

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΕΡΙΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΖΑΦΕΙΡΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

9/5/2016

Επιβλέπων: Νικόλαος Μπιλάλης Καθηγητής στη σχολή ΜΠΔ στο
Πολυτεχνείο κρήτης

Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου σε προπτυχιακό επίπεδο στο Πολυτεχνείο Κρήτης, ως εκ τούτου θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την βοήθεια που μου έδωσε ώστε να καταφέρω να ολοκληρώσω αυτόν τον κύκλο σπουδών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της σχολής ΜΠΔ, κύριο Νικόλαο Μπιλάλη, τόσο για την βοήθεια του στην υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής, όσο και στην εμπιστοσύνη που μου έδειξε για να αναλάβω το συγκεκριμένο θέμα

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ξεχωριστά τον πατέρα μου και διαχειριστή της εταιρίας SIME ΕΠΕ (εταιρία εμπορίας εξαρτημάτων υγραερίου) για την βοήθεια του σε όλα τα προβλήματα που αντιμετώπισα κατά την υλοποίηση της εργασίας αυτής, καθώς και για όλο το υλικό και τις κατευθυντήριες γραμμές που μου έδωσε.

Επιπλέον πολύτιμη ήταν η βοήθεια της κυρίας Ανθούλας Κουσίδου της Διευθύντριας Βιομηχανικών έργων του γραφείου του Ελληνικού Νηογνώμονα για την παροχή των νομοθεσιών και του Ευρωπαϊκού προτύπου.

Τέλος ευχαριστώ πολύ για την βοήθεια τους, τους κύριους, Βλάχο Βασίλη και Πανταζή Θανάση των Tankgas και Θεσσαλονική Κατασκευές αντίστοιχα για την ξενάγηση που μου πρόσφεραν στα δύο αυτά εργοστάσια.

Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΕΡΙΟΥ (LPG)

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τον σχεδιασμό δεξαμενής υγραερίου (lpg) σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 13445 το οποίο αναφέρεται στην κατασκευή πιεστικών δοχείων μη εκτεθειμένων σε φλόγα. Η εργασία αυτή είναι χωρισμένη σε έξι βασικά μέρη.

Το πρώτο μέρος είναι γενικό στο οποίο αναφέρονται γενικά στοιχεία σχετικά με την κατασκευή πιεστικών δοχείων μη εκτεθειμένων σε φλόγα, καθώς και μια παρουσίαση όλων των εννοιών και των στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν.

Στο δεύτερο μέρος αναφέρονται τα υλικά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της δεξαμενής αυτής. Επίσης αναπτύσσω τα χαρακτηριστικά αυτών των υλικών, τα πλεονεκτήματά τους, καθώς και τα μειονεκτήματά τους.

Στο τρίτο μέρος το οποίο είναι ο σχεδιασμός της δεξαμενής παρουσιάζω τις συναρτήσεις από τις οποίες μπορούμε να λάβουμε πληροφορίες σχετικά με την αντοχή των υλικών. Επίσης σε αυτό το μέρος γίνεται παρουσίαση των συγκολλήσεων που πρέπει να γίνουν καθώς και οι διαδικασίες συγκόλλησης που πρέπει να ακολουθηθούν, προκειμένου να κατασκευαστεί η δεξαμενή. Επιπλέον γίνεται αναφορά στις δυνάμεις που ασκούνται στη δεξαμενή είτε από το εσωτερικό του δοχείου όπου υπάρχει το υγραέριο, είτε από το περιβάλλον.

Στο τέταρτο μέρος αναφέρομαι στην κατασκευή της δεξαμενής παραθέτοντας όλες τις διεργασίες οι οποίες πρέπει να πραγματοποιηθούν. Επίσης γίνεται σχεδιασμός του πιεστικού αυτού δοχείου στο creο όπου παρουσιάζονται επίσης και οι πιέσεις που ασκούνται στη δεξαμενή.

Στο πέμπτο μέρος αναφέρονται οι διαδικασίες ελέγχου της δεξαμενής σε οριακές συνθήκες (πίεσης και θερμοκρασίας) με σκοπό να δούμε την αντοχή των υλικών και των συγκολλήσεων σε τέτοιες καταστάσεις.

Στο έκτο μέρος αναφέρομαι στις υποδομές που πρέπει να υπάρχουν ώστε να μπορέσουν να κατασκευαστούν αυτού του είδους πιεστικά δοχεία. Αναφέρω τα εργαλεία που θα απαιτηθούν καθώς και τα απαραίτητα μηχανήματα. Επίσης την τεχνογνωσία που είναι απαραίτητη από τον κατασκευαστή καθώς και τους ελέγχους και τις δοκιμές που απαιτούνται για να παραχθεί το τελικό προϊόν.

Η διπλωματική εργασία αυτή πραγματοποιείται με σκοπό να προσπαθήσει να αντιμετωπίσει το αντικείμενό με ρεαλισμό. Θα εκπονηθεί δε με γνώμονα την πραγματική κατάσταση της Ελληνικής πραγματικότητας όσον αφορά τις πρώτες ύλες και την υλικοτεχνική υποδομή.

Technical University of Crete
School of Production Engineering and Management

Construction of metal liquefied Petroleum gas (LPG) tank

Abstract

This diploma thesis deals with the design of lpg tanks according to the European model EN13445 which refers to the construction of non-exposed to flame pressured vessels. In addition, the study is divided into six main parts.

The first part is general and includes general information related to the construction of non-exposed to flame pressured vessels and it also demonstrates notions and elements, which will be used.

The second part presents the potential materials which could be used in the construction of the tanks. Furthermore, I develop the technical specifications, of these materials, explaining their advantages and disadvantages.

The third part, which focused on the design of the tanks, presents the functions, which can inform us regarding the strength of the materials. Additionally, this part illustrates the welding which should be carried out and also the process of welding that ought to be followed so that the construction of the tanks is feasible. Moreover, I describe the forces, which are welded on the tank either from the inside of the vessel or from the environment.

In the fourth part, I describe the construction of the tank indicating the procedure that must be accomplished. In addition, the design of this pressured vessel along with the pressures forced on the tank, are made on the creo.

The fifth part refers to the testing process of the tanks in crucial conditions (pressure and temperature) with the purpose of demonstrating the strength of the materials and the welding in such condition.

The sixth part includes information about the infrastructure needed in order to construct this kind of pressured vessels along with the necessary tools and machinery. I also refer to the know-how which is essential to the manufacturer as well as the inspections and testings' which are required for the manufacture of the final product.

The main target of this diploma thesis is to deal with the issue in a realistic way. The study will also be elaborated by seriously considering the Greek reality in terms of both raw materials and technical infrastructure.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Γενικά περί υγραερίου	1
1.1.1. Ορισμός και σύσταση	1
1.1.2. Χρήσεις και πλεονεκτήματα	3
1.1.3. Βαθμός απόδοσης και θερμική ισχύς	4
1.1.4. Αποθήκευση του LPG	5
1.2. Γενικά περί δεξαμενών υγραερίου (LPG).....	6
1.2.1. Ορισμός των διαφόρων τύπων δεξαμενών υγραερίου	6
1.2.1.1. Δεξαμενή διυλιστηρίου	7
1.2.1.2. Δεξαμενή έως 500lt κάθετη	8
1.2.1.3. Φιάλη οικιακής χρήσης	9
1.2.1.4. Δεξαμενή αυτοκινήτου	10
1.2.1.5. Δεξαμενή 1000lt και άνω	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ.....	13
2.1. Βασικές απαιτήσεις ασφαλείας	13
2.2. Διαδικασία έγκρισης υλικών	13
2.3. Προδιαγραφές υλικών	14
2.4. Σήμανση «CE»	15
2.5. Επιλογή υλικών	16
2.5.1. Χάλυβας P355NH.....	17
2.5.2. Χάλυβας P355NL1	18
2.5.3. Χάλυβας P355NL2	19
2.6. Αντοχή υλικών	20
2.7. Χαρακτηριστικά των βασικών στοιχείων των υλικών	21
2.8. Συμπεράσματα	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ.....	24
3.1. Προφυλάξεις από διάβρωση υλικού	24
3.1.1. Πάχος υλικού	24
3.1.2. Επενδύσεις και επικαλύψεις	25
3.2. Δυνάμεις.....	26
3.2.1. Δυνάμεις στο εσωτερικό της δεξαμενής	27
3.2.2. Δυνάμεις κατά την φόρτωση και εκφόρτωση της δεξαμενής	28
3.2.3. Δυνάμεις στα ποδαρικά της δεξαμενής	29

3.3. Ταξινόμηση των φορτίων ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας.....	30
3.3.1. Φορτία στην κανονική λειτουργία του πιεστικού δοχείου.....	30
3.3.2. Φορτία σε ασυνήθιστες περιπτώσεις λειτουργίας.....	30
3.3.3. Φορτία σε συνθήκες ελέγχου	31
3.4. Διαδικασία κατασκευής πιεστικού δοχείου	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΙΕΣΤΙΚΟΥ ΔΟΧΕΙΟΥ ΣΤΟ PTC CREO.....	37
4.1. Παρουσίαση των parts της δεξαμενής.....	37
4.1.1. Κυλινδρικό δοχείο	38
4.1.2. Ελλειψοειδές (cup).....	39
4.1.3. Ανθρωποθυρίδα.....	39
4.1.4. Φλάντζα (κάτω μέρος)	40
4.1.5. Φλάντζα.....	41
4.1.6. Ποδαρικό	42
4.1.7. Γάντζος.....	42
4.1.8. Βίδα και παξιμάδι.....	43
4.2. Ένωση των parts (assembly).....	44
4.3. Μηχανολογικό σχέδιο δεξαμενής.....	46
4.4. Ογκομετρικός πίνακας δεξαμενής	47
4.5. Ανάλυση δυνάμεων στο creo simulate	48
4.6. Συμπεράσματα	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΙΕΣΤΙΚΟΥ ΔΟΧΕΙΟΥ	53
5.1. Πιστοποίηση πιεστικού δοχείου	53
5.2. Οπτικός έλεγχος συγκολλήσεων	53
5.3. Ραδιογραφίες συγκόλλησης.....	54
5.4. Έλεγχος με διεισδυτικά υγρά	56
5.5. Υδραυλική δοκιμή	57
5.6. Αμμοβολή και βαφή	59
5.7. Φάκελος δεξαμενής	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ, ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	60
6.1. Μηχανήματα εργοστασίου	60
6.2. Χωροταξική διάταξη	61
6.3. Ανακεφαλαίωση	63
6.4. Συμπεράσματα	64
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά περί υγραερίου

1.1.1. Ορισμός και σύσταση

Ο όρος υγραέριο αναφέρεται σε οποιοδήποτε προϊόν αποτελείται κατά βάση από μείγμα κάποιων από τους ακόλουθους υδρογονάνθρακες: προπάνιο, προπένιο, κανονικό βουτάνιο, ισοβουτάνιο, ισοβουτυλένιο, βουτένιο και αιθάνιο. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί είναι σε συνήθεις ατμοσφαιρικές συνθήκες αέρια, τα οποία συνήθως υγροποιούνται υπό πίεση για τη μεταφορά και την αποθήκευση. Το LPG, το υγροποιημένο βουτάνιο που περιέχεται στις γνωστές φιάλες camping gas, και το φωταέριο το οποίο αποτελείται από υγροποιημένα αέρια προερχόμενα από απόσταξη λιθάνθρακα είναι γνωστοί τύποι υγραερίων.

Ο όρος γκάζι χρησιμοποιείται συχνά ως γενικότερος όρος αναφορικά με όλα τα αέρια καύσιμα μίγματα που περιέχουν από μεθάνιο ως και πεντάνιο, και ακόμα πιο γενική ήταν η παλιότερη χρήση του όρου γκάζι για όλα τα αέρια και υγρά ορυκτά καύσιμα.

Το υγροποιημένο αέριο πετρελαίων, ευρέως γνωστό ως LPG (Liquified Petroleum Gas), είναι ένα μείγμα υδρογονανθράκων, με κύρια συστατικά το προπάνιο και το βουτάνιο. Παράγεται κυρίως κατά την εξαγωγή του φυσικού αερίου και του πετρελαίου σε ποσοστό 66%, αλλά και από τη διύλιση του πετρελαίου σε ποσοστό 34%. Το υγραέριο σε ατμοσφαιρικές συνθήκες βρίσκεται σε αέρια μορφή, ενώ μπορεί με ευκολία να υγροποιηθεί σε συνθήκες περιβάλλοντος με μικρή αύξηση της πίεσης του.

