν η ανάγκη κατασκευής αγωγού που θα τροφοδοτούσε την Ευρώπη. Αυτό θα επιτευχθεί μετά το πέρας της κατασκευής των αγωγών **Tanap** και **Tar** οι οποίοι θα έχουν ετήσια παροχή 16 bcm (τα 10 από αυτά θα κατευθύνονται στην Ευρώπη) και 11 bcm αντιστοίχως (Σχήμα 22) [45]. Ο Tanap θα έχει δυνατότητα επέκτασης έως και 31 bcm ετησίως, κάτι που θα τον κάνει τον βασικότερο αγωγό τροφοδοσίας φυσικού αερίου από τη Μέση Ανατολή στην Ευρώπη, ενώ ο αγωγός Tar θα έχει δυνατότητα επέκτασης έως και 20 bcm ετησίως. Ο Tar με την επέκταση αυτή μπορεί να αποτελέσει έναν σημαντικό αγωγό με εν δυνάμει ικανότητα μεταφοράς και ρωσικού φυσικού αερίου μέσω της Μαύρης Θάλασσας, μέσω του υπό κατασκευή αγωγού Turkish-Stream παρακάμπτοντας ενδιάμεσες χώρες όπως την Ουκρανία και την Ρουμανία, κάτι πολύ σημαντικό για την Ρωσία.

Όπως είναι φανερό και από το Σχήμα 22 η κατασκευή του Tar είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη λειτουργία του Tanap, αφού αυτός ο αγωγός θα είναι υπεύθυνος για την τροφοδοσία της Ευρώπης μέσα από την διαδρομή του από την Ελλάδα, την Αλβανία με τελικό προορισμό την Ιταλία. Η διαδρομή που αποτελείται από τους αγωγούς **South-Caucasus, Tanap, Tar** ονομάζεται **Southern Gas Corridor** ή αλλιώς Νότιος Διάδρομος φυσικού αερίου και θα είναι η πρώτη ολοκληρωμένη πορεία φυσικού αερίου από τη Μέση Ανατολή στην Ευρώπη (Σχήμα 22).



Σχήμα 22 Αγωγοί του Southern Gas Corridor. Πηγή: [45]

Το συνολικό μήκος θα είναι 3500 χλμ και το συνολικό εκτιμώμενο κόστος 45 δισεκατομμύρια δολάρια ενώ θα διασχίζει επτά χώρες. Για να εξασφαλιστεί ότι το έργο αυτό θα εκπληρώνει το σκοπό του πρέπει να εξασφαλιστεί ότι το φυσικό αέριο από τη Κασπία Θάλασσα θα φτάνει σε πολλές Ευρωπαϊκές αγορές. Ο σχεδιασμός του

Ταρ προσφέρει πολλές εναλλακτικές διαδρομές προς τη κεντρική Ευρώπη και αυτές αναφέρονται παρακάτω:

- Ο Ταρ θα φτάνει στην Ιταλία και από εκεί θα ενώνεται με το εθνικό δίκτυο της.
- Θα μπορεί να μεταφέρει φυσικό αέριο στην Αυστρία και από εκεί στη κεντρική Ευρώπη μέσω του Αγωγού Trans-Austria με εναλλαγή ροής.
- Θα μπορεί να μεταφέρει φυσικό αέριο στη Γερμανία και στη Γαλλία από την Ελβετία μέσω του αγωγού Transitgas με εναλλαγή ροής.
- Θα μπορεί να μεταφέρει φυσικό αέριο στην Αγγλία μέσα από την δημιουργία αντίστροφης ροής στο υφιστάμενο δίκτυο, το οποίο είναι σε συζήτηση, που την συνδέει με την Ιταλία μέσα από τις αγορές της Ελβετίας, Γερμανίας, Ολλανδίας και Βελγίου.
- Θα μπορεί να μεταφέρει φυσικό αέριο στη Βουλγαρία και άλλες βαλκανικές χώρες μέσα από τον υπάρχων Ελληνοβουλγαρικό αγωγό και άλλες συνδέσεις [46].

Σε αυτό το σημείο όμως πρέπει να αναφερθεί ένα άλλο έργο που τοποθετείται στα πλαίσια του Νότιου Διαδρόμου και κάποια τμήματα του είναι σε λειτουργία ενώ κάποια άλλα έχουν προταθεί αλλά είναι ασαφή λόγω της κατασκευής του Ταρ. Το έργο αυτό είναι ο συνδετήριος αγωγός Τουρκίας, Ελλάδας, Ιταλίας (ITGI) και φαίνεται στο Σχήμα 23 [47].



Σχήμα 23 Συνδετήριος αγωγός (ITGI). Πηγή: [47]

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 23 [47] ο μόνος αγωγός σε λειτουργία είναι αυτός που ενώνει την Ελλάδα με την Τουρκία με συνολικό μήκος 296 χλμ.

Το μήκος του Τουρκικού τμήματος ανέρχεται στα 210 χιλιόμετρα, από τα οποία τα 17 βρίσκονται υποθαλάσσια στη θάλασσα του Μαρμαρά. Το μήκος του Ελληνικού τμήματος είναι 86 χιλιόμετρα. Η διάμετρος του αγωγού είναι 910 χιλιοστά και

δυναμικότητα του ανέρχεται στα 7 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου το χρόνο.

Το τμήμα που ενώνει Ελλάδα και Βουλγαρία και τα τμήματα που ενώνουν την Ελλάδα και την Ιταλία δεν έχουν ξεκινήσει να κατασκευάζονται ακόμα. Το τμήμα Ελλάδας - Βουλγαρίας θα έχει δυναμικότητα 1 bcm ετησίως και μήκος 160 χλμ μεταξύ Κομοτηνής και Στάρα Ζαγόρα στην Βουλγαρία. Το μήκος του αγωγού Ελλάδα - Ιταλίας θα είναι περισσότερο από 807 χιλιόμετρα, από τα οποία 590 χιλιόμετρα θα βρίσκονται χερσαία στην Ελλάδα και περισσότερα από 217 χιλιόμετρα θα βρίσκονται υποθαλάσσια του Ιονίου Πελάγους. Ο αγωγός θα συνδέεται με τον αγωγό Ελλάδας - Τουρκίας έξω από την Κομοτηνή και θα φτάνει ως την Ηγουμενίτσα. Το υποθαλάσσιο τμήμα θα κατασκευαστεί μεταξύ Ηγουμενίτσας και Οτράντο στην Απουλία της Ιταλίας.

Το υποθαλάσσιο τμήμα θα κοστίσει 500 εκατομμύρια ενώ το Ελληνικό τμήμα θα κοστίσει 600 εκατομμύρια ευρώ. Η δυναμικότητα μεταφοράς του αγωγού θα είναι 12 bcm ετησίως [47]. Το 80% της μεταφοράς θα κρατείται από την Edison SpA, ενώ το 20% από την Δ.Ε.Π.Α [48].

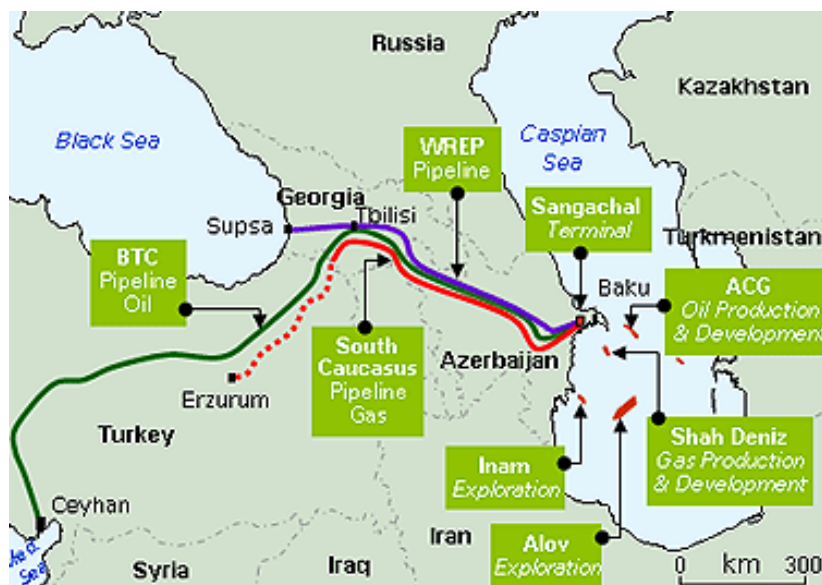
Πίνακας 3 Στοιχεία κύριων αγωγών φυσικού αερίου από χώρες της Μέσης Ανατολής

Αγωγός	Χερσαίος (X) / Υποθαλάσσιος (Y)	Μήκος (χλμ)	Διάμετρος (mm)	Συνολικό Μήκος (χλμ)	Δυναμικότητα (bcm/y) (Αναβάθμιση/έτος)	Σταθμοί Συμπίεσης	Κόστος
South Caucasus	Αζερμπαϊτζάν (X)	443	1070	691	20 (25/2017)		1 billion \$
	Γεωργία (X)	248					
	Τουρκία (X)	1078					
Tabriz Ankara	Ιράν (X)	2577	1070	2577	14		600 billion \$ (Τουρκικό τμήμα)
	Τουρκία (X)						
Tanap (υπό-κατασκ.)	Τουρκία (X)	1850	1200/1400	1850	16 (31)	7	11.7 billion \$
Trans Adriatic (TAP) (υπό-κατασκ.)	Ελλάδα (X)	550	1200	878	10 (20)	2 (4)	1.5 δις ευρώ
	Αλβανία (X)	215					
	Ιταλία (X)	8					
	Αδριατική (Y)	105	910				

Αγωγός φυσικού αερίου South Caucasus

Ο South Caucasus Pipeline (SCP) ή αλλιώς Baku–Tbilisi–Erzurum Pipeline (BTE pipeline) είναι ένας αγωγός εξαγωγής φυσικού αερίου που μεταφέρει το φυσικό αέριο από το πεδίο Shah Deniz που βρίσκεται στο Αζερμπαϊτζάν της Κασπίας Θάλασσας προς το Αζερμπαϊτζάν, τη Γεωργία και την Τουρκία με τερματισμό στο Ερζερούμ της Ανατολικής Τουρκίας (σχήμα 24) [49]. Ο αγωγός αναπτύσσεται παράλληλα και κοντά στον αγωγό αργού πετρελαίου Μπακού-Τιφλίδα-Τσεϊχάν (BTC).

Το συνολικό μήκος του αγωγού είναι 692 χιλιόμετρα. Ο αγωγός έχει μήκος 442 χιλιόμετρα στο τμήμα της Γεωργίας και 248 χιλιόμετρα στο τμήμα της Τουρκίας [49].



Σχήμα 24 Ο αγωγός South Caucasus

Η κατασκευή του αγωγού ξεκίνησε το 2004 και ολοκληρώθηκε το τελευταίο τρίμηνο του 2006, με μια επένδυση ύψους περίπου 1 δισ. δολάρια. Αρχικά γινόταν παράδοση φυσικού αερίου στο Αζερμπαϊτζάν και τη Γεωργία. Παράδοση του φυσικού αερίου προς την Τουρκία ξεκίνησε τον Ιούλιο του 2007.

Ο αγωγός είναι θαμμένος σε όλη τη διαδρομή και έχει σχεδιαστεί για μια διάρκεια ζωής 30 ετών. Έχει διάμετρο 42 ίντσες και η αρχική του κατασκευαστική δυναμικότητα ήταν 8.8 bcm αερίου ετησίως [49]. Το 2016 η δυναμικότητα του ήταν 20 bcm. Προστατεύεται από τη διάβρωση με την εφαρμογή ενός συνδυασμού από πολυαιθυλένιο με επικάλυψη τριών στρωμάτων και ένα σύστημα καθοδικής προστασίας.

Εκτός από την κατασκευή του αγωγού, το έργο περιλαμβάνει μια σειρά από επίγειες εγκαταστάσεις, συμπεριλαμβανομένων δύο σταθμών συμπίεσης (ένα σε Αζερμπαϊτζάν και ένα στη Γεωργία), ένα ενδιάμεσο σταθμό για καθαρισμό και επιθεώρηση) και 11 μπλοκ βαλβίδων.

Ο αγωγός τώρα επεκτείνεται για να μεταφέρει επιπλέον φυσικό αέριο από τη δεύτερη φάση του έργου ανάπτυξης του κοιτάσματος Shah Deniz (Shah Deniz Στάδιο 2). Μετά την ολοκλήρωση του έργου το 2017, η ικανότητα του αγωγού θα αυξηθεί σε 25 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως [Error! Bookmark not defined.]. Προκειμένου να αυξηθεί η μεταφορική ικανότητα, ένας νέος αγωγός με 56 ίντσες διάμετρο θα τοποθετηθεί δίπλα στον υπάρχοντα αγωγό. Ο νέος αγωγός θα ξεκινά από τα σύνορα της Γεωργίας και θα επανασυνδέεται με τον υπάρχοντα αγωγό μετά από 56 χιλιόμετρα.

Ο SCP ανήκει στην εταιρία South Caucasus Pipeline που είναι μια κοινοπραξία από επτά εθνικές και διεθνείς εταιρείες ενέργειας, οι οποίες περιλαμβάνουν BP (25,5%), την Κρατική Εταιρεία Πετρελαίου της Δημοκρατίας του Αζερμπαϊτζάν (SOCAR, 10%), Statoil (25,5%), η Lukoil (10%), Naftiran Intertrade Company (NICO, 10%), και η Εθνική εταιρεία πετρελαίου και φυσικού αερίου της Τουρκίας (ΤΡΑΟ, 9%) [49].

Η BP είναι η εταιρεία χειριστής (operator) όσον αφορά το τεχνικό τμήμα, επιβλέποντας τις δραστηριότητες ανάπτυξης και παραγωγής. Η Statoil είναι η εταιρεία χειριστής όσον αφορά το εμπορικό τμήμα επιβλέποντας την επιχειρηματική δραστηριότητα και τη διοίκηση που σχετίζονται με τον αγωγό.

Αγωγός φυσικού αερίου Tabriz Ankara

Ο αγωγός αυτός έχει συνολικό μήκος 2.577 χιλιόμετρα ξεκινώντας από το Ταμπρίζ στο βορειοδυτικό Ιράν και καταλήγει στην Άγκυρα της Τουρκίας περνώντας από το Erzurum της Τουρκίας. Στο Ερζερούμ, ο αγωγός Νοτίου Καυκάσου συνδέεται με τον αγωγό Ιράν-Τουρκίας [50][51].

Η κατασκευή του αγωγού ξεκίνησε το 1996 μετά από την υπογραφή μιας συμφωνίας φυσικού αερίου μεταξύ της τουρκικής και της ιρανικής κυβέρνησης. Η συμφωνία φυσικού αερίου υπεγράφη στις 30 Αυγούστου 1996. Ο αγωγός ανατέθηκε στις 26 Ιουλίου 2001. Η μέγιστη παροχή του είναι 14 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα ανά έτος [51].



Σχήμα 25 Ο αγωγός Tabriz Ankara. Πηγή: [50]

Ο αγωγός Ιράν-Τουρκίας αποτέλεσε πολλές φορές στόχο των ανταρτών του PKK.

Την 1η Ιανουαρίου 2008, το Ιράν μείωσε τις προμήθειες φυσικού αερίου προς την Τουρκία, και στις 7ης Ιανουαρίου 2008 οι προμήθειες φυσικού αερίου σταμάτησαν λόγω της διακοπής προμήθειας φυσικού αερίου από το Τουρκμενιστάν. Οι

προμήθειες αποκαταστάθηκαν στις 27 Ιανουαρίου 2008. Η παροχή διακόπηκε και πάλι τον Φεβρουάριο του 2008, λόγω των κακών καιρικών συνθηκών.

Ο αγωγός ανήκει στην Εθνική Εταιρεία πετρελαίου του Ιράν και στην BOTAS. Το τουρκικό τμήμα κόστισε 600 εκατομμύρια US \$ και λειτουργεί από την BOTAS. Η ετήσια εισαγωγή φυσικού αερίου στην Τουρκία είναι της τάξης των 11 δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων φυσικού αερίου [51].

Αγωγός φυσικού αερίου Ταναρ

Ο σκοπός για τη κατασκευή του αγωγού ήταν να δημιουργήσει ένα νέο διάδρομο μεταφοράς φυσικού αερίου από το Αζερμπαϊτζάν προς την Ευρώπη, προκειμένου να ενισχυθεί η ασφάλεια εφοδιασμού και να δώσει μια πολυμορφία στην τουρκική και ευρωπαϊκή αγορά αερίου όπως και να ενισχύσει την οικονομική συνεργασία μεταξύ των χωρών της αλυσίδας εφοδιασμού και την τόνωση των επενδύσεων [52].

Ο αγωγός TANAP θα φέρει το φυσικό αέριο που παράγεται από τον τομέα του φυσικού αερίου Shah Deniz-2 του Αζερμπαϊτζάν, και σε άλλες περιοχές της Κασπίας Θάλασσας, κυρίως στην Τουρκία, αλλά και για την Ευρώπη. Το Έργο TANAP, μαζί με το Νότιο Καύκασο Pipeline (SCP) και το Trans-Adriatic Pipeline (TAP) αποτελούν τα στοιχεία του Νότιου Διαδρόμου Φυσικού Αερίου.



Σχήμα 26 Ο αγωγός TANAP. Πηγή: [52]

Ο ΤΑΝΑΡ θα τρέξει από τα τουρκικά σύνορα με τη Γεωργία, και θα διατρέξει 20 επαρχίες με συμπεριλαμβανόμενες μεγάλες πόλεις, μέχρι να φθάσει στα ελληνικά σύνορα στην περιοχή Irsala της Αδριανούπολης [52]. Από το σημείο αυτό, θα συνδεθεί με τον αγωγό TAP που θα μεταφέρει φυσικό αέριο στις ευρωπαϊκές χώρες.

Ο κύριος αγωγός στο εσωτερικό της Τουρκίας, από τα σύνορα Τουρκίας-Γεωργίας έως τα σύνορα Τουρκίας-Ελλάδας θα φτάσει συνολικά τα 1.810 χιλιόμετρα, ενώ επιπλέον 2 x 19 χιλιόμετρα θα βρίσκονται κάτω από τη Θάλασσα του Μαρμαρά.

Είναι ο μεγαλύτερος σε διάμετρο και μήκος αγωγός που έχει κατασκευαστεί στη Τουρκία. Αναλυτικά οι διατομές ανά μήκος αγωγού είναι οι παρακάτω [53]:

- 56 " - 1333 χιλιόμετρα (από Γεωργία-Τουρκίας σύνορα έως το Εσκή Σεχίρ)
- 48 " - 458 χιλιόμετρα (από Εσκισεχίρ έως τα σύνορα Τουρκίας-Ελλάδας)
- 2 x 36 " - 19 χιλιόμετρα (Στενό των Δαρδανελίων)
- 30 " - 31 χιλιόμετρα (Πλευρική γραμμή στο Εσκή Σεχίρ)

Αρκετές προκλήσεις θα χρειαστεί να αντιμετωπιστούν κατάλληλα από τους κατασκευαστές, όπως [53]:

- διαχείριση μεταφοράς πολλών και μεγάλου βάρους σωλήνων βάρους 1200000 τόνων / 160000 σωλήνων, που ζυγίζουν περισσότερο από 8 τόνους ο καθένας, όταν το κάθε βαγόνι μπορεί να μεταφέρει μόλις τρεις,
- περιοχές με υψηλό υψόμετρο και μικρή παραγωγική περίοδο (μόνο 110 ημέρες),
- σφικτό χρονοδιάγραμμα

Το έργο πέρα του αγωγού θα περιλαμβάνει [53]:

- 7 σταθμούς συμπίεσης,
- 4 σταθμούς μέτρησης,
- 11 σταθμούς rigging και
- 49 σταθμούς βαλβίδων

Επίσης θα υπάρχουν δύο σταθμοί όπου ο αγωγός θα ενώνεται με άλλους αγωγούς από το εθνικό δίκτυο φυσικού αερίου της Τουρκίας, ο ένας θα βρίσκεται στο Εσκή Σεχίρ και ο άλλος στη Θράκη.

Εκτός από τις υπέργειες εγκαταστάσεις, θα υπάρχουν προσωρινοί καταυλισμοί που θα φιλοξενήσουν τους εργαζόμενους, χώροι αποθήκευσης σωλήνων όπως επίσης θα κατασκευαστούν και δρόμοι πρόσβασης απαραίτητοι κατά τη διάρκεια της κατασκευής του έργου.

Αγωγός φυσικού αερίου Trans Adriatic (TAP)

Ο Διαδριατικός Αγωγός Φυσικού Αερίου (Trans Adriatic Pipeline ή TAP) είναι ένας υπό κατασκευή αγωγός, η κατασκευή του οποίου ξεκίνησε το 2016, με σκοπό την μεταφορά φυσικού αερίου από τα κοιτάσματα του Αζερμπαϊτζάν στην Κασπία Θάλασσα (σχήμα 27) [54]. Το κύριο κοιτάσμα από το οποίο θα τροφοδοτείται ο αγωγός, θα είναι το πεδίο του κοιτάσματος Σαχ Ντενίζ II στα ανοιχτά της Κασπίας. Μέτοχοι της κοινοπρακτικής εταιρείας είναι οι BP (20%), SOCAR (20%), Snam (20%), Fluxys (19%), Enagas (16%) και Axpo (5%).



Σχήμα 27 Η διαδρομή του TAP. Πηγή: [54]

Ο αγωγός θα ξεκινά στα ελληνοτουρκικά σύνορα στους Κήπους το Έβρου, όπου θα συνδέεται με τον δια-ανατολικό αγωγό αερίου TANAP. Θα διασχίζει την Ελλάδα, την Αλβανία και την Αδριατική Θάλασσα και θα εξέρχεται στην ακτή της Ιταλίας κοντά στο San Foca όπου θα ενώνεται με τον ιταλικό αγωγό φυσικού αερίου (Σχήμα 27).

Ο TAP επέλεξε τη διαδρομή του αγωγού με ιδιαίτερη προσοχή μεριμνώντας να διασφαλίσει τις βέλτιστες εμπορικές και τεχνικές δυνατότητες και να περιορίσει στον ελάχιστο δυνατό βαθμό τον περιβαλλοντικό και κοινωνικό αντίκτυπο. Η διαδρομή του TAP θα έχει μήκος 878 χλμ. από τα οποία 550 στην Ελλάδα, 215 χερσαία στην Αλβανία, 105 υποθαλάσσια στην Αδριατική και 8 χιλιόμετρα στο χερσαίο τμήμα της Ιταλίας. Το μεγαλύτερο υψόμετρο από το οποίο θα περάσει ο TAP θα είναι τα 1.800 μέτρα στα αλβανικά όρη, ενώ το βαθύτερο σημείο που θα υποδεχθεί το υποθαλάσσιο τμήμα θα είναι τα 820 μέτρα στην Αδριατική Θάλασσα [54].

Η δυναμικότητα μεταφοράς του αγωγού θα ανέρχεται στα 10 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου ετησίως, με τη δυνατότητα αύξησης της δυναμικότητας στα 20 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα με την προσθήκη δύο ακόμη σταθμών συμπίεσης, επιτρέποντας έτσι τη μεταφορά επιπρόσθετων ποσοτήτων ενέργειας από την ευρύτερη περιοχή της Κασπίας.

Ο αγωγός θα διαθέτει ακόμη δυνατότητα «φυσικής αντιστροφής ροής», θα μπορεί, δηλαδή, να διοχετεύει φυσικό αέριο από την Ιταλία προς τη Νοτιοανατολική Ευρώπη σε περίπτωση διακοπής της ροής ή σε περίπτωση που απαιτείται μεγαλύτερη μεταφορική ικανότητα για τον εφοδιασμό της περιοχής με πρόσθετες ποσότητες φυσικού αερίου.

Το χερσαίο τμήμα του αγωγού θα έχει διάμετρο 48 ίντσες (1.200 χιλιοστών), για πίεση 95 bars (9,500 kPa) ενώ η διάμετρος του υποθαλάσσιου τμήματος θα είναι 36 ίντσες (910 χιλιοστών) για πίεση 145 bars (14,500 kPa). Το χαλύβδινο τοίχωμα του αγωγού θα έχει πάχος 17,5 - 31 χιλιοστά στο χερσαίο τμήμα (υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές κλάσεις σωλήνων) [54].

Το βάρος του αγωγού στο χερσαίο τμήμα θα είναι περίπου 400.000 μετρικοί τόνοι ή 500 κιλά για κάθε μέτρο του αγωγού κατά μέσο όρο.

Στις επίγειες εγκαταστάσεις περιλαμβάνονται δύο σταθμοί συμπίεσης, βαλβιδοστάσια και ο τερματικός σταθμός παραλαβής στην Ιταλία. Δύο σταθμοί συμπίεσης, ένας κοντά στους Κήπους στην Ελλάδα και ένας στις αλβανικές ακτές κοντά στην πόλη Fier, θα χρησιμοποιηθούν ώστε να διασφαλιστεί η μεταφορά του φυσικού αερίου μέσω του αγωγού. Για τη μελλοντική αναβάθμιση της μεταφορικής ικανότητας του αγωγού στα 20 δισ. κ. μ., θα χρειαστεί να κατασκευαστούν αργότερα δύο πρόσθετοι σταθμοί συμπίεσης, ένας στη Βίγλιστα (Bilisht) της Αλβανίας και ένας στις Σέρρες.

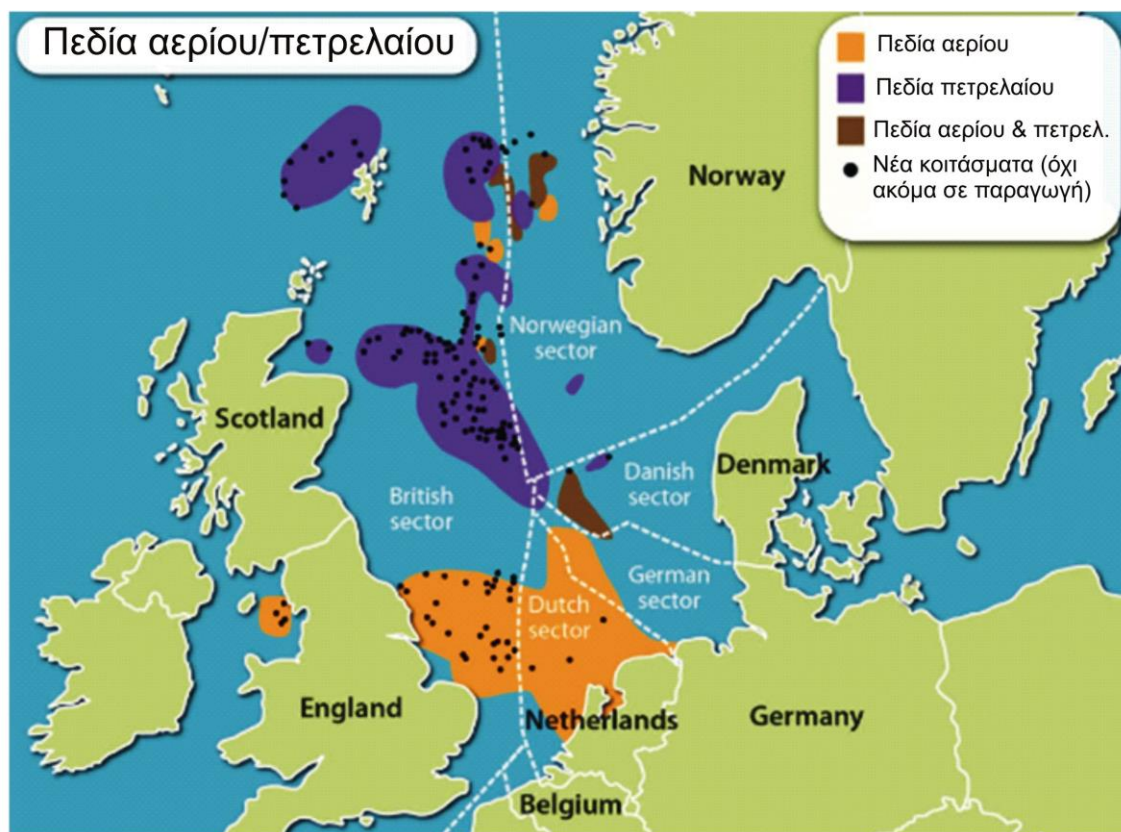
Τα βαλβιδοστάσια θα τοποθετηθούν κατά μήκος του αγωγού σε απόσταση 30 χλμ. μεταξύ τους, ώστε να είναι δυνατή η διακοπή της ροής του φυσικού αερίου κατά τις εργασίες προγραμματισμένης συντήρησης ή σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Η τοποθέτηση των αγωγών σε βάθη μεγαλύτερα των 800 μέτρων θα γίνει με τη χρήση ειδικών σκαφών πόντισης τύπου S, μία προηγμένη τεχνολογία που χρησιμοποιείται ευρέως για την κατασκευή αγωγών. Το σκάφος θα μετακινείται προς τα εμπρός, ενόσω ο σχηματιζόμενος αγωγός θα τοποθετείται από την πρύμνη μέσα στο νερό σχηματίζοντας καμπυλωτή γραμμή S μέχρι να φτάσει στον βυθό. Σωλήνες μήκους 12-μετρων θα συγκολλούνται στο κατάστρωμα του σκάφους. Ο χαλύβδινος σωλήνας θα έχει διάμετρο 36 ίντσες και πάχος από 20 έως 34 χιλιοστά, ανάλογα με το βάθος του νερού. Σε βάθη μικρότερα των 300 μέτρων, ο αγωγός θα καλύπτεται με τσιμέντο ώστε να προστατεύεται από πιθανές ζημιές [54].

