

Περίληψη

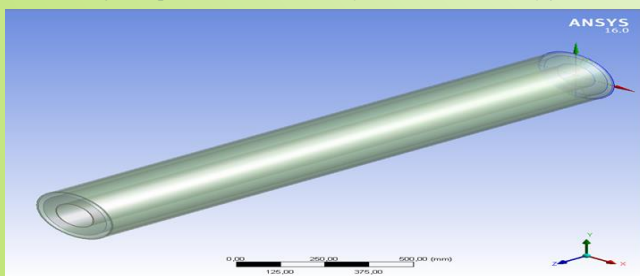
Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την τρισδιάστατη διερεύνηση της μεταβολής της θερμοκρασίας ενός κρυογονικού σωλήνα ανεφοδιασμού πλοίου με Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG), κατά τη διάρκεια της διαδικασίας πρόψυξης. Προκειμένου να εισέλθει με ασφάλεια και χωρίς θερμικές απώλειες το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG) από τους αγωγούς κατά τη διάρκεια ανεφοδιασμού πλοίου (bunkering), πρέπει οι αγωγοί να έχουν την επιθυμητή θερμοκρασία, πρώτον για να μην υπάρξει κάποιο κατασκευαστικό ή θερμικό «σοκ» στο σωλήνα λόγω της πολύ χαμηλής θερμοκρασίας του LNG (-162 °C) και δεύτερον για την επίτευξη του υψηλότερου δυνατού ρυθμού ροής του, χωρίς αυτό να εξαρτίζεται. Η πρόψυξη είναι το βασικό στάδιο για να διασφαλιστεί ότι το LNG μπορεί να ρέει χωρίς απώλειες και τυχόν κατασκευαστικούς κινδύνους.

Για να επιτευχθεί, χρησιμοποιείται κρύο αέριο (συνήθως μεθάνιο), ώστε να παγώσει επιτυχώς και ομαλώς ο σωλήνας από τον οποίο θα ρέυσει το LNG. Το αέριο αυτό συχνά προέρχεται από την εξάτμιση του LNG κατά τη ροή του στο δίκτυο σωληνώσεων και ονομάζεται BOG (Boil of Gas – εξατμιζόμενο αέριο). Διαμέσου της πρόψυξης ο σωλήνας πρέπει να φτάσει σε θερμοκρασία -95 με -118 °C. Τότε μπορεί να αρχίσει να ρέει το LNG και να έχει εξασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία του κρυογονικού αγωγού. Αυτό, διότι όταν το μεθάνιο (BOG) εγχυθεί στο σωλήνα και αρχίσει να ρέει, μέσω μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή με την εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα και με αγωγή μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειάς του, η θερμοκρασία του σωλήνα πέφτει και αρχίζει να ψύχεται ενώ ταυτόχρονα αυτή του BOG αυξάνεται.

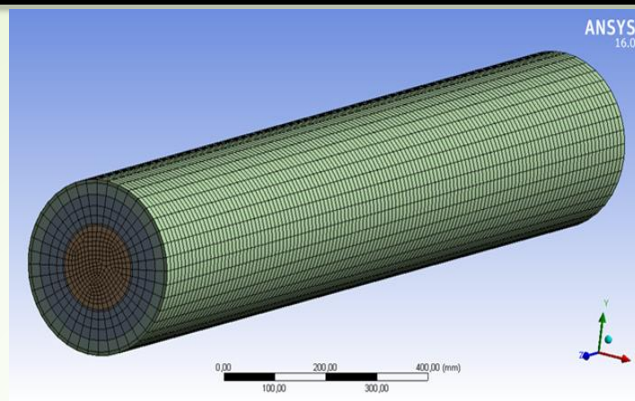
Στη συγκεκριμένη εργασία μελετήθηκε η πτώση της θερμοκρασίας πρότυπου κρυογονικού αγωγού δύο (2) μέτρων της εταιρείας (FW-FERNWÄRME-TECHNIK), κατά τη διάρκεια ροής μεθανίου (BOG) με 3 διαφορετικές τιμές ταχύτητας εισόδου 0.5 m/sec, 1.0 m/sec και 2.0 m/sec. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ANSYS v.16 για το σχεδιασμό της γεωμετρίας του αγωγού και τη δημιουργία του υπολογιστικού πλέγματος και στη συνέχεια ο κώδικας Fluent για την επίλυση και την εξαγωγή αποτελεσμάτων της τρισδιάστατης αυτής προσομοίωσης. Το μοντέλο που σχεδιάστηκε αποτελούνταν από έναν οριζόντιο αγωγό τύπου pipe-in-pipe, δηλαδή σωλήνα μέσα σε σωλήνα, με δύο επιπλέον στρώματα μονώσεων, το ένα από άκαμπτο αφρό πολυουρεθάνης και το άλλο από ένα στρώμα αέρα σε υποπίεση ένα (1) mbar σε συνθήκες κενού για καλύτερη μόνωση και αποτελεσματικότερη ψύξη του μέσα σωλήνα του συστήματος από τον οποίο και θα ρέυσει το LNG οπότε και πρέπει να προ-ψύξουμε.