Το προπάνιο και το βουτάνιο έχουν παρόμοιες ιδιότητες, αλλά διαφέρουν κατά πολύ στις συνθήκες αποθήκευσής τους. Το χημικά καθαρό βουτάνιο, είναι πολύ εύφλεκτο και άχρωμο. Αποτελεί το κύριο συστατικό του υγραερίου. Το χημικά καθαρό προπάνιο στις ίδιες συνθήκες μεταφέρεται και χρησιμοποιείται υγροποιημένο με συμπίεση, σε ειδικές φιάλες. Το προπάνιο έχει χαμηλότερο σημείο βρασμού από το βουτάνιο και η μετατροπή του από υγρό σε αέριο συνεχίζεται ακόμα και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτή η ιδιότητα το καθιστά κατάλληλο για χρήση στον οικιακό και τουριστικό τομέα, σε συστήματα θέρμανσης, για την παροχή ζεστού νερού και το μαγείρεμα καθώς και για ένα μεγάλο αριθμό χρήσεων στον αγροτικό τομέα και τη βιομηχανία. Και τα δύο παραπάνω βασικά συστατικά του υγραερίου είναι άοσμα. Έτσι λοιπόν προστίθεται και ένας οσμοθέτης, ο οποίος είναι συνήθως αιθανοθειόλη, ώστε από την οσμή οι άνθρωποι να μπορούν να εντοπίσουν εύκολα μια τυχούσα διαρροή.

Το ειδικό βάρος του υγραερίου (υγρή φάση) είναι περίπου το μισό από αυτό του νερού, ενώ οι ατμοί (αέρια φάση) του υγραερίου είναι βαρύτεροι από τον αέρα και γι' αυτό, σε ελεύθερη κατάσταση, «ρέουν» στο έδαφος, συσσωρευμένοι στα χαμηλότερα σημεία.

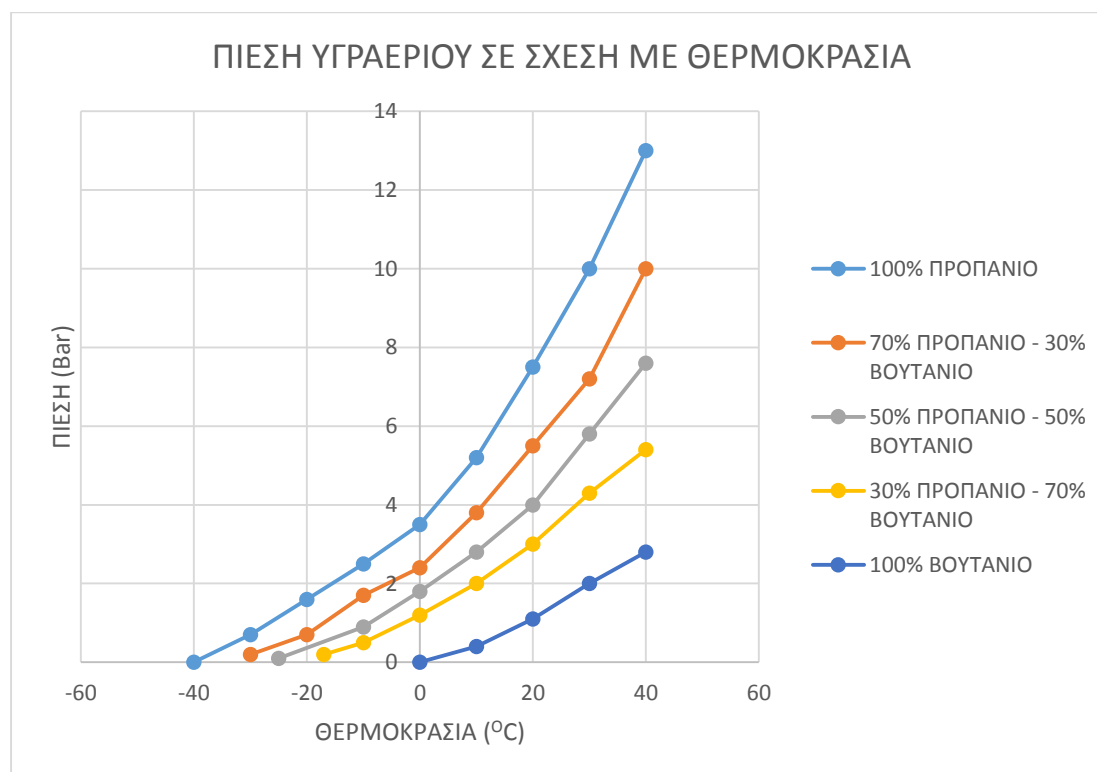
Το υγραέριο εξάγεται είτε κατευθείαν από κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου, είτε παράγεται στα διυλιστήρια μέσω χημικών διεργασιών. Στην Ελλάδα LPG παράγουν κυρίως τα διυλιστήρια, αλλά μεγάλο τμήμα του καταναλώνεται επί τόπου για τις ανάγκες θέρμανσης των φυσικών και χημικών διεργασιών των διυλιστηρίων, καθώς και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, και το υπόλοιπο διατίθεται στην ελληνική αγορά ή εξάγεται.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΕΡΙΟΥ (LPG)

Οι φυσικές ιδιότητες του υγραερίου καθώς και η πίεση αυτού σε σχέση με την θερμοκρασία παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

	Προπάνιο	βουτάνιο
Χημικός τύπος	C_3H_8	C_4H_{10}
Μοριακό βάρος (g/mol)	44,1	58,12
Πυκνότητα (kg/m ³)	2,01	2,48
Σημείο βρασμού (°C)	-42	-1
Αριθμός οκτανίων	125	92
Σημείο ανάφλεξης	-105	-60
Σημείο αυτανάφλεξης	470	365
Θερμίδες ανά κυβικό	22766	29875
Ειδικό βάρος υγρού στους 15°C	0,507	0,583

Πίνακας 1.1: Φυσικές ιδιότητες LPG



Διάγραμμα 1.1: Διάγραμμα πίεσης- θερμοκρασίας

1.1.2. Χρήσεις και πλεονεκτήματα

Το υγραέριο στις μέρες μας είναι ευρέως γνωστό και οι χρήσεις του στην καθημερινή μας ζωή είναι πολλές. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον οικιακό τομέα, στην αυτοκίνηση, στα ξενοδοχεία και στα εστιατόρια καθώς και στην γεωργία και την συμπαραγωγή. Σε όλους αυτούς τους τομείς το υγραέριο προσφέρει πολλές ευκολίες και έχει πολλά πλεονεκτήματα.

Ξεκινώντας από τον οικιακό τομέα το υγραέριο καλύπτει όλες τις ενεργειακές ανάγκες ενός νοικοκυριού, όπως μαγείρεμα, παραγωγή ζεστού νερού, θέρμανση, ψύξη, συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Το υγραέριο, επίσης, προσφέρει στον καταναλωτή εύκολη, οικονομική και εντελώς αυτόνομη χρήση και συντήρηση της εγκατάστασης.

Επίσης χρησιμοποιείται στην αυτοκίνηση κάνοντας έτσι το αυτοκίνητο να κινείται με δύο καύσιμα. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ενός συστήματος υγραερίου παράλληλα σε αυτό της βενζίνης. Μέσω αυτής της μετατροπής ο οδηγός έχει μεγάλο κέρδος λόγω της χαμηλής τιμής του υγραερίου, μεγαλύτερη αυτονομία καθώς τώρα έχει δύο δεξαμενές με καύσιμα και τέλος προκαλεί λιγότερη ρύπανση στο περιβάλλον καθώς το υγραέριο είναι πιο φιλικό προς αυτό

Επιπλέον χρησιμοποιείται στα ξενοδοχεία και στα εστιατόρια καλύπτοντας και σε αυτό τον τομέα όλες τις ενεργειακές ανάγκες. Επίσης στη γεωργία και στην κτηνοτροφία για την παραγωγή τροφίμων.

Τέλος χρησιμοποιείται στη συμπαραγωγή, όπου λόγω των χαρακτηριστικών του, είναι εξαιρετικά κατάλληλο γι' αυτό τον κύκλο μετατροπής της ενέργειας, όπου η πρωτογενής ενέργεια, το υγραέριο, μπορεί να παράγει θερμότητα, ψύξη και ηλεκτρική ενέργεια, μειώνοντας τις απώλειες, τη μόλυνση του περιβάλλοντος και το κόστος. Η πολυπαραγωγή (σήμερα εφαρμόζεται ως επί το πλείστον στα θερμοκήπια) είναι η διαδικασία που δεν παράγει μόνο θερμότητα, ψύξη, ηλεκτρική ενέργεια, αλλά ανακτά τις εκπομπές του CO₂ που δημιουργούνται από την καύση του υγραερίου και τις επαναφέρει στο θερμοκήπιο για την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα του υγραερίου προς τον καταναλωτή καθώς και προς το περιβάλλον είναι τα εξής:

- **Χαμηλή τιμή:** Μισή τιμή σε σχέση με αυτή της βενζίνης και στα 2/3 σε σχέση με αυτή του πετρελαίου.
- **Ασφάλεια:** Σε όποιον τομέα και να χρησιμοποιηθεί, είναι απολύτως ασφαλές λόγω των προϊόντων που το περιέχουν.
- **Νόμιμο καύσιμο:** Είναι απολύτως νόμιμο για όλες τις χρήσεις που προανέφερα, βάση νόμων της Ευρωπαϊκής Ένωσης
- **Μη εκπομπή αιθάλης:** Με την καύση του δεν εκπέμπεται σχεδόν καθόλου αιθάλη (black carbon), η οποία προκαλεί πολλά προβλήματα στον άνθρωπο.
- **Λιγότερη εκπομπή CO₂:** Εκπέμπεται κατά 17% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα απ' ότι «βγάζει» το πετρέλαιο.

1.1.3. Βαθμός απόδοσης και θερμική ισχύς

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθώ στον βαθμό απόδοσης και την θερμική ισχύς του προπάνιου, του βουτανίου καθώς και το μίγμα αυτών των δύο σε σχέση με το πετρέλαιο. Με τον όρο βαθμό απόδοσης εννοούμε τον λόγο του καθαρού έργου προς τη προδιδόμενη θερμότητα, δηλαδή είναι ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας προς την καταναλισκόμενη.

Με τον όρο ισχύς αναφερόμαστε στο ρυθμό μεταβολής έργου ή αλλιώς το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται στη μονάδα του χρόνου. Πιο ειδικά ισχύς ορίζεται ως η ενέργεια στη μονάδα του χρόνου που προσδίδεται στο σύστημα από το περιβάλλον ή αντίστροφα. Έτσι λοιπόν θερμική ισχύς είναι η θερμότητα που προσδίδεται στη μονάδα του χρόνου.

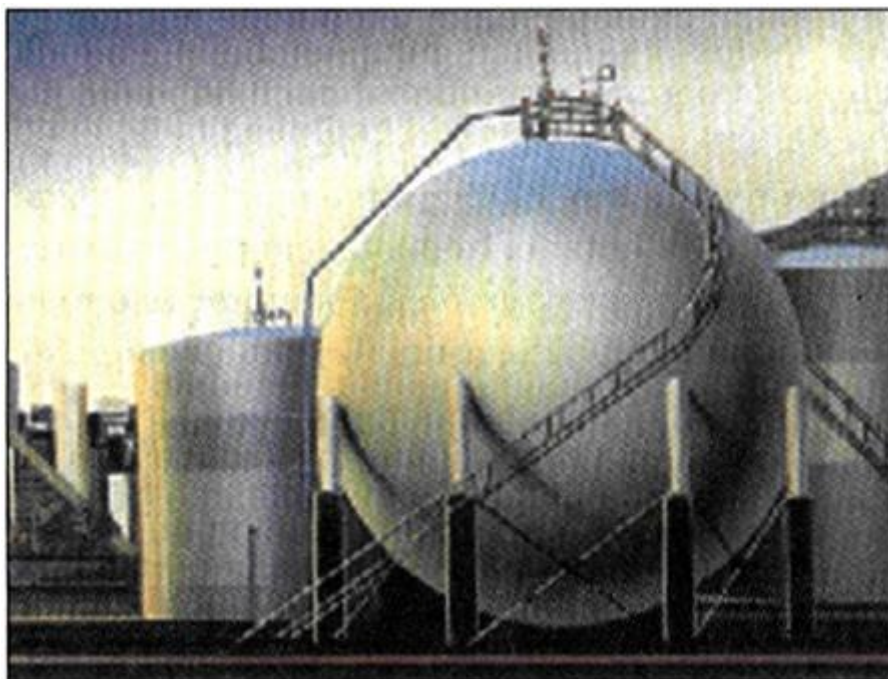
Έχοντας αναλύσει αυτούς τους δύο όρους μπορούμε να παρατηρήσουμε τον πίνακα 1.2 και να διαπιστώσουμε πως και τα συστατικά του υγραερίου καθώς και το ίδιο το μίγμα αυτών έχουν βαθμό απόδοσης κατά 15% μεγαλύτερο από αυτόν του πετρελαίου, το οποίο σημαίνει πως ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας προς την καταναλισκόμενη του υγραερίου είναι μεγαλύτερος από αυτόν του πετρελαίου. Κάτι το οποίο καθιστά το υγραέριο πιο αποδοτικό καύσιμο. Επιπλέον στον ίδιο πίνακα μπορούμε να διαπιστώσουμε πως η ωφέλιμη θερμική ισχύς του υγραερίου είναι περίπου 30% μεγαλύτερη από αυτή του πετρελαίου.