Σχεδιάζεται επίσης η κατασκευή υπόγειου σταθμού αποθήκευσης αερίου στην Αλβανία, με δυναμικότητα 85 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Αυτά τα στοιχεία θα διασφαλίσουν επιπλέον ενεργειακή ασφάλεια στη νοτιοανατολική Ευρώπη. Το συνολικό κόστος κατασκευής ανέρχεται στο ποσό του 1.5 δισ ευρώ [54].

3.2.3 Αγωγοί φυσικού αερίου από τη Βόρεια Θάλασσα

Η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή τροφοδοσίας με φυσικό αέριο, μετά την Ρωσία, είναι η ευρύτερη περιοχή κοιτασμάτων που βρίσκονται στη Βόρεια Θάλασσα. Τα κοιτάσματα αυτά ανήκουν στην Νορβηγία, την Αγγλία, την Ολλανδία, την Γερμανία και την Δανία (Σχήμα 28) [55].

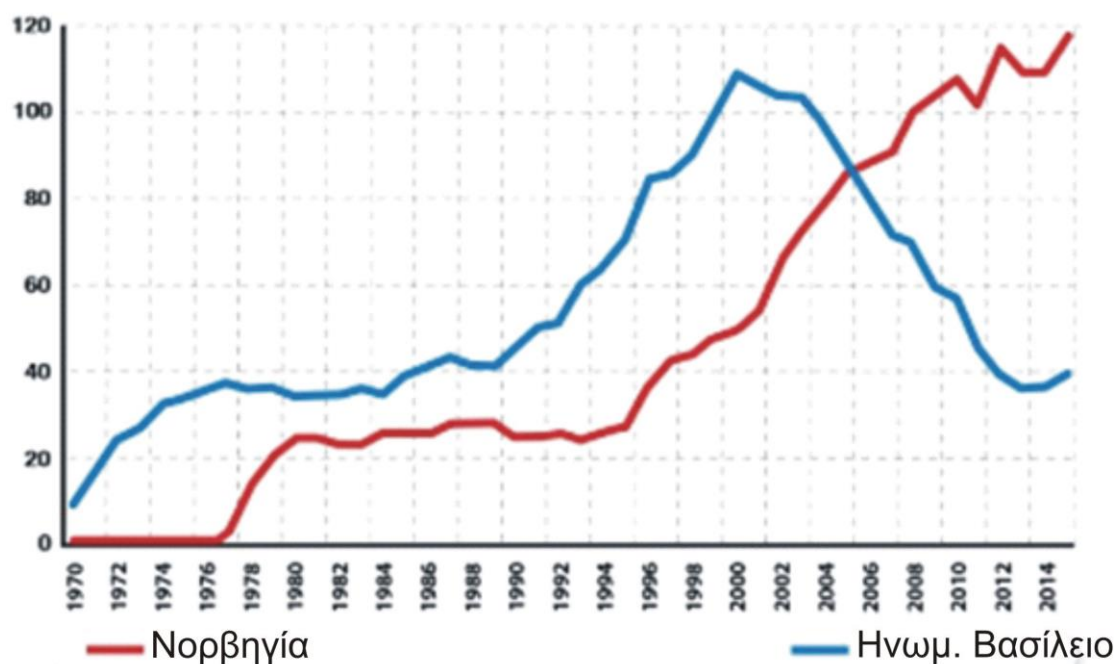


Σχήμα 28 Κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου στη Βόρεια Θάλασσα. Πηγή: [55]

Στην ευρύτερη περιοχή της Βόρειας Θάλασσας για πρώτη φορά ανακαλύφθηκε φυσικό αέριο το 1959 στο κοιτάσμα Groningen, το οποίο βρίσκεται στην Ολλανδία και είναι το πρώτο μεγαλύτερο κοιτάσμα στην Ευρώπη και το δέκατο μεγαλύτερο στο κόσμο κάτι που την κάνει πλούσια σε πόρους φυσικού αερίου. Λίγα χρόνια αργότερα ανακαλύφθηκαν κοιτάσματα στη Βόρεια Θάλασσα στο τομέα της Αγγλίας και ακόμα αργότερα το 1970 στο Νορβηγικό τομέα. Εξαιτίας της μεγάλης κατανάλωσης φυσικού αερίου στην Αγγλία και της αντίστοιχης μικρής στη Νορβηγία, η τελευταία χώρα έγινε ο μεγαλύτερος εξαγωγέας φυσικού αερίου από τη Βόρεια Θάλασσα στην Ευρώπη (Σχήμα 29) [55].

Norway and UK natural gas production

(1970-2015, billion cubic meters)



Σχήμα 29 Παραγωγές φυσικού αερίου Νορβηγίας και Αγγλίας (1970-2015) σε δισεκ. κυβικά μέτρα. Πηγή: [55]

Πιο συγκεκριμένα το 2015 η Νορβηγία και η Αγγλία είχαν παραγωγές 121.6 bcm και 41.3 bcm αντιστοίχως [27]. Στο Σχήμα 29 φαίνονται οι πορείες παραγωγής τους από το 1970 έως και το 2014. Μέχρι το 2006 οι παραγωγές της Αγγλίας ξεπερνούσαν αυτές της Νορβηγίας, ενώ το 2002 η Αγγλία είχε μέγιστη ετήσια παραγωγή πάνω από 100 bcm. Από το 2002 και μετά εμφανής είναι η πτώση της παραγωγής της κάτι που φανερώνει την εξάντληση των αποθεμάτων. Η Νορβηγία φαίνεται ότι από το 1996 και μετά να έχει ανοδική πορεία παραγωγής. Το 2014 από στοιχεία που υπάρχουν εξήγαγε το 95% της παραγωγής της, κυρίως στην Ευρώπη, δηλαδή τουλάχιστον 110 bcm, κάτι που δείχνει τον μείζονα ρόλο της ως εξαγωγέα. Οι τοπικές καταναλώσεις της Νορβηγίας και της Αγγλίας το 2015 ήταν 6,7 bcm και 78,1 bcm [27], στοιχεία τα οποία δείχνουν την ολική και μερική αυτονομία της Νορβηγίας και της Αγγλίας αντίστοιχα σε φυσικό αέριο.

Στο Σχήμα 30 απεικονίζεται το σύστημα αγωγών με το οποίο τροφοδοτεί με φυσικό αέριο η Νορβηγία την Ευρώπη [56]. Οι χώρες υποδοχής, όπως είναι φυσικό είναι αυτές οι οποίες βρέχονται από τη Βόρεια Θάλασσα και αυτές που στη συνέχεια διακινούν το αέριο στις πιο ηπειρωτικές χώρες.



Σχήμα 30 Το Νορβηγικό δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου στη Βόρεια Θάλασσα. Πηγή: [56]

Πιο συγκεκριμένα:

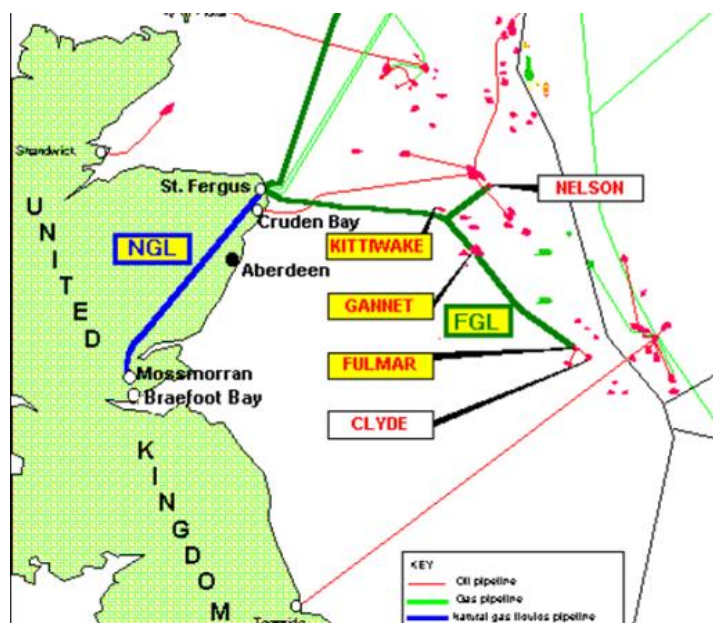
- Η Αγγλία συνδέεται με 3 βασικούς υποθαλάσσιους αγωγούς με τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας και με 1 άμεσα με την Νορβηγία. Οι βασικοί αυτοί αγωγοί έχουν συνολική ετήσια δυναμικότητα έως και 45 bcm. Οι αγωγοί είναι ο **Fulmar**, ο **Cats**, ο **Vesterled** και ο **Langeled**. Η Αγγλία τροφοδοτεί την Ιρλανδία και τη κεντρική Ευρώπη μέσω του Βελγίου.
- Η Γερμανία με συνδέεται με 3 βασικούς υποθαλάσσιους αγωγούς με τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας, ένας από τους οποίους ξεκινάει με χερσαίο τμήμα από τη Νορβηγία. Οι αγωγοί είναι ο **Norpipe** και οι **Europipe I**, **Europipe II** με συνολική ετήσια δυναμικότητα 48 bcm. Το φυσικό αέριο στην συνέχεια μπορεί να κινηθεί κεντρικότερα στην Ευρώπη μέσα από πολλές συνδέσεις του Γερμανικού δικτύου με τις άλλες χώρες.
- Η Γαλλία συνδέεται με τον αγωγό **Franpipe** με ετήσια δυναμικότητα 19.6 bcm.
- Το Βέλγιο συνδέεται με τον αγωγό **Zeepipe** με ετήσια δυναμικότητα 15 bcm .
- Η Ολλανδία η οποία τροφοδοτείται από θαλάσσια κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας που βρίσκονται κοντά στα παράλια της μέσω του συστήματος αγωγών **Nogat**. Το σύστημα αυτό συνδέεται και με τα υποθαλάσσια κοιτάσματα που βρίσκονται στα παράλια της Δανίας και Γερμανίας τα οποία συνδέονται και με τα εθνικά δίκτυα των χωρών αυτών.

Πίνακας 4 Στοιχεία κύριων αγωγών φυσικού αερίου από Βόρεια Θάλασσα

Αγωγός	Χερσαίος (X) / Υποθαλάσσιος (Υ)	Μήκος (χλμ)	Διάμετρος (mm)	Συνολικό Μήκος (χλμ)	Δυναμικότητα (bcm/y) (Αναβάθμιση/έτος)	Σταθμοί Συμπίεσης	Κόστος
Fulmar(Fuka)	Βόρεια Θάλασσα- Σκωτία (Υ)	290	510	290	4.4		
Cats	Βόρεια Θάλασσα- Αγγλία (Υ)	404	910	404	1.7		
Vesterled	Βόρεια Θάλασσα- Σκωτία (Υ)	360	810	360	12		
Langeled	Νορβηγία- Αγγλία (Υ)	1166	1067- 1118	1166	25.5		1.7 billion pounds
Zeepipe	Βόρεια Θάλασσα- Βέλγιο (Υ)	814	1000	814	15		24.2 billions NOK
Franpipe	Βόρεια Θάλασσα- Γαλλία (Υ)	840	1067	840	19.6		10.6 billion NOK
Norpipe	Βόρεια Θάλασσα- Γερμανία (Υ)	440	910	440	16		26.4 billion NOK
Europipe I	Βόρεια Θάλασσα- Γερμανία (Υ)	660	1016	660	18		21.3 billion NOK
Europipe II	Νορβηγία (X) Γερμανία (X) Βόρεια Θάλασσα (Υ)	13 15 642	1067	658	24		9.6 billion NOK

Αγωγός φυσικού αερίου Fulmar

Ο αγωγός Fulmar μεταφέρει φυσικό αέριο από την Κεντρική Βόρεια Θάλασσα στο Saint Fergus στη Σκωτία (Σχήμα 31). Η τροφοδοσία φυσικού αερίου αρχικά διενεργείτο από τα πεδία Fulmar και Clyde. Σε δεύτερη φάση, ο αγωγός ενώθηκε και με άλλα κοιτάσματα στο κεντρικό τμήμα της Βόρειας Θάλασσας, όπως τα Kittiwake, Gannet, Nelson, Anasuria, Curlew και Triton [57].

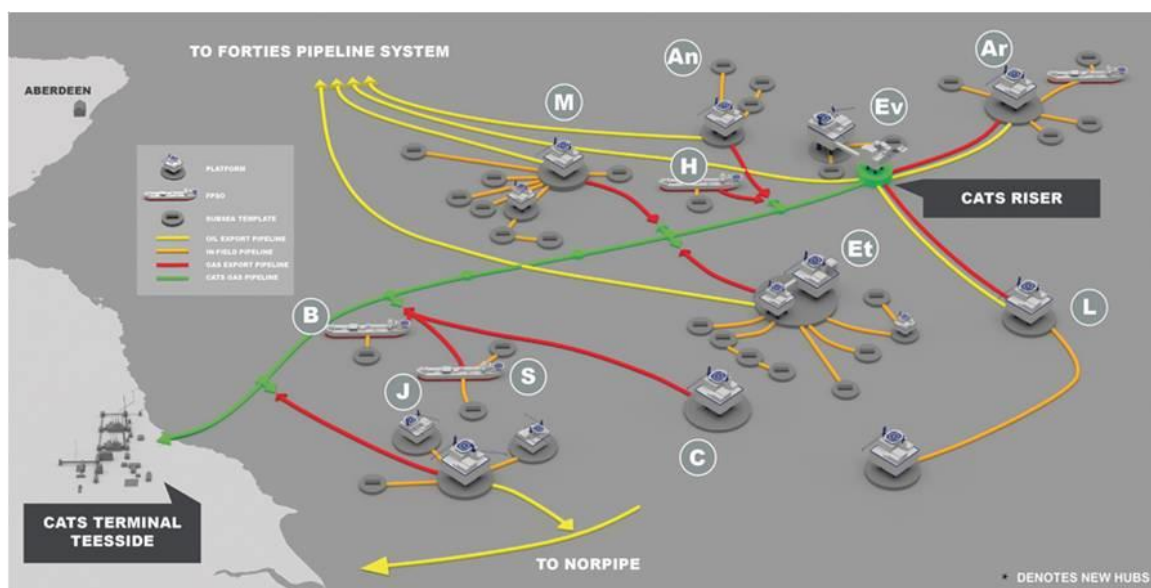


Σχήμα 31 Ο αγωγός φυσικού αερίου Fulmar

Το μήκος του αγωγού είναι 290 χιλιόμετρα και η διάμετρος είναι 20 ίντσες (510 mm). Έχει δυναμικότητα μεταφοράς 4,4 δις κυβικά μέτρα φυσικού αερίου ετησίως. Ο αγωγός ξεκίνησε να λειτουργεί το Μάιο του 1986. Ανήκει και λειτουργεί από την Shell και την Esso Ηνωμένου Βασιλείου [57].

Αγωγός φυσικού αερίου Cats

Το CATS (Central Area Transmission System) είναι ένα σύστημα αγωγών που μεταφέρει φυσικό αέριο από την Κεντρική Βόρεια Θάλασσα στο τερματικό σταθμό επεξεργασίας στο Teesside στη Βορειοανατολική Αγγλία (Σχήματα 30, 32) [58].



Σχήμα 32 Το σύστημα αγωγών CATS. Πηγή: [58]

Ο αγωγός έχει διάμετρο 36 ιντσών και ξεκινά από τη Cats Riser, μια πλατφόρμα ανύψωσης στη Βόρεια Θάλασσα έως το Teesside - σε απόσταση 404 χιλιομέτρων. Από αυτό το σημείο, η γραμμή περνά μέσω ενός σταθμού συμπίεσης στο τερματικό σταθμό CATS στη θέση Seal Sands, 8 χιλιόμετρα μακριά [58].

Το εξωτερικό των σωλήνων που απαρτίζουν τον αγωγό είναι επικαλυμμένο με σκυρόδεμα, το οποίο παρέχει πρόσθετη προστασία και διασφαλίζει επίσης ότι ο αγωγός θα παραμένει σταθερός στον πυθμένα του ωκεανού, στη διάρκεια της λειτουργίας του. Το εσωτερικό του σωλήνα είναι επενδυμένο με μία εποξική μεμβράνη, η οποία μειώνει την τριβή και τη διάβρωση, μεγιστοποιώντας έτσι την ικανότητα του αγωγού και την παράταση της ζωής του [58].

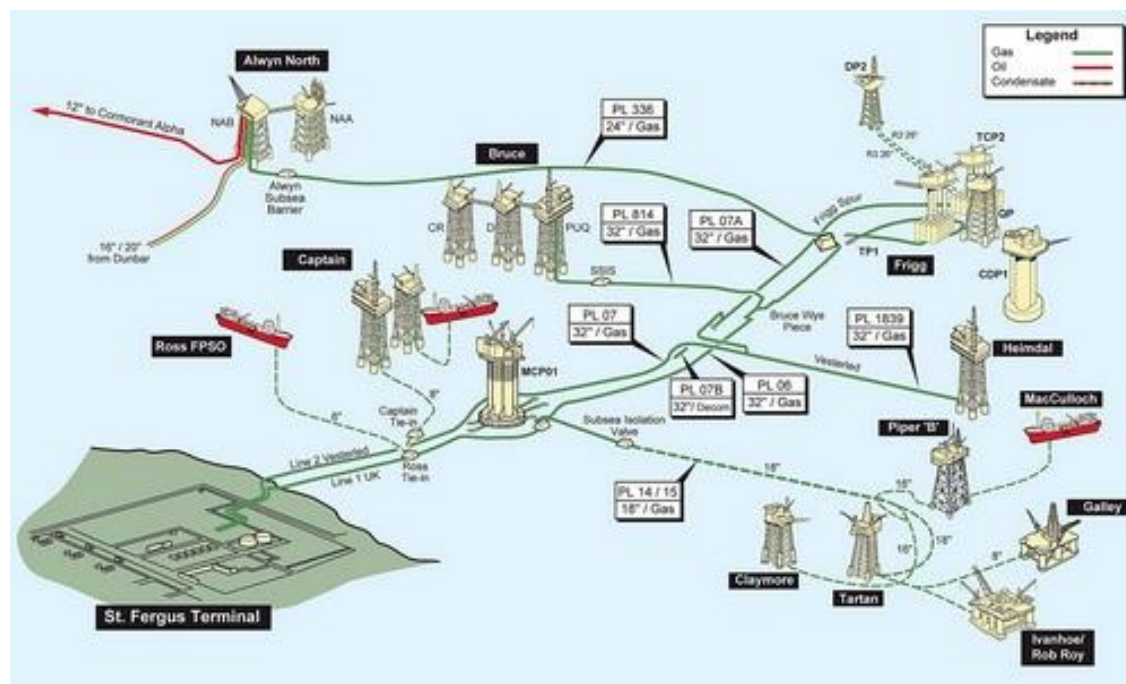
Υπάρχουν έξι σημεία σύνδεσης, γνωστό και ως «tees» (ταυ) που έχουν τοποθετηθεί κατά διαστήματα κατά μήκος του αγωγού. Οι πάροχοι φυσικού αερίου μπορούν να συνδεθούν άμεσα με τον αγωγό σε κάθε ένα από αυτά τα ταυ υποθαλάσσια ή στην εξέδρα ανύψωσης.

Με τη τεχνολογία που έχει εφαρμοστεί, οι μελλοντικές συνδέσεις στον αγωγό μπορούν να γίνουν, χωρίς να σταματήσει η λειτουργία του. Αυτό είναι σημαντικό γιατί ο αγωγός παρέχει αδιάλειπτες υπηρεσίες στους υπάρχοντες πελάτες, ενώ μπορεί να εξυπηρετήσει και μελλοντικούς δυνητικούς πελάτες.

Αγωγός φυσικού αερίου Vesterled

Ο Vesterled είναι ένας αγωγός φυσικού αερίου ο οποίος εκτείνεται από το πεδίο Heimdal στη Βόρεια Θάλασσα στο Saint Fergus αερίου στη Σκωτία (Σχήμα 30). Το όνομα Vesterled προέρχεται από τους Βίκινγκς που τον χρησιμοποιούσαν για τα ταξίδια τους στα δυτικά (vesterled σημαίνει "ο δρόμος προς τα δυτικά") [59].

Αρχικά ο αγωγός Vesterled ήταν γνωστός με το όνομα Frigg Norwegian Pipeline, που κατασκευάστηκε τη περίοδο 1974-1978 για τη μεταφορά φυσικού αερίου από το πεδίο Frigg στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ήταν παράλληλα τοποθετημένος με τον αγωγό Frigg UK και μαζί με αυτόν αποτελούν το σύστημα μεταφοράς Frigg. Το σύστημα αυτό άρχισε να λειτουργεί από τον Αύγουστο του 1978. Καθώς το κοίτασμα Frigg εξαντλείτο με αποτέλεσμα προοδευτικά να μειώνεται η παραγωγή, τέθηκε σε λειτουργία ο αγωγός που συνέδεε το πεδίο Heimdal την 1η Οκτωβρίου 2001 [59]. Στο Σχήμα 33 παρουσιάζεται με λεπτομέρεια το σύστημα αγωγών Vesterled [60]. Ο αγωγός έχει μήκος 360 χιλιόμετρα και διάμετρο 32 ίντσες (813 mm). Η δυναμικότητα τροφοδοσίας του Vesterled είναι περίπου 12 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου ετησίως. Ο αγωγός ανήκει στην Gassled και λειτουργεί από την Gassco [59].



Σχήμα 33 Το σύστημα αγωγών Vesterled. Πηγή: [60]

Αγωγός φυσικού αερίου Langeled

Ο αγωγός Langeled που αρχικά ήταν γνωστός ως Britpipe είναι ένας υποθαλάσσιος αγωγός μεταφοράς φυσικού αερίου από τη Νορβηγία στο Ηνωμένο Βασίλειο (Σχήματα 30 και 34). Πριν από την ολοκλήρωση του αγωγού Nord Stream, ήταν ο μεγαλύτερος υποθαλάσσιος αγωγός στον κόσμο [61].

Ο αγωγός συνδέει το πεδίο Ormen Lange, και διατρέχει τη διαδρομή από το Nyhamna της Νορβηγίας έως το Easington στο Ηνωμένο Βασίλειο (Σχήμα 34) [62]. Επιπλέον μέσω του συνδέσμου στη πλατφόρμα Sleipner Riser υπάρχει η δυνατότητα να μεταφέρεται φυσικό αέριο και μέσω του υφιστάμενου δικτύου Gassco στην ηπειρωτική Ευρώπη. Ο αγωγός έχει το μεγαλύτερο μήκος και το μεγαλύτερη διάμετρο από όλους τους υποθαλάσσιους αγωγούς μεταφοράς φυσικού αερίου στον κόσμο μέχρι σήμερα.

Το μήκος του αγωγού είναι 1166 χλμ. και η μέγιστη ετήσια δυναμικότητα του αγωγού ανέρχεται σε 25,5 δις. κυβικά μέτρα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το ενεργειακό περιεχόμενο του φυσικού αερίου είναι 39 MJ (megajoules) ανά κυβικό μέτρο, η συνολική παρεχόμενη ενέργεια ανέρχεται στα 31,5 GW (γιγαβάτ) [61].



Σχήμα 34 Η διαδρομή του αγωγού Langeled. Πηγή: [62]

Η κατασκευή του αγωγού πραγματοποιήθηκε σε δύο περιόδους, το 2005 και το 2006 [61]. Κατά τη διάρκεια του 2005 κατασκευάστηκε το νότιο τμήμα του αγωγού μήκους 528 χιλιομέτρων διαμέτρου 44 ιντσών (1118 mm) από τη πλατφόρμα Sleirner προς το Easington σε βάθη νερού που κυμαίνονται από 20 έως 95 μέτρα. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου εγκαταστάθηκαν πάνω από 23 διασταυρώσεις (crossings), και τρία μελλοντικά ταφ (tees). Η πίεση λειτουργίας είναι 155 bar [63].

Κατά τη διάρκεια του 2006, κατασκευάστηκε το βόρειο τμήμα του αγωγού μήκους 512 χιλιομέτρων και διαμέτρου 42 ιντσών (1067 mm) από το Nyhamna έως τη πλατφόρμα Sleirner σε βάθη νερού που κυμαίνονται από 85 έως 385 μέτρα. Κατά τη διάρκεια αυτής της λειτουργίας ο αγωγός είχε εγκατασταθεί πάνω από 10 διασταυρώσεις, δύο μελλοντικά ταφ, με τον αγωγό να είναι τοποθετημένος μέσα στη νορβηγική Τάφρο [63].

Ο αγωγός λειτουργεί με πίεση 250 bar. Το μεγαλύτερο μέρος του αγωγού τοποθετήθηκε από ειδικά εξοπλισμένο πλοίο της Acergy, το Acergy Piper.

Η λειτουργία του νότιου κλάδου ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2006 με τροφοδοσία φυσικού αερίου από το υπάρχον δίκτυο διανομής. Η λειτουργία του βόρειου κλάδου ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2007, με τροφοδοσία αερίου από το πεδίο Ormen Lange.

Ο ιδιοκτήτης του αγωγού είναι η Gassled. Ο χειριστής για Langeled είναι Gassco και η πάροχος τεχνικής υπηρεσίας είναι η Statoil. Τον Οκτώβριο του 2003, η Royal Dutch Shell, ExxonMobil και η Statoil υπέγραψαν συμφωνίες για τη προμήθεια φυσικού αερίου μέσω του Langeled. Η κατασκευή του αγωγού ξεκίνησε το 2004. Το κόστος κατασκευής ανήλθε σε 1,7 δισ £ και συμμετείχαν ενεργειακοί κολοσσοί όπως Statoil, Norsk Hydro, Royal DutchShell και ConocoPhillips [61]. Είναι ένα από τα μεγαλύτερα έργα μεταφοράς φυσικού αερίου στη Βόρεια Θάλασσα.

Ο αγωγός Langeled θα εξυπηρετεί το 20% της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης φυσικού αερίου στο Ηνωμένο Βασίλειο για τα επόμενα 40 χρόνια.

Αγωγός φυσικού αερίου Zeeripe

Ο Zeeripe είναι ένας αγωγός μεταφοράς φυσικού αερίου που συνδέει τη Βόρεια Θάλασσα με τον τερματικό σταθμό που βρίσκεται στο Zeebrugge στο Βέλγιο (Σχήμα 30).

Το συνολικό κόστος έφθασε τα 24.2 δισεκατομμύρια νορβηγικές κορώνες. Είναι ιδιοκτησία της Gassled και λειτουργεί από την Gassco. Τεχνικής υπηρεσίες παρέχει η Statoil. Το τερματικό λαμβάνει Zeebrugge ανήκει Fluxys (51%) και τους εταίρους Gassled (49%) [64].

Η κατασκευή του αγωγού πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις [64].

Η πρώτη φάση περιέλαβε τη κατασκευή αγωγού το μήκος του οποίου ανερχόταν σε 814 χιλιόμετρα και συνέδεε το πεδίο Sleipner με το Zeebrugge. Ο αγωγός έχει διάμετρο 40 ίντσες (1.000 mm) και η δυναμικότητα του είναι 15 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου ετησίως. Κατά τη στιγμή της κατασκευής του ήταν ο μεγαλύτερος σε μήκος και διάμετρο υποθαλάσσιος αγωγός στον κόσμο. Επιπλέον κατασκευάστηκε αγωγός 30 χιλιομέτρων με διάμετρο 30 ιντσών από την περιοχή Sleipner στην πλατφόρμα Draupner S. Ο αγωγός της πρώτης φάσης (Zeeripe I) άρχισε να λειτουργεί την 1η Οκτωβρίου 1993

Στη δεύτερη φάση κατασκευάστηκε αγωγός 40 ιντσών, ο Zeeripe IIA, με μήκος 303 χιλιόμετρα από τη μονάδα επεξεργασίας φυσικού αερίου Troll κοντά στο Μπέργκεν στη περιοχή Sleipner, όπως και ο αγωγός Zeeripe IIB 40 ιντσών με μήκος 304 χιλιόμετρα που συμδέει το Kollsnes με το Draupner E. Ο πρώτος αγωγός, ο Zeeripe IIA λειτούργησε την 1η Οκτωβρίου 1996, ενώ ο δεύτερος, ο Zeeripe IIB ξεκίνησε τη λειτουργία την 1η Οκτωβρίου 1997.