Στόχος είναι να αναπτυχθεί η κατάλληλη τεχνολογία για τη μοντελοποίηση των σωληνώσεων που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού πλοίων με LNG καθώς και για την προσομοίωση ροής σε κρυογονικές συνθήκες σε αυτές τις εγκαταστάσεις.

Γεωμετρία – Υπολογιστικό πλέγμα



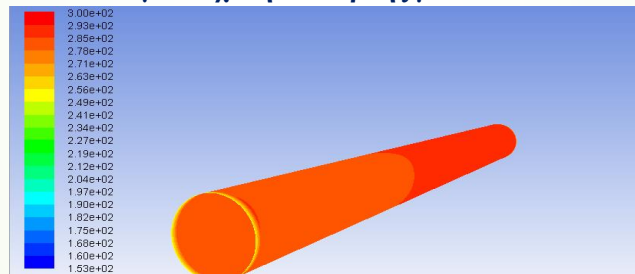
Γεωμετρία κρυογονικού αγωγού



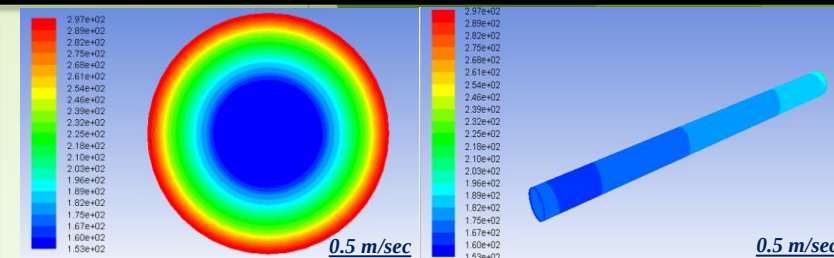
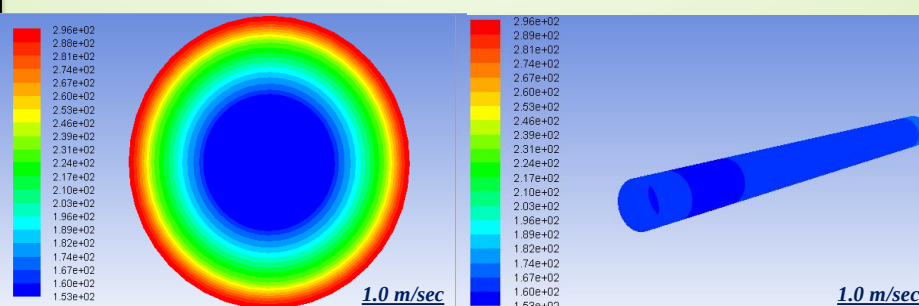
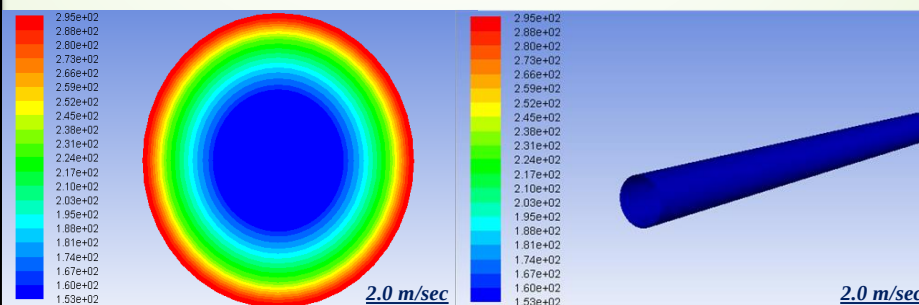
Υπολογιστικό πλέγμα