ΚΑΥΣΙΜΟ	ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (Kcal/kg)	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (%)	ΩΦΕΛΙΜΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kcal/kg)
ΠΡΟΠΑΝΙΟ	11.000	95	10.500
ΒΟΥΤΑΝΙΟ	10.900	95	10.350
ΜΙΓΜΑ	10.920	95	10.370
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	9.600	80	7.800

Πίνακας 2.2: Βαθμός απόδοσης

1.1.4. Αποθήκευση του LPG

Το υγραέριο στην Ελλάδα όπως προανέφερα παράγεται κατά κύριο λόγο από τα διυλιστήρια της χώρας μας. Μόλις παραχθεί και απομακρυνθούν από αυτό οι θειούχες ενώσεις οδηγείται στις σφαιρικές δεξαμενές για αποθήκευση οι οποίες είναι αυτές που παρουσιάζονται στην εικόνα 1.1.



Εικόνα 1.1: Δεξαμενή αποθήκευσης υγραερίου

Στη συνέχεια το υγραέριο για να μεταφερθεί από το διυλιστήριο στις βιομηχανίες, είτε στα σπίτια, είτε στα πρατήρια υγραερίου μεταφορτώνεται σε ειδικά βυτία τα οποία είναι σχεδιασμένα για μεταφορά μόνο του υγραερίου και παρουσιάζονται στην εικόνα 1.2.



Εικόνα 1.2: Βυτίο μεταφοράς υγραερίου

Τέλος το υγραέριο όταν φτάσει στον προορισμό του αποθηκεύεται στις δεξαμενές υγραερίου των οποίων οι χωρητικότητες ποικίλουν. Μπορεί να ξεκινάνε από 290lt και να φτάνουν μέχρι και πάνω από 30.000lt. Τέτοιου είδους πιεστικά δοχεία είναι αυτά που παρουσιάζονται στην εικόνα 1.3 και με τα οποία θα ασχοληθεί ο κύριος όγκος της διπλωματικής αυτής εργασίας.



Εικόνα 1.3: Δεξαμενές υγραερίου 290lt-30.000lt

1.2. Γενικά περί δεξαμενών υγραερίου (LPG)

1.2.1. Ορισμός των διαφόρων τύπων δεξαμενών υγραερίου

Όπως ανέφερα και στην προηγούμενη παράγραφο τα πιεστικά δοχεία αποθήκευσης υγραερίου ποικίλουν ανάλογα με την χρήση που θέλουμε να κάνουμε. Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσω όλα τα είδη δεξαμενών που υπάρχουν καθώς και κάποια χαρακτηριστικά τους.

1.2.1.1. Δεξαμενή διυλιστηρίου

Στην εικόνα 1.4 παρουσιάζεται μια δεξαμενή διυλιστηρίου η οποία χρησιμοποιείται για την αποθήκευση υγραερίου.



Εικόνα 1.4: Δεξαμενή διυλιστηρίου

1.2.1.2. Δεξαμενή έως 500lt κάθετη

Οι δεξαμενές αυτές είναι οι μικρότερες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για βιομηχανικούς αλλά και οικιακούς χώρους. Οι διαστάσεις τους είναι αρκετά μικρές και χρησιμοποιούνται κυρίως σε οικίες, εστιατόρια ή σε άλλους χώρους όπου δεν υπάρχει μεγάλη κατανάλωση καυσίμου. Πιστικά δοχεία σαν αυτά είναι αυτά που παρουσιάζονται στην εικόνα 1.5.



Εικόνα 1.5: Δεξαμενές έως 500lt

1.2.1.3. Φιάλη οικιακής χρήσης

Οι ευρέως πλέον γνωστές δεξαμενές είναι οι φιάλες οικιακής χρήσης. Τα δοχεία αυτά είναι είτε τριών, είτε δέκα, είτε δεκαπέντε, είτε είκοσι κιλών. Τέτοιου τύπου φιάλες υπάρχουν πλέον σχεδόν σε όλα τα σπίτια κυρίως για να καλύψουν τις ανάγκες του νοικοκυριού. Αυτές οι δεξαμενές παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.6: Φιάλες οικιακής χρήσης

1.2.1.4. Δεξαμενή αυτοκινήτου

Εν συνεχεία το υγραέριο δε θα μπορούσε να λείπει από το αυτοκίνητο, καθώς εδώ και αρκετά χρόνια έχει νομιμοποιηθεί και στην χώρα μας. Έτσι λοιπόν για την αποθήκευση του υγρού στο αυτοκίνητο έχουν δημιουργηθεί ειδικές δεξαμενές οι οποίες τοποθετούνται είτε στο χώρο της ρεζέρβας του αυτοκινήτου (είτε η ρεζέρβα είναι στο εσωτερικό του αυτοκινήτου είτε είναι κάτω από αυτό), είτε στον χώρο των αποσκευών του αυτοκινήτου (port baggage). Στις πρώτες εικόνες παρουσιάζονται οι δεξαμενές τύπου ρεζέρβας και στην επόμενη εικόνα οι κυλινδρικές δεξαμενές που τοποθετούνται στην καμπίνα των αποσκευών.



Εικόνα 1.7: Δεξαμενή ρεζέρβας εσωτερική



Εικόνα 1.8: Δεξαμενή ρεζέρβας εξωτερική



Εικόνα 1.9: Κυλινδρική δεξαμενή

1.2.1.5. Δεξαμενή 1000lt και άνω

Αυτού του τύπου οι δεξαμενές χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στις βιομηχανίες για θέρμανση ή για παραγωγή κάποιου προϊόντος καθώς και στα πρατήρια υγραερίου για ανεφοδιασμό των αυτοκινήτων. Χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στις υπόγειες και στις υπέργειες. Και στις δύο κατηγορίες οι διαστάσεις τους ποικίλουν ανάλογα με την χωρητικότητά τους. Με αυτές τις δεξαμενές θα ασχοληθεί το υπόλοιπο της εργασίας αυτής. Τέτοια πιεστικά δοχεία παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.10: Δεξαμενή υγραερίου μεγάλης χωρητικότητας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ

2.1. Βασικές απαιτήσεις ασφαλείας

Σε αυτή την ενότητα θα αναπτυχθούν οι βασικές απαιτήσεις ασφαλείας που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία περί κατασκευής πιεστικών δοχείων υπό πίεση μη εκτεθειμένων σε φλόγα.

- Ο εξοπλισμός σχεδιάζεται, δοκιμάζεται, εξοπλίζεται και εγκαθίσταται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια του όταν τίθεται σε λειτουργία σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
- Ο κατασκευαστής είναι υποχρεωμένος να εξαλείψει ή να μειώσει τους κινδύνους όσο αυτό είναι εφικτό
- Θα πρέπει να γίνει εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων προστασίας από τους αναπόφευκτους κινδύνους
- Οι χρήστες θα πρέπει να ενημερωθούν για τους παραμένοντες κινδύνους και εάν είναι δυνατόν να ληφθούν ειδικά μέτρα προς μείωση των κινδύνων κατά την εγκατάσταση και την χρήση
- Όταν ο κίνδυνος κακής χρήσης είναι γνωστός ή μπορεί ευχερώς να προβλεφθεί τότε ο εξοπλισμός υπό πίεση σχεδιάζεται κατά τρόπον ώστε να προλαμβάνεται ο κίνδυνος από την κακή αυτή χρήση ή αν αυτό είναι ανέφικτο παρέχεται κατάλληλη προειδοποίηση ότι ο εξοπλισμός αυτός δεν πρέπει να χρησιμοποιείται κατ' αυτόν τον τρόπο

2.2. Διαδικασία έγκρισης υλικών

Σε αυτή την ενότητα θα αναπτύξω συνοπτικά την διαδικασία κατά την οποία γίνεται η έγκριση των υλικών προς κατασκευή πιεστικών δοχείων μη εκτεθειμένων σε φλόγα. Ως ευρωπαϊκή έγκριση υλικών ορίζουμε το τεχνικό έγγραφο που καθορίζει τα χαρακτηριστικά των υλικών τα οποία προορίζονται για επανειλημμένη χρήση για την κατασκευή εξοπλισμών υπό πίεση και δεν υπάγονται σε εναρμονισμένο πρότυπο.

Η παραπάνω έγκριση χορηγείται αιτήσεις ενός ή περισσότερων κατασκευαστών υλικών ή εξοπλισμού από κοινοποιημένο οργανισμό (έχει οριστεί από τα κράτη μέλη για την εκτέλεση διαδικασιών σαν αυτή). Ο κοινοποιημένος οργανισμός καθορίζει και διενεργεί ή αναθέτει σε τρίτους τις εξετάσεις και δοκιμές που απαιτούνται για την πιστοποίηση της συμμόρφωσης των τύπων υλικού προς τις αντίστοιχες απαιτήσεις της νομοθεσίας.

Πριν χορηγήσει ευρωπαϊκή έγκριση υλικών, ο κοινοποιημένος οργανισμός ενημερώνει την επιτροπή και τα κράτη μέλη και τους κοινοποιεί τα σχετικά στοιχεία και η εν λόγω επιτροπή γνωμοδοτεί επειγόντως. Ο κοινοποιημένος οργανισμός, αφού ενδεχομένως

λάβει υπ' όψη τη γνώμη της ως άνω επιτροπής και τις υποβληθείσες παρατηρήσεις, χορηγεί την ευρωπαϊκή έγκριση υλικών.

Αντίγραφο αυτής της ευρωπαϊκής έγκρισης διαβιβάζεται στα κράτη μέλη, στους κοινοποιημένους οργανισμούς και στην επιτροπή. Η επιτροπή δημοσιεύει στην επίσημη εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, κατάλογο των ευρωπαϊκών εγκρίσεων υλικών για εξοπλισμό υπό πίεση και μεριμνά για την ενημέρωση του καταλόγου αυτού.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή δεξαμενών υγραερίου, σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές εγκρίσεις υλικών των οποίων τα στοιχεία δημοσιεύτηκαν στην επίσημη εφημερίδα των ευρωπαϊκών κοινοτήτων θεωρούνται σύμφωνα με τις βασικές απαιτήσεις που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο

Τέλος ο κοινοποιημένος οργανισμός που έχει χορηγήσει ευρωπαϊκή έγκριση υλικών ανακαλεί την έγκριση εφόσον διαπιστωθεί ότι αυτή δε θα έπρεπε να έχει χορηγηθεί ή εφόσον ο τύπος υλικού καλύπτεται από εναρμονισμένο πρότυπο. Ενημερώνει αμέσως σχετικά με αυτό το θέμα τα άλλα κράτη μέλη, τους κοινοποιημένους οργανισμούς και την επιτροπή.