Αγωγός φυσικού αερίου Franpipe

Ο Franpipe είναι ένας αγωγός φυσικού αερίου μήκους 840 χιλιομέτρων που συνδέει το Draupner E στη Βόρεια Θάλασσα με τον τερματικό σταθμό στο Port Ouest στη Δουνκέρκη στη Γαλλία [65] (Σχήμα 30). Το αέριο που μεταφέρεται στη Γαλλία προέρχεται κυρίως από τα πεδία φυσικού αερίου Sleipner East και Troll Vest. Ο αγωγός εγκαινιάστηκε επίσημα στις 9 Οκτωβρίου 1998.

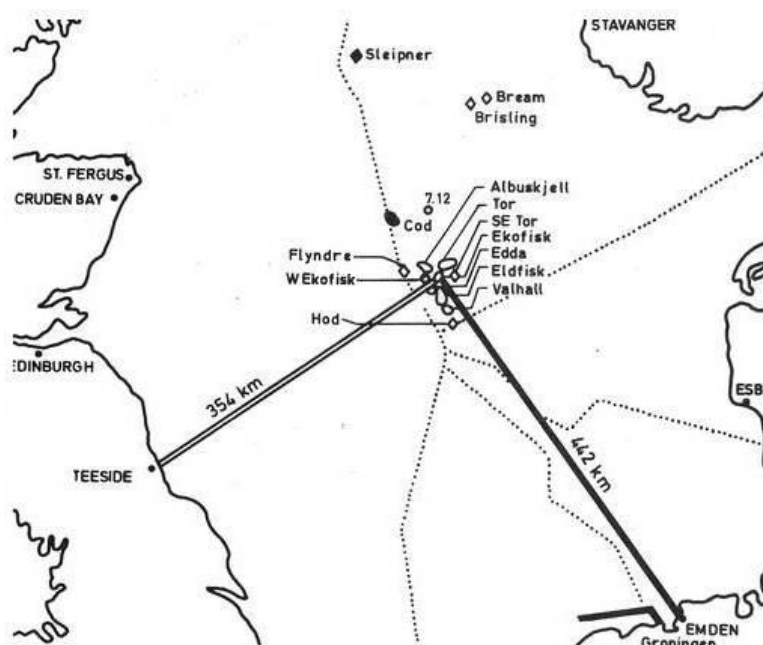
Η διάμετρος του αγωγού είναι 42 ίντσες (1,100 mm) και η δυναμικότητα είναι 19.6 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου ετησίως. Κόστισε 10,6 δισεκατομμύρια νορβηγικές κορώνες. Ο αγωγός ανήκει από τους στη Gassled και λειτουργεί από Gassco. Ο πάροχος τεχνικής υπηρεσίας είναι η Statoil [65].

Αγωγός φυσικού αερίου Norpipe

Ο Norpipe είναι ο υποθαλάσσιος αγωγός φυσικού αερίου που βρίσκεται στη Βόρεια Θάλασσα και συνδέει το νορβηγικό κοίτασμα Ekofisk τροφοδοτώντας με πετρέλαιο το Ηνωμένο Βασίλειο και με φυσικό αέριο τη Γερμανία [66] (Σχήμα 30).

Όσον αφορά τον αγωγό φυσικού αερίου έχει μήκος 440 χιλιόμετρα και συνδέει εκτός από το πεδίο Ekofisk τα πεδία Valhall, Hod και Gyda με το τερματικό σταθμό στο Emden στη Γερμανία (Σχήμα 35) [67]. Η διάμετρος του αγωγού είναι 36 ίντσες (914 mm) και έχει δυναμικότητα 16 δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων φυσικού αερίου ετησίως [66].

Ο αγωγός φυσικού αερίου λειτούργησε το 1977 και θα λειτουργεί έως το 2028. Η αρχική επένδυση ήταν της τάξης των 26.4 δις. νορβηγικών κορωνών. Ο αγωγός ανήκει στη Gassled, μια κοινοπραξία που συμμετέχουν εταιρίες πετρελαίου στη Βόρεια Θάλασσα, συμπεριλαμβανομένης της Statoil, Petoro, ConocoPhillips, η Eni, η ExxonMobil, Norseas Gas, η Shell, η Total και η DONG Energy. Ο αγωγός λειτουργεί από Gassco. Ο πάροχος τεχνικής υπηρεσίας είναι η ConocoPhillips [66].



Σχήμα 35 Ο αγωγός φυσικού αερίου Norpipe. Πηγή: [67]

Αγωγός φυσικού αερίου Europipe I

Ο αγωγός Europipe I ξεκινά από την πλατφόρμα ανύψωσης Draupner E και καταλήγει στο Emden στη γερμανική ακτή (Σχήμα 30). Στο Draupner E, ο αγωγός συνδέεται με τους αγωγούς Zeeripe και Statpipe / Norpipe.

Το φυσικό αέριο προέρχεται από τα κοιτάσματα Sleipner και Troll. Ο αγωγός άρχισε να λειτουργεί από το 1995 με τη Gassco να είναι ο χειριστής. Το κόστος ανήλθε στα 21.3 δισεκατομμύρια νορβηγικές κορώνες [68].

Ο αγωγός έχει μήκος 660 χιλιόμετρα και εσωτερική διάμετρο 40 ίντσες (1016 mm). Η δυναμικότητα του αγωγού είναι 18 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου ετησίως [68].

Στο τελευταίο τμήμα του ο αγωγός είναι επίγειος μήκους 48 χιλιομέτρων με εσωτερική διάμετρο 42 ίντσες από Dornum έως το Emden. Στη παράκτια περιοχή διασχίζει την προστατευμένη περιοχή Wattenmeer μέσω μιας σήραγγας. Η ποιότητα και ο όγκος του φυσικού αερίου ελέγχονται στο Emden, πριν από την τροφοδοσία στη Γερμανία, την Αυστρία, τις Κάτω Χώρες και την Τσεχική Δημοκρατία [68].

Αγωγός φυσικού αερίου Europipe II

Ο Europipe II είναι αγωγός φυσικού αερίου που συνδέει τη μονάδα επεξεργασίας Kårstø που ευρίσκεται βόρεια του Στάβανγκερ στη Νορβηγία με τον τερματικό σταθμό στη περιοχή Dornum της Γερμανίας (Σχήμα 30). Η μεγαλύτερη ποσότητα αερίου προέρχεται από πεδία Asgard, Sleipner West/ East, Gullfaks και Statfjord όλα κυριότητας της Statoil [69].

Η λειτουργία του αγωγού ξεκίνησε την 1η Οκτωβρίου 1999. Τα πρώτα 13 χιλιόμετρα του αγωγού είναι επίγεια από το Kårstø στο Vestre Bokn. Από εκεί, αρχίζει το υποθαλάσσιο τμήμα του αγωγού μήκους 642 χιλιομέτρων που διασχίζει το νορβηγικό, δανέζικο και γερμανικό τομέα στη Βόρεια Θάλασσα. Στο χερσαίο τμήμα ο αγωγός έχει 15 χιλιόμετρα μήκος. Στο Dornum το αέριο τροφοδοτεί τον αγωγό φυσικού αερίου Netra ο οποίος καταλήγει στο Salzwedel στην Ανατολική Γερμανία [69].

Η διάμετρος του αγωγού είναι 42 ίντσες (1,067 mm) και η μεταφορική δυναμικότητα του είναι 24 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου ετησίως [69]. Ο αγωγός κόστισε 9,6 δισεκατομμύρια νορβηγικές κορώνες και λειτουργεί από την Gassco, ενώ ο πάροχος τεχνικών υπηρεσιών είναι η Statoil.

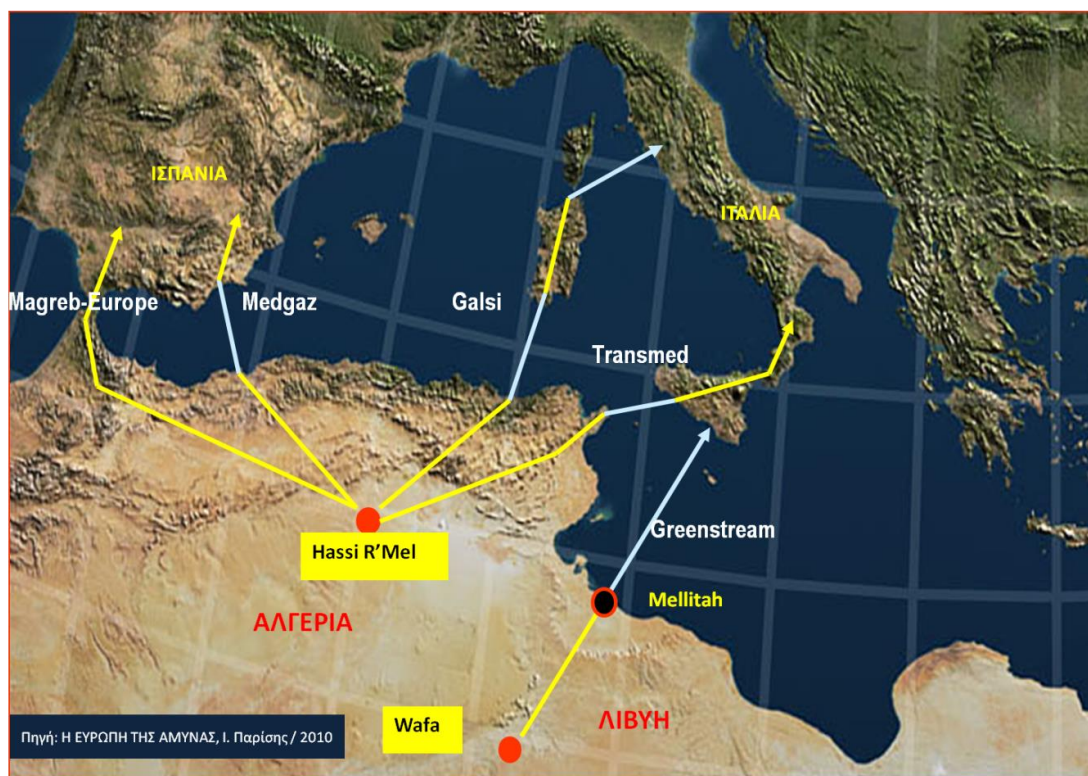
3.2.4 Αγωγοί φυσικού αερίου από την Αφρική

Οι δύο χώρες παραγωγί φυσικού αερίου που τροφοδοτούν την Ευρώπη είναι η Αλγερία και η Λιβύη. Οι ετήσιες παραγωγές τους το 2015 ήταν 82.3 bcm και 11.3 bcm αντίστοιχα, ενώ οι ποσότητες εξαγωγής προς την Ευρώπη ήταν 43.9 bcm και 7.1 bcm [27]. Το δίκτυο αγωγών που τροφοδοτούν την Ευρώπη φαίνεται στο Σχήμα 36 [70]. Το κύριο κοίτασμα παραγωγής είναι το Hassi R' Mel και όλες οι διαδρομές αγωγών ουσιαστικά ξεκινούν από αυτό (Σχήμα 36). Οι αγωγοί Galsi και Trans-Saharan έχουν προταθεί με τον πρώτο να έχει σχεδιασθεί για την ένωση Αλγερίας και Ιταλίας ενώ τον δεύτερο να έχει σχεδιασθεί για να συνδέσει τη Νιγηρία με το κοίτασμα Hassi R' Mel. Ο δεύτερος αγωγός οπότε δεν συμπεριλαμβάνονται στους αγωγούς που τροφοδοτούν την Ευρώπη.



Σχήμα 36 Το δίκτυο αγωγών τροφοδοσίας της Ευρώπης από την Αφρική. Πηγή: [70]

Οι αγωγοί που συμμετέχουν στη τροφοδοσία της είναι τέσσερις. Οι τρεις από αυτούς ξεκινούν από την Αλγερία, ενώ ο άλλος από τα παράλια της Λιβύης. Οι αγωγοί που ξεκινούν από Αλγερία είναι οι **Maghreb-Europe**, **Transmed** και **Medgaz** με ετήσιες δυναμικότητες 8.5 bcm, 30.2 bcm και 8 bcm αντίστοιχα ενώ ο αγωγός που ξεκινά από τη Λιβύη είναι ο **Green-Stream** με ετήσια δυναμικότητα 11 bcm (Σχήμα 37) [71].



Σχήμα 37 Αγωγοί φυσικού αερίου από την Αφρική στην Ευρώπη. Πηγή: [71]

Οι χώρες υποδοχής στην Ευρώπη είναι η Ισπανία και η Ιταλία, με την πρώτη να δέχεται φυσικό αέριο μέσω των αγωγών Maghreb και Medgaz ενώ η δεύτερη μέσω των αγωγών Transmed και Green-Stream. Η συνολική ετήσια ικανότητα μεταφοράς των αγωγών με κατεύθυνση προς Ισπανία είναι 20 bcm, μετά την αναβάθμιση του Maghreb, ενώ αυτής με κατεύθυνση προς Ιταλία είναι 44 bcm, μετά την αναβάθμιση του Transmed. Μετά τις πρώτες χώρες υποδοχής, την Ισπανία και την Ιταλία δηλαδή, το φυσικό αέριο διανέμεται κεντρικότερα μέσα από τις συνδέσεις αυτών των χωρών με βορειότερες Ευρωπαϊκές χώρες. Ο αγωγός Galsi έχει σχεδιασθεί να ενώνει την Αλγερία με την Ιταλία με ετήσια δυναμικότητα 8 bcm ετησίως [72], ποσότητα που είναι ικανή να τροφοδοτήσει και την ευρύτερη περιοχή μετά την κατασκευή του.

Τα ακριβή στοιχεία των αγωγών αναφέρονται αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο, αυτό της περιγραφής των αγωγών.

Πίνακας 5 Στοιχεία κύριων αγωγών φυσικού αερίου από την Αφρική

Αγωγός	Χερσαίος (X) / Υποθαλάσσιος (Y)	Μήκος (χλμ)	Διάμετρος (mm)	Συνολικό Μήκος (χλμ)	Δυναμικότητα (bcm/γ) (Αναβάθμιση/έτος)	Σταθμοί Συμπύεσης	Κόστος
Maghreb- Europe	Αλγερία (X)	515	1200	1620	12		2.3 billion \$
	Μαρόκο (X)	545					
	Ισπανία (X)	269					
	Πορτογαλία (X)	269					
	Μεσόγειος (Y)	2 x 45	560				
Medgaz	Αλγερία (X)	547	1220	757	8	1	900 million e
	Ισπανία (X)						
	Μεσόγειος (Y)	210	610				
Transmed	Αλγερία (X)	550	1220	2475	30.2 (33.5/2012)	6	6.25 billion e
	Τυνησία (X)	370					
	Ιταλία (X)	1400					
	Κανάλι Σικελίας (Y)	155	510 / 660				
Greenstream	Λιβύη (X)	520	810	520	8 (11)	1	6,6 billion \$
	Ιταλία (X)						

Αγωγός φυσικού αερίου Maghreb-Europe

Ο αγωγός Maghreb - Europe Gas (MEG) (Σχήματα 36 και 37), γνωστός επίσης και ως αγωγός PedroDuran Farrel είναι ένας αγωγός φυσικού αερίου που συνδέει την περιοχή εξόρυξης Hassi R'mel, με την περιοχή της Κόρντομπα στην Ανδαλουσία της Ισπανίας, μέσω του Μαρόκου και στη συνέχεια συνδέεται με τα δίκτυα φυσικού αερίου της Ισπανίας και της Πορτογαλίας [73][74].

Ο αγωγός μπήκε σε λειτουργία τον Νοέμβριο 1996. Το μήκος του αγωγού είναι 1620 χλμ. και η ετήσια δυναμικότητά του είναι 12 bcm φυσικού αερίου. Κατασκευάστηκε από τις εταιρείες Bechtel και Saipem και το συνολικό κόστος κατασκευής του έφτασε τα 2,3 δισεκατομμύρια δολάρια [74].

Ο αγωγός αποτελείται από πέντε τμήματα: της Αλγερίας, του Μαρόκου και της Ανδαλουσίας με διάμετρο 48 ιντσών (1200 mm), η σύνδεση με τη Πορτογαλία είναι με διάμετρο 28 / 32 ίντσες (710 / 810 mm) και το υποθαλάσσιο τμήμα αποτελείται από δύο αγωγούς με διάμετρο 22 ιντσών (560 mm) [74].

Το τμήμα του αγωγού εντός της Αλγερίας, μήκους 515 χιλιομέτρων, αναπτύσσεται από το πεδίο Hassi R'mel μέχρι τα σύνορα με το Μαρόκο. Ανήκει στην αλγερινή κρατική εταιρία ενέργειας Sonatrach η οποία είναι και υπεύθυνη για τη λειτουργία του. Το μαροκινό τμήμα, μήκους 522 χιλιομέτρων, ανήκει στο κράτος και λειτουργεί με ευθύνη της Metragaz, μια κοινοπραξία μεταξύ της Sagane (θυγατρικής της ισπανικής εταιρίας Natural Gas (SDG), της Transgas (Πορτογαλία), και της SNPP (Μαρόκο). Το υποθαλάσσιο τμήμα που συνδέει τις δύο ακτές του Στενού του Γιβλαρτάρ έχει μήκος 45 χιλιομέτρων και ανήκει από κοινού στις Enagas (Ισπανία) και Transgas, και το μαροκινό δημόσιο. Το εντός της Ανδαλουσίας τμήμα έχει μήκος 269 χιλιομέτρων, ενώ το τμήμα που συνδέει την Πορτογαλία έχει συνολικό μήκος 269 χιλιομέτρων, ενώ 270 χλμ αγωγού βρίσκονται στην Extremadura μια αυτόνομη περιοχή της δυτικής Ισπανίας [74].

Αγωγός φυσικού αερίου Medgaz

Ο Medgaz είναι ένας αγωγός που σχεδιάστηκε για να τροφοδοτήσει την Ευρώπη με φυσικό αέριο προερχόμενο από το κοιτάσμα Hassi R'mel στην Αλγερία (Σχήματα 36 και 37).

Το συνολικό του μήκος είναι 757 χλμ. και διακρίνεται σε δύο τμήματα [75]:

- το χερσαίο αρχίζει από το πεδίο Hassi R'mel στην Αλγερία και φθάνει έως το λιμάνι Beni Saf διανύοντας απόσταση 547 χιλιομέτρων όπου ο αγωγός έχει διάμετρο 48 ίντσες (1220 mm) και
- ένα υποθαλάσσιο τμήμα που έχει μήκος 210 χιλιομέτρων περίπου και διάμετρο 24 ιντσών (610 mm), σε μέγιστο βάθος 2.160 μέτρων, το οποίο συνδέει την ακτή της Αλγερίας με την απέναντι ακτή της Ισπανίας, ξεκινώντας από το λιμάνι Beni Saf της Αλγερίας μέχρι την Perdigal Beach στην ακτή της Ισπανίας [75].

Η αρχική δυναμικότητα του αγωγού θα είναι 8 bcm φυσικού αερίου ετησίως, ενώ το συνολικό κόστος του προγράμματος εκτιμάται ότι θα ανέλθει σε 1,1 δισεκατομμύρια ευρώ, συμπεριλαμβανομένων των 630 εκατομμυρίων ευρώ για το υποθαλάσσιο τμήμα.

Η **Medgaz** αποτελεί ένα κονσόρτσιουμ επτά διεθνών εταιριών εξειδικευμένων σε επιχειρήσεις αερίου. Η ισπανική CEPSA (με 20% συμμετοχή) και η αλγερινή Sonatrach (με 36% συμμετοχή), είναι οι ιδρυτικοί εταίροι, ενώ συμμετέχουν επίσης η ισπανική Iberdrola (με 20% συμμετοχή), η ισπανική Endesa (με 12% συμμετοχή), και η γαλλική Gaz de France (με 12% συμμετοχή) [73].

Μετά τις μελέτες σκοπιμότητας, την αποδοχή του σχεδίου από τις εμπλεκόμενες κυβερνήσεις και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, προχώρησαν οι προκαταρκτικές εργασίες. Το 2004, ύστερα από μελέτη του βυθού και σύνταξη σχετικών σχεδίων, αποφασίσθηκε το σημείο κατασκευής του υποθαλάσσιου τμήματος. Οι εργασίες κατασκευής άρχισαν ουσιαστικά εντός του 2007 και ολοκληρώθηκαν το 2009.

Το Medgaz αποτελεί στρατηγικής σημασίας πρόγραμμα τόσο για την Αλγερία και την Ισπανία όσο και την υπόλοιπη Ευρώπη. Για την Ευρώπη, ο αγωγός αυτός καλύπτει σημαντικούς στόχους, όπως την εγγύηση σταθερού και σίγουρου εφοδιασμού ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό το σχέδιο Medgaz έχει γίνει αποδεκτό από την ΕΕ ως "Project of Common Interest within Trans-European Networks in the Energy Sector"[73].

Αγωγός Trans-Mediterranean

Ο αγωγός Trans - Mediterranean (TransMed), ή Enrico Mattei είναι αγωγός φυσικού αερίου που συνδέει την Αλγερία με τη Σικελία μέσω της Τυνησίας (Σχήματα 36 και 37), ενώ στη συνέχεια αναπτύσσεται στην ιταλική ενδοχώρα [76]. Μία επέκτασή του τροφοδοτεί με αλγερινό φυσικό αέριο τη Σλοβενία.

Η πρώτη φάση του αγωγού TransMed κατασκευάσθηκε μεταξύ 1978-1983 ενώ η δεύτερη φάση μεταξύ 1991-1994. Η μέγιστη τρέχουσα δυναμικότητά του είναι 30.2 bcm φυσικού αερίου, υπάρχει όμως και σχέδιο επέκτασής της [76].

Το συνολικό του μήκος είναι 2475 χλμ. Αναλυτικά αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα [73]:

- Το αλγερινό τμήμα που αρχίζει από το πεδίο Hassi R'mel μέχρι τα σύνορα με την Τυνησία με μήκος 550 χιλιομέτρων. Περιλαμβάνει ένα σταθμό συμπίεσης και δύο γραμμές αγωγού διαμέτρου 48 ιντσών (1220 mm). Το τμήμα αυτό το λειτουργεί η αλγερινή εταιρία Sonatrach.
- Το τμήμα εντός της Τυνησίας, μήκους 370 χιλιομέτρων που ανήκει στην εταιρία Sotugat (Société Tunisienne du Gazoduc Trans-tunisien) και λειτουργεί με μέριμνα

της Sergaz. Περιλαμβάνει τρεις σταθμούς συμπίεσης και δύο γραμμές αγωγού διαμέτρου 48 ιντσών (1220 mm). Τα δικαιώματα που εισπράττει η Τυνησία ανέρχονται στο 5,25-6,75 % της αξίας του μεταφερομένου αερίου, ενώ αγοράζει περίπου 12 bcm το χρόνο. Επιπλέον δύο σταθμοί συμπίεσης και αναβάθμιση των υπαρχόντων θα πετύχουν αύξηση της δυναμικότητας του αγωγού στο τμήμα της Τυνησίας κατά 6.5 bcm.

- Το υποθαλάσσιο τμήμα του αγωγού, μήκους 155 χιλιομέτρων, που διέρχεται από το στενό της Σικελίας, περιλαμβάνει τρεις γραμμές αγωγών διαμέτρου 20 ιντσών (510 mm) και δύο γραμμές διαμέτρου 26 ιντσών (660 mm). Το τμήμα αυτό λειτουργεί υπό την ευθύνη της TMPC (Trans Mediterranean Pipeline Company), μια κοινοπραξία μεταξύ της ιταλικής ENI (Ente Nazionale Idrocarburi) και της αλγερινής Sonatrach. Το υποθαλάσσιο τμήμα αρχίζει από την πόλη El Haouaria, στην περιοχή της χερσονήσου Cap Bon (ή Sharik) στο βορειοανατολικό άκρο της Τυνησίας και καταλήγει στην περιοχή της πόλης Mazara del Vallo στο νοτιοδυτικό τμήμα της Σικελίας.
- Το ιταλικό τμήμα έχει μήκος 1.400 χιλιόμετρα και λειτουργεί με μέριμνα της Snam Rete Gas, θυγατρικής της ENI. Η διάμετρος των 2 σωλήνων κυμαίνεται από 42 (1070 mm) έως 48 ίντσες (1220 mm). Ο αγωγός διέρχεται από το έδαφος της Σικελίας, το θαλάσσιο τμήμα των Στενών της Μεσσήνας (15 χιλιόμετρα) και στη συνέχεια εντός της ιταλικής χερσονήσου, μέχρι την κοιλάδα του ποταμού Πάδου (Po Valley) στη βόρεια Ιταλία, όπου είναι οι εγκαταστάσεις της εταιρίας Po Valley Energy, αυστραλιανών συμφερόντων.

Αγωγός φυσικού αερίου Greenstream

Ο Greenstream είναι υποβρύχιος αγωγός φυσικού αερίου που συνδέει τη Λιβύη με την Ιταλία μέσω της Σικελίας και είναι ο μεγαλύτερος σε μήκος υποθαλάσσιος αγωγός που έχει κατασκευασθεί στη Μεσόγειο (Σχήματα 36 και 37) [77].

Έχει μήκος 540 χιλιομέτρων, διάμετρο 32 ιντσών (810 mm) με αρχική δυναμικότητα 8 bcm ετησίως, ενώ υπάρχει η πρόβλεψη να ανέλθει αργότερα στα 11 bcm. Το κόστος κατασκευής υπολογίστηκε στα 6.6 δις δολάρια [77].

Αρχίζει από το Mellitah στην ακτή της Λιβύης, διέρχεται δυτικά της Μάλτας και καταλήγει στη Γέλα, στη νότια ακτή της Σικελίας, όπου υπάρχουν τεράστιες εγκαταστάσεις αποθήκευσης φυσικού αερίου και πετρελαίου καθώς και διυλιστήρια της εταιρίας ENI. Το μέγιστο βάθος του είναι 1.127 μέτρα [73][77].

Το πρόγραμμα Greenstream αποτελεί μέρος του Western Libyan Gas Project, το οποίο είναι το κύριο πρόγραμμα εκμετάλλευσης του φυσικού αερίου που παράγεται στη Λιβύη μέσω της εξαγωγής του στην Ευρώπη [77].

Το φυσικό αέριο που μεταφέρεται μέσω του αγωγού Greenstream προέρχεται από τα λιβυκά πεδία εξόρυξης: Bahr Essalam (θαλάσσιο) που βρίσκεται 110 χιλιόμετρα από την μεσογειακή ακτή, το Wafa και Bouri τα οποία βρίσκονται κοντά στα σύνορα με την Αλγερία, σε απόσταση 530 χιλιομέτρων από το Mellitah [73].

Η ιδέα για την εξαγωγή φυσικού αερίου από τη Λιβύη στην Ιταλία ξεκίνησε στη δεκαετία του 1970, ενώ μέσα στις δύο επόμενες δεκαετίες πραγματοποιήθηκαν διάφορες μελέτες σκοπιμότητας. Το πρόγραμμα αναπτύχθηκε από κοινού από την ιταλική εταιρία ENI, που κατέχει το 50% και την κρατική εταιρία της Λιβύης National Oil Corporation (NOC). Περιλαμβάνει τον σταθμό συμπίεσης της Mellitah, τον υποθαλάσσιο αγωγό και τον τερματικό σταθμό στη Γέλα. Η εργασίες κατασκευής του αγωγού άρχισαν τον Αύγουστο του 2003 και το έργο ολοκληρώθηκε τον Φεβρουάριο 2004 και εγκαινιάστηκε στις 7 Οκτωβρίου 2004.

Αγωγός φυσικού αερίου Galsi

Ο αγωγός Galsi είναι ένας αγωγός που έχει σχεδιασθεί να τροφοδοτήσει την Ιταλία με τα κοιτάσματα της Αλγερίας. Ο αγωγός θα έχει ετήσια δυναμικότητα ίση με 8 bcm και αναμένεται να λειτουργήσει το 2018 [72]. Θα αποτελείται από τρία τμήματα, δύο υποθαλάσσια και ένα χερσαίο.

Το πρώτο υποθαλάσσιο τμήμα του θα ενώνει την Αλγερία με την νότια Σαρδηνία στο Porto Botte. Θα είναι ο βαθύτερος αγωγός που έχει κατασκευαστεί ποτέ, αφού το μεγαλύτερο βάθος θα είναι 2885 μέτρα. Το τμήμα αυτό του αγωγού θα αφορά διεθνή χρήση. Το δεύτερο θα είναι χερσαίο και θα διασχίζει τη Σαρδηνία και το τρίτο θα το ενώνει υποθαλάσσια με την Ιταλία στη περιοχή της Τοσκάνης. Τα τελευταία δύο τμήματα θα αφορούν τοπική χρήση [72].