Αποτελέσματα

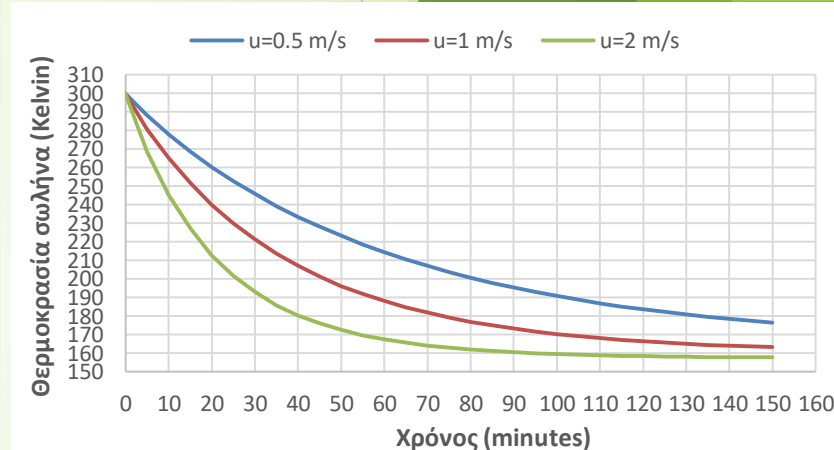
Κατανομή θερμοκρασιών εσωτερικού τοιχώματος μετά από 3 λεπτά για ταχύτητα εισροής μεθανίου 2.0 m/sec :



Κατανομή θερμοκρασιών στη διατομή εισόδου του αγωγού και στον εσωτερικό σωλήνα που πρέπει να ψυχθεί για τις 3 περιπτώσεις μετά από 2.5 hr πρόψυξης :



Διάγραμμα πτώσης θερμοκρασίας για τις 3 περιπτώσεις :



Συμπεράσματα

- Οι θερμοκρασίες του σωλήνα για τις περιπτώσεις των ταχυτήτων εισόδου 0.5, 1.0 και 2.0 m/sec είναι -97, -110 και -115 °C αντίστοιχα μετά από 2.5 hr.
- Για ταχύτητα ροής 2.0 m/sec η πτώση της θερμοκρασίας είναι αισθητή για τα πρώτα 40 λεπτά ενώ παραμένει ικανοποιητική μέχρι τη 1 ώρα. Ο ρυθμός πτώσης της θερμοκρασίας ελαττώνεται κατά πολύ και η γραμμή απεικόνισης τείνει να γίνει ευθεία.
- Το ίδιο ισχύει για ταχύτητα εισροής 1.0 m/sec μετά τις 2 ώρες πρόψυξης.
- Όσον αφορά τη ροή μεθανίου με 0.5 m/sec, παρόλο που στην αρχή ο ρυθμός πτώσης της θερμοκρασίας είναι ο μικρότερος από τις 3 περιπτώσεις, στη συνέχεια, επειδή στις άλλες 2 περιπτώσεις η θερμοκρασία του σωλήνα φτάνει στην ελάχιστη δυνατή τιμή της, είναι η μόνη που συνεχίζει να ρίχνει έστω και με αρκετά μικρό ρυθμό τη θερμοκρασία του σωλήνα.

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

- Υπολογιστική προσομοίωση ροής LNG στον αγωγό που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την εργασία με ίδια ή άλλη διαστασιολόγηση.
- Υπολογιστική διερεύνηση ροής LNG σε ολόκληρο σύστημα σωληνώσεων, δηλαδή στους 2 αγωγούς σαν το μοντέλο που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία, οι οποίοι ενώνονται μεταξύ τους με έναν εύκαμπτο σωλήνα τύπου hose ή και μόνο στον hose – εύκαμπτο σωλήνα.
- Υπολογιστική προσομοίωση της διαδικασίας αδρανοποίησης και καθαρισμού με ροή αζώτου.
- Υπολογιστική διερεύνηση διαρροής σε κρυογονικό αγωγό LNG και η αντιμετώπιση της για την αποφυγή τυχόν ατυχημάτων.