2.3. Προδιαγραφές υλικών

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πιεστικών δοχείων μη εκτεθειμένων σε φλόγα πρέπει να τηρούν τις προδιαγραφές όπως αυτές αναφέρονται στο πρότυπο EN13445 καθώς και στην οδηγία 97/23/ΕΟΚ. Σε αυτή την ενότητα θα αναπτύξουμε τις προδιαγραφές που πρέπει να κατέχουν τα υλικά ώστε να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή πιεστικού δοχείου υπό πίεση. Τα υλικά αυτά πρέπει να είναι συμβατά με τα αναμενόμενα βήματα κατασκευής και να είναι κατάλληλα για να αντέξουν την πίεση που θα ασκείται από το εσωτερικό, όπου θα περιέχεται το υγραέριο, καθώς και από τις εξωτερικές αλλαγές του περιβάλλοντος. Επιπλέον πρέπει να λάβουμε υπόψιν τις συνθήκες λειτουργίας καθώς και τις μεταβατικές συνθήκες που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της κατασκευής, της μεταφοράς, του ελέγχου και της λειτουργίας. Τα υλικά αυτά θα πρέπει να καλύπτουν τις εξής απαιτήσεις:

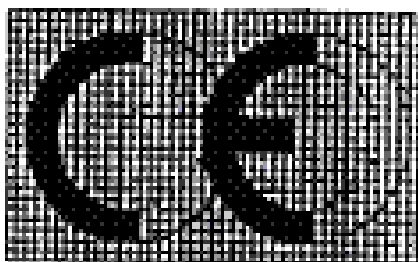
- Να έχουν δοκιμαστεί σε πιέσεις τουλάχιστον έως 23bar, καθώς το υγραέριο που περιλαμβάνουν μπορεί να αγγίξει και τα 10bar συνήθως σε περιπτώσεις ανεφοδιασμού του δοχείου.
- Να έχουν δοκιμαστεί σε θερμοκρασίες από -40°C έως 65°C
- Να παρουσιάζουν επαρκή χημική αντοχή έναντι του υγραερίου που θα περιέχουν
- Πρέπει να είναι κατάλληλα για συγκόλληση και μετά από αυτήν να δοκιμάζονται στις παραπάνω πιέσεις ώστε να ελεγχθεί η αντοχή τους
- Πρέπει να παραμένουν κατάλληλα καθ' όλη την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής τους, χωρίς να παρουσιάζουν σημαντικές αλλοιώσεις λόγω γήρανσης
- Να επιδέχονται τις προβλεπόμενες επεξεργασίες μεταποίησης
- Να επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην προκαλούνται σημαντικές αρνητικές επιδράσεις στην περίπτωση σύνδεσης διαφορετικών υλικών

2.4. Σήμανση «CE»

Η σήμανση «CE» συμβολίζει τη συμμόρφωση προς όλες τις υποχρεώσεις που επιβάλλονται στους κατασκευαστές για το προϊόν, δυνάμει των κοινοτικών διατάξεων που προβλέπουν την τοποθέτησή της. Όταν η σήμανση αυτή τοποθετείται σε προϊόντα, αποτελεί δήλωση του φυσικού ή νομικού προσώπου που την έχει τοποθετήσει ή είναι υπεύθυνο για την τοποθέτηση της ότι το προϊόν συμμορφώνεται προς όλες τις εφαρμοστέες απαιτήσεις και ότι έχουν ολοκληρωθεί επιτυχώς οι κατάλληλες διαδικασίες αξιολόγησης της συμμόρφωσης.

Συνοδεύεται από τον αριθμό αναγνώρισης που δίνει η επιτροπή. Τίθεται κατά τρόπο ευδιάκριτο, ευανάγνωστο και ανεξίτηλο. Η σήμανση «CE» δεν χρειάζεται να επιτίθεται σε κάθε μεμονωμένο εξοπλισμό υπό πίεση, αλλά σε κάθε συγκρότημα. Οι μεμονωμένοι εξοπλισμοί που ήδη φέρουν τη σήμανση κατά την ενσωμάτωσή τους στο συγκρότημα διατηρούν την εν λόγω σήμανση. Τα διάφορα στοιχεία της σήμανσης «CE» πρέπει να έχουν την ίδια κατακόρυφη διάσταση, που δε μπορεί να είναι μικρότερη από πέντε mm.

Απαγορεύεται η επίθεση επί του εξοπλισμού υπό πίεση και των συγκροτημάτων σημάνσεων που θα μπορούσαν να παραπλανήσουν τους τρίτους ως προς τη σημασία και τη γραφική απεικόνιση της σήμανσης. Επιτρέπεται η επίθεση οποιασδήποτε άλλης σήμανσης υπό τον όρο ότι δεν καθιστά λιγότερο ευδιάκριτη και δυσανάγνωστη τη σήμανση.



Εικόνα 2.1: Σήμανση «CE»

2.5. Επιλογή υλικών

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούν κάποια από τα υλικά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή δεξαμενής υγραερίου. Το πιο συνηθισμένο υλικό είναι ο χάλυβας ο οποίος έχει αρκετές υποκατηγορίες. Σε αυτή την εργασία θα αναφερθώ κυρίως στους λεπτόκοκκους χάλυβες (fine grain steel). Αυτοί χωρίζονται σε αρκετές κατηγορίες ανάλογα με το πάχος που μπορούν να έχουν, τα ποσοστά των συστατικών που περιλαμβάνουν καθώς και την αντοχή τους στις διάφορες πιέσεις.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να καλύπτουν κάποιες προδιαγραφές. Επίσης είναι σημαντικό να επιλεγεί κάποιο υλικό του οποίου τα τεχνικά χαρακτηριστικά να μην υπερβαίνουν κατά πολύ τις αντοχές που θέλουμε να καλύψουμε. Παραδείγματος χάριν οι δεξαμενές υγραερίου δεν λειτουργούν σε φυσιολογικές συνθήκες παραπάνω από 10bar, έτσι λοιπόν μπορούμε να επιλέξουμε κάποιο υλικό το οποίο να μπορεί να αντέξει μια πίεση της τάξης των 25bar. Σε περίπτωση επιλογής κάποιου υλικού το οποίο έχει χαρακτηριστικά τα οποία υπερβαίνουν κατά πολύ των πιέσεων που θα ασκηθούν στην δεξαμενή τότε αυξάνουμε σίγουρα το βάρος του δοχείου καθώς και το κόστος των υλικών χωρίς να υπάρχει κάποιος λόγος.

Τα υλικά λοιπόν τα οποία είναι πιο κατάλληλα και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις μιας τέτοιας κατασκευής είναι οι χάλυβες βαθμού P355. Τα οποία μπορούμε να τα δούμε σε διάφορες μορφές όπως P355NH, P355NL1 και P355NL2. Και οι τρεις αυτοί χάλυβες είναι παρόμοιοι μεταξύ τους αλλά έχουν κάποιες διαφορές. Όλοι έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα, πυρίτιο, μαγγάνιο, φώσφορο και θείο. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η περιεκτικότητα του κάθε υλικού από τα παραπάνω συστατικά.

Βαθμός χάλυβα	% κατά μάζα				
Όνομα	Άνθρακας (C) max	Πυρίτιο (Si) max	Μαγγάνιο (Mn)	Φώσφορος (P) max	Θείο (S) max
P355NH	0,18	0,50	1,1-1,7	0,025	0,015
P355NL1	0,18	0,50	1,1-1,7	0,025	0,015
P355NL2	0,18	0,50	1,1-1,7	0,020	0,010

Πίνακας 3.1: Σύσταση υλικών

2.5.1. Χάλυβας P355NH

Ο χάλυβας αυτός όπως φαίνεται στον πίνακα της προηγούμενης παραγράφου αποτελείται από 0,18% άνθρακα, 0,50% πυρίτιο, περίπου 1,3% μαγγάνιο, 0,025% φώσφορο και 0,015% θείο. Επιπλέον περιέχει όπως και οι άλλοι χάλυβες κάποια επιπλέον στοιχεία όπως παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Αργίλιο (Al) max	Άζωτο (N) max	Χρώμιο (Cr) max	Χαλκός (Cu) max	Μολυβδαίνιο (Mo) max
0,020	0,012	0,30	0,30	0,08
Νιόβιο (Nb) max	Νικέλιο (Ni) max	Τιτάνιο (Ti) max	Βανάδιο (V) max	Nb+Ti+V max
0,05	0,50	0,03	0,10	0,12

Πίνακας 2.2: Επιπλέον στοιχεία

Ο χάλυβας αυτός όταν παράγεται έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Πάχος από 6mm έως 200mm
- Πλάτος έως 3m
- Μήκος έως 12m
- Κατάλληλος για συγκόλληση

Στη συνέχεια αξίζει να ορίσουμε το CEV (carbon equivalent value), το οποίο μας δείχνει την περιεκτικότητα σε άνθρακα και χρησιμοποιείται σε σιδηρούχα υλικά, ειδικότερα σε χάλυβα και χυτοσίδηρο, για τον προσδιορισμό των διαφόρων ιδιοτήτων του κράματος. Η ιδέα είναι να μετατρέψει το ποσοστό των στοιχείων του κράματος, εκτός από άνθρακα σε ποσοστό ισοδύναμου άνθρακα, επειδή οι φάσεις σιδήρου άνθρακα είναι πιο κατανοητές από τις άλλες φάσεις του σιδήρου κράματος. Συνηθέστερα η έννοια αυτή χρησιμοποιείται στη συγκόλληση αλλά και στην θερμική επεξεργασία. Ο τύπος υπολογισμού είναι ο ακόλουθος:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

2.5.2. Χάλυβας P355NL1

Το υλικό P355NL1 είναι απολύτως συμβατό για κατασκευή πιεστικών δοχείων μη εκτεθειμένων σε φλόγα. Έχει την ίδια περιεκτικότητα σε στοιχεία όπως και το προηγούμενο υλικό και επίσης είναι απολύτως κατάλληλο για δοχεία που περιέχουν ρευστό σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Επιπλέον είναι κατάλληλο για συγκολλήσεις. Το υλικό αυτό παράγεται σε λαμαρίνες πάχους έως 200mm, μήκος έως 15m και πλάτος έως 3m. Οι λαμαρίνες αυτές παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.2: Λαμαρίνα P355NL1

2.5.3. Χάλυβας P355NL2

Το υλικό P355NL2 είναι το πιο ανεκτικό σε πιέσεις σε σχέση με τα δύο άλλα υλικά που προαναφέρθηκαν (P355NH, P355NL1). Αντέχει περίπου διπλάσιες πιέσεις σε ίδια χαρακτηριστικά λαμαρίνας. Είναι κατάλληλο για δεξαμενές που περικλείουν ρευστό σε χαμηλές θερμοκρασίες (αντοχή έως -50°C). Το μέγιστο μήκος της λαμαρίνας είναι 12m με πλάτος έως 3m και πάχος έως 200mm. Το υλικό αυτό όπως φαίνεται και στον πίνακα 2.1 έχει ίδια περιεκτικότητα σε στοιχεία με τα δύο προηγούμενα υλικά αλλά έχει μικρότερη περιεκτικότητα σε φωσφόρο και θείο.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διαφορές που εμφανίζονται μεταξύ των δύο τελευταίων υλικών όπου θα παρατηρήσουμε πώς ενεργειακά διαφέρουν.

Βαθμός χάλυβα	-50°C	-20°C	0°C	$+20^{\circ}\text{C}$
P355NL1	17J	35J	50J	60J
P355NL2	27J	40J	60J	70J

Πίνακας 2.3: Ενεργειακή απεικόνιση



Εικόνα 2.3: Λαμαρίνα τύπου P355NL2

2.6. Αντοχή υλικών

Τα βασικά χαρακτηριστικά των παραπάνω υλικών όσον αφορά την αντοχή τους είναι τα ακόλουθα:

- Έχουν όριο θραύσης 355N/mm^2
- Μέτρο ελαστικότητας από $184\text{-}212\text{ KN/mm}^2$ ανάλογα με την θερμοκρασία
- Η θερμική αγωγιμότητα στους 20°C είναι $48,0\text{W/m}^\circ\text{K}$
- Η θερμοχωρητικότητα στους 20°C είναι $461\text{J/Kg}^\circ\text{K}$
- Η πυκνότητα στους 20°C είναι $7,82\text{kg/dm}^3$

Αυτά είναι τα βασικά χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πιεστικών δοχείων για αποθήκευση υγραερίου. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά για την αντοχή των υλικών χρησιμοποιούνται στο κεφάλαιο 4 και εισάγονται στο creo ως material με σκοπό να προσομοιώσουμε τις δυνάμεις που ασκούνται από το υγραέριο στο πιεστικό δοχείο.

2.7. Χαρακτηριστικά των βασικών στοιχείων των υλικών

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούν τα χαρακτηριστικά (σημείο βρασμού, σημείο τήξης και κατηγορία) των βασικών στοιχείων που περιέχουν τα παραπάνω υλικά που προανέφερα.