Ο αγωγός Galsi θα δημιουργήσει μία συντομότερη και πιο ανταγωνιστική διαδρομή από την Αλγερία και θα μπορέσει να τροφοδοτήσει την Ιταλία ευρύτερα αλλά και την Σαρδηνία πιο συγκεκριμένα, μία περιοχή που έχει ανάγκη ποσότητες φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο μέσα από τον αγωγό Galsi θα μπορεί να αντικαταστήσει άλλα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στην ευρύτερη περιοχή, όπως LNG και πετρέλαιο [72].

3.2.5 Στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης φυσικού αερίου

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιασθούν τα στοιχεία παραγωγής των κοιτασμάτων καθώς και τα στοιχεία κατανάλωσης των Ευρωπαϊκών χωρών λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές παραγωγές τους και τις εισαγωγές τους σε υγροποιημένο αέριο (LNG). Οι ποσότητες αυτές αφορούν το έτος 2015. Η καθαρή ποσότητα ζήτησης που έπρεπε να μπει στο δίκτυο ήταν μόνο η ποσότητα φυσικού αερίου που ζητείται για κατανάλωση από τους αγωγούς φυσικού αερίου του δικτύου τροφοδοσίας. Οπότε έπρεπε να αφαιρεθούν από την ολική ζήτηση των χωρών οι τοπικές παραγωγές τους σε φυσικό αέριο, καθώς επίσης και οι ποσότητες LNG που δέχονται.

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται τα στοιχεία ζήτησης (demand), τοπικής παραγωγής (indigenous production), ποσοτήτων εισροής LNG και τέλος καθαρής ζήτησης (net demand) των χωρών κατανάλωσης.

Net Demand = Demand - (indigenous production+ LNG) ή

Καθαρή ζήτηση = Ζήτηση – (τοπική παραγωγή + εισαγόμενο υγροποιημένο αέριο)

Όπως φαίνεται από το Πίνακα 6, οι μεγαλύτερες ποσότητες κατανάλωσης φυσικού εντοπίζονται στη Γερμανία (81,4 bcm), Αγγλία (71,8 bcm), Ιταλία (67,5 bcm) και Τουρκία (47,6 bcm). Όμως, παρατηρώντας τα στοιχεία των τοπικών παραγωγών, η Αγγλία καλύπτει περισσότερο από το 50% της ολικής κατανάλωσης της σε αντίθεση με την Γερμανία και την Τουρκία των οποίων οι παραγωγές τους φαίνονται να είναι σαφώς μικρότερες από τις καταναλώσεις τους.

Η θέση βέβαια των χωρών αυτών είναι ευνοϊκή, αν λάβουμε υπόψη ότι η Γερμανία τροφοδοτείται άμεσα από Βόρεια Θάλασσα και Ρωσία ενώ η Αγγλία από Μέση Ανατολή και Ρωσία.

Όσον αφορά το υγροποιημένο φυσικό αέριο, μεγαλύτερες ποσότητες ετησίως φαίνεται να δέχονται χώρες τις Νοτιοδυτικής Ευρώπης, όπως η Ισπανία (13,6 bcm), η Γαλλία (6,5 bcm), η Ιταλία (5,9 bcm), καθώς επίσης και η Τουρκία (7,6 bcm).

Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι είναι παραθαλάσσιες χώρες με καλή τοποθεσία σε συνδυασμό με τη τοποθεσία τερματικών σταθμών LNG. Αυτό φαίνεται και στο Σχήμα 38 [78], που παρουσιάζει τους τερματικούς σταθμούς σε λειτουργία, υπό κατασκευή και υπό σχεδιασμό.

Πίνακας 6 Ετήσια καθαρή ζήτηση φυσικού αερίου ανά χώρα [27]

ID	Country_Name	Demand	Indigenous Production	LNG	Net Demand
2	UK	71,8	41,3	0	30,5
3	France	39,1	0	6,5	32,6
4	Germany	81,4	8,7	0	72,7
6	Belgium	17	0	2,5	14,5
7	Lithuania	2,3	0	0,4	1,9
8	Latvia	1,4	0	0	1,4
9	Estonia	0,5	0	0	0,5
10	Poland	18,3	6,1	0,2	12
11	Netherlands	40,3	53,3	2,5	-15,5
12	Spain	27,9	0,1	13,6	14,2
13	Italy	67,5	6,8	5,9	54,8
14	Switzerland	3,5	0	0	3,5
15	Czech Rep.	7,9	0,2	0	7,7
16	Ireland	4,4	0,1	0	4,3
17	Denmark	3,2	4,6	0	-1,4
18	Sweden	0,8	0	0	0,8
19	Ukraine	35,3	19,2	0	16,1
20	Slovakia	4,6	0,1	0	4,5
21	Hungary	9	1,8	0	7,2
22	Austria	8,4	1,3	0	7,1
24	Slovenia	0,8	0	0	0,8
25	Croatia	2,6	1,7	0	0,9
26	Serbia	2	0,6	0	1,4
27	Bosnia	0,2	0	0	0,2
28	Romania	11,3	11,1	0	0,2
29	Bulgaria	2,9	0,2	0	2,7
30	Moldova	2,9	0	0	2,9
31	Fyrom	0,1	0	0	0,1
40	Turkey	47,6	0,4	7,6	39,6
44	Belarus	19,2	0,2	0	19
50	Finland	2,7	0	0	2,7
51	Portugal	4,7	0	1,5	3,2
56	Greece	3,1	0	0,6	2,5
	Ολικές τιμές	544,7	157,8	41,3	
	Καθαρή Ζήτηση				362,5



Σχήμα 38: Τερματικοί σταθμοί LNG στην Ευρώπη. Πηγή: [78]

Όσον αφορά τις ευρύτερες περιοχές παραγωγής όπως θα αναφερθεί και παρακάτω έχουν επιλεγεί δύο σημεία παραγωγής για τη Ρωσία (το βόρεια και το νότια) με συνολική παραγωγή 167,5 bcm ετησίως και δύο για την ευρύτερη περιοχή της Νορβηγίας με συνολική παραγωγή 112,6 bcm ετησίως (Πίνακας 7). Οι περιοχές της Ολλανδίας και της Δανίας, έχουν παρουσιαστεί με κόκκινο χρώμα γιατί έχουν μεγαλύτερες τοπικές παραγωγές από ότι καταναλώσεις, κάτι που οδήγησε στο να θεωρηθούν παραγωγοί (Πίνακας 7). Τα παραπάνω στοιχεία είναι απαραίτητα για την κατανόηση των ροών φυσικού αερίου και θα χρησιμοποιηθούν αργότερα στο κεφάλαιο της προσομοίωσης λειτουργίας του μοντέλου.

Πίνακας 7 Ετήσια παραγωγή φυσικού αερίου ανά χώρα / περιοχή [27]

ID	Country_Name	Supply
1	North_Sea	88
5	Norway	24,6
11	Netherlands	15,5
17	Denmark	1,4
33	Azerbaijan	8,2
35	Iran	8,1
41	Algeria	43,9
42	Libya	7,1
46	Russia_South	100
78	Russia_North	65,7
	Ολική παραγωγή	362,5

4. Ανάπτυξη υπολογιστικού μοντέλου αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου στην Ευρώπη

4.1 Μεθοδολογική προσέγγιση

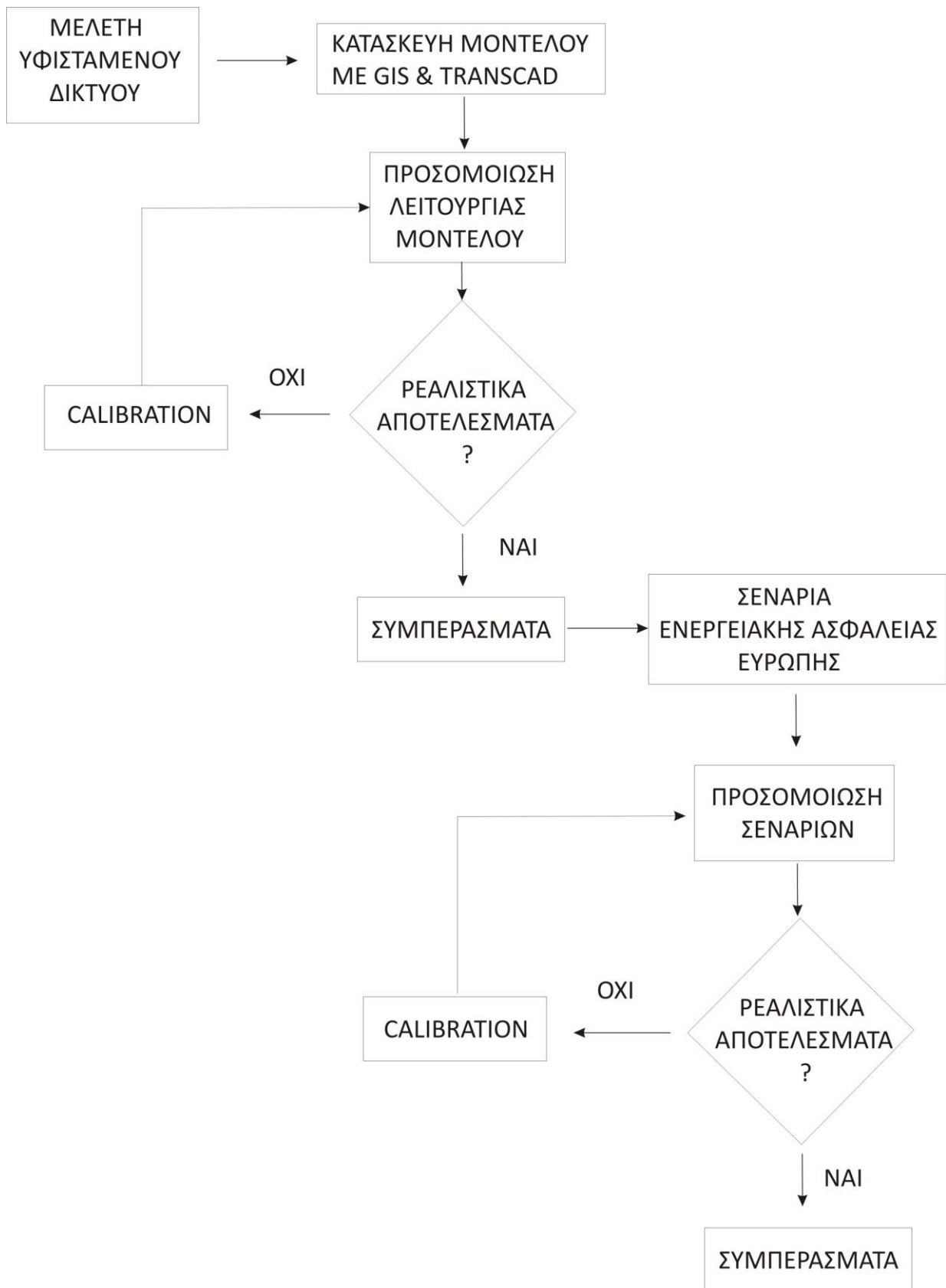
Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε η περιγραφή του υφιστάμενου δικτύου και δόθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα για την κατασκευή του μοντέλου. Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα δοθεί η αναλυτική μεθοδολογική προσέγγιση με τα βήματα που ακολουθήθηκαν και στόχο είχαν το σχεδιασμό και έπειτα τη προσομοίωση του μοντέλου καθώς επίσης και κάποια στοιχεία για τα λογισμικά των ArcGIS και TransCAD, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν. Στο Σχήμα 39 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής για τη κατασκευή του μοντέλου.

Μετά την μελέτη του υφιστάμενου δικτύου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό του ArcGIS για να σχεδιαστεί το δίκτυο, δηλαδή οι κόμβοι παραγωγής και κατανάλωσης φυσικού αερίου, καθώς επίσης και οι συνδέσεις τους με το δίκτυο αγωγών, κύρια δεδομένα των οποίων ήταν τα μήκη και οι ετήσιες δυναμικότητες τους. Ο χάρτης που δημιουργήθηκε περάστηκε στο λογισμικό TransCAD, όπου και προστέθηκαν τα δεδομένα παραγωγής και κατανάλωσης στους κόμβους και τα κόστη μεταφοράς των αγωγών σαν συνάρτηση των μηκών τους.

Η προσομοίωση της λειτουργίας του μοντέλου έγινε στο λογισμικό TransCAD με τη μέθοδο ελάχιστου κόστους (minimum cost flow) και ως αποτέλεσμα έδινε τον χάρτη του δικτύου με τις ροές των αγωγών. Για να ελεγχθεί κατά πόσο η λειτουργία του μοντέλου προσέγγιζε αυτή του υφιστάμενου-πραγματικού δικτύου αρχικά έπρεπε οι ροές των βασικών αγωγών τροφοδοσίας να είναι παρόμοιες με τις πραγματικές και να καλύπτονται οι καταναλώσεις των χωρών.

Για να ισχύσουν τα παραπάνω έγιναν ρυθμίσεις (calibration) στο μοντέλο ώστε να καλύπτονται οι παροχές όλων των βασικών αγωγών και μέσα από τη δημιουργία Πίνακα σε λογισμικό excel ελεγχόταν το ενεργειακό ισοζύγιο του μοντέλου μέχρι να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του.

Όσον αφορά την διαμόρφωση των σεναρίων, τα κυριότερα θέματα που διερευνήθηκαν ήταν η μείωση της ενεργειακής εξάρτηση της Ευρώπης από τη Ρωσία και το άλλο η δυνατότητα τροφοδοσίας της Ευρώπης σε περίπτωση αύξησης των ενεργειακών της αναγκών με νέα έργα υποδομών. Για τα σενάρια αντίστοιχα γινόταν νέα προσαρμογή δεδομένων στο μοντέλο και ελεγχόταν η προσομοίωση μέχρι να δώσει ρεαλιστικά αποτελέσματα.



Σχήμα 39 Διάγραμμα ροής κατασκευής μοντέλου

4.2 Υπολογιστικά εργαλεία

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή του μοντέλου ήταν το ArcGIS και το TransCAD.

4.2.1 Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ArcGIS

Το ArcGIS (Geographic Information Systems) ή Γ.Σ.Π. (Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών) δίνει πληροφορίες για την κατάσταση των πραγμάτων (συνθήκες, περιστάσεις), τις ιδιότητες και τις αμοιβαίες σχέσεις των παραγόντων οι οποίοι συνδυάζονται σε μία γεωγραφική περιοχή. Ένα άλλο χαρακτηριστικό τους είναι αυτό του χρόνου. Οι ιδιότητες μπορούν να αλλάξουν χαρακτήρα με τον χρόνο αλλά διατηρούν την ίδια θέση κατά χώρο ή οι ιδιότητες μένουν οι ίδιες αλλά αλλάζει η θέση τους [79].

Το ArcGIS είναι λοιπόν μια οργανωμένη συλλογή εξοπλισμού λογισμικού, γεωγραφικών δεδομένων και προσωπικού, σχεδιασμένη έτσι ώστε να συγκεντρώνει, αποθηκεύει, ενημερώνει, επεξεργάζεται, αναλύει και παρουσιάζει όλους τους τύπους γεωγραφικών πληροφοριών. Την τελευταία δεκαπενταετία έχουν γνωρίσει μεγάλη άνθηση και έχουν βρει αρκετές πρακτικές εφαρμογές σε επιχειρήσεις και οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου και του πεδίου της έρευνας.

Δύο βασικοί τύποι γεωγραφικών πληροφοριών υπάρχουν:

- η χωρική πληροφορία που είναι ο προσδιορισμός της θέσης των γεωγραφικών δεδομένων με βάση ένα σύστημα αναφοράς, καθώς επίσης τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των γεωγραφικών δεδομένων και
- η περιγραφική πληροφορία που είναι τα χαρακτηριστικά των γεωγραφικών δεδομένων που έχουν σχέση με τις ποιοτικές και ποσοτικές ιδιότητες του γεωγραφικού χώρου.

Η μεγάλη αλλαγή που έγινε με την εφαρμογή του ArcGIS είναι ότι μπόρεσε να πραγματοποιηθεί η σύνδεση των χωρικών-γραφικών πληροφοριών με τις μη γραφικές πληροφορίες (περιγραφικές) και η δυνατότητα πράξεων (αριθμητικών και λογικών) μεταξύ χαρτών.

4.2.2 Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών TransCAD

Το TransCAD είναι το πρώτο και μοναδικό Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ArcGIS) που έχει σχεδιαστεί ειδικά για επίλυση θεμάτων που σχετίζονται με μεταφορά, περικλείοντας τεχνολογία αιχμής. Συνδυάζει ArcGIS και τις δυνατότητες της μοντελοποίησης μεταφοράς σε μια ενιαία ολοκληρωμένη πλατφόρμα, παρέχοντας δυνατότητες που δεν μπορούν να δοθούν από οποιοδήποτε άλλο πρόγραμμα. Το TransCAD μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλα τα είδη μεταφοράς, σε οποιαδήποτε κλίμακα ή σε επίπεδο λεπτομέρειας. Ειδικότερα το TransCAD παρέχει [80]:

Ουσιαστικά, είναι μια ισχυρή μηχανή ArcGIS με ειδικές εφαρμογές για θέματα μεταφοράς.

Χαρτογράφηση, οπτικοποίηση και εργαλεία ανάλυσης έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές μεταφοράς. εφαρμογές για τη βέλτιστη διαδρομή, τη πρόβλεψη ζήτησης, τη δημόσια συγκοινωνία, τα logistics, τη θέση τοποθεσίας, καθώς και τη διαχείριση εδάφους.

Το TransCAD έχει εφαρμογές για όλους τους τύπους των δεδομένων μεταφοράς και για όλους τα είδη μεταφοράς και είναι ιδανικό για τη δημιουργία βάσης πληροφοριών και σαν σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων. Το TransCAD τρέχει σε περιβάλλον Microsoft Windows συνεπώς είναι συμβατό με όλους τους υπολογιστές γεγονός που του προσδίδει σημαντικά πλεονεκτήματα.

Με το TransCAD μπορείτε να δημιουργηθούν και να προσαρμοστούν χάρτες, να δημιουργηθούν βάσεις γεωγραφικών δεδομένων, και να εκτελεστούν διαφορετικά είδη χωρικής ανάλυσης. Το TransCAD περιλαμβάνει εξελιγμένα στοιχεία ArcGIS όπως η πολυγωνική επικάλυψη (polygon overlay) και η γεωκωδικοποίηση (geocoding), ενώ διαθέτει ένα ανοικτό σύστημα αρχιτεκτονικής που υποστηρίζει την ανταλλαγή δεδομένων σε τοπικά και ευρείας περιοχής δίκτυα.

Το TransCAD επίσης είναι το μόνο πακέτο λογισμικού που ενσωματώνει πλήρως το ArcGIS με μοντέλα ζήτησης και logistics, με αποτέλεσμα τα μοντέλα να είναι πολύ πιο ακριβή και αποτελεσματικά. Επίσης, διαφορετικές εξισώσεις μοντελοποίησης μπορούν εύκολα να εξαχθούν και να εφαρμοστούν για διαφορετικές γεωγραφικές υπο-περιοχές. Η προσέγγιση ArcGIS παρέχει επίσης μια γραφική επίλυση που είναι εύκολα κατανοητή. Οι χρήστες του προγράμματος μπορούν να μεταφέρουν πολύ τεχνικές πληροφορίες σε ένα μη επαγγελματία με ένα πολύ απλό και κατανοητό τρόπο.

Συνοψίζοντας το TransCAD επεκτείνει το παραδοσιακό μοντέλο δεδομένων ArcGIS για να συμπεριλάβει δεδομένα μεταφοράς, γεγονός που το καθιστά ως το καλύτερο εργαλείο για τη διαχείριση και ανάλυση των δεδομένων σε εφαρμογές που σχετίζονται με μεταφορά.

4.3 Λεπτομερής περιγραφή δομής μοντέλου

4.3.1 Περιγραφή Δικτύου σε περιβάλλον ArcGIS

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο του υφιστάμενου δικτύου, υπάρχουν πολλοί χάρτες που αναπαριστούν τα δίκτυα αυτά αλλά τις περισσότερες φορές είτε είναι πολύ λεπτομερείς, είτε πολύ απλοποιημένοι. Στην πρώτη περίπτωση, ενώ υπάρχει λεπτομερής αποτύπωση των αγωγών, βασικών και δευτερευόντων, δεν υπάρχουν οι απαραίτητες τεχνικές προδιαγραφές τους όπως η διάμετρος, το μήκος και η παροχή τους, που είναι απαραίτητες για την εφαρμογή μας. Αντίστοιχα στη δεύτερη περίπτωση εξαιτίας απουσίας βασικών αγωγών στους χάρτες αυτούς, η απεικόνιση του δικτύου δεν αποτυπώνει την πραγματική κατάσταση ικανοποιητικά. Για αυτό το λόγο στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS για τη χαρτογράφηση του δικτύου μέσα από συνδυασμό αρκετών χαρτών και στοιχείων από διάφορες πηγές. Το δίκτυο που σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα ArcGIS αποτελείται από τρία βασικά μέρη τα οποία είναι τα εξής:

- Κόμβοι του δικτύου
- Δίκτυο που τροφοδοτεί την Ευρώπη
- Εσωτερικό Δίκτυο Ευρώπης

Μέσα από μελέτη των υφιστάμενων χαρτών, έγινε αναπαράσταση του δικτύου κατά τον καλύτερα δυνατό τρόπο, με χρήση απαραίτητων απλοποιήσεων σε κάποια σημεία ώστε να μπορέσει να επιλυθεί η εφαρμογή.

Κόμβοι του Δικτύου

Όσον αφορά το δίκτυο τροφοδοσίας της Ευρώπης σχεδιάστηκε ένα σημείο αρχής του κάθε αγωγού από το εκάστοτε κοίτασμα και κόμβοι όπου υπάρχουν και στο πραγματικό δίκτυο, με λίγες παραδοχές που θα παρουσιαστούν στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Έτσι για τους κόμβους των κοιτασμάτων συνολικά υπάρχουν οι εξής κόμβοι:

- Στη Βόρεια Θάλασσα επιλέχθηκε ένα σημείο αναφοράς για τα υποθαλάσσια κοιτάσματα της, όπως επίσης ένα και στη Νορβηγία αναπαριστώντας έτσι την πραγματική διαδρομή του Europipe II.

- Στη Ρωσία, της οποίας τα κοιτάσματα βρίσκονται στην ευρύτερη Σιβηρική περιοχή, επιλέχθηκαν δύο κόμβοι κοιτασμάτων, ώστε να είναι ευκολότερο για τον αναγνώστη να ξεχωρίσει τις δύο βασικές κατευθύνσεις ροής που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο του υφιστάμενου δικτύου.
- Στην Αφρική επιλέχθηκαν δύο σημεία, ένα για την Αλγερία και ένα για την Λιβύη.
- Στην ευρύτερη περιοχή της Μέσης Ανατολής, ένα σημείο για το Αζερμπαϊτζάν και ένα για το Ιράν.

Όσον αφορά το εσωτερικό δίκτυο Ευρώπης, έγινε η παραδοχή ύπαρξης ενός κόμβου σε κάθε χώρα. Δεδομένου ότι πολλοί αγωγοί διασχίζουν κάθε χώρα και σε διαφορετικά σημεία και το δίκτυο αποτελείται από πολλά ανεξάρτητα επιμέρους δίκτυα, η δημιουργία ενός ενιαίου δικτύου απαιτούσε αυτή τη παραδοχή.

Στην Ιταλία χρησιμοποιήθηκαν δύο σημεία, ένα για την Βόρεια και ένα για την Νότια Ιταλία αντίστοιχα. Στη περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκαν δύο σημεία γιατί εκτός του ότι απεικονίζεται καλύτερα η πραγματική κατάσταση, δίνει και μία σαφέστερη απεικόνιση του δικτύου στον χρήστη.

Η χρήση ενός σημείου για κάθε χώρα δημιούργησε το ερώτημα για την επιλογή της καλύτερης θέσης σε κάθε χώρα. Μια σκέψη ήταν να επιλεγθούν τα κεντροβαρικά σημεία των σχημάτων των χωρών αλλά αυτό δεν θα έδειχνε την πορεία της εισροής με τρόπο ρεαλιστικό.

Πιο συγκεκριμένα λοιπόν στην Ουκρανία και στη Λευκορωσία που αποτελούν τις πρώτες χώρες υποδοχής φυσικού αερίου από την Ρωσία τα σημεία δείχνουν τις ακριβείς περιοχές που συγκεντρώνονται οι βασικοί αγωγοί που τροφοδοτούν την Ευρώπη από τη Ρωσία. Με την ίδια λογική τοποθετήθηκαν τα σημεία στην Ολλανδία και στην Ελλάδα που είναι πρώτες χώρες υποδοχής από τη Βόρεια Θάλασσα και τη Μέση Ανατολή.

Σε χώρες όπως η Ιταλία, Ισπανία, Γαλλία που οι κύριοι αγωγοί τροφοδοσίας είτε σταματούν σε τερματικούς σταθμούς κοντά στα παράλια (Ισπανία) είτε διασχίζουν όλη τη χώρα (Ιταλία, Γαλλία) επιλέχθηκε η πρωτεύουσα αφού η τοποθεσία τους βρίσκεται σε κεντρικό σημείο.

Τέλος ειδική περίπτωση είναι η Αγγλία και η Σκωτία που επειδή τροφοδοτούνται από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας σε πολλά σημεία βάσει της παραδοχής που αναφέρθηκε πιο πάνω, επιλέχθηκε ένα σημείο στην περιοχή της Αγγλίας. Αυτό το σημείο όπως και τα υπόλοιπα που επιλέχθηκαν στις άλλες χώρες συνδυάζουν ότι είναι στα κεντρικά τμήματα της εκάστοτε χώρας στο χάρτη και επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να βοηθούν στην καλύτερη ανάγνωση του. Αφού λοιπόν

προσδιορίστηκαν οι κατάλληλες Ευρωπαϊκές πόλεις σχεδιάστηκαν στο Google earth (Σχήμα 40).



Σχήμα 40 Κόμβοι εσωτερικού δικτύου Ευρώπης

Για το καθορισμό των αποστάσεων μεταξύ τους, που ουσιαστικά είναι τα απαιτούμενα μήκη των αγωγών του εσωτερικού δικτύου της Ευρώπης (αναφορά στο αντίστοιχο κεφάλαιο), χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία του ίδιου προγράμματος.

Δίκτυο Τροφοδοσίας Ευρώπης

Οι διαδρομές των αγωγών σχεδιάστηκαν με ακρίβεια ώστε το δίκτυο να αναπαριστάται με ρεαλιστικό τρόπο, με την αναγκαία όμως παραδοχή, που αναφέρθηκε στη προηγούμενη παράγραφο, οι αγωγοί να καταλήγουν στους αντίστοιχους κόμβους κάθε χώρας που επιλέχθηκαν. Τα στοιχεία μήκους και ετήσιας δυναμικότητας είναι αυτά που μας ενδιαφέρουν για την επίλυση της εφαρμογής. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι βασικές πηγές τροφοδοσίας της Ευρώπης προέρχονται από κοιτάσματα που βρίσκονται στις παρακάτω περιοχές:

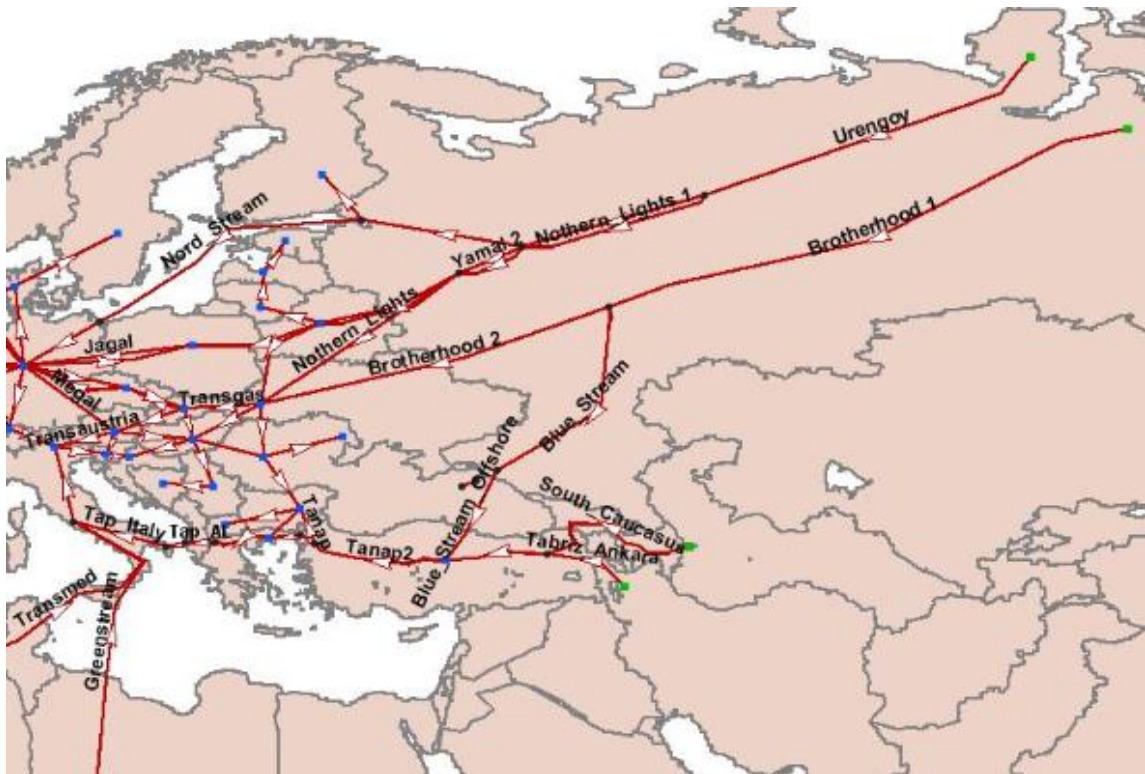
- Ρωσία
- Μέση Ανατολή
- Βόρεια Θάλασσα
- Αφρική

Ο διαχωρισμός σε αυτές τις ζώνες κοιτασμάτων γίνεται για την ευκολότερη κατανόηση του αναγνώστη. Στη συνέχεια αναλύεται ο σχεδιασμός του δικτύου, κάθε μίας ζώνης ξεχωριστά, στο περιβάλλον του προγράμματος ArcGIS.