	Σημείο Βρασμού (°C)	Σημείο Τήξης (°C)	Κατηγορία
Άνθρακας (C)	4.827	3.527	Αμέταλλα
Πυρίτιο (Si)	3.265	1.414	Μεταλλοειδή
Μαγγάνιο (Mn)	1.962	1.245	Στοιχεία Μετάπτωσης
Φώσφορος (F)	280,5	44,2	Αμέταλλα
Θείο (S)	444,6	115,21	Αμέταλλα
Αργίλιο (Al)	2.519	660,32	Μέταλλα
Άζωτο (N)	-195,79	-209,86	Αμέταλλα
Χρώμιο (Cr)	2.671	1.907	Μέταλλα
Χαλκός (Cu)	2.567	1084,6	Στοιχεία Μετάπτωσης
Μολυβδαίνιο (Mo)	4.639	2.623	Στοιχεία Μετάπτωσης
Νιόβιο (Nb)	4.744	2.477	Στοιχεία Μετάπτωσης
Νικέλιο (Ni)	2.732	1.453	Μέταλλα
Τιτάνιο (Ti)	3.287	1.668	Στοιχεία Μετάπτωσης
Βανάδιο (V)	3.407	1.910	Μέταλλα

Τα **μέταλλα** είναι μία μεγάλη κατηγορία χημικών στοιχείων που εμφανίζουν ορισμένες κοινές ιδιότητες, όπως είναι η λάμψη, η υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα, η δυνατότητα σχηματισμού ελασμάτων και συρμάτων. Τα περισσότερα από αυτά, έχουν μεγάλη πυκνότητα και είναι σκληρά και ανθεκτικά. Διακρίνονται από τα αμέταλλα τόσο από τις φυσικές, όσο και από τις χημικές τους ιδιότητες. Όλα τα παραπάνω μέταλλα που χρησιμοποιούνται είναι στερεά σε θερμοκρασία 20°C.

Ο όρος **μεταλλοειδή** αφορά χαρακτηρισμό χημικών στοιχείων, που άλλοτε συμπεριφέρονται ως μέταλλα και άλλοτε ως αμέταλλα. Σε ορισμένες περιπτώσεις χημικών στοιχείων είναι δύσκολη η κατάταξή τους σε μέταλλα ή αμέταλλα. Υπάρχουν δηλαδή στοιχεία που μοιάζουν με μέταλλα με κάποιες όμως διαφοροποιήσεις των βασικών χαρακτηριστικών τους όπως π.χ. θρυμματίζονται εύκολα και παρουσιάζονται ως κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού.

Μαζί με τα μέταλλα και τα μεταλλοειδή, τα **αμέταλλα** αποτελούν την Τρίτη βασική κατηγορία των χημικών στοιχείων. Στη κατηγορία αυτή ανήκουν γενικά όλα εκείνα τα στοιχεία που δεν παρουσιάζουν τις ιδιότητες μετάλλων. Αυτά διακρίνονται ανάλογα με τον ιονισμό και τους τύπος των χημικών δεσμών που σχηματίζουν. Αυτές οι ιδιότητες προέρχονται από το γεγονός ότι τα αμέταλλα είναι ιδιαίτερα ηλεκτραρνητικά, δηλαδή κερδίζουν ηλεκτρόνια σθένους από άλλα άτομα ευκολότερα από ότι δίνουν. Σε θερμοκρασία 20°C άλλα είναι στερεά και άλλα αέρια. Τα στερεά όπως το θείο που χρησιμοποιείται για την σύνθεση των ανωτέρω υλικών είναι εύθραυστα και έχουν μικρή πυκνότητα. Επίσης είναι κακοί αγωγοί θερμότητας και ηλεκτρισμού.

Στοιχεία μετάπτωσης ονομάζονται όλα τα χημικά στοιχεία που βρίσκονται μεταξύ των ομάδων II και III και ανήκουν στον τομέα d του περιοδικού πίνακα. Η ονομασία τους οφείλεται στο γεγονός ότι τα άτομα των στοιχείων αυτών διαθέτουν ηλεκτρόνια σθένους σε περισσότερες από μία ενεργειακές στοιβάδες.

Όλα τα προηγούμενα παρουσιάζονται στον περιοδικό πίνακα που ακολουθεί:

Π.Ο.Ε. Περιοδικός πίνακας																				[απόκρυψη]											
H																			He												
Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne								
Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar								
K	Ca															Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr															Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo
Αλκαλικά μέταλλα		Αλκαλικές γαίες			Λανθανίδες			Ακτινίδες		Στοιχεία μετάπτωσης		Άλλα μέταλλα		Μεταλλοειδή		Άλλα αμέταλλα		Αλογόνα		Ευγενή Αέρια											

2.8. Συμπεράσματα

Κλείνοντας αυτό το κεφάλαιο είναι απαραίτητο να αναφερθούν κάποια συμπεράσματα σχετικά με όσα αναφέρθηκαν. Ξεκινώντας με τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για τέτοιου είδους κατασκευές συμπεραίνουμε πως είναι παρόμοια μεταξύ τους τόσο στα χημικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους, όσο και ως προς τις αντοχές τους και των μεγεθών που παράγονται.

Επιπλέον τα υλικά αυτά έχουν δοκιμαστεί σε θερμοκρασίες και πιέσεις υπέρ τριπλάσιες από αυτές που αναπτύσσονται λόγω του υγραερίου, έτσι είναι αδύνατον να προκληθεί κάποια βλάβη στη δεξαμενή εφόσον έχουν τηρηθεί όλα τα μέτρα ασφαλείας και εφόσον το πιεστικό δοχείο λειτουργεί υπό φυσιολογικές συνθήκες.

Ακόμη η σύσταση των υλικών αποτελείται και από μέταλλα και από αμέταλλα αλλά και από στοιχεία μετάπτωσης. Τέλος τα βασικά στοιχεία που τα αποτελούν είναι κατά κύριο λόγο κακοί αγωγοί θερμότητας και ηλεκτρισμού.

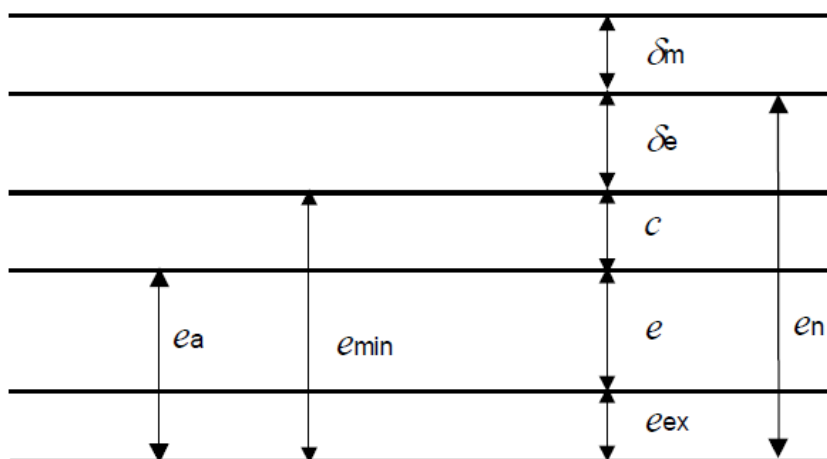
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ

Αυτό το κεφάλαιο είναι το πιο βασικό της διπλωματικής αυτής καθώς σε αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά ο σχεδιασμός της μεταλλικής δεξαμενής. Στο μέρος αυτό αναλύονται οι δυνάμεις που ασκεί το ρευστό στα τοιχώματα της δεξαμενής, οι δυνάμεις που δέχονται τα ποδαρικά καθώς και οι δυνάμεις που ασκούνται στους γάντζους της δεξαμενής κατά τη μεταφορά. Επιπλέον αναπτύσσονται τύποι για τον υπολογισμό του απαιτούμενου πάχους της δεξαμενής. Τέλος αναφέρομαι και στις συγκολλήσεις που πρέπει να γίνουν για την κατασκευή αυτού του πιεστικού δοχείου.

3.1. Προφυλάξεις από διάβρωση υλικού

3.1.1. Πάχος υλικού

Όπως ανέφερα και στο προηγούμενο κεφάλαιο πολύ σημαντικό ρόλο στην κατασκευή της δεξαμενής παίζει το πάχος του υλικού που θα χρησιμοποιήσουμε. Το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί μπορεί να υποστεί διάβρωση είτε από το εσωτερικό ρευστό (υγραέριο), είτε από το περιβάλλον (χώμα εάν η δεξαμενή είναι υπόγεια ή από την ατμόσφαιρα εάν η δεξαμενή είναι υπέργεια). Έτσι λοιπόν πρέπει να υπάρχει ένα επιπρόσθετο πάχος για να αντέξει η δεξαμενή σε αυτές τις συνθήκες. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ των διάφορων ορισμών του πάχους.



Διάγραμμα 3.1: Σχέση των ορισμών του πάχους

e : απαιτούμενο πάχος

e_n : ονομαστικό πάχος

e_{min} : το ελάχιστο δυνατό πάχος κατασκευής ($e_{min} = e_n - \delta_e$)

e_a: το πάχος ανάλυσης

C: ανοχή σε διάβρωση

δ_e: η απόλυτη τιμή της πιθανής αρνητικής ανοχής στο ονομαστικό πάχος

δ_m: προσθήκη για πιθανή αραίωση κατά τη διάρκεια κατασκευής

e_{ex}: το επιπλέον πάχος για να αναπληρωθεί το ονομαστικό πάχος

Το απαιτούμενο πάχος της δεξαμενής υπολογίζεται από τον τύπο:

$$e = \frac{P * Di}{2 * f * z - P}$$

Όπου P είναι η στατική και δυναμική πίεση, Di είναι η εσωτερική διάμετρος της δεξαμενής, f η ονομαστική πίεση σχεδιασμού και z ονομάζεται ο κοινός συντελεστής ο οποίος για κάθε δύναμη που δοκιμάζεται σε ένα σώμα έχει μία σταθερή τιμή.

3.1.2. Επενδύσεις και επικαλύψεις

Εκτός από τις προφυλάξεις που πρέπει να πάρουμε σχετικά με το πάχος του υλικού θα πρέπει επίσης να καλύψουμε το υλικό με ειδικές αντιδιαβρωτικές επικαλύψεις. Οι επενδύσεις αυτές θα πρέπει να είναι εντελώς αδιαπέραστες, αρκετά παχιές και τα στρώματα να είναι χημικώς σταθερά με μέση διάρκεια ζωής που να μην είναι μικρότερη από εκείνη του πιεστικού δοχείου. Λεπτές στρώσεις και επιχρίσματα τα οποία είναι γνωστό ότι πρέπει να ανανεωθούν κατά τη διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων του δοχείου δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται. Για τις πλαστικές επιστρώσεις η καταλληλότητα θα πρέπει να αιτιολογείται λαμβάνοντας υπόψιν μεταξύ άλλων παραγόντων και τον κίνδυνο διάχυσης.

Τα δοχεία μπορεί να είναι είτε μερικώς, είτε πλήρως επενδυμένα με ανθεκτικό και αντιδιαβρωτικό υλικό. Για την επένδυση που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν τα ακόλουθα:

- Επαρκή πλαστικότητα (ολκιμότητα) της επένδυσης για να μπορεί να τοποθετηθεί οτιδήποτε στο δοχείο κατά τη διάρκεια επισκευής, ελέγχου ή σήμανσης αυτού.
- Για μη μεταλλικά υλικά απαιτείται το φινίρισμα του βασικού υλικού.

3.2. Δυνάμεις

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούν οι διάφορες πιέσεις που μπορεί να ασκηθούν στη δεξαμενή και οι οποίες είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψιν κατά την κατασκευή του πιεστικού δοχείου.

- Εσωτερική πίεση (λόγω του υγραερίου) και εξωτερική πίεση (λόγω του περιβάλλοντος)
- Το βάρος του δοχείου
- Το μέγιστο βάρος του περιεχόμενου ρευστού υπό συνθήκες λειτουργίας
- Το βάρος του νερού υπό συνθήκες των υδραυλικών δοκιμών
- Τη πίεση σε περίπτωση σεισμού (κυρίως αν η δεξαμενή είναι υπόγεια)
- Τις πιέσεις που ασκούνται κατά την μεταφορά και την εγκατάσταση του δοχείου
- Καταπονήσεις που προέρχονται από προεξοχές στήριξης ή από την σύνδεση των σωληνώσεων
- Καταπονήσεις που προκαλούνται από τις διάφορες θερμοκρασιακές μεταβολές καθώς και από τις διαφορές στους συντελεστές της θερμικής διαστολής

Η πίεση που ασκείται στην περιφέρεια της δεξαμενής συμβολίζεται P_y και υπολογίζεται:

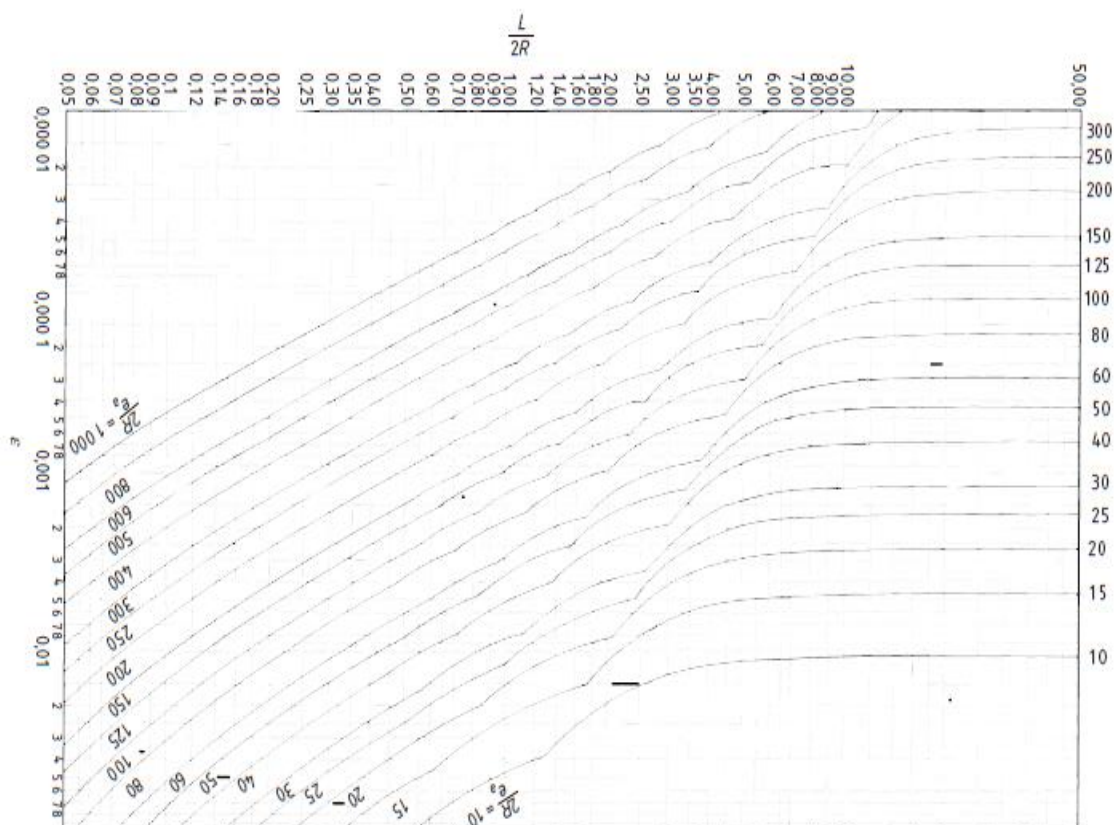
$$P_y = \frac{\sigma_e * e a}{R}$$

όπου σ_e είναι το ονομαστικό ελαστικό όριο και R είναι η ακτίνα του κυλίνδρου της δεξαμενής.

Η θεωρητική ελαστική πίεση αστάθειας P_m υπολογίζεται ως:

$$P_m = \frac{E * e a * \varepsilon}{R}$$

όπου E είναι το μέτρο ελαστικότητας του υλικού σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία και ε είναι η μέση τροποποιημένη ελαστικότητα ενός στελέχους και μπορεί να βρεθεί από το παρακάτω διάγραμμα:



3.2.1. Δυνάμεις στο εσωτερικό της δεξαμενής

Για να υπολογίσουμε θεωρητικά τη δύναμη που ασκεί το υγραέριο στα τοιχώματα της δεξαμενής θα πρέπει αρχικά να ελέγξουμε κάποιες προϋποθέσεις, οι οποίες στα συγκεκριμένα πιεστικά δοχεία ισχύουν. Ξεκινώντας με το κυλινδρικό κομμάτι της δεξαμενής, αρχικά θα πρέπει το πάχος του τοιχώματος να είναι πολύ μικρότερο από την ακτίνα του κυλινδρικού μέρους της δεξαμενής. Επίσης να υπάρχει συμμετρία και τέλος θεωρούμε πως το υγραέριο ασκεί ομοιόμορφη πίεση στα τοιχώματα.

Οι ορθές διαμήκεις δυνάμεις που ασκούνται στο μήκος του κυλινδρικού δοχείου είναι $\sigma_{xx} \cdot (2 \cdot \pi \cdot R \cdot t)$ και η εσωτερική πίεση ασκεί δύναμη μέτρου $p \cdot (\pi \cdot R^2)$. Εξισώνοντας τις δύο αυτές δυνάμεις προκύπτει ότι: $\sigma_{xx} = \frac{p \cdot R}{2 \cdot t}$, όπου p η πίεση που ασκεί το υγραέριο ή η πίεση δοκιμής, R είναι η εσωτερική ακτίνα του κυλίνδρου και t είναι το πάχος του τοιχώματος.

Ομοίως με πριν προκύπτει και η εφαπτομένη δύναμη στον κύλινδρο η οποία υπολογίζεται ως $\sigma_{\theta\theta} = \frac{p \cdot R}{t}$.

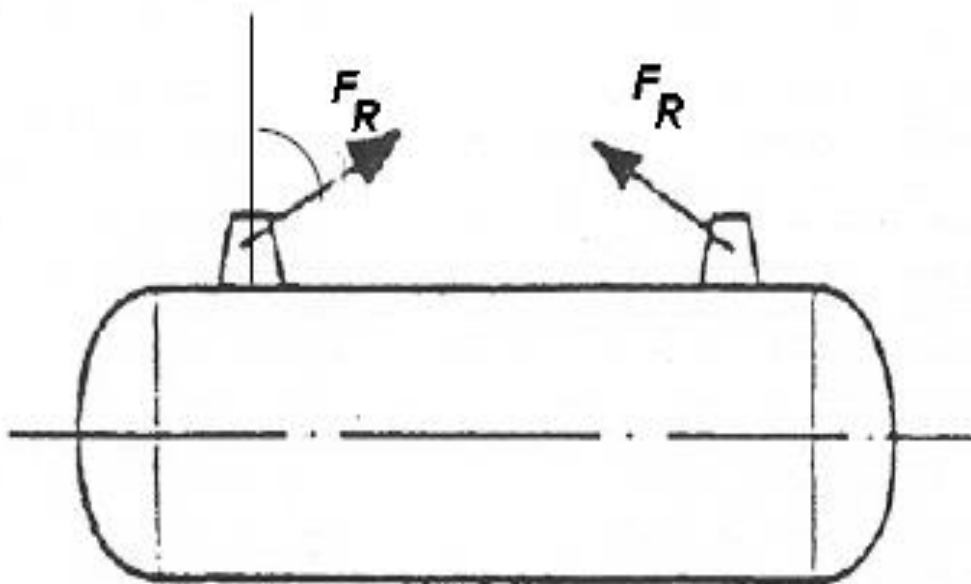
3.2.2. Δυνάμεις κατά την φόρτωση και εκφόρτωση της δεξαμενής

Η δεξαμενή στο πάνω μέρος του κυλινδρικού τομέα έχει δύο γάντζους με σκοπό την μεταφορά της. Μέσω αυτών των γάντζων περνάνε ιμάντες και με την βοήθεια κάποιου γερανού σηκώνεται η δεξαμενή. Έτσι ασκείται μία πίεση στους γάντζους η οποία ονομάζεται F_R και υπολογίζεται ως:

$$F_R = \frac{\sigma_{b,all} * e a^2}{K13 * |\cos\beta| + K14 * |(\alpha2 * \sin\beta - \alpha1 * \cos\beta)| / b1}$$

Όπου:

- $\sigma_{b,all}$ είναι το όριο κάμψης
- $K13$ και $K14$ είναι σταθερές
- β είναι η γωνία που σχηματίζει ο κάθετος στην δεξαμενή άξονας και η κατεύθυνση της δύναμης F_R
- $\alpha1$ είναι η εκκεντρότητα του φορτίου
- $\alpha2$ είναι η απόσταση από το βαρύκεντρο του γάντζου έως το μέγιστο μέρος του κυλινδρικού μέρους της δεξαμενής
- $b1$ είναι το μήκος του γάντζου



Εικόνα 3.1: Δυνάμεις κατά την φόρτωση και την εκφόρτωση

3.2.3. Δυνάμεις στα ποδαρικά της δεξαμενής

Κάθε δεξαμενή υγραερίου έχει δύο ή τέσσερα ποδαρικά αναλόγως την κατασκευή τα οποία χρησιμεύουν στην ορθή στήριξη του πιεστικού δοχείου. Όταν μία δεξαμενή έχει τέσσερα ποδαρικά τότε αυτά τοποθετούνται συμμετρικά ως προς δύο άξονες και βρίσκονται στις δύο άκρες του κυλινδρικού μέρους. Όταν το πιεστικό δοχείο αποτελείται από δύο ποδαρικά τότε αυτά είναι συμμετρικά ως προς ένα άξονα και όμοια με πριν τοποθετούνται στις δύο άκρες του κυλίνδρου.

Στα ποδαρικά αυτά ασκούνται δυνάμεις από την ίδια την δεξαμενή (καλούπι δεξαμενής και υγραέριο), καθώς και από το έδαφος στο οποίο ακουμπάει η δεξαμενή. Τα ποδαρικά αυτά συγκολλούνται πάνω στην δεξαμενή. Έτσι λοιπόν οι δυνάμεις που ασκούνται είναι δυνάμεις δράσης αντίδρασης και μπορούν να προκαλέσουν θλίψη στα ποδαρικά εάν αυτά δεν είναι αρκετά στιβαρά.

Το βάρος της δεξαμενής υπολογίζεται ως $W = m * g$, όπου m είναι η μάζα της δεξαμενής καθώς και του υγρού που υπάρχει εντός της δεξαμενής και g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και είναι περίπου ίση με $9,832 \text{ m/s}^2$. Στη συνέχεια λόγω της δράσης αντίδρασης το έδαφος ασκεί το ίδιο μέτρο της δύναμης στα ποδαρικά με την αντίθετη κατεύθυνση.

3.3. Ταξινόμηση των φορτίων ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας

Σε αυτή την παράγραφο θα οριστούν οι δυνάμεις που ασκούνται στη δεξαμενή ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας. Δηλαδή κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας της, κατά τη διάρκεια ελέγχου και σε περιπτώσεις που είναι πολύ δύσκολο να συμβούν (εξαιρέσεις).

3.3.1. Φορτία στην κανονική λειτουργία του πιεστικού δοχείου

Τα φορτία αυτά που θα αναφερθούν σε αυτή την ενότητα είναι εκείνα που δρουν στο πιεστικό δοχείο κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας συμπεριλαμβανομένου την εκκίνηση (έναρξη χρήσης της δεξαμενής) και τον τερματισμό. Για αυτές λοιπόν τις κανονικές συνθήκες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι παράμετροι υπολογισμού.

- Η πίεση P η οποία περιλαμβάνει τη στατική και δυναμική πίεση κατά περίπτωση και θα πρέπει να βασίζεται στη μέγιστη δυνατή διαφορική πίεση σε απόλυτη τιμή μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού του δοχείου.
- Η ονομαστική πίεση σχεδιασμού $f=f_d$. Οι μέγιστες αυτές τιμές καθώς και το φορτίο δοκιμής πρέπει να καθορίζονται από τις ιδιότητες των υλικών. Για όλα τα υλικά που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο η ονομαστική πίεση σχεδιασμού ορίζεται με τον ακόλουθο τύπο: $f d = \min\left\{\frac{R_p/T}{1.5}; \frac{R_m/T_o}{2.4}\right\}$ όπου $se = R_p/T$ είναι η ιδιότητα των υλικών που ορίζεται ως η τάση στην οποία ένα υλικό αρχίζει να παραμορφώνεται πλαστικά (Yield strength) σε μία θερμοκρασία T . Και R_m/T_o είναι η ελάχιστη αντοχή σε εφελκυσμό σε θερμοκρασία 20°C .
- Το πάχος e_a όπως αυτό ορίστηκε στην παράγραφο 3.1.1. και υπολογίζεται: $e_a = e_{min} - C$.

3.3.2. Φορτία σε ασυνήθιστες περιπτώσεις λειτουργίας

Τέτοιες περιπτώσεις αντιστοιχούν σε γεγονότα που είναι πολύ δύσκολο να συμβούν και απαιτείται η διακοπή λειτουργίας του πιεστικού δοχείου όπως για παράδειγμα η απότομη αύξηση της πίεσης του δοχείου. Όμοια με πριν θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιοι παράμετροι υπολογισμού. Πρέπει πάλι να υπολογιστεί η πίεση P , όπως και η ονομαστική πίεση σχεδιασμού f_{exp} .