Ρωσία

Η Ρωσία αποτελεί την κύρια πηγή τροφοδοσίας της Ευρώπης με φυσικό αέριο. Η ύπαρξη πολλών αγωγών, όπως φαίνεται και στο χάρτη του υφιστάμενου δικτύου, κάνει το δίκτυο της πολύπλοκο και άρα σύνθετο για να μπορεί να αναλυθεί και να μπει στην εφαρμογή μου. Για αυτό το λόγο στο ArcGIS σχεδιάστηκαν οι αγωγοί οι οποίοι εισάγουν τις κύριες ποσότητες φυσικού αερίου από τη Ρωσία στην Ευρώπη και για τους οποίους υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την εφαρμογή στο TransCAD. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 41 οι αγωγοί που επιλέχθηκαν για το μοντέλο είναι οι εξής:

- Urengoy, με ετήσια δυναμικότητα 78 bcm και μήκος 840 χλμ
- Yamal- Europe, με ετήσια δυναμικότητα 33 bcm και μήκος 690 χλμ
- Northern Lights(μέχρι Λευκορωσία), με ετήσια δυναμικότητα 45 bcm και μήκος 454 χλμ
- Gryazovets-Vyborg, με ετήσια δυναμικότητα 55 bcm και μήκος 917 χλμ
- Nord Stream, με ετήσια δυναμικότητα 55 bcm και μήκος 1222 χλμ
- Brotherhood, με ετήσια δυναμικότητα 100 bcm και μήκος 4500 χλμ
- Soyuz, με ετήσια δυναμικότητα 26 bcm και μήκος 840 χλμ
- Blue Stream onshore, με ετήσια δυναμικότητα 16 bcm και μήκος 373 χλμ



Σχήμα 41 Αγωγοί φυσικού αερίου με προέλευση τα κοιτάσματα της Σιβηρίας στο μοντέλο

Ο πρώτος άξονας του δικτύου, ο βορειότερος, ξεκινά με την παράλληλη διαδρομή δύο αγωγών, των Yamal-Europe και Northern Lights οι οποίοι τροφοδοτούνται από τα κοιτάσματα της Βορειοδυτικής Σιβηρίας. Στο δίκτυο, η σύνδεση των αγωγών με τα κοιτάσματα έγινε με τον αγωγό Urengoy με ετήσια δυναμικότητα ίση με το άθροισμα των δύο αγωγών, δηλαδή ίση με 78 bcm.

Ο αγωγός Yamal-Europe ξεκινά στο Τόρζοκ και από εκεί φτάνει στο κόμβο της Λευκορωσίας διανύοντας διαδρομή ίση με 690 χλμ. Το κομμάτι αυτό αντιστοιχεί άθροισμα ολόκληρου του τμήματος της Ρωσίας και του μισού της Λευκορωσίας, αφού ο κόμβος που επιλέχθηκε να βρίσκεται το κέντρο αυτής, δηλαδή ίσο με 690 χλμ.

Ο αγωγός Northern Lights ενώ ξεκινά από τα κοιτάσματα της Βορειοδυτικής Σιβηρίας και έχει συνολικό μήκος 7.377 χλμ, εξαιτίας της θεώρησης που αναφέρθηκε παραπάνω, ο αγωγός ξεκινά από το σημείο του Τόρζοκ. Το τμήμα του αγωγού που λαμβάνεται υπόψη, είναι μόνο αυτό στο οποίο φτάνει στη Λευκορωσία με συνολικό μήκος 454 χλμ. Τα υπόλοιπα παρακλάδια του θεωρούνται αγωγοί του εσωτερικού δικτύου της Ευρώπης. Ως συνέχεια του θεωρούνται οι αγωγοί Gryazovets-Vyborg και Nord Stream με τα πραγματικά τους μήκη και ετήσιες δυναμικότητες όπως παρουσιάστηκαν στο υφιστάμενο δίκτυο.

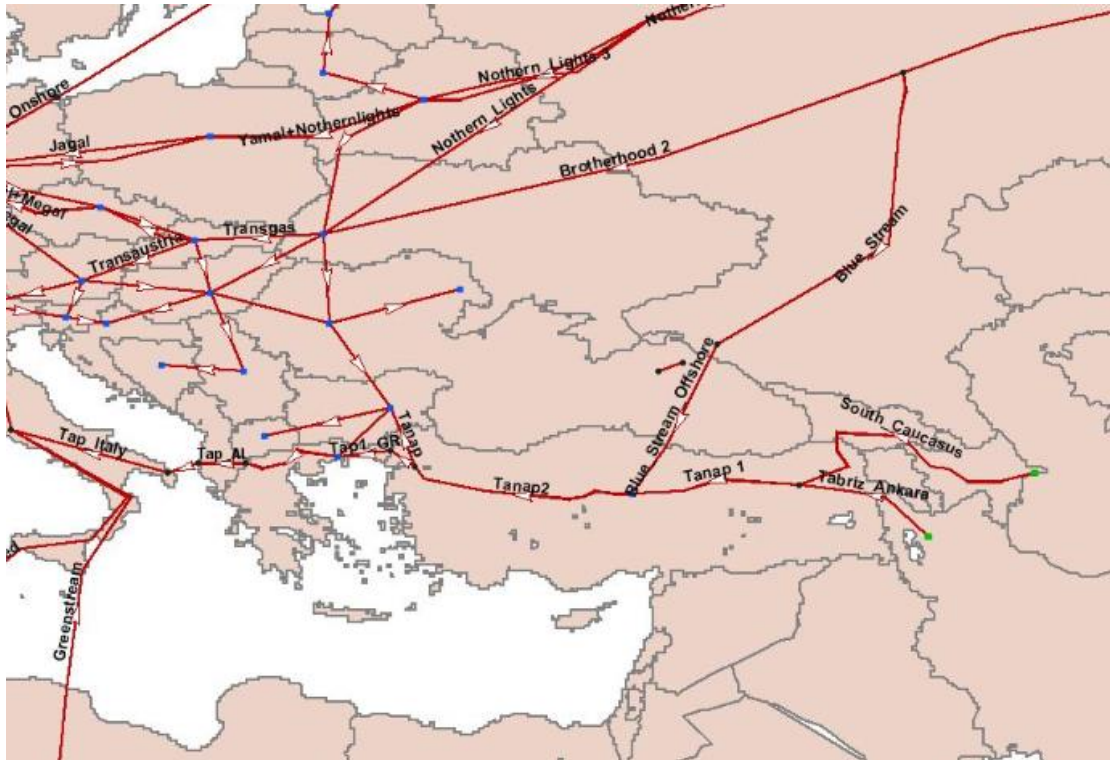
Ο δεύτερος άξονας του δικτύου, ο νοτιότερος, αποτελείται από τους αγωγούς Brotherhood και Soyuz που καταλήγουν στην Ουκρανία καθώς και το χερσαίο τμήμα του Blue Stream που φτάνει έως και τα παράλια της Ρωσίας με την Μαύρη Θάλασσα. Στον δεύτερο άξονα δεν χρειάστηκε να γίνει κάποια παραδοχή και έτσι μπήκαν τα πραγματικά στοιχεία των αγωγών (μήκος, ετήσια δυναμικότητα).

Μέση Ανατολή

Η ευρύτερη περιοχή της Μέσης Ανατολής παίζει σημαντικό ρόλο στην τροφοδοσία της Ευρώπης με φυσικό αέριο με πρώτη χώρα υποδοχής την Ελλάδα. Όπως αναφέρθηκε στην περιγραφή του υφιστάμενου δικτύου, υπάρχουν κάποιοι αγωγοί που είτε η κατασκευή τους είχε προταθεί αλλά τελικά ακυρώθηκε, όπως αυτή του South-Stream, είτε έχει προταθεί και δεν έχει ξεκινήσει ακόμα, όπως αυτή του Turkish-Stream. Αυτοί οι αγωγοί δεν συμπεριλαμβάνονται στο σχέδιο αφού στόχος είναι σχεδιαστεί το υφιστάμενο δίκτυο. Έτσι οι αγωγοί που σχεδιάστηκαν είναι οι εξής (Σχήμα 42):

- South Caucasus, με ετήσια δυναμικότητα 25 bcm και μήκος 691 χλμ
- Tabriz-Ankara, με ετήσια δυναμικότητα 14 bcm και μήκος 1800 χλμ
- Tanap (Tanap 1 + Tanap 2), με ετήσια δυναμικότητα 10 bcm και μήκος 1850 χλμ
- Blue Stream offshore, με ετήσια δυναμικότητα 16 bcm και μήκος 840 χλμ

Οι δύο βασικές χώρες παραγωγού είναι το Ιράν και το Αζερμπαϊτζάν οι οποίες μέσω των **Tabriz-Ankara** και **South-Caucasus** αντίστοιχα μεταφέρουν φυσικό αέριο στην Τουρκία. Ο πρώτος έχει ικανότητα μεταφοράς 14 bcm/year ενώ ο δεύτερος, μετά την αναβάθμιση, από 8,8 έχει πλέον 25 bcm/year. Ο **South-Caucasus** με συνολικό μήκος 691 χλμ φτάνει στο Ερζερούμ της Τουρκίας, ενώ ο **Tabriz-Ankara** μέχρι την Άγκυρα με συνολικό μήκος 2577 χλμ. Παρόλ' αυτά με την απλοποιημένη παραδοχή να επιλεγεί το Ερζερούμ σαν κόμβος σύνδεσης της Τουρκίας με τις χώρες παραγωγούς, καταλήγει και ο δεύτερος αγωγός εκεί, απλά με μήκος πλέον 1800 χλμ. Το μήκος αυτό βρέθηκε αφού αφαιρέθηκε η απόσταση μεταξύ Ερζερούμ και Άγκυρας, υπολογισμένη από το Google Earth, από το συνολικό μήκος του αγωγού, το οποίο είναι 2577 χλμ.



Σχήμα 42 Αγωγοί φυσικού αερίου με προέλευση κοιτάσματα Μέσης Ανατολής στο μοντέλο

Εκτός των δύο παραπάνω αγωγών, στην ομάδα των βασικών αγωγών της Μέσης Ανατολής μπαίνουν ο **Tanap** και ο **Blue Stream**. Ο αγωγός **Tanap**, όντας υπό κατασκευή, θεωρείται η συνέχεια του **South-Caucasus** και ξεκινώντας από τα σύνορα με τη Γεωργία θα τρέχει κατά μήκος της Τουρκίας και θα συνδέεται με τον αγωγό **Tap** στα Ελληνοτουρκικά σύνορα σχηματίζοντας έτσι αυτό που αποκαλείται **Southern Gas Corridor** ή Νότιος Διάδρομος φυσικού αερίου προς την Ευρώπη.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, θεωρώντας το Ερζερούμ σαν κόμβο, τίθεται αυτή σαν αρχή του **Tanap** αντί των συνόρων Τουρκίας-Γεωργίας και με τον τρόπο αυτό απλοποιείται το σχέδιο. Ο αγωγός έχει μήκος στο σχέδιο όσο το προβλεπόμενο μετά το πέρας της κατασκευής του, δηλαδή 1850 χλμ. Όσον αφορά την αρχική παροχή που θα έχει ο αγωγός όταν θα λειτουργήσει το 2018, θα είναι της τάξης των 16 bcm/year, όμως τα 6 από αυτά θα καλύπτουν ένα μέρος της κατανάλωσης της Τουρκίας. Για αυτό το λόγο χωρίζεται ο αγωγός σε δύο τμήματα Tanap 1 και 2. Έτσι ο **Tanap** στην εφαρμογή, από τον κόμβο της Άγκυρας και μετά (Tanap 2) θα έχει παροχή 10 bcm/year αφού με αυτή θα τροφοδοτεί την Ευρώπη μέσω του **Tap**, ενώ από το κόμβο του Ερζερούμ, από το οποίο ξεκινάει, έως την Άγκυρα (Tanap 1), που όπως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο είναι το σημείο ζήτησης της Τουρκίας, θα έχει απεριόριστη παροχή αφού δεν έχω κάποιο περιορισμό.

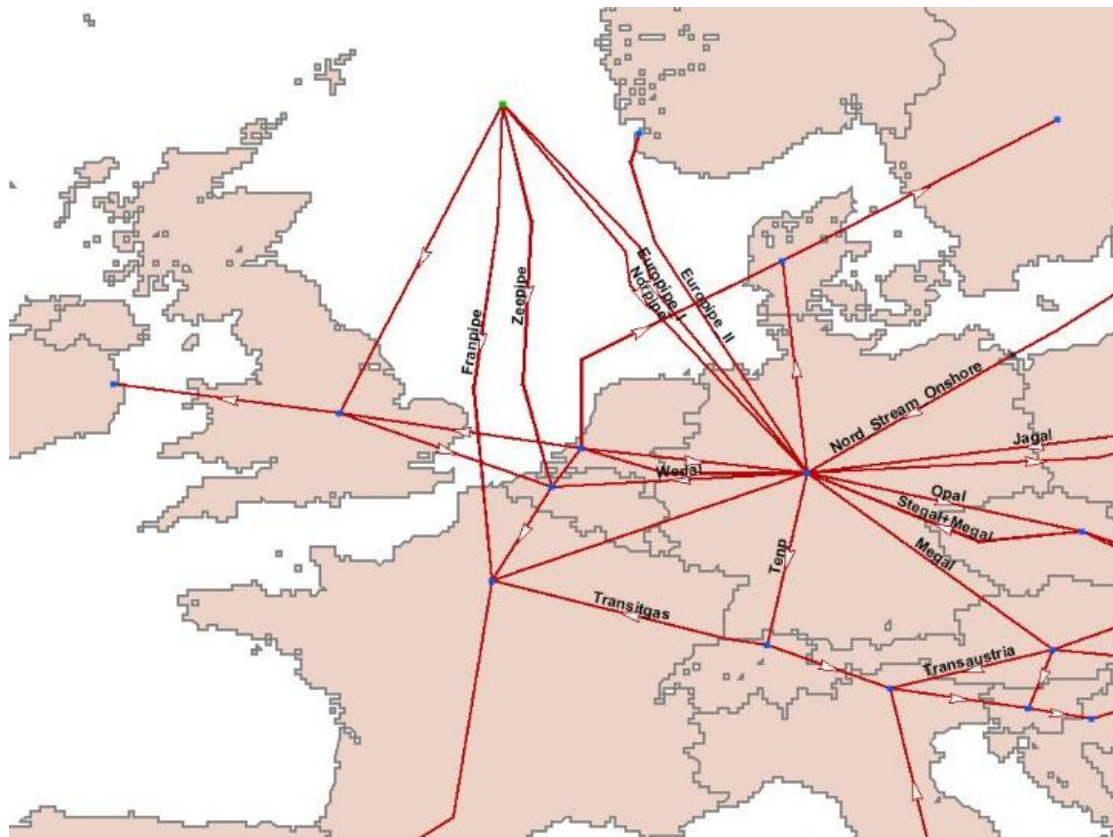
Ο αγωγός **Blue Stream** στο σχέδιο, χωρίζεται σε δύο μέρη. Το πρώτο είναι το χερσαίο κομμάτι της Ρωσίας (373 χλμ) και το δεύτερο είναι το υποθαλάσσιο κομμάτι μαζί με Τούρκικο χερσαίο κομμάτι (840 χλμ). Επιλέγεται να μπει το πρώτο τμήμα στην ομαδοποίηση της Ρωσίας αφού ανήκει στα εδάφη της, ενώ το δεύτερο στην ομαδοποίηση της Μέσης Ανατολής, αφού η διαδρομή που ακολουθεί για να φτάσει στην Ευρώπη είναι μέσω της Μαύρης Θάλασσας και έπειτα της Τουρκίας. Ο αγωγός καταλήγει στην Άγκυρα με θεωρητική ικανότητα μεταφοράς ίση με 16 bcm/year, μια παροχή όμως που καλύπτει τις ανάγκες μόνο της Τουρκίας χωρίς να συμμετέχει στην τροφοδοσία της Ευρώπης μέχρι στιγμής.

Βόρεια Θάλασσα

Όπως αναφέρθηκε και στην περιγραφή του υφιστάμενου δικτύου τα κοιτάσματα της Νορβηγίας και της ευρύτερης περιοχής της Βόρειας Θάλασσας κατέχουν σημαντική θέση στη τροφοδοσία της Ευρώπης με φυσικό αέριο. Στο Σχήμα 43 φαίνεται ο χάρτης της ευρύτερης περιοχής όπως σχεδιάστηκε στο ArcGIS.

Οι χώρες που τροφοδοτούνται είναι οι εξής:

- Η Αγγλία από έναν αγωγό με ετήσια δυναμικότητα ίση με το άθροισμα των τεσσάρων αγωγών που καταλήγουν σε αυτή, δηλαδή ίση με 45 bcm. Το μήκος είναι η μέση τιμή αντίστοιχα και ίσο με 474 χλμ.
- Η Γαλλία από τον Franpire με ετήσια δυναμικότητα ίση με 19.6 bcm και μήκος 840 χλμ.
- Το Βέλγιο από τον Franpire με ετήσια δυναμικότητα ίση με 15 bcm και μήκος 814 χλμ.
- Η Γερμανία από τους Norpipe, Euroripe I, II με συνολική ετήσια δυναμικότητα ίση με 48 bcm και μήκη αγωγών ίσα με τα πραγματικά.
- Η Ολλανδία όπως αναφέρθηκε και το υφιστάμενο δίκτυο είναι ιδιαίτερη περίπτωση αφού ουσιαστικά παράγει η ίδια, από τα κοιτάσματα που βρίσκεται τα παράλια της, μεγαλύτερες ποσότητες από ότι καταναλώνει, άρα δεν τροφοδοτείται από το σύστημα αλλά τροφοδοτεί. Αντίστοιχη περίπτωση θεωρείται και η Δανία.



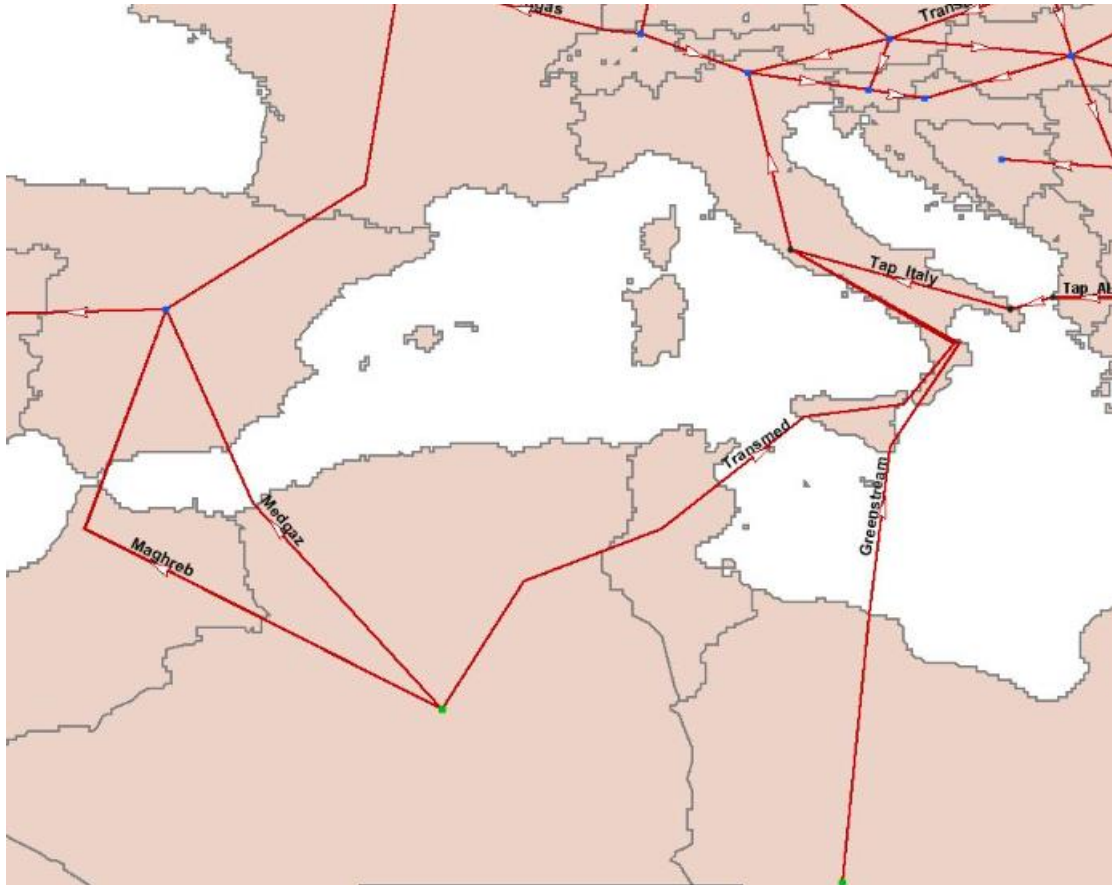
Σχήμα 43 Αγωγοί φυσικού αερίου με προέλευση κοιτάσματα Βόρειας Θάλασσας στο μοντέλο

Αφρική

Όπως αναφέρθηκε και στην περιγραφή του πραγματικού-υφιστάμενου δικτύου, οι δύο χώρες παραγωγοί φυσικού αερίου που τροφοδοτούν την Ευρώπη, είναι η Αλγερία και η Λιβύη. Στο δίκτυο μου έβαλα τους τέσσερις βασικούς αγωγούς τροφοδοσίας οι οποίοι είναι:

- **Maghreb**, με ετήσια δυναμικότητα 12 bcm και μήκος 1620 χλμ
- **Medgaz**, με ετήσια δυναμικότητα 8 bcm και μήκος 757 χλμ
- **Transmed**, με ετήσια δυναμικότητα 33 bcm και μήκος 1475 χλμ
- **Green-stream**, με ετήσια δυναμικότητα 11 bcm και μήκος 520 χλμ

Στο Σχήμα 44 παρουσιάζονται οι αγωγοί όπως σχεδιάστηκαν στο ArcGIS.



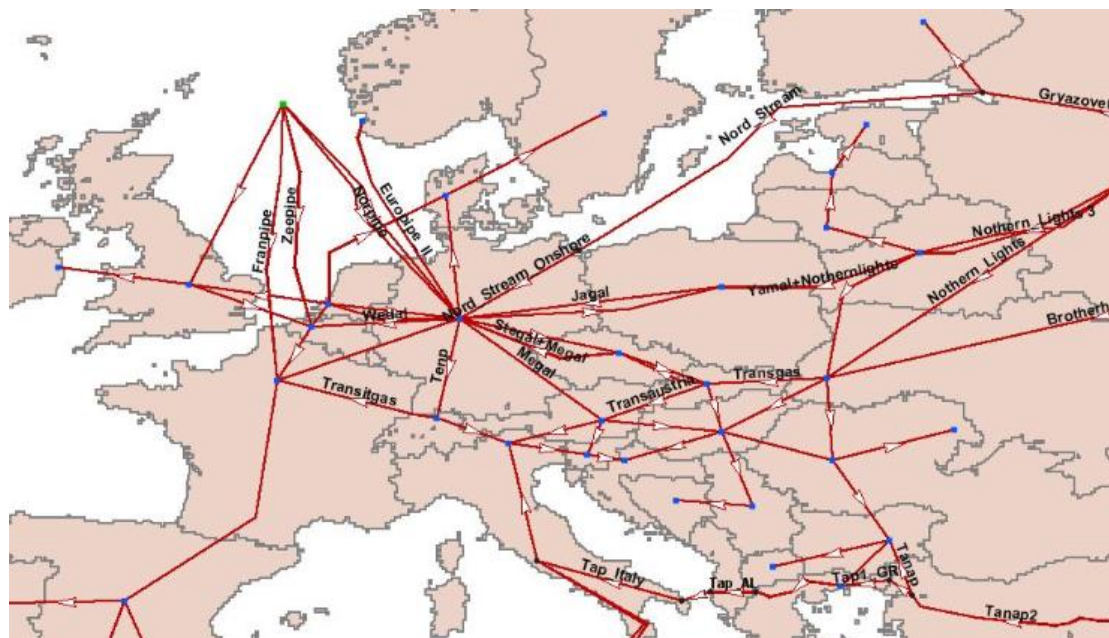
Σχήμα 44 Αγωγοί φυσικού αερίου με προέλευση κοιτάσματα Αφρικής

Οι χώρες υποδοχής της Ευρώπης, είναι η Ισπανία και η Ιταλία, με την πρώτη να δέχεται φυσικό αέριο μέσω των αγωγών **Maghreb** και **Medgaz** ενώ η δεύτερη μέσω των αγωγών **Transmed** και **Green-Stream**. Η συνολική ικανότητα μεταφοράς των αγωγών με κατεύθυνση προς Ισπανία είναι 20 bcm/year, μετά την αναβάθμιση του **Maghreb**, ενώ αυτής με κατεύθυνση προς Ιταλία είναι 44 bcm/year, μετά την αναβάθμιση του **Transmed**.

Εσωτερικό Δίκτυο Ευρώπης

Το εσωτερικό δίκτυο σχεδιάστηκε αρκετά πιο απλοποιημένο από το πραγματικό. Το υφιστάμενο δίκτυο, το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 9, είναι πολύπλοκο και η πιστή αναπαράσταση του εκτός του ότι δεν ήταν εφικτή λόγω έλλειψης στοιχείων πολλών αγωγών, δεν θα ήταν εύχρηστη και για την προσομοίωση του δικτύου στο πρόγραμμα TransCAD. Ο σκοπός ήταν να ενωθούν οι κόμβοι των Ευρωπαϊκών χωρών με τρόπο τέτοιο, ώστε να προσεγγίζει τις πραγματικές ροές φυσικού αερίου μεταξύ τους. Το εσωτερικό δίκτυο που σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα ArcGIS (Σχήμα 45).

Βασική παραδοχή του δικτύου ήταν πως η ετήσια δυναμικότητα όλων των αγωγών θεωρήθηκε πολύ μεγάλη, δηλαδή στη πράξη ίση με 999 bcm. Στους αγωγούς εσωτερικού δικτύου ανήκουν και τμήματα κύριων αγωγών τροφοδοσίας της Ευρώπης όπως του Yamal και Northern lights μετά τη Λευκορωσία που είναι πρώτη χώρα υποδοχής.