3.3.3. Φορτία σε συνθήκες ελέγχου

Ο έλεγχος ορίζεται από το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN13445 για την κατασκευή του πιεστικού δοχείου και έπειτα από τον κατασκευαστή για επαναλαμβανόμενες δοκιμές κατά τη διάρκεια ζωής του πιεστικού δοχείου. Για την παράγραφο αυτή θα γίνει μεγαλύτερη αναφορά στο πέμπτο μέρος της εργασίας αυτής. Για τον έλεγχο του δοχείου θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι παράμετροι υπολογισμού.

- Η πίεση δοκιμής P_{test}
- Η ονομαστική πίεση σχεδιασμού f_{test} υπολογίζεται ως $f_{test} = \frac{R_p/T_{test}}{1.05}$. όπου R_p/T_{test} είναι η πλαστική παραμόρφωση του υλικού ως προς μια θερμοκρασία ελέγχου.
- Για το πάχος του υλικού ισχύει ότι $e_a = e_{min}$

3.4. Διαδικασία κατασκευής πιεστικού δοχείου

Σε αυτή την ενότητα θα αναλύσω πως γίνεται η κατασκευή του πιεστικού δοχείου από την αρχή μέχρι το τέλος. Καθώς επίσης τα μηχανήματα τα οποία χρειάζονται, τις συγκολλήσεις που γίνονται και τις διαδικασίες συγκόλλησης που ακολουθούνται.

Αρχικά όπως ανέφερα στο δεύτερο κεφάλαιο τα φύλλα λαμαρίνας που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της δεξαμενής είναι φύλλα χάλυβα p355. Το κάθε φύλλο μπορεί να έχει μέγιστο πλάτος 3m και μία πολύ σημαντική ιδιότητα αυτού του χάλυβα είναι ότι είναι ένα υλικό κατάλληλο για κρυογενική αποθήκευση. Αυτό σημαίνει πως αυτό το υλικό μπορεί να αντέξει θερμοκρασίες πολύ χαμηλότερες του μηδενός, απαραίτητο άλλωστε καθώς το υγραέριο σε συνθήκες πίεσης 1,5 με 2 bar είναι υγροποιημένο στους -20°C (η θερμοκρασία βρασμού καθαρού προπανίου είναι -42°C). Τα φύλλα της λαμαρίνας αυτής παράγονται σε επίπεδα κομμάτια διαφόρων διαστάσεων.

Η πρώτη επεξεργασία που γίνεται στα φύλλα της λαμαρίνας είναι το κυλινδράρισμά της. Αυτή η διαδικασία γίνεται με ένα ειδικό μηχάνημα που αποτελείται από τρεις κυλίνδρους και μπορεί να είναι είτε αυτόματο είτε χειροκίνητο όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η λειτουργία αυτού του μηχανήματος είναι η εξής, εισέρχεται η λαμαρίνα από τον πρώτο κύλινδρο-ράουλο και περνώντας από κάτω από το μεσαίο ράουλο, εξέρχεται από το τελευταίο. Τα δύο ακριανά ράουλα είναι για τη στήριξη της λαμαρίνας ενώ το μεσαίο μετακινείται και κυλινδράρει το φύλλο. Η βασική διαφορά τέτοιων μηχανημάτων είναι ο χειρισμός τους, καθώς άλλα είναι αυτόματα και άλλα χειροκίνητα. Τα αυτόματα μηχανήματα μπορούν να κυλινδράρουν ένα φύλλο λαμαρίνας σε μόλις είκοσι λεπτά και να είναι απολύτως βιομηχανική δουλειά, ενώ ένα χειροκίνητο μηχάνημα κάνει την ίδια εργασία σε 8 ώρες και είναι απολύτως απαραίτητη η παρουσία ενός έμπειρου χειριστή.



Εικόνα 3.2: Μηχάνημα κυλινδράρισματος

Στην συνέχεια και αφού τελειώσει το κυλινδράρισμα όλων των φύλλων που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της δεξαμενής γίνεται η διαδικασία της λοξοτομής. Κατά τη διαδικασία αυτή κάθε σχηματισμένος κύλινδρος κόβεται στις ακμές του λοξά και δημιουργείται ο κύλινδρος. Αυτή η διαδικασία γίνεται με σκοπό όταν ενωθούν τα δύο φύλλα λαμαρίνας να έχει δημιουργηθεί ένα διάκενο ώστε η εσωτερική συγκόλληση να γίνει ενιαία με την εξωτερική. Με την διαδικασία αυτή καταφέρνουμε την μη ύπαρξη ασυνέχειας υλικού.

Έπειτα από την ολοκλήρωση της λοξοτομής συγκολλούνται τα φύλλα της λαμαρίνας πρώτα εσωτερικά χειροκίνητα με τη μέθοδο TIG. Το εξωτερικό μέρος συγκολλείται αυτόματα με μηχανή συγκόλλησης η οποία παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Αυτά τα μηχανήματα έχουν την δυνατότητα κίνησης και στον κάθετο και στον οριζόντιο άξονα, καθώς επίσης έχουν και τη δυνατότητα περιστροφής. Η συγκόλληση γίνεται ως εξής: τα φύλλα της λαμαρίνας αφού έχουν συγκολληθεί εσωτερικά, τοποθετούνται πάνω στα ράουλα στήριξης τα οποία περιστρέφονται και καθώς η μπούμα είναι σταθερή ρίχνει το σύρμα και αρχίζει η συγκόλληση. Όταν θέλουμε να κολλήσουμε το οριζόντιο τμήμα των φύλλων τότε τα ράουλα παραμένουν σταθερά και η μπούμα κινούμενη στον οριζόντιο άξονα κάνει την συγκόλληση. Η διαδικασία αυτή συγκόλλησης ονομάζεται SSW (Solid State Welding- Συγκόλληση υποβιθιζόμενου τόξου). Το αποτέλεσμα αυτής της συγκόλλησης είναι τέλει καθώς

μηδενίζεται η αστοχία υλικού. Τέλος γίνονται όλες οι τρύπες που χρειάζονται στον κυλινδρικό τομέα με σκοπό να συγκολληθούν οι φλάντζες και να δημιουργηθεί η ανθρωποθυρίδα. Όλες οι συγκολλήσεις των φλαντζών γίνονται χειροκίνητα καθώς είναι αδύνατον να χρησιμοποιηθεί μηχάνημα αυτόματης συγκόλλησης σε τόσο μικρές διαστάσεις.



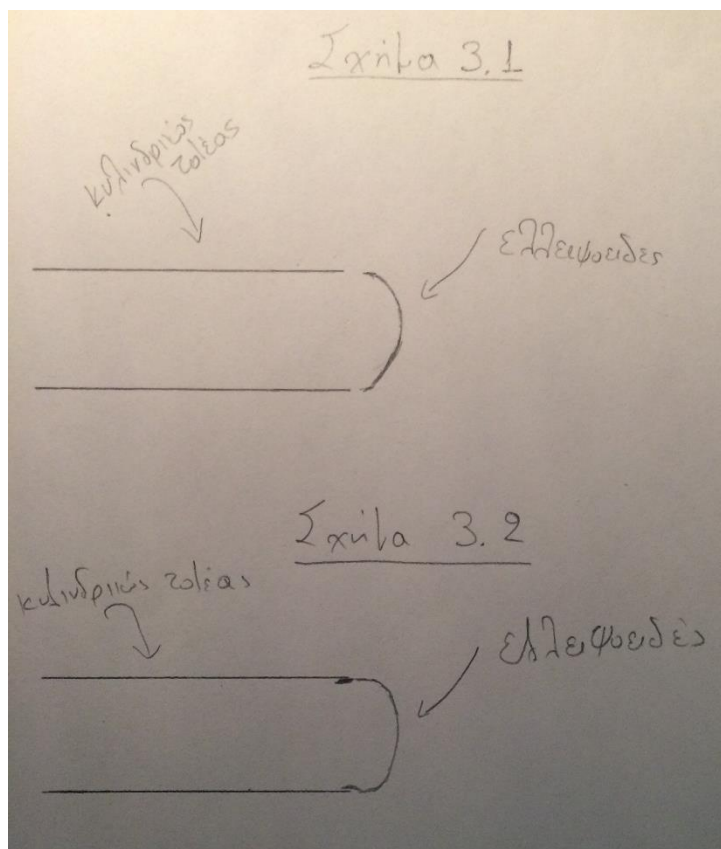
Εικόνα 3.3: Μηχάνημα αυτόματων συγκολλήσεων

Στη συνέχεια δημιουργούνται τα δύο ελλειπτικά κομμάτια της δεξαμενής τα οποία ονομάζονται cups. Για να δημιουργηθούν αυτά κόβονται δυο δίσκοι. Ο κάθε δίσκος που κόβεται έχει πάχος 2-3 χιλιοστά μεγαλύτερο από το πάχος του κυλινδρικού τμήματος διότι κατά τη μορφοποίηση του στο μηχάνημα στα σημεία όπου γίνεται απότομη αλλαγή κλίσης το φύλλο της λαμαρίνας χάνει πάχος και έτσι αν δεν είχαμε προβλέψει αυτήν την έλλειψη πάχους, πολύ πιθανόν να είχαμε αστοχία υλικού. Το μηχάνημα κατασκευής των cups όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα αποτελείται από τρία ράουλα και μία πρέσα. Τοποθετούμε τον δίσκο πάνω στα τρία ράουλα τα οποία έχουν τη δυνατότητα περιστροφής του δίσκου με συγκεκριμένο βήμα και καθώς αυτά περιστρέφονται η πρέσα ανεβοκατεβαίνει και πιέζει τον δίσκο μέχρι αυτός να πάρει σφαιρική μορφή. Στη συνέχεια αυτό το τμήμα σφαίρας θα πρέπει να το κάνουμε τμήμα κυλίνδρου με σκοπό να μπορέσουμε να το συγκολλήσουμε με το κυλινδρικό μέρος. Αυτή η διαδικασία γίνεται σε ένα άλλο μηχάνημα. Τοποθετούμε το τμήμα σφαίρας στο ράουλο και με τη βοήθεια ενός άλλου ράουλου «σπρώχνεται» το τμήμα σφαίρας με αποτέλεσμα να ανοίξει και να πάρει το σχήμα κυλίνδρου. Τέλος σε αυτά τα δύο cups γίνεται η λοξοτομή όπως ανέφερα στη προηγούμενη παράγραφο.



Εικόνα 3.4: Μηχάνημα δημιουργίας των cups

Η συγκόλληση των cups με τον κύλινδρο γίνεται εσωτερικά με το χέρι και εξωτερικά με το αυτόματο μηχάνημα όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Σε περίπτωση που η δεξαμενή φέρει ανθρωποθυρίδα τότε οι εσωτερικές συγκολλήσεις των cups με το κυλινδρικό τμήμα μπορούν να γίνουν καθώς ο άνθρωπος μπαίνει από το σημείο αυτό μέσα στη δεξαμενή όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1. Αν όμως η δεξαμενή είναι μικρών διαστάσεων και δεν είναι απαραίτητη η δημιουργία ανθρωποθυρίδας τότε τα cups δημιουργούνται χωνευτά και εισέρχονται εντός του κυλίνδρου και έτσι η συγκόλληση γίνεται μόνο εξωτερικά όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2.



Τέλος για την ολοκλήρωση του κατασκευαστικού μέρους της δεξαμενής πρέπει να παραχθούν τα ποδαρικά για την στήριξη της δεξαμενής καθώς και οι γάντζοι για την μεταφορά της. Αυτά κατασκευάζονται από ένα μηχάνημα το οποίο ονομάζεται bending Machine (στράντζα - ψαλίδι) και έχει τη δυνατότητα να πιέζει ένα φύλλο λαμαρίνας και να το κάνει μέχρι και ορθή γωνία. Μια επιπλέον δυνατότητα αυτού του μηχανήματος είναι να κόβει το φύλλο της λαμαρίνας και να το μικραίνει σε όποιες διαστάσεις επιθυμούμε εμείς. Έτσι λοιπόν όταν δημιουργηθούν και αυτά τα κομμάτια συγκολλούνται επάνω στο κυλινδρικό μέρος της δεξαμενής σύμφωνα με το σχέδιο. Αυτό το μηχάνημα παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.5: Bending machine (στράντζα – ψαλίδι)

Σε κατασκευές πιεστικών δοχείων το πιο ευαίσθητο σημείο καθώς και ο αδύναμος κρίκος μιας κατασκευής είναι οι συγκολλήσεις καθώς είναι αδύνατον να αστοχήσει η λαμαρίνα αλλά είναι πολύ πιθανόν να υπάρξει αστοχία σε σημείο όπου υπάρχει συγκόλληση. Έτσι λοιπόν είναι απαραίτητο να γίνονται με βάση τα πρότυπα σχεδίασης και τις προδιαγραφές καθώς και να ελέγχονται με όλους τους ελεγκτικούς μηχανισμούς όπως αναφέρεται και παρακάτω, στο πέμπτο μέρος της εργασίας αυτής.