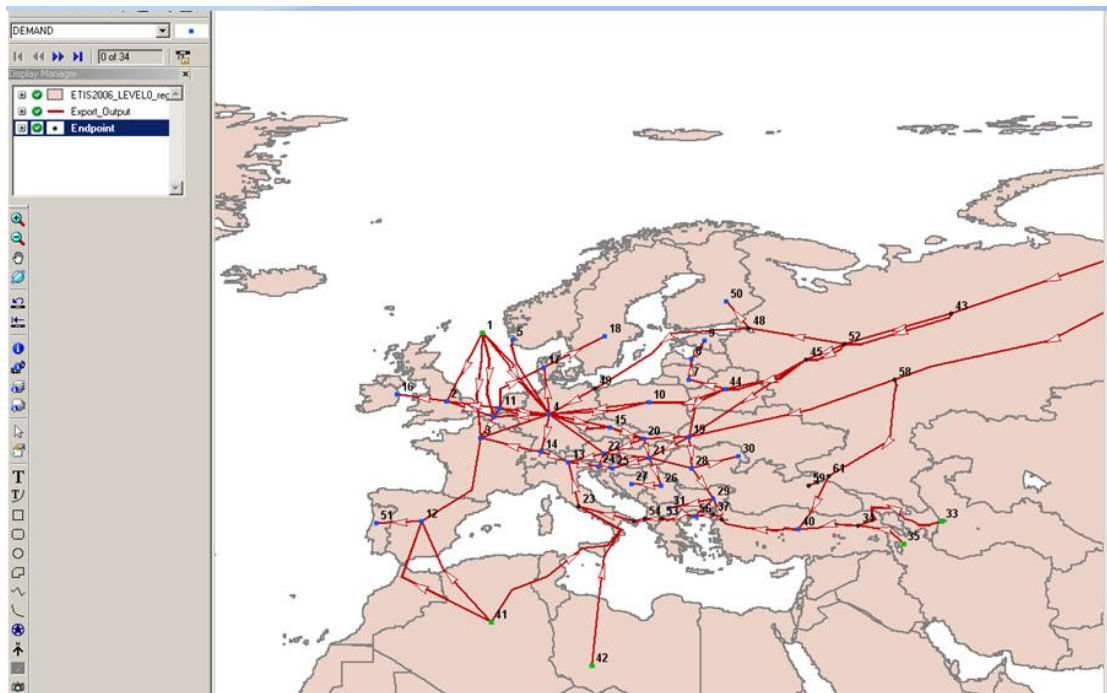


Σχήμα 45 Εσωτερικό Δίκτυο Αγωγών Ευρώπης στο μοντέλο

Αυτό έγινε γιατί για την εφαρμογή δεν υπήρχε λόγος να τεθεί ανώτατο όριο παροχής στο εσωτερικό δίκτυο αλλά και επειδή στη πράξη υπάρχουν πολλοί αγωγοί από χώρα σε χώρα. Ξεχωριστή είναι η περίπτωση του Tap, ο οποίος παρόλο που ανήκει στο εσωτερικό δίκτυο Ευρώπης θεωρήθηκε με ετήσια δυναμικότητα ίση με τη πραγματική αφού μόνο δια μέσω αυτού έρχεται φυσικό αέριο από τη Μέση Ανατολή, άρα πρέπει να τεθεί ανώτατο όριο. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 44 έχουν σχεδιαστεί κάποιοι αγωγοί οι οποίοι θεωρούνται βασικοί για την ροή του φυσικού αερίου μέσα στην Ευρώπη. Αυτοί οι αγωγοί έχουν σχεδιαστεί με τις ονομασίες τους και τα πραγματικά τους μήκη, σε αντίθεση με τους υπόλοιπους που συνδέουν τους κόμβους των χωρών, τα μήκη των οποίων έχουν υπολογιστεί στο Google Earth. Σε περίπτωση που δύο χώρες συνδέονται με ροή κατά τις δύο διευθύνσεις μεταξύ τους τότε συνδέονται είτε με έναν αγωγό διπλής ροής (εφόσον υπάρχει), είτε με δύο αγωγούς αντίθετης κατεύθυνσης και παράλληλης διαδρομής, για να τονιστεί η πορεία των βασικών αγωγών που αναφέρθηκαν.

4.3.2 Εισαγωγή του δικτύου ArcGIS στο λογισμικό TransCAD

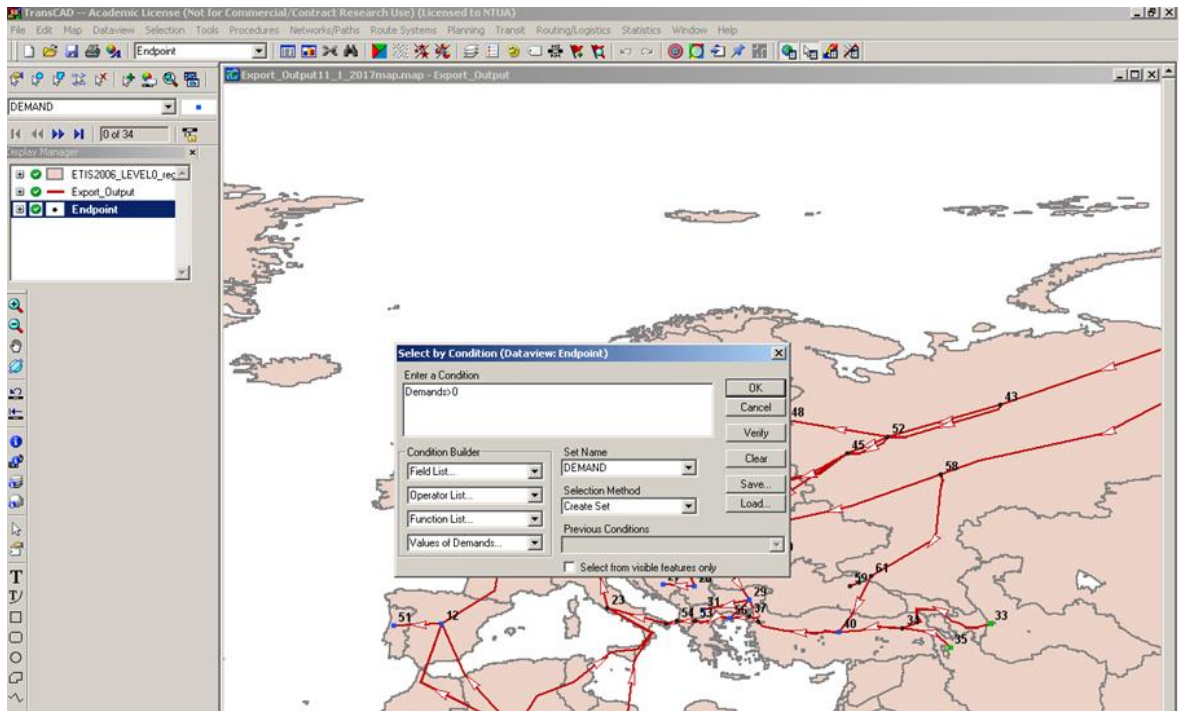
Μετά τον σχεδιασμό του μοντέλου στο περιβάλλον του ArcGIS, ακολούθησε η προσθήκη του στο πρόγραμμα TransCAD, στο οποίο έγινε η προσομοίωση της λειτουργίας του μέσα από τη μέθοδο 'minimum cost flow'. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 46 στο περιβάλλον της εφαρμογής υπάρχουν τρία είδη στοιχείων. Υπάρχουν τα Σχήματα των χωρών που ουσιαστικά αποτελούν το χάρτη, υπάρχουν τα γραμμικά στοιχεία που αποτελούν το δίκτυο και υπάρχει και το σύνολο των σημείων (κόμβων).



Σχήμα 46 Συνολικό δίκτυο φυσικού αερίου σε περιβάλλον του TransCAD

Μέχρι αυτό το σημείο, τα στοιχεία ήταν ο χάρτης και το συνολικό δίκτυο με τα χαρακτηριστικά του, δηλαδή μήκη, κατευθύνσεις και ετήσιες δυναμικότητες των αγωγών του.

Επόμενο βήμα ήταν ο προσδιορισμός των κόμβων που αναφέρθηκαν και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Μέσα από το εργαλείο της επιλογής (selection) δημιουργήθηκαν δύο σύνολα σημείων, ένα των προμηθευτών (suppliers) και ένα των καταναλωτών (demanders). Είχαν δημιουργηθεί προηγουμένως οι πίνακες 6 και 7 με τα στοιχεία των κόμβων (παραγωγής και ζήτησης) ώστε να γίνει η επιλογή των κόμβων για κάθε σύνολο μέσα από δύο συνθήκες, δηλαδή παραγωγής μεγαλύτερης του 0 για τους παραγωγούς και ζήτησης μεγαλύτερης του 0 για τους καταναλωτές. Αυτή η διαδικασία φαίνεται και στα Σχήματα 47 και 48.



Σχήμα 47 Στάδιο δημιουργίας συνόλων στο πρόγραμμα TransCAD

ID	Longitude	Latitude	Supply	Demands	Country Name	Russ_supply_decrease0.6
34	22511626	360	--	--	--	--
36	22511500	366	--	--	--	--
43	22511712	556	--	--	--	--
44	22511503	486	--	19.00	Belarus	--
46	22511942	592	100.00	--	Russia	40
19	22511470	442	--	16.10	Ukraine	--
1	22511279	538	88.00	--	North Sea	88
2	22511246	475	--	16.70	UK	--
3	22511277	441	--	32.60	France	--
4	22511341	463	--	72.70	Germany	--
5	22511307	532	24.60	--	Norway	24
6	22511289	460	--	14.50	Belgium	--
7	22511470	495	--	1.90	Lithuania	--
8	22511472	514	--	1.40	Latvia	--
17	22511336	506	1.40	--	Denmark	1
18	22511392	535	--	0.80	Sweden	--
45	22511578	513	--	--	--	--
48	22511525	542	--	--	--	--
49	22511383	487	--	--	--	--
10	22511433	474	--	12.00	Poland	--
15	22511397	451	--	7.70	Czech Rep.	--
22	22511391	427	--	7.10	Austria	--
13	22511358	419	--	54.80	Italy	--
23	22511368	378	--	--	--	--
24	22511386	415	--	0.80	Slovenia	--
41	22511287	271	43.90	--	Algeria	44
42	22511380	231	7.10	--	Libya	7
12	22511223	364	--	14.20	Spain	--
16	22511200	481	--	4.30	Ireland	--
51	22511181	363	--	3.20	Portugal	--
11	22511295	468	15.50	--	Netherlands	16

Σχήμα 48 Σύνολα κόμβων παραγωγής και ζήτησης στο πρόγραμμα TransCAD

Όπως φαίνεται και από τα Σχήματα 47 και 48 οι κόμβοι παραγωγής συμβολίζονται με πράσινο χρώμα, ενώ οι κόμβοι ζήτησης με μπλε. Τα στοιχεία που μπήκαν στα δύο σύνολα είναι αυτά που αναφέρθηκαν στο υφιστάμενο δίκτυο δηλαδή οι πραγματικές παραγωγές και οι καθαρές απαιτήσεις σε ζήτηση της κάθε χώρας. Η καθαρή ζήτηση θεωρήθηκε το υπόλοιπο της αφαίρεσης της τοπικής παραγωγής και κάλυψης από LNG από την ολική ζήτηση κάθε χώρας καταναλωτή. Τα στοιχεία φαίνονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8 Πραγματικά στοιχεία κατανάλωσης και ζήτησης κόμβων [27]

ID	Supply	Demands	Country Name
34			
36			
43			
44		19	Belarus
46	100		Russia
19		16,1	Ukraine
1	88		North Sea
2		16,7	UK
3		32,6	France
4		72,7	Germany
5	24,6		Norway
6		14,5	Belgium
7		1,9	Lithuania
8		1,4	Latvia
17	1,4		Denmark
18		0,8	Sweden
45			
48			
49			
10		12	Poland
15		7,7	
22		7,1	Austria
13		54,8	Italy
23			
24		0,8	Slovenia
41	43,9		Algeria
42	7,1		Libya
12		14,2	Spain
16		4,3	Ireland
51		3,2	Portugal
11	15,5		Netherlands

14		3,5	
28		0,2	Romania
29		2,7	Bulgaria
30		2,9	Moldova
31		0,1	Fyrom
61			
40		39,6	Turkey
53			
37			
38			
54			
20		4,5	Slovakia
21		7,2	Hungary
25		0,9	Croatia
26		1,4	Serbia
27		0,2	Bosnia
9		0,5	Esthonia
52			
50		2,7	Finland
33	8,2		Azerbaijan
35	8,1		Iran
55	78		Russia
56		2,5	Greece
62			
58			
63			

Όπως φαίνεται και στο Πίνακα 8, υπάρχουν κατασκευαστικοί κόμβοι οι οποίοι δεν αντιπροσωπεύουν σημεία παραγωγής και ζήτησης, απλά υπάρχουν λόγω του σχεδιασμού που έγινε στο ArcGIS και δεν επηρεάζουν την προσομοίωση. Επίσης οι ολικές καθαρές ζητήσεις είναι ίσες με τις ολικές παραγωγές και έτσι υπάρχει ισορροπία στο δίκτυο.

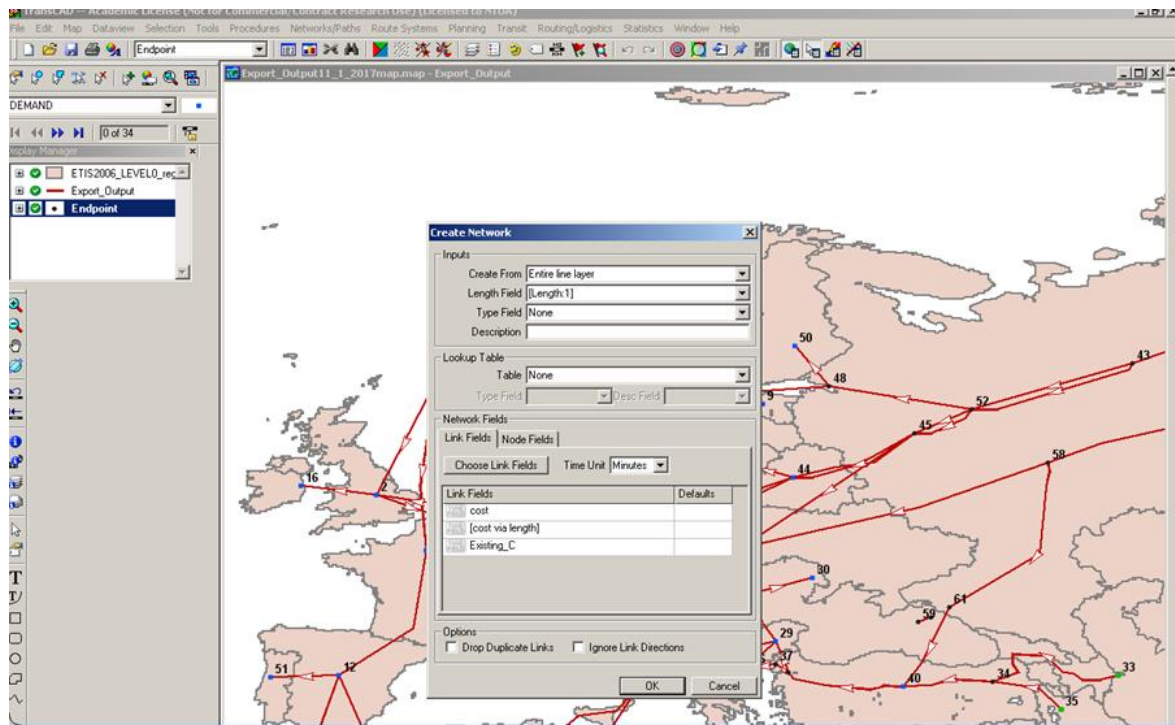
Επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία δικτύου (create network) μέσα από την οποία ουσιαστικά ορίζονται τα βασικά γραμμικά και σημειακά στοιχεία του δικτύου, δηλαδή οι αγωγοί και οι κόμβοι, καθώς και οι πληροφορίες τους που θα χρησιμοποιήσει για την προσομοίωση που θα γινόταν στο επόμενο βήμα με τη μέθοδο 'minimum cost flow'. Στο δίκτυο λήφθηκαν υπόψη τα πραγματικά μήκη των αγωγών. Ως μεταβλητές των αγωγών αρχικά λήφθηκαν υπόψη:

- Η ετήσια δυναμικότητα των αγωγών
- Κόστος μεταφοράς

Για το κόστος μεταφοράς αρχικά έγινε η υπόθεση σταθερού κόστους για όλους τους αγωγούς, κάτι το οποίο δεν ήταν όμως ρεαλιστικό. Στην πραγματικότητα τα τέλη μεταφοράς διαφέρουν από χώρα σε χώρα όπως και το κόστος ροής από αγωγό σε αγωγό. Για αυτό το λόγο ήταν επιτακτική η ανάγκη μιας απλοποίησης για την προσομοίωση του κόστους. Οπότε το κόστος θεωρήθηκε ως συνάρτηση του πραγματικού μήκους κάθε αγωγού. Ως μεταβλητές των σημείων επιλέχθηκαν :

- Σύνολο σημείων παραγωγής φυσικού αερίου
- Σύνολο σημείων ζήτησης φυσικού αερίου

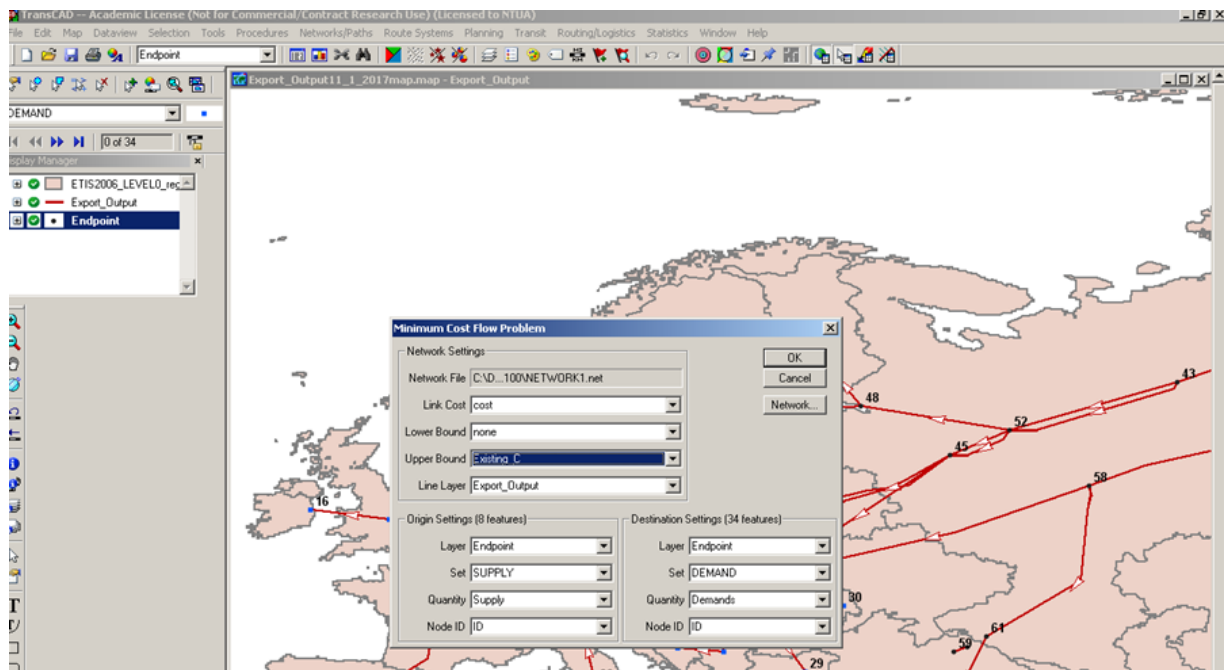
Στο Σχήμα 49 φαίνεται το στάδιο δημιουργίας του δικτύου.



Σχήμα 49 Δημιουργία δικτύου στο πρόγραμμα TransCAD

Μετά την δημιουργία του δικτύου, επόμενο και τελικό στάδιο ήταν αυτό της προσομοίωσης της λειτουργίας του, μέσα από τη μέθοδο του 'minimum cost flow' (Σχήμα 50). Εδώ έπρεπε να προσδιοριστούν:

- Σημεία αρχής δικτύου (προέλευσης)
- Σημεία τέλους δικτύου (προορισμού)
- Κόστος διαδρομής
- Ανώτατο και κατώτατο όριο μεταφοράς



Σχήμα 50 Προσδιορισμός συνθηκών για τη μέθοδο 'minimum cost flow' στο TransCAD

Τα σημεία προέλευσης και προορισμού ήταν τα σύνολα που είχαν δημιουργηθεί προηγουμένως, δηλαδή τα σημεία παραγωγής και ζήτησης αντίστοιχα, ενώ το κόστος μεταφοράς ήταν η συνάρτηση μήκους που είχε προσδιοριστεί. Ως ανώτατο όριο θεωρήθηκε η ετήσια δυναμικότητα των αγωγών αφού δεν μπορεί να ξεπεραστεί στη λειτουργία του υφιστάμενου δικτύου. Όσον αφορά το κατώτατο όριο αρχικά έγινε επίλυση χωρίς τη χρήση του.

Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα οι κεντρικοί αγωγοί Nord-Stream και Soyuz να παρουσιάζονται χωρίς παροχή, δηλαδή να μην τροφοδοτούν την Ευρώπη κάτω βέβαια που δεν είναι σωστό (Σχήμα 51).



Σχήμα 51 Σχεδιασμός μοντέλου στο TransCAD χωρίς τη χρήση lower bound

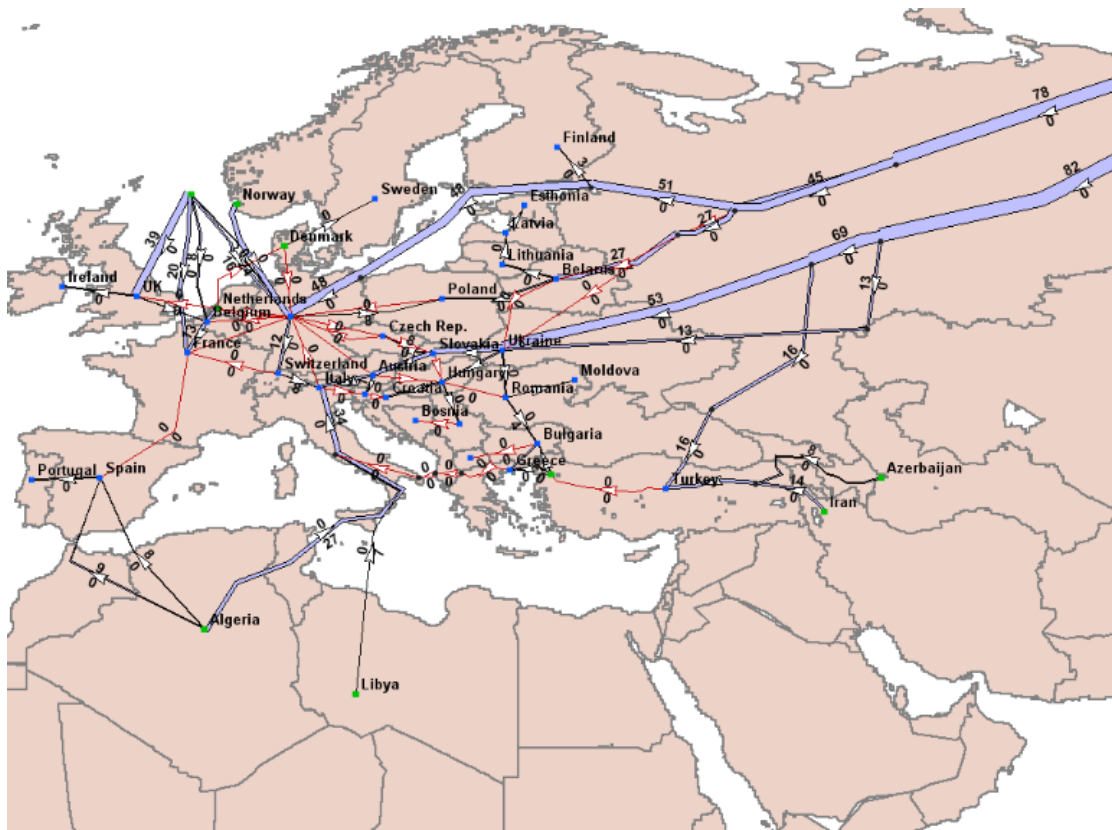
Το αποτέλεσμα αυτό ήταν λογικό να δημιουργηθεί αφού με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε το κόστος μεταφοράς ήταν συνάρτηση του μήκους, οπότε για την κάλυψη των καταναλώσεων των χωρών, το φυσικό αέριο κινούταν από τις οικονομικότερες-μικρότερες διαδρομές. Έτσι ο Nord Stream με προορισμό την Γερμανία δεν συνέφερε σε σχέση με τους αγωγούς από τη Βόρεια Θάλασσα αφού η διαδρομή του ήταν σαφώς μεγαλύτερη. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα, από τη συνέχεια του Northern Lights το φυσικό αέριο παρέκαμπτε μόνο για την κάλυψη των αναγκών της Φινλανδίας. Η παράλληλη διαδρομή του Soyuz με το Brotherhood είναι μεγαλύτερη οπότε το αποτέλεσμα ήταν το ίδιο. Στη περίπτωση του Βελγίου χρειάστηκε και εκεί κατώτατο όριο παροχής αφού η ροή ακολουθούσε τη διαδρομή Βόρεια Θάλασσα – Αγγλίας - Βελγίου που είναι μικρότερη σε μήκος από τον υποθαλάσσιο αγωγό Zeeripe που το συνδέει άμεσα με τη Βόρεια Θάλασσα.

Για να χρησιμοποιηθούν λοιπόν οι τρεις αυτοί βασικοί αγωγοί χρησιμοποιήθηκε κατώτατο όριο (lower bound). Η πραγματική παροχή του Nord Stream είναι 48 bcm ετησίως οπότε για τον συγκεκριμένο αγωγό πλέον υπήρχε κατώτατο όριο 48 bcm και ανώτατο 55 bcm. Για τον αγωγό Soyuz θεωρήθηκε κατώτατο όριο το μισό της ετήσιας δυναμικότητας του, δηλαδή 13 bcm, ενώ για τον αγωγό Zeeripe τέθηκε κατώτατο όριο 8 bcm αντί για 15 bcm που έχει ως μέγιστη ετήσια δυναμικότητα.

Στο Σχήμα 52 φαίνεται η ροή του δικτύου με χρήση lower bound, ενώ παρακάτω διακρίνονται οι βασικές ροές φυσικού αερίου του δικτύου και συγκρίνονται με τις πραγματικές.

- Ο βόρειος άξονας της Ρωσίας αντί για ποσότητα 65,7 bcm τροφοδοτεί την Ευρώπη με ποσότητα 78 bcm. Η δοκιμή της προσομοίωσης με την πρώτη ποσότητα δεν επαρκούσε να καλύψει τις ανάγκες της Λιθουανίας, Λετονίας και Εσθονίας. Αυτό όμως είχε σαν αποτέλεσμα ο νοτιότερος άξονας να τροφοδοτεί με ποσότητα 82 bcm την Ευρώπη, ικανοποιώντας την συνολική ποσότητα τροφοδοσίας από τη Ρωσία και το ενεργειακό ισοζύγιο. Το φυσικό αέριο λοιπόν από το βόρειο άξονα καλύπτει πλήρως τις ευρύτερες περιοχές της Λιθουανίας, Λετονίας, Εσθονίας, Λευκορωσίας και Φινλανδίας όπως στη πραγματικότητα. Παράλληλα τροφοδοτεί σε μεγάλο ποσοστό την Πολωνία με 4 bcm (11 bcm στη πραγματικότητα) και τη Γερμανία με 48 bcm (49,83 στη πραγματικότητα) μέσω του υποθαλάσσιου αγωγού που καταλήγει στη Γερμανία και μετά συνεχίζει κεντρικότερα μέσα από το εσωτερικό δίκτυο [81].
- Ο νοτιότερος άξονας του μοντέλου φαίνεται να τροφοδοτεί με σημαντικές ποσότητες την Ευρώπη, καθώς επίσης και την Τουρκία. Πιο συγκεκριμένα, Όσον αφορά την Ευρώπη τροφοδοτεί την Ουκρανία, όντας η πρώτη χώρα υποδοχής, ενώ στη συνέχεια τροφοδοτεί τις Ουγγαρία, Ρουμανία, Μολδαβία, Κροατία, Σερβία καθώς και τις χώρες των Βαλκανίων με ποσότητες που προσεγγίζουν την πραγματικότητα. Μεγάλες ποσότητες όμως δίνει μέσω των συνδέσεων με το εσωτερικό δίκτυο στην Τσεχία και Σλοβακία μέσω του Transgas, και στην Αυστρία και Ιταλία μέσω του Trans-Austria (Σχήμα 45). Όπως και στην πραγματικότητα η Αυστρία καλύπτεται πλήρως από τη Ρωσία ενώ η Ιταλία δέχεται ποσότητες ίσες με 21 bcm (24,69 bcm στη πραγματικότητα). Η Ελλάδα και η Βουλγαρία τροφοδοτούνται με 0,6 bcm και 1 bcm ετησίως από την Τουρκία ενώ την υπόλοιπη ποσότητα που χρειάζονται την παίρνουν από τη Ρωσία όπως και στο υφιστάμενο δίκτυο [81].
- Από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας και της Νορβηγίας τροφοδοτούνται οι βορειότερες χώρες της Ευρώπης [82]. Πιο συγκεκριμένα η Αγγλία τροφοδοτείται με ποσότητες 39 bcm (ενώ στη πραγματικότητα με 25,7), το Βέλγιο με 12 bcm (αντί για 9,4 bcm), η Γερμανία με 40 bcm (αντί για 35). Η Γαλλία τροφοδοτείται από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας και της Ολλανδίας μέσω των συνδέσεων της από το εσωτερικό δίκτυο, με ποσότητες 32,6 bcm (αντί για 26,4 bcm). Η Γαλλία στην πραγματικότητα, δέχεται τις υπόλοιπες ποσότητες από τη Ρωσία, κάτι που δεν ισχύει στο μοντέλο αφού εξετάζει το κόστος καθαρά σαν συνάρτηση του μήκους. Έτσι ευνοείται η τροφοδοσία από τη Βόρεια Θάλασσα και την Ολλανδία.

- Από τα κοιτάσματα της Αφρικής η Ισπανία τροφοδοτείται με 14,2 bcm (αντί για 12 bcm) [82]. Η Ισπανία δεν ανταλλάσει φυσικό αέριο μέσω του αγωγού διπλής διεύθυνσης με τη Γαλλία, που τις ενώνει, αφού όπως αναφέρθηκε καλύπτει τις ανάγκες της από τα κοιτάσματα της Αλγερίας, ενώ η δεύτερη από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας και της Ολλανδίας. Η Ιταλία στο μοντέλο φαίνεται να δέχεται αρκετά μεγάλες ποσότητες σε σχέση με τη πραγματικότητα, ίσες με 34 bcm αφού το μοντέλο εξετάζει το κόστος καθαρά σαν συνάρτηση του μήκους, κάτι που ευνοεί την τροφοδοσία από την Αφρική.



Σχήμα 52 Σχεδιασμός μοντέλου στο TransCAD με τη χρήση lower bound

Από την προσομοίωση του δικτύου στο TransCAD πλέον ήταν γνωστές οι ροές των αγωγών, όμως έπρεπε να γίνει έλεγχος αν καλύπτονταν οι παροχές όλων των κόμβων κατανάλωσης. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκε σε πρόγραμμα excel για κάθε κόμβο κατανάλωσης το άθροισμα των εισροών και εκροών των αντίστοιχων αγωγών που κατέληγαν ή ξεκινούσαν από εκεί. Το άθροισμα αυτό αφαιρείτο από την καθαρή ζήτηση της κάθε χώρας-κόμβου και έτσι έβγαιναν τα εξής αποτελέσματα:

Quantity= Demand- SUM (inflow-outflow)

- Αν η ποσότητα (Quantity) είναι θετική τότε ο κόμβος της χώρας έχει υπόλοιπο ζήτησης οπότε η χώρα δεν καλύπτεται από την τροφοδοσία του δικτύου.
- Αν η ποσότητα (Quantity) είναι αρνητική τότε ο κόμβος της χώρας έχει υπερκάλυψη ζήτησης οπότε η χώρα δεν υπερκαλύπτεται από την τροφοδοσία του δικτύου, άρα στο κόμβο της μένει ποσότητα παραπάνω από όσο καταναλώνει.
- Αν η ποσότητα (Quantity) είναι μηδενική τότε υπάρχει ισοζύγιο ενέργειας στο κόμβο της χώρας, οπότε η κατανάλωση της χώρας είναι ίση με την τροφοδοσία της.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι οι παραγωγές και καταναλώσεις των κόμβων μπήκαν ως δεκαδικοί αριθμοί, όντας οι ακριβείς ποσότητες, ενώ το λογισμικό TransCAD λαμβάνει τις ποσότητες ζήτησης των κόμβων ως ακέραιους αριθμούς, κάνοντας στρογγυλοποιήσεις. Για αυτό το λόγο οι παραπάνω ποσότητες θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες του [(+/-) 1] για να υπάρχει έλλειμμα ή υπερκάλυψη στη τροφοδοσία των κόμβων. Στον Πίνακα 9 φαίνονται τα αποτελέσματα μετά από τις ρυθμίσεις που έγιναν στο μοντέλο. Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 9, οι ποσότητες φυσικού αερίου βρίσκονται μέσα στα επιθυμητά όρια εκτός από τον κόμβο της Τουρκίας στον οποίο υπολείπεται 1,6 bcm ετησίως. Η εξήγηση είναι ότι η Ρωσία δέχεται ποσότητες φυσικού αερίου και από άλλες χώρες της Μέσης Ανατολής οι οποίες δεν έχουν εξεταστεί στο συγκεκριμένο μοντέλο αφού επικεντρώνεται στο συνολικό δίκτυο τροφοδοσίας της Ευρώπης. Το μοντέλο που κατασκευάστηκε παρουσιάζει λοιπόν μία ρεαλιστική προσέγγιση του υφιστάμενου - πραγματικού δικτύου αφού:

- εξασφαλίζει τη λειτουργία των βασικών αγωγών με παροχές κοντά στις πραγματικές παροχές λειτουργικότητας.
- οι κόμβοι των χωρών κατανάλωσης καλύπτουν τις ενεργειακές τους ανάγκες από τους κόμβους παραγωγής μέσω του δικτύου αγωγών του μοντέλου.
- Οι ροές του δικτύου αγωγών φυσικού αερίου από τους κόμβους παραγωγής στους κόμβους κατανάλωσης του μοντέλου προσεγγίζουν τις ροές του πραγματικού δικτύου τροφοδοσίας της Ευρώπης.

Αφού λοιπόν το μοντέλο παρουσιάζει μία ρεαλιστική προσέγγιση του υφιστάμενου δικτύου, μπορούν να εξασφαλιστούν κάποια σενάρια ενεργειακής ασφαλείας.

Πίνακας 9 Ενεργειακό ισοζύγιο παραγωγής και κατανάλωσης κόμβων μοντέλου

ID	Country Name	Demand	Result
2	UK	30,5	-0,5
3	France	32,6	-0,4
4	Germany	72,7	-0,3
6	Belgium	14,5	-0,5
7	Lithuania	1,9	-0,1
8	Latvia	1,4	0,4
9	Esthonia	0,5	-0,5
10	Poland	12	0
12	Spain	14,2	0,2
13	Italy	54,8	-0,2
14	Switzerland	3,5	-0,5
15	Czech Rep.	7,7	-0,3
16	Ireland	4,3	0,3
18	Sweden	0,8	-0,2
19	Ukraine	16,1	0,1
20	Slovakia	4,5	-0,5
21	Hungary	7,2	0,2
22	Austria	7,1	0,1
24	Slovenia	0,8	-0,2
25	Croatia	0,9	-0,1
26	Serbia	1,4	0,4
27	Bosnia	0,2	0,2
28	Romania	0,2	0,2
29	Bulgaria	2,7	-0,3
30	Moldova	2,9	-0,1
31	Fyrom	0,1	0,1
40	Turkey	39,6	1,6
44	Belarus	19	0
50	Finland	2,7	-0,3
51	Portugal	3,2	0,2
56	Greece	2,5	-0,1

4.4 Ανάπτυξη και επίλυση σεναρίων ενεργειακής ασφάλειας

Η Ευρώπη, όπως φαίνεται και από τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στη περιγραφή του υφιστάμενου και μοντελοποιημένου δικτύου, τροφοδοτείται κατά κύριο λόγο από τα κοιτάσματα της Ρωσίας, για την ακρίβεια σε ποσοστό λίγο μεγαλύτερο από 40% [83]. Το ποσοστό αυτό δείχνει την εξάρτηση της Ευρώπης σε φυσικό αέριο από την τροφοδοσία της Ρωσίας, γεγονός που προκαλεί ερωτήματα για την μελλοντική ενεργειακή ασφάλεια της, αν λάβει κανείς υπόψη του το ρευστό πολιτικό τοπίο.

Οι ανάγκες της Ευρώπης σε φυσικό αέριο αυξάνονται κάθε χρόνο, γεγονός που κάνει επιτακτική την ανάγκη εύρεσης νέων πηγών τροφοδοσίας ή καλύτερης αξιοποίησης των ήδη υπαρχόντων. Η καλύτερη αξιοποίηση των υπαρχόντων κοιτασμάτων θα γίνει με την κατασκευή νέων υποδομών, δηλαδή με την κατασκευή νέων αγωγών ή με την αύξηση της δυναμικότητας των αγωγών που χρησιμοποιούνται τώρα. Τα κοιτάσματα των χωρών της Μέσης Ανατολής δίνουν στην Ευρώπη μία εναλλακτική πηγή τροφοδοσίας με φυσικό αέριο. Η κατασκευή του έργου του Νότιου Διαδρόμου φυσικού αερίου (Southern Gas Corridor) είναι το πρώτο έργο που θα δώσει αυτή τη δυνατότητα στην Ευρώπη και είναι ήδη υπό κατασκευή. Εκτός όμως του έργου αυτού, η κατασκευή δύο ακόμα αγωγών του Turkstream και του Galsi θα επηρεάσουν και αυτοί με τη σειρά τους τον ενεργειακό χάρτη τροφοδοσίας της Ευρώπης.

Για το λόγο αυτό, τα σενάρια που θα εξεταστούν σε αυτό το κεφάλαιο απαντούν σε δύο βασικά ερωτήματα:

- **Κατά πόσο η Ευρώπη μπορεί να μειώσει τις ποσότητες τροφοδοσίας της από τα κοιτάσματα της Ρωσίας, αντλώντας φυσικό αέριο από τις υπόλοιπες πηγές παραγωγής φυσικού αερίου και**
- **Κατά πόσο η κατασκευή νέων αγωγών φυσικού αερίου θα μπορέσει να καλύψει αυξήσεις στις καταναλώσεις των ευρωπαϊκών χωρών σε φυσικό αέριο.**

4.4.1 Σενάριο μείωσης τροφοδοσίας της Ευρώπης από τη Ρωσία

Εξετάζοντας τη σχέση ενεργειακής εξάρτησης της Ευρώπης από τη Ρωσία σε φυσικό αέριο, θα πρέπει αρχικά να βρεθεί ποιές καταναλώτριες χώρες της Ευρώπης θα επηρεαστούν πιο πολύ από μία ενδεχόμενη μείωση της τροφοδοσίας της Ρωσίας. Για να γίνει αυτό, εξετάστηκαν δύο ποσοστά μείωσης της τροφοδοσίας, ένα με μείωση 50% και ένα με 30%, κρατώντας σταθερές όμως τις παραγωγές των άλλων πηγών.

Τα σενάρια αυτά εισήχθησαν στο λογισμικό TransCAD ως αντίστοιχα ποσοστά μείωσης των δύο κόμβων παραγωγής της αναλογικά. Πιο συγκεκριμένα για μείωση

50% η συνολική παραγωγή των δύο κόμβων ήταν 89 bcm από 178 bcm, εκ των οποίων 39 bcm προέρχονταν από το βορειότερο κόμβο και 50 bcm από το νοτιότερο. Αντίστοιχα για μείωση 30% η συνολική παραγωγή της ήταν 125 bcm, εκ των οποίων 55 bcm από το βορειότερο κόμβο και 70 bcm από το νοτιότερο. Για τα σενάρια μείωσης της παραγωγής της Ρωσίας δημιουργήθηκαν δύο αντίστοιχα σύνολα παραγωγών αντίστοιχα με τον τρόπο που εξηγήθηκε και πιο πριν κρατώντας σταθερές τις παραγωγές των άλλων πηγών.

ID	Longitude	Latitude	Supply	Demands	[Country Name]	[Russ_supply_decrease50%]	[russ_supply_decrease30%]
34	22511626	360	--	--	--	--	--
36	22511500	366	--	--	--	--	--
43	22511712	556	--	--	--	--	--
44	22511503	486	--	19.00	Belarus	--	--
46	22511942	592	100.00	--	Russia	50.00	70.00
19	22511470	442	--	16.10	Ukraine	--	--
1	22511279	538	88.00	--	North Sea	88.00	88.00
2	22511246	475	--	30.50	UK	--	--
3	22511277	441	--	32.60	France	--	--
4	22511340	463	--	72.70	Germany	--	--
5	22511307	532	24.60	--	Norway	24.60	24.60
6	22511289	460	--	14.50	Belgium	--	--
7	22511470	495	--	1.90	Lithuania	--	--
8	22511472	514	--	1.40	Latvia	--	--
17	22511336	506	1.40	--	Denmark	1.40	1.40
18	22511392	535	--	0.80	Sweden	--	--
45	22511578	513	--	--	--	--	--
48	22511525	542	--	--	--	--	--
49	22511383	487	--	--	--	--	--
10	22511433	474	--	12.00	Poland	--	--
15	22511397	451	--	7.70	Czech Rep.	--	--
22	22511391	427	--	7.10	Austria	--	--
13	22511358	419	--	54.80	Italy	--	--
23	22511368	378	--	--	--	--	--
24	22511386	415	--	0.80	Slovenia	--	--
41	22511287	271	43.90	--	Algeria	43.90	43.90
42	22511380	231	7.10	--	Libya	7.10	7.10
12	22511223	364	--	14.20	Spain	--	--
16	22511200	481	--	4.30	Ireland	--	--
51	22511181	363	--	3.20	Portugal	--	--
11	22511295	468	15.50	--	Netherlands	15.50	15.50

Σχήμα 53 Νέα σύνολα κόμβων παραγωγής και ζήτησης στο πρόγραμμα TransCAD

Με την ίδια διαδικασία που εξηγήθηκε και πριν, δημιουργώντας τα αντίστοιχα δίκτυα έγιναν οι προσομιώσεις λειτουργίας τους και για τα δύο σενάρια και στη συνέχεια εισήχθησαν τα στοιχεία ροών στο λογισμικό Excel. Όπως ήταν αναμενόμενο και για τα δύο σενάρια δεν ίσχυσε το ισοζύγιο ενέργειας των κόμβων παραγωγής και κατανάλωσης. Με σύγκριση όμως των ποσοτήτων στους κόμβους για τα δύο σενάρια ήταν εύκολο να παρατηρηθεί ποιές χώρες επηρεάζονταν πιο πολύ από τη μείωση τροφοδοσίας της Ρωσίας.

Από τον Πίνακα 10 βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η Γερμανία, όπως φάνηκε από το μοντέλο, στη προσομοίωση του υφιστάμενου δικτύου, εξαρτάται πολύ από την τροφοδοσία της Ρωσίας σε φυσικό αέριο. Από την επίλυση του σεναρίου, μια μείωση της τροφοδοσίας από τη Ρωσία σε τέτοια ποσοστά φαίνεται να την οδηγεί να καλύψει τις ανάγκες της από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας. Αυτό γίνεται κυρίως με αύξηση των ποσοτήτων που δέχεται από τον Europipe II, ο οποίος ξεκινά από την Νορβηγία. Οι σταθερές παραγωγές των κοιτασμάτων της Βόρειας Θάλασσας σε συνδυασμό με την αυξημένη εκμετάλλευση τους από την Γερμανία, έχει ως αποτέλεσμα να δέχονται λιγότερες ποσότητες από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας το Βέλγιο και η Γαλλία, με την δεύτερη να έχει ιδιαίτερα μεγάλες ελλείψεις σε ποσότητες φυσικού αερίου. Με μία αναδιαμόρφωση όμως, των ροών, οι ελλείψεις αυτές θα μπορούσαν να διαμοιραστούν στις 3 αυτές χώρες. Το αποτέλεσμα θα ήταν το ίδιο, δηλαδή θα υπήρχε πρόβλημα τροφοδοσίας των χωρών αυτών. Άμεσο πρόβλημα εξαιτίας των παραπάνω δημιουργείται και στην Ελβετία η οποία πλέον δεν δέχεται φυσικό αέριο από τη Γερμανία.
- Η Αυστρία και η Ιταλία φαίνεται να αντιμετωπίζουν μεγάλα προβλήματα στην κάλυψη των καταναλώσεων τους και αυτό είναι αποτέλεσμα των μειώσεων τροφοδοσίας κυρίως από το νοτιότερο άξονα του Ρωσικού δικτύου. Σημαντική διαφορά όμως φαίνεται μεταξύ μειώσεων Ρωσικής τροφοδοσίας στα ποσοστά 50% και 30%, αφού στη δεύτερη περίπτωση φαίνεται να καλύπτουν τις ανάγκες τους κατά το μεγαλύτερο μέρος τους.
- Η Ελλάδα και η Βουλγαρία στη περίπτωση της μείωσης 50% καλύπτουν μόνο ένα μέρος των αναγκών τους από την Τουρκία, ενώ στη μείωση των ποσοτήτων σε 30% δεν αντιμετωπίζουν κάποιο πρόβλημα. Αντίστοιχα αποτελέσματα φαίνονται και για την Σερβία, Μολδαβία και Φινλανδία.

Πίνακας 10 Αποτελέσματα λόγω μείωσης τροφοδοσίας από τη Ρωσία σε ποσοστά 50% και 30%

ID	Country Name	Demand	Results50%	Results30%
2	UK	30,5	-0,5	-0,5
3	France	32,6	23,6	23,6
4	Germany	72,7	-0,3	-0,3
6	Belgium	14,5	3,5	3,5
7	Lithuania	1,9	-0,1	-0,1
8	Latvia	1,4	0,4	0,4
9	Esthonia	0,5	-0,5	-0,5
10	Poland	12	0	0
12	Spain	14,2	0,2	0,2
13	Italy	54,8	17,8	1,8
14	Switzerland	3,5	3,5	3,5
15	Czech Rep.	7,7	-0,3	-0,3
16	Ireland	4,3	0,3	0,3
18	Sweden	0,8	-0,2	-0,2
19	Ukraine	16,1	0,1	0,1
20	Slovakia	4,5	-0,5	-0,5
21	Hungary	7,2	0,2	0,2
22	Austria	7,1	5,1	0,1
24	Slovenia	0,8	0,8	-0,2
25	Croatia	0,9	0,9	-0,1
26	Serbia	1,4	1,4	0,4
27	Bosnia	0,2	0,2	0,2
28	Romania	0,2	0,2	0,2
29	Bulgaria	2,7	1,7	-0,3
30	Moldova	2,9	2,9	-0,1
31	Fyrom	0,1	0,1	0,1
40	Turkey	39,6	1,6	1,6
44	Belarus	19	0	0
50	Finland	2,7	2,7	-0,3
51	Portugal	3,2	0,2	0,2
56	Greece	2,5	2,1	-0,5

Το επόμενο ερώτημα που εξετάστηκε ήταν μέχρι ποιο ποσοστό θα μπορούσαν να καλυφθούν οι μειώσεις ποσοτήτων τροφοδοσίας της Ρωσίας από τις υπόλοιπες υφιστάμενες πηγές φυσικού αερίου.

Σε αυτό το πρόβλημα οι εναλλακτικές πηγές τροφοδοσίας ήταν τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας και της Αφρικής, αφού τα κοιτάσματα των χωρών της Μέσης Ανατολής λόγω μη υφιστάμενων υποδομών δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν την

Ευρώπη. Αρχικά υπολογίστηκαν τα αθροίσματα μέγιστων ετήσιων δυναμιכוτήτων των επιμέρους δικτύων της Βόρειας Θάλασσας και Αφρικής.

Πιο συγκεκριμένα οι δυναμικότητα του δικτύου της Βόρειας Θάλασσας είναι 137,6 bcm και αν συγκριθεί με τις υφιστάμενες ετήσιες ποσότητες παραγωγής της, οι οποίες είναι 112,6 bcm, το συμπέρασμα είναι ότι μπορεί να αυξήσει την τροφοδοσία της προς την Ευρώπη με ετήσιες ποσότητες ίσες με 25 bcm. Όμοια το δίκτυο της Αφρικής έχει δυναμικότητα 64 bcm και αν συγκριθεί με τις υφιστάμενες ετήσιες ποσότητες παραγωγής της, οι οποίες είναι 51 bcm, το συμπέρασμα είναι ότι μπορεί να αυξήσει την τροφοδοσία της προς την Ευρώπη με ετήσιες ποσότητες ίσες με 13 bcm. Αν αθροιστούν οι παραπάνω ποσότητες, είναι κατανοητό ότι οι ποσότητες που μπορούν να καλύψουν στην τροφοδοσία της Ευρώπης τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας και Αφρικής με τη πλήρη λειτουργία των υφιστάμενων δικτύων τους είναι η ετήσια ποσότητα των 38 bcm φυσικού αερίου. Αυτή η ποσότητα αντιστοιχεί σε ποσοστό μείωσης της τροφοδοσίας των κοιτασμάτων της Ρωσίας κατά 21%.

Για την εισαγωγή των δεδομένων αυτών στο λογισμικό TransCAD δημιουργήθηκε όπως προηγουμένως σύνολο παραγωγών με τα νέα δεδομένα μείωσης τροφοδοσίας από τα κοιτάσματα της Ρωσίας και αύξησης από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας και της Αφρικής ώστε να υπάρχει ισοζύγιο παραγωγής και κατανάλωσης και στη συνέχεια εισήχθησαν τα στοιχεία ροών για έλεγχο στο λογισμικό Excel.

Οι καταναλώσεις των Ευρωπαϊκών χωρών καλύπτονται πλήρως.

Πιο συγκεκριμένα :

- Η Γερμανία πλέον καλύπτεται από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας μέσω των υποθαλάσσιων αγωγών της καθώς και από τον αγωγό Tenp (Σχήμα 44) που ξεκινάει από την Ολλανδία ο οποίος καλύπτει και μέρος της τροφοδοσίας της Ελβετίας και της Ιταλίας. Για την ακρίβεια η Γερμανία πλέον μπορεί να καλύψει τις ανάγκες τις χωρίς τροφοδοσία από τον αγωγό Nord Stream.
- Η Γαλλία καλύπτει τις ενεργειακές της ανάγκες από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας αλλά και της Αφρικής μέσω του αγωγού που τη συνδέει με την Ισπανία.
- Η Ιταλία πλέον καλύπτεται σε ποσοστό 77% από τα κοιτάσματα της Αφρικής.
- Ο νοτιότερος άξονας φαίνεται να συνεχίζει να τροφοδοτεί με σημαντικές ποσότητες την Ευρώπη. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την Ευρώπη τροφοδοτεί την Ουκρανία, όντας η πρώτη χώρα υποδοχής, ενώ στη συνέχεια τροφοδοτεί τις Ουγγαρία, Ρουμανία, Μολδαβία, Κροατία, Σερβία καθώς και τις χώρες των Βαλκανίων. Μεγάλες ποσότητες όμως δίνει μέσω των

συνδέσεων με το εσωτερικό δίκτυο στην Τσεχία και Σλοβακία μέσω του Transgas και στην Αυστρία και Ιταλία μέσω του Trans-Austria (Σχήμα 44).

Πίνακας 11 Αποτελέσματα μείωσης τροφοδοσίας από Ρωσία και αντίστοιχης αύξησης τροφοδοσίας από τη Βόρεια Θάλασσα και την Αφρική

ID	Country Name	Demand	Results20%
2	UK	30,5	-0,5
3	France	32,6	-0,4
4	Germany	72,7	-0,3
6	Belgium	14,5	-0,5
7	Lithuania	1,9	-0,1
8	Latvia	1,4	0,4
9	Esthonia	0,5	-0,5
10	Poland	12	0
12	Spain	14,2	0,2
13	Italy	54,8	-0,2
14	Switzerland	3,5	-0,5
15	Czech Rep.	7,7	-0,3
16	Ireland	4,3	0,3
18	Sweden	0,8	-0,2
19	Ukraine	16,1	0,1
20	Slovakia	4,5	-0,5
21	Hungary	7,2	0,2
22	Austria	7,1	0,1
24	Slovenia	0,8	-0,2
25	Croatia	0,9	-0,1
26	Serbia	1,4	0,4
27	Bosnia	0,2	0,2
28	Romania	0,2	0,2
29	Bulgaria	2,7	-0,3
30	Moldova	2,9	-0,1
31	Fyrom	0,1	0,1
40	Turkey	39,6	1,6
44	Belarus	19	0
50	Finland	2,7	-0,3
51	Portugal	3,2	0,2
56	Greece	2,5	-0,5

4.4.2 Σενάριο αναβάθμισης υφιστάμενου δικτύου με υπό κατασκευή αγωγούς

Όπως αναφέρθηκε και στο υφιστάμενο-πραγματικό δίκτυο η Τουρκία και η Ελλάδα διαδραματίζουν μείζονα ρόλο, εξαιτίας της στρατηγικής θέσης τους, στη διαμόρφωση του μελλοντικού τοπίου τροφοδοσίας της Ευρώπης με φυσικό αέριο. Μετά την ολοκλήρωση του Νότιου Διαδρόμου φυσικού αερίου η Ευρώπη για πρώτη φορά θα καταφέρει να τροφοδοτηθεί με ποσότητες φυσικού αερίου από τα κοιτάσματα της Μέσης Ανατολής, κάτι που θα οδηγήσει σε πολλές αλλαγές βραχυπρόθεσμα αλλά και μακροπρόθεσμα στον ενεργειακό χάρτη φυσικού αερίου. Εκτός όμως από αυτό το έργο, τα επόμενα χρόνια θα έχουν ολοκληρωθεί και άλλα παρόμοια έργα τα οποία θα συνεισφέρουν και αυτά στην αύξηση τροφοδοσίας της με φυσικό αέριο. Σε αυτό το σενάριο λοιπόν θα προσομοιαστεί η λειτουργία του συνολικού δικτύου τροφοδοσίας της Ευρώπης μετά την κατασκευή των πιο βασικών αγωγών.

Οι αγωγοί με τους οποίους θα αναβαθμιστεί το μοντέλο ώστε να προσεγγίζει το μελλοντικό δίκτυο είναι:

- Tanaρ (Τουρκία- Ελλάδα)
- Tap (Ελλάδα- Ιταλία)
- ITGI (Ελλάδα- Ιταλία)
- Turkish Stream (Ρωσία- Τουρκία)
- Galsi (Αλγερία- Ιταλία)

Για να κατανοηθεί καλύτερα η προσομοίωση αυτή, είναι απαραίτητη μια συνοπτική παρουσίαση των σημερινών δεδομένων που αφορούν την ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης.

Όπως εξηγήθηκε και στη μελέτη του υφιστάμενου δικτύου, η κατασκευή του αγωγού Tap, ως το τελευταίο τμήμα του Νότιου Διαδρόμου, αποσκοπεί στην μεταφορά φυσικού αερίου, μέσω του τουρκικού τμήματος (Tanaρ), από τα κοιτάσματα του Αζερμπαϊτζάν μέσω του υφιστάμενου αγωγού South- Stream. Εκτός του αγωγού Tap, μέσα στο ευρύτερο σχέδιο του Νότιου Διαδρόμου είναι και η κατασκευή του αγωγού ITGI ο οποίος θα ξεκινάει από τα σύνορα Ελλάδας- Τουρκίας και θα καταλήγει και αυτός στην Ιταλία. Αν λάβει κανείς υπόψη του και την κατασκευή του ρωσικού αγωγού Turkish-Stream, που στόχο έχει την μεταφορά αερίου στην Τουρκία και την Ευρώπη, τα ελληνικά τμήματα του Νότιου Διαδρόμου φαίνεται να αποτελούν μία πολύ σημαντική διαδρομή φυσικού αερίου, όχι μόνο για το Αζερμπαϊτζάν αλλά και για την Ρωσία, κάτι που δημιουργεί εντάσεις μεταξύ των δύο χωρών. Ο Tanaρ και ο

Ταρ μετά την κατασκευή τους θα έχουν δυνατότητα τροφοδοσίας της Ευρώπης με 16 bcm και 10 bcm (πρώτο στάδιο), ποσότητες που μπορούν και θα πάρουν από το Αζερμπαϊτζάν, δημιουργώντας ανταγωνισμό στον αγωγό Turkish-Stream, αν λάβει κανείς υπόψη του ότι στο δεύτερο στάδιο οι ετήσιες δυναμικότητες τους θα φτάσουν τα 20 bcm και 33 bcm αντίστοιχα. Για την ακρίβεια η Ιταλία θα δέχεται μέσω του Ταρ στο πρώτο στάδιο ποσότητες ίσες με το 50% που δέχεται στο υφιστάμενο δίκτυο από τη Ρωσία. Παρολαυτά, η Ρωσία μπορεί να αξιοποιήσει στο δεύτερο στάδιο τον αγωγό Ταρ, δίνοντας της μερίδιο στη λειτουργία του και σε συνδυασμό με την αξιοποίηση του ITGI, κάτι το οποίο συζητείται μεταξύ Ελλάδας-Ρωσίας, θα μπορεί να τροφοδοτήσει την Ευρώπη μέσω Ελλάδας [84].

Η κατασκευή του αγωγού Turkish-Stream, όπως αναφέρθηκε και στη μελέτη του υφιστάμενου δικτύου, έχει ως στόχο την παράκαμψη της Ουκρανίας τόσο για την τροφοδοσία της Τουρκίας όσο και των Ευρωπαϊκών χωρών. Όσον αφορά την Τουρκία, θα χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσει τον αγωγό Trans - Balkan ο οποίος έχει ετήσια δυναμικότητα 14 bcm με ένα τμήμα με ετήσια δυναμικότητα 15,75 bcm. Όσον αφορά την Ευρώπη, στόχο είχε να την τροφοδοτήσει με τρία παρακλάδια ίσης ετήσιας δυναμικότητας, δηλαδή συνολικά άλλα 47,25 bcm. Εξαιτίας όμως του προβλήματος παροχέτευσης τους μέσω του Νότιου Διαδρόμου που αναφέρθηκε πιο πάνω, τον Ιούλιο του 2015, αποφασίστηκε να κατασκευαστεί τελικά ένα τμήμα ακόμα για την τροφοδοσία της Ευρώπης, κάτι που θα δίνει στον Turkish- Stream συνολική ετήσια δυναμικότητα 32 bcm αντί για 63 bcm, ενώ τα υπόλοιπα θα δοθούν μελλοντικά με τη κατασκευή του Nord Stream 2 μέσω της Γερμανίας. Πέραν όμως των αγωγών που αναφέρθηκαν και παραπάνω, μέσα στα επόμενα χρόνια θα κατασκευαστεί και ο αγωγός Galsi ο οποίος θα τροφοδοτεί την Ιταλία από την Αλγερία. Ο συγκεκριμένος αγωγός θα μπορεί να τροφοδοτήσει βασικά την Ιταλία και δευτερευόντως τη κεντρική Ευρώπη με πρόσθετα 8 bcm φυσικού αερίου ετησίως. Στο μοντέλο του δικτύου που κατασκευάστηκε, εισήχθησαν τα νέα στοιχεία σε δύο στάδια, δημιουργώντας έτσι δύο σενάρια προσομοίωσης των παραπάνω στοιχείων.

Το πρώτο σενάριο μελετά το πρώτο στάδιο λειτουργίας του Tanap και Ταρ, δηλαδή τη μεταφορά φυσικού αερίου μέσω των δύο αγωγών, η οποία προέρχεται μόνο από το Αζερμπαϊτζάν, με ετήσια δυναμικότητα 16 bcm και 10 bcm αντίστοιχα. Επειδή τα 6 bcm του Tanap προορίζονται για την Τουρκία, η ετήσια δυναμικότητα και του Tanap θεωρείται ίση με 10 bcm. Παράλληλα στο δίκτυο προστίθεται και η λειτουργία του αγωγού Galsi, με αύξηση της ετήσιας δυναμικότητας του αγωγού Transmed κατά 8 bcm. Η διαδρομή του αγωγού Galsi προσεγγίζει πολύ την διαδρομή του αγωγού Transmed, έχοντας ίδια προέλευση και προορισμό, οπότε δεν υπάρχει λόγος να σχεδιαστεί ξεχωριστά. Για να καλυφτούν οι ποσότητες λειτουργίας των αγωγών,

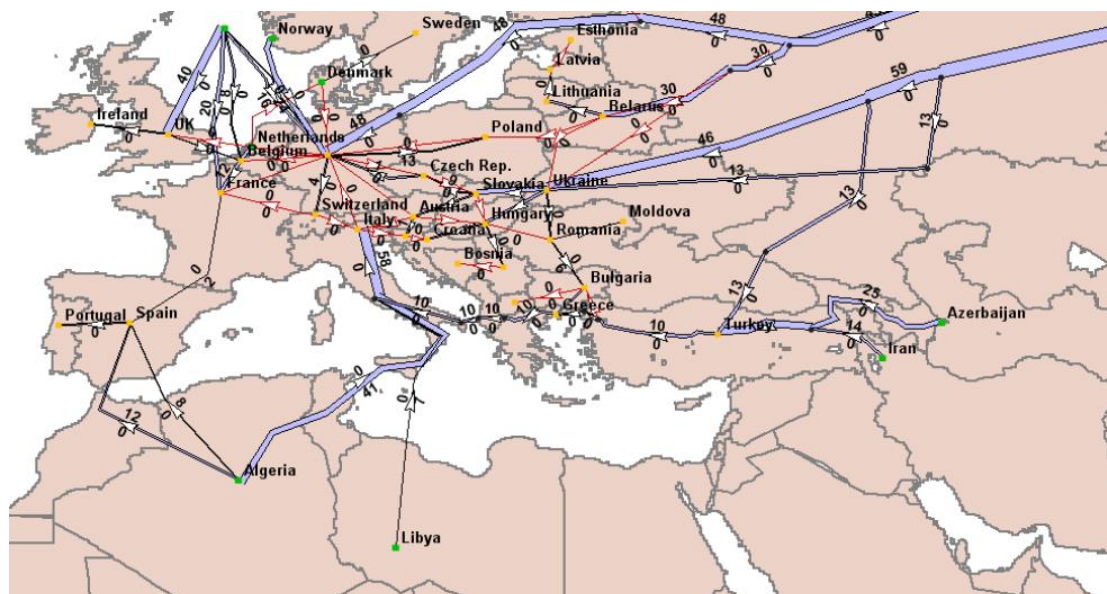
προφανώς αυξήθηκαν οι ποσότητες παραγωγής στους κόμβους του Αζερμπαϊτζάν και της Αλγερίας αντίστοιχα.

Αθροίζοντας τις ποσότητες των αγωγών Tap και Galsi, η επιπρόσθετη μέγιστη ποσότητα φυσικού αερίου που θα εισέρχεται στην Ευρώπη, μετά την κατασκευή τους, είναι 18 bcm ετησίως, ποσότητα που θα καλύπτει μία ποσοστιαία αύξηση ζήτησης φυσικού αερίου των Ευρωπαϊκών χωρών ίση με το 5% της υφιστάμενης. Για να υπάρξει ισοζύγιο μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης αυξήθηκαν οι ποσότητες καταναλώσεων στου κόμβους των Ευρωπαϊκών χωρών σε αντίστοιχο ποσοστό δημιουργώντας, όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο σενάριο ένα νέο σύνολο ζήτησης.

Πίνακας 12 Αύξηση ζήτησης κόμβων κατανάλωσης (bcm), σε ποσοστό 5%

ID	Country Name	Demand+5%
2	UK	32
3	France	34
4	Germany	76,3
6	Belgium	15,2
7	Lithuania	2
8	Latvia	1,5
9	Esthonia	0,5
10	Poland	12,6
12	Spain	15
13	Italy	57,5
14	Switzerland	3,7
15	Czech Rep.	8
16	Ireland	4,5
18	Sweden	0,85
19	Ukraine	17
20	Slovakia	4,7
21	Hungary	7,6
22	Austria	7,5
24	Slovenia	0,84
25	Croatia	0,95
26	Serbia	1,47
27	Bosnia	0,21
28	Romania	0,21
29	Bulgaria	2,9
30	Moldova	3
31	Fyrom	0,1
40	Turkey	41,6
44	Belarus	20
50	Finland	2,8
51	Portugal	3,4
56	Greece	2,6

Αφού εισήχθησαν τα νέα στοιχεία των αγωγών και των αντίστοιχων κόμβων παραγωγής και τα στοιχεία των κόμβων ζήτησης, με την ίδια διαδικασία που εξηγήθηκε και πριν, δημιουργώντας τα αντίστοιχα δίκτυα έγινε η προσομοίωση λειτουργίας του και στη συνέχεια εισήχθησαν τα στοιχεία ροών στο λογισμικό excel. Όπως προκύπτει από το μοντέλο, στο πρώτο στάδιο λειτουργίας ο Tap θα καλύπτει με τις ποσότητες τροφοδοσίας του με φυσικό αέριο μόνο την Ιταλία χωρίς να διανέμει ποσότητες και βορειότερα στην Ευρώπη, όπως και στη πραγματικότητα. Για την ακρίβεια από το μοντέλο, η Ιταλία φαίνεται ότι πλέον καλύπτεται μόνο από τα κοιτάσματα του Αζερμπαϊτζάν και της Αφρικής χωρίς να δέχεται καθόλου ποσότητες φυσικού αερίου από την Ρωσία. Αν το συγκρίνουμε με το υφιστάμενο δίκτυο η Ιταλία ενώ δεχόταν από τη Ρωσία ποσότητα 21 bcm τώρα δέχεται από το Αζερμπαϊτζάν μέσω του Tap 10 bcm ποσότητα που προσεγγίζει το 47%, κάτι που δηλώνει τον ανταγωνισμό που θα προκύψει μεταξύ των δύο χωρών. Πιο συγκεκριμένα η διαδρομή που αποφεύγει η Ιταλία για την τροφοδοσίας της θα είναι αυτή της συνέχειας του Νότιου άξονα της Ρωσίας μέσω του Transgas και Trans-Austria. Επίσης η Ιταλία στο υφιστάμενο δίκτυο δεχόταν και ποσότητες προερχόμενες μέσω Ελβετίας και Γερμανίας από τη Βόρεια Θάλασσα κάτι που δεν ισχύει μετά την κατασκευή του Tap, στο μοντέλο. Όσον αφορά τον αγωγό Galsi δίνει μια σημαντική ποσότητα φυσικού αερίου μέσα από μια σύντομη υποθαλάσσια διαδρομή. Ο αγωγός θα έχει δυνατότητα τροφοδοσίας 8 bcm ετησίως, ποσότητα που ξεπερνάει τα 5,6 bcm που δέχεται η Ιταλία σε LNG, αν λάβει κανείς υπόψη του τα στοιχεία κατανάλωσης της, σε φυσικό αέριο, στο υφιστάμενο δίκτυο. Το γεγονός ότι η διαδρομή του αγωγού είναι μικρή, ίσως τη κάνει μία οικονομικότερη επιλογή σε σχέση τη θαλάσσια μεταφορά με πλοία LNG. Επιπρόσθετα, ο αγωγός Galsi [85] θα μπορεί να τροφοδοτήσει και άλλες περιοχές της Νότιας Ευρώπης, όπως τμήματα της Ισπανίας, κάτι που όμως δεν υπολογίστηκε, αφού έχουν σχεδιαστεί οι βασικότεροι αγωγοί φυσικού αερίου και όχι τα μικρότερα δίκτυα. Τέλος όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 13, με την προσθήκη των αγωγών αυτών, το δίκτυο τροφοδοσίας πλέον μπορεί να καλύψει μία αύξηση της ζήτησης των χωρών κατανάλωσης ίση με 5%, σύμφωνα και με αυτά που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια (Σχήμα 54).



Σχήμα 54 Προσομοίωση ροής φυσικού αερίου συνολικού δικτύου σε λογισμικό TransCAD, με την προσθήκη λειτουργίας των αγωγών Tanaρ, Tap και Galsi.

Το δεύτερο σενάριο θεωρείται συνέχεια του πρώτου και περιγράφει τον ενεργειακό χάρτη τροφοδοσίας της Ευρώπης μετά την κατασκευή άλλων δύο αγωγών, των Turkish-Stream και ITGI. Για την ακρίβεια, μελετά το δεύτερο στάδιο λειτουργίας του Tanaρ και Tap, καθώς και τη λειτουργία του αγωγού IGI (τμήμα του ITGI), ο οποίος πρακτικά έχει παράλληλη διαδρομή με τον Tap. Σε αυτό το σενάριο ουσιαστικά λειτουργεί πλήρως ο Νότιος Διάδρομος φυσικού αερίου, ο οποίος χρησιμοποιείται για να μεταφέρει φυσικό αέριο από τα κοιτάσματα του Αζερμπαϊτζάν και της Ρωσίας. Όπως και στο πρώτο σενάριο, ο Tanaρ και ο Tap μεταφέρουν 10 bcm ετησίως από το Αζερμπαϊτζάν στην Ευρώπη αλλά πλέον ο Tap έχει ικανότητα μεταφοράς επιπλέον 10 bcm.

Ελληνικό τμήμα του Νότιου Διαδρόμου όμως θεωρείται πλέον και ο IGI, με ετήσια δυναμικότητα 12 bcm. Ο αγωγός Turkish-Stream με ετήσια δυναμικότητα 32 bcm (18 bcm τροφοδοτούν την Ευρώπη) καταλήγει στο ίδιο σημείο που καταλήγει και ο Tanaρ και από εκεί τροφοδοτεί μέσω του Νότιου Διαδρόμου την Ευρώπη.

Συνεπώς, για την υλοποίηση του δεύτερου σεναρίου, ο αγωγός Turkish-Stream έχει ετήσια δυναμικότητα 18 bcm, ενώ στη λειτουργία του Tap προστίθεται η αναβάθμιση του καθώς επίσης και η λειτουργία του αγωγού IGI, αφού έχουν παράλληλη διαδρομή με ίδια προέλευση και προορισμό. Τελικά, ο ελληνικός αγωγός που συνδέει Ελλάδα-Ιταλία έχει μέγιστη ετήσια δυναμικότητα ίση με 32 bcm, αλλά στη πράξη μεταφέρει 10 bcm από το Αζερμπαϊτζάν (Tanaρ) και 18 bcm από τη Ρωσία (Turkish- Stream), δηλαδή συνολικά 28 bcm ετησίως.

Πίνακας 13 Ισοζύγιο παραγωγής και ζήτησης κόμβων μοντέλου για αύξηση ζήτησης κατά 5%

ID	Country Name	Demand+5%	Result
2	UK	32	0
3	France	34	0
4	Germany	76,3	0,3
6	Belgium	15,2	0,2
7	Lithuania	2	0
8	Latvia	1,5	-0,5
9	Estonia	0,5	0,5
10	Poland	12,6	-0,4
12	Spain	14,8	-0,2
13	Italy	57,5	-0,5
14	Switzerland	3,7	-0,3
15	Czech Rep.	8	0
16	Ireland	4,5	-0,5
18	Sweden	0,85	-0,15
19	Ukraine	17	0
20	Slovakia	4,7	-0,3
21	Hungary	7,6	-0,4
22	Austria	7,5	-0,5
24	Slovenia	0,84	-0,16
25	Croatia	0,95	-0,05
26	Serbia	1,47	0,47
27	Bosnia	0,21	0,21
28	Romania	0,21	0,21
29	Bulgaria	2,9	-0,1
30	Moldova	3	0
31	Fyrom	0,1	0,1
40	Turkey	41,6	-0,4
44	Belarus	20	0
50	Finland	2,8	0,2
51	Portugal	3,4	0,4
56	Greece	2,6	-3,8E-07

Η μέγιστη επιπρόσθετη ποσότητα φυσικού αερίου που θα εισέρχεται στην Ευρώπη, μετά την κατασκευή τους, είναι 28 bcm ετησίως, ποσότητα που θα καλύπτει μία ποσοστιαία αύξηση ζήτησης φυσικού αερίου των Ευρωπαϊκών χωρών ίση με το 10% της υφιστάμενης. Όπως αναφέρθηκε και στη περιγραφή του υφιστάμενου δικτύου, σε αντίθεση με το προηγούμενο σενάριο, το φυσικό αέριο μέσω του Νότιου Διαδρόμου μπορεί πλέον να φτάσει και στη κεντρική Ευρώπη. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να φτάσει στην Αυστρία, αξιοποιώντας τις δυνατότητες εναλλαγής (swap) και αντιστροφής ροής του αγωγού Transaustria, στη Γερμανία και τη Γαλλία μέσω Ελβετίας αξιοποιώντας τη δυνατότητα αντιστροφής ροής μέσω του αγωγού Transitgas καθώς επίσης στην Αγγλία, τη Βουλγαρία και σε άλλες χώρες της νοτιοανατολικής Ευρώπης.

5 Συμπεράσματα

Στη παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μία εκτενής και σε βάθος μελέτη του υφιστάμενου δικτύου τροφοδοσίας της Ευρώπης με φυσικό αέριο και στη συνέχεια απεικόνιση του δικτύου σε λογισμικό ArcGIS. Κατόπιν η απεικόνιση αυτή εισάγεται στο λογισμικό TransCAD, προκειμένου να προσομοιωθεί η λειτουργία του στις πραγματικές συνθήκες μέσω της μεθόδου "minimum cost flow". Η προσομοίωση αυτή προσεγγίζει την πραγματικότητα αφού:

- εξασφαλίζει τη λειτουργία των βασικών αγωγών με παροχές κοντά στις πραγματικές παροχές λειτουργίας, με τη χρήση κατώτατου ορίου παροχής σε κάποιους αγωγούς.
- οι κόμβοι των χωρών κατανάλωσης καλύπτουν τις ενεργειακές τους ανάγκες από τους κόμβους παραγωγής μέσω του δικτύου αγωγών του μοντέλου. Ο έλεγχος γίνεται με εισαγωγή των δεδομένων κάθε κόμβου σε λογισμικό Excel.
- Οι ροές των αγωγών του δικτύου φυσικού αερίου από τους κόμβους παραγωγής στους κόμβους κατανάλωσης του μοντέλου προσεγγίζουν τις ροές του πραγματικού δικτύου τροφοδοσίας της Ευρώπης.

Στη συνέχεια διερευνώνται δύο σενάρια ενεργειακής ασφάλειας της Ευρώπης:

Το **πρώτο σενάριο** προσομοιώνει την μείωση τροφοδοσίας της Ευρώπης από τη Ρωσία σε ποσοστά 50% και 30% και διαπιστώνει σε ποιες χώρες δημιουργείται μεγαλύτερο πρόβλημα (Γερμανία, Βέλγιο, Γαλλία, Ελβετία, Ιταλία, Αυστρία, κ.α).

Στη συνέχεια γίνεται προσομοίωση με μείωση τροφοδοσίας της Ευρώπης από τη Ρωσία σε ποσοστό 20% και διαπιστώνεται ότι δεν δημιουργείται πρόβλημα εφόσον η ζήτηση μπορεί να καλυφθεί από την αύξηση της τροφοδοσίας από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας και της Αφρικής.

Το **δεύτερο σενάριο** προσομοιώνει το ενεργειακό χάρτη τροφοδοσίας της Ευρώπης με φυσικό αέριο που προκύπτει μετά την κατασκευή των αγωγών Tapan και Tap, οι οποίοι θα μεταφέρουν ποσότητες φυσικού αερίου από το Αζερμπαϊτζάν, καθώς και του αγωγού Galsi που θα μεταφέρει φυσικό αέριο από την Αλγερία. Διαπιστώνεται ότι οι νέοι αγωγοί μπορούν να καλύψουν αυξήσεις στη ζήτηση των Ευρωπαϊκών χωρών σε ποσοστό 5%. Τέλος εξετάζεται και σχολιάζεται το ενδεχόμενο κατασκευής του αγωγού IGI (Ελλάδα- Ιταλία), που θα συμπληρώνει το ευρύτερο έργο του Νότιου Διαδρόμου φυσικού αερίου και το ενδεχόμενο αξιοποίησης του από τον ρώσικο αγωγό Turkish-Stream για την μεταφορά ποσοτήτων φυσικού αερίου στην Ευρώπη.

6 Εισήγηση για περαιτέρω διερεύνηση

Σε συνέχεια αυτής της εργασίας θα μπορούσε να εμπλουτιστεί με περισσότερους αγωγούς το μοντέλο ώστε να προσδιοριστεί ακόμα καλύτερα το υφιστάμενο δίκτυο. Στη συνέχεια θα μπορούσαν να διερευνηθούν περαιτέρω θέματα ενεργειακής ασφάλειας τροφοδοσίας της Ευρώπης και όχι μόνο, με φυσικό αέριο. Τα σενάρια αυτά θα έχουν ως αντικείμενο τη μελέτη σε θέματα που αφορούν αυξομειώσεις της ζήτησης και της παραγωγής, καθώς επίσης και θέματα κατασκευής νέων αγωγών και τις επιδράσεις που θα έχουν στον ενεργειακό χάρτη φυσικού αερίου.

Βιβλιογραφία

- 1 Eurostat, Consumption of Energy, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Consumption_of_energy
- 2 Steemit, renewable energy investing in the future
<https://steemit.com/science/@timsaid/renewable-energy-investing-in-the-future>
- 3 Wikipedia, φυσικό αέριο
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%B1%CE%AD%CF%81%CE%B9%CE%BF
- 4 Wikipedia, natural gas, https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_gas
- 5 Φυσικό Αέριο Αττικής, <http://www.aerioattikis.gr/Default.aspx?pid=17&la=1>
- 6 Τεχνολογία πετρελαίου και φυσικού αερίου. Εργαστήριο Τεχνολογίας καυσίμων και λιπαντικών ΕΜΠ.
- 7 <http://LNGcanada.ca/faq-items/what-is-the-process-of-getting-natural-gas-from-the-ground-to-the-end-customer>
- 8 ENI/IFP (2001), Gate 2020 – Gas Advanced Technology, Brussels; CEC.
- 9 F. Thomaidis (2011). Method for route selection of transcontinental natural gas pipelines. National and Kapodistrian University of Athens.
- 10 F. Thomaidis and D. Mavrakis (2006). Optimum Route of the South Transcontinental Gas Pipeline in SE Europe using AHP. Journal of multi-criteria decision analysis 14, pp 77–88.
- 11 Prasanta Kumar Dey (2002). An integrated assessment model for cross-country pipelines. Environmental Impact Assessment Review 22, pp.703–721.
- 12 Mahmoud Reza Delavar and Fereydoon Naghibi (2003). Pipeline Routing Using Geospatial Information System Analysis. The 9th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science, 4-6 June 2003, Espoo, Finland - Proceedings
- 13 Sandra Feldman, Ramona Pelletier, Ed Walser, James Smoot and Douglas Ahl (1995). A Prototype for Pipeline Routing Using Remotely Sensed Data and Geographic Information System Analysis. Remote Sens. Environ. 53, pp.123-131.

-
- 14 Roger Z. Rios-Mercado & Conrado Borraz-Sanchez (2015). Optimization problems in natural gas transportation systems A state-of-the-art review. *Applied Energy* 147, pp.536-555.
- 15 B. Rothfarb, H. Frank, D. M. Rosenbaum, K. Steiglitz & D. J. Kleitman (1970). Optimal Design of Offshore Natural-Gas Pipeline Systems. *Operations Research* 18, pp. 992-1020.
- 16 A. Chebouba, F. Yalaoui, A. Smati, L. Amodeo, K. Younsi & A. Tairi (2009). Optimization of natural gas pipeline transportation using ant colony optimization. *Computers & Operation Research* vol.36, pp.1916-1923.
- 17 Peter J. Wong & Robert E. Larson (1968). Optimization of natural-gas pipeline systems via dynamic programming in *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol.13 (5), pp. 475-481.
- 18 Bilge Hacisalihoglu (2008). Turkey's natural gas policy. *Energy Policy* 36, pp. 1867-1872
- 19 Wietze Lise, Benjamin F. Hobbs & Frits Van Oostvoom (2008). Natural gas corridors between the EU and its main suppliers: Simulation results with the dynamic GASTALE model. *Energy Policy* 36, pp. 1890-1906.
- 20 Mert Bilgin (2009). Geopolitics of European natural gas demand: Supplies from Russia, Caspian and the Middle East. *Energy Policy* 37, pp. 4482-4492.
- 21 S.M. Folga (2007). Natural gas pipeline technology overview. Argon National Laboratory.
- 22 Λέφας, Κ., Εισαγωγή στην τεχνολογία του φυσικού αερίου, Εκδ.ΣΕΛΚΑ-4Μ, Αθήνα,2004.
- 23 EntsoG (European Network of Transmission System Operators for Gas). The European natural gas network 2016.
- 24 <http://www.endofcrudeoil.com/2011/09/russia-energy-report.html>
- 25 https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_natural_gas_pipelines#Europe
- 26 <http://interfaxenergy.com/gasdaily/article/15215/securing-the-future-of-turkish-stream>
- 27 <http://www.iea.org/gtf/#>
- 28 <http://www.gazprom.com/about/production/projects/pipelines/active/yamal-evropa/>

-
- 29 <http://www.gazpromexport.ru/en/projects/4/>
- 30 https://en.wikipedia.org/wiki/Yamal%E2%80%93Europe_pipeline
- 31 <http://abarrelfull.wikidot.com/soyuz-pipeline>
- 32 https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_gas_transmission_system_of_Ukraine
- 33
<http://www.naftogaz.com/www/3/nakweben.nsf/0/1D0B7A87954D7717C2257A9C00484B48>
- 34 [https://en.wikipedia.org/wiki/Northern_Lights_\(pipeline\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Northern_Lights_(pipeline))
- 35 <http://www.gazprom.com/about/production/projects/pipelines/active/nord-stream/>
- 36
http://www.wikiwand.com/en/Urengoy%E2%80%93Pomary%E2%80%93Uzhgorod_pipeline
- 37 http://www.declarepeace.org.uk/captain/murder_inc/site/energywars2.html
- 38 https://en.wikipedia.org/wiki/Blue_Stream
- 39 <http://www.gazprom.com/about/production/projects/pipelines/active/blue-stream/>
- 40 https://en.wikipedia.org/wiki/Turkish_Stream
- 41 <http://subseaworldnews.com/2016/09/08/gazprom-obtains-first-permits-for-turkstream-project/>
- 42 <http://turkstream.info/project/>
- 43 Ι. Γρηγοριάδης (2008). Ευρωπαϊκή Ενεργειακή Ασφάλεια & Αγωγοί Φυσικού Αερίου στη Ν.Α. Ευρώπη: Ένα Νέο Πεδίο Ελληνοτουρκικής Συνεργασίας. Policy paper 12.
- 44 Energy Information Administration (EIA), Country Analysis Brief-Turkey, pp. 7-8
- 45 <http://neftegaz.runewsview124698-Podpisan-kontrakt-po-rasshireniyu-MGP-YuKT-v-ramkah-postavok-po-MGP-TANAP-i-TAP>
- 46 www.tap-ag.gr
- 47 <http://www.edison.itenitgi-pipeline>

48

https://en.wikipedia.org/wiki/Interconnector_Turkey%E2%80%93Greece%E2%80%93Italy

49 https://en.wikipedia.org/wiki/South_Caucasus_Pipeline

50 https://www.enefit.lv/-/doc/7211358/jaunumi/liraan_turgi_gaasitoru_eng.jpg

51 https://en.wikipedia.org/wiki/Tabriz%E2%80%93Ankara_pipeline

52 <http://www.tanap.com/tanap-project/why-tanap/>

53 <http://www.slideshare.net/ITEoilgas1/4-saltuk-dzyol-general-manager-tanap>

54 <https://www.tap-ag.gr/%CE%9F-%CE%91%CE%B3%CF%89%CE%B3%CF%8C%CF%82>

55 <http://www.crystoneenergy.com/assessing-future-north-sea-oil-gas/>

56 <http://www.321energy.com/editorials/mearns/mearns121307.html>

57 https://en.wikipedia.org/wiki/Fulmar_Gas_Line

58 <http://www.catspipeline.com/about-cats/cats-infrastructure/pipeline/>

59 <https://en.wikipedia.org/wiki/Vesterled>

60 <http://www.norskolje.museum.no/en/vesterled-2/>

61 https://en.wikipedia.org/wiki/Langeled_pipeline

62 <http://www.thinkdefence.co.uk/2012/12/a-fracking-great-shift-of-power-2/>

63

<http://www.subsea7.com/content/dam/subsea7/documents/whatwedo/projects/northseaandcanada/StatoilLangeled.pdf>

64 <https://en.wikipedia.org/wiki/Zeepipe>

65 <https://en.wikipedia.org/wiki/Franpipe>

66 <https://en.wikipedia.org/wiki/Norpipe>

67 <http://www.norskolje.museum.no/en/norpipe-gas-transport-system/>

68 https://en.wikipedia.org/wiki/Europipe_I

-
- 69 [https://en.wikipedia.org/wiki/Europipe II](https://en.wikipedia.org/wiki/Europipe_II)
- 70 [https://en.wikipedia.org/wiki/List of natural gas pipelines](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_natural_gas_pipelines)
- 71
<https://parisis.wordpress.com/2011/02/22/%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CE%B1%CE%AD%CF%81%CE%B9%CE%BF-%CE%B1%CF%80%CF%8C-%CF%84%CE%B7-%CE%B2%CF%8C%CF%81%CE%B5%CE%B9%CE%B1-%CE%B1%CF%86%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD/>
- 72 <http://www.edison.it/en/galsi-pipeline>
- 73 <http://namarizathema.pblogs.gr/2011/02/fysiko-aerio-apo-th-boreia-afrikh-sthn-efrwph.html>
- 74 [https://en.wikipedia.org/wiki/Maghreb%E2%80%93Europe Gas Pipeline](https://en.wikipedia.org/wiki/Maghreb%E2%80%93Europe_Gas_Pipeline)
- 75 <https://en.wikipedia.org/wiki/Medgaz>
- 76 [https://en.wikipedia.org/wiki/Trans-Mediterranean Pipeline](https://en.wikipedia.org/wiki/Trans-Mediterranean_Pipeline)
- 77 [https://en.wikipedia.org/wiki/Greenstream pipeline](https://en.wikipedia.org/wiki/Greenstream_pipeline)
- 78 <http://www.eurasianbusinessbriefing.com/pipeline-politics-favour-azerbaijan-and-turkey-in-new-round-of-old-game/lng-terminals/>
- 79 <http://dasodata.gr/index.php/ArcARCGIS>
- 80 <http://www.caliper.com/tcovu.htm>
- 81 <http://www.gazpromexport.ru/en/statistics/>
- 82 <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>
- 83 <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/imports-and-secure-supplies/supplier-countries>
- 84 <http://icmu.nyc.gr/el/node/10120?page=3>
- 85 <http://www.edison.it/en/galsi-pipeline>