Για την παραγωγή μιας δεξαμενής υγραερίου 30 κυβικών μέτρων χρειάζονται περίπου 400 με 450 εργατοώρες εάν βέβαια όλα τα μηχανήματα που υπάρχουν στο εργοστάσιο λειτουργούν αυτόματα δηλαδή όταν το μόνο που πρέπει να κάνει ο χειριστής είναι να βάλει στο μηχάνημα το υλικό και τα δεδομένα του προγράμματος.

Όταν έχουμε να κολλήσουμε μεγάλα πάχη (1 ίντσα και πάνω), επειδή γίνονται πολλές στρώσεις συγκόλλησης και η θερμοκρασία του μετάλλου δεν είναι σταθερή και έτσι το υλικό αρχίζει και χάνει τις χημικές του ιδιότητες, τότε πρέπει να γίνει ανόπτηση. Η διαδικασία που γίνεται είναι η εξής. Το υλικό όταν έχει συγκολληθεί τοποθετείται μέσα σε φούρνο στους 150°C και ανά δύο ώρες ανεβαίνει η θερμοκρασία του φούρνου κατά 150 βαθμούς έως ότου φτάσει στους 600, όταν το υλικό είναι kill carbon steel (εφησυχασμένος χάλυβας), όπως αυτός που αναφέραμε προηγουμένως. Στη συνέχεια γίνεται απόψυξη με χαμηλότερο ρυθμό, δηλαδή με περίπου 100 βαθμούς μέχρι η θερμοκρασία του φούρνου να φτάσει τους 200. Αυτή η διαδικασία διαρκεί περίπου 12 ώρες ανάλογα βέβαια και το πάχος του υλικού καθώς και το ρευστό το οποίο θα περικλείει το πιεστικό δοχείο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΙΕΣΤΙΚΟΥ ΔΟΧΕΙΟΥ ΣΤΟ PTC CREO

Σε αυτό το κεφάλαιο της εργασίας θα γίνει ο σχεδιασμός της δεξαμενής σε τρισδιάστατο μοντέλο στο πρόγραμμα creo parametric. Το creo είναι ένα λογισμικό CAD (Computer Aided Design) το οποίο χρησιμοποιείται για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων στον Η/Υ. Μέσω των εντολών που χρησιμοποιούμε δημιουργούνται τα τρισδιάστατα εξαρτήματα (Parts). Και στην συνέχεια μέσω αυτών των Parts κάνουμε τη συναρμολόγηση τους και δημιουργείται το assembly. Σε αυτό το κεφάλαιο λοιπόν παρουσιάζονται όλα τα κομμάτια της δεξαμενής καθώς και όλες οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν για να σχεδιαστούν αυτά. Επίσης γίνεται ένωση αυτών των parts, και σχηματίζεται το τρισδιάστατο και τελικό μοντέλο της δεξαμενής. Ακόμη θα υπάρχει και το μηχανολογικό σχέδιο της δεξαμενής αυτή. Μέσα από το πρόγραμμα επιπλέον θα μπορέσω να δημιουργήσω τον ογκομετρικό πίνακα της δεξαμενής χωρίς να χρησιμοποιηθούν καθόλου εξισώσεις. Τέλος με την βοήθεια του creo simulate θα προσομοιώσω τις δυνάμεις που ασκούνται από το εσωτερικό του πιεστικού δοχείου στα τοιχώματα, καθώς και την αντοχή αυτών. Η δεξαμενή που κατασκευάζεται σε αυτή την ενότητα είναι 30κυβικών μέτρων αλλά αλλάζοντας τις διαστάσεις των parts μπορεί να μετατραπεί σε πιεστικό δοχείο άλλης χωρητικότητας.

4.1. Παρουσίαση των parts της δεξαμενής

Στην πρώτη ενότητα θα παρουσιαστούν τα κομμάτια της δεξαμενής που δημιουργήθηκαν με σκοπό να γίνει ο τελικός σχεδιασμός. Τα κομμάτια αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. Κυλινδρικό δοχείο
2. Ελλειψοειδές
3. Ανθρωποθυρίδα
4. Φλάντζα (κάτω μέρος)
5. Φλάντζα
6. Ποδαρικό
7. Γάντζος
8. Βίδα
9. Παξιμάδι

4.1.1. Κυλινδρικό δοχείο

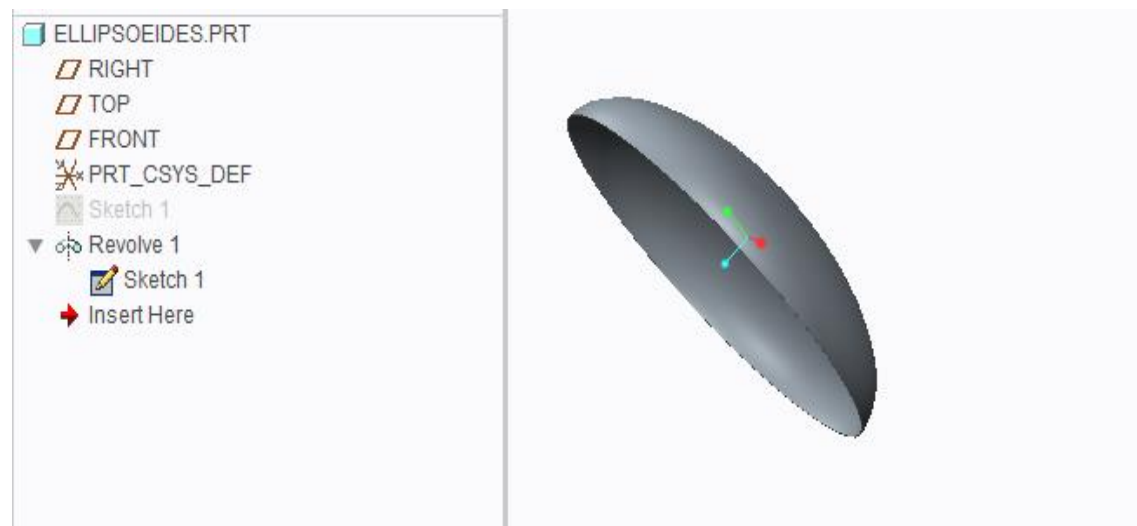
Το Part αυτό είναι το κεντρικό μέρος της δεξαμενής το οποίο περικλείει το υγραέριο. Έχει διάμετρο 1,9m, μήκος 10m, και το πάχος των τοιχωμάτων είναι 9mm. Στο πάνω μέρος έχει δημιουργηθεί μία τρύπα 788mm η οποία είναι η ανθρωποθυρίδα. Στην εικόνα 4.1 παρουσιάζονται οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του κυλινδρικού δοχείου καθώς και το ίδιο το μοντέλο.



Εικόνα 4.1: Κυλινδρικό δοχείο

4.1.2. Ελλειψοειδές (cup)

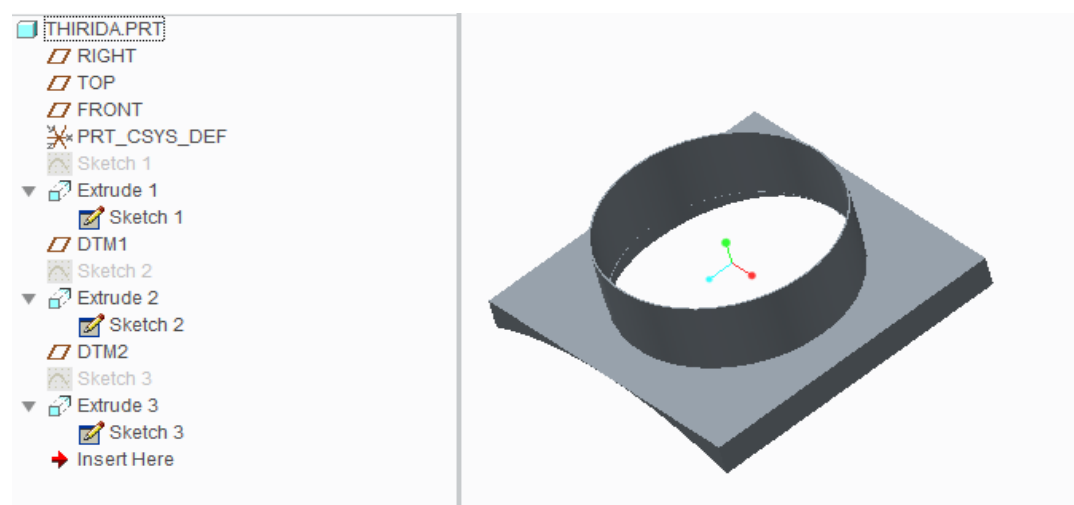
Το τρισδιάστατο αυτό μοντέλο τοποθετείται και συγκολλείται στις δύο στρογγυλές μεριές του κυλίνδρου. Το κομμάτι αυτό έχει ακτίνα της μικρής πλευράς 470mm, και οι δύο μεγάλες πλευρές έχουν ακτίνες ίδιες με του κυλίνδρου, δηλαδή 950mm, ενώ το πάχος του τοιχώματος είναι 9mm. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται οι εντολές καθώς και το μοντέλο.



Εικόνα 4.2: Ελλειψοειδές

4.1.3. Ανθρωποθυρίδα

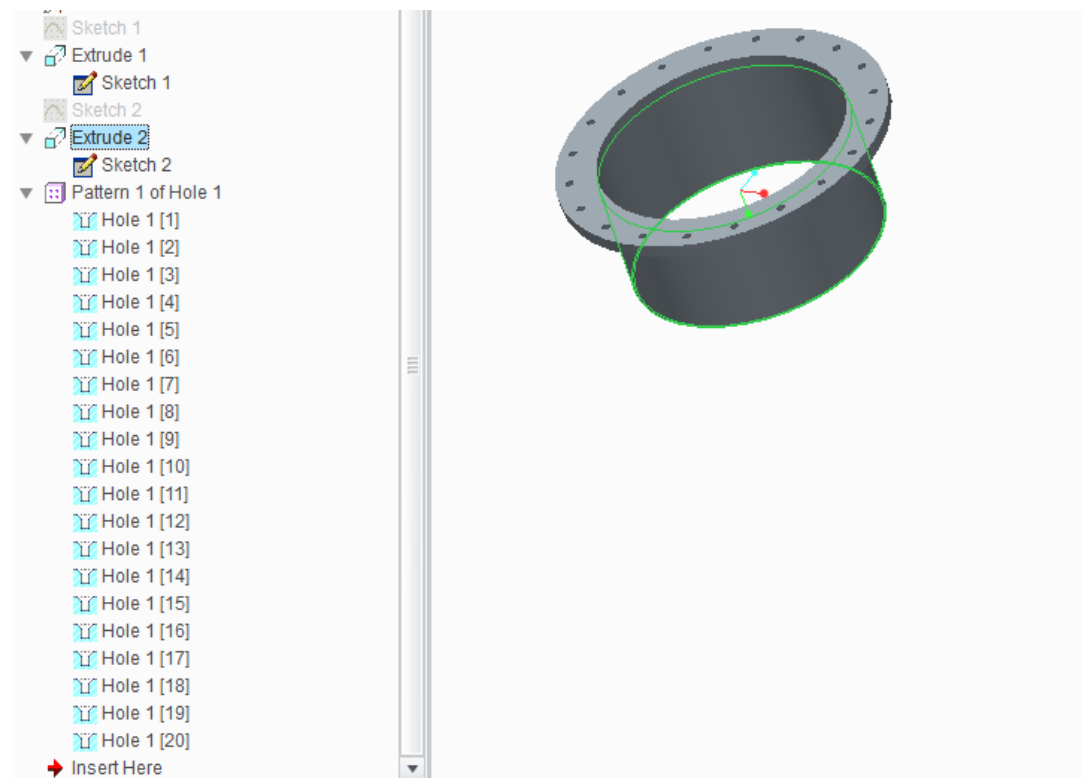
Ανθρωποθυρίδα είναι μία θυρίδα από την οποία μπαίνουν μέσα στην δεξαμενή οι τεχνίτες για να κάνουν ελέγχους στο εσωτερικό της καθώς και για να την καθαρίσουν. Το σχήμα της είναι κυλινδρικό και τοποθετείται και συγκολλείται πάνω στην τρύπα που έχουμε δημιουργήσει στο κυλινδρικό μέρος της δεξαμενής.



Εικόνα 4.3: Ανθρωποθυρίδα

4.1.4. Φλάντζα (κάτω μέρος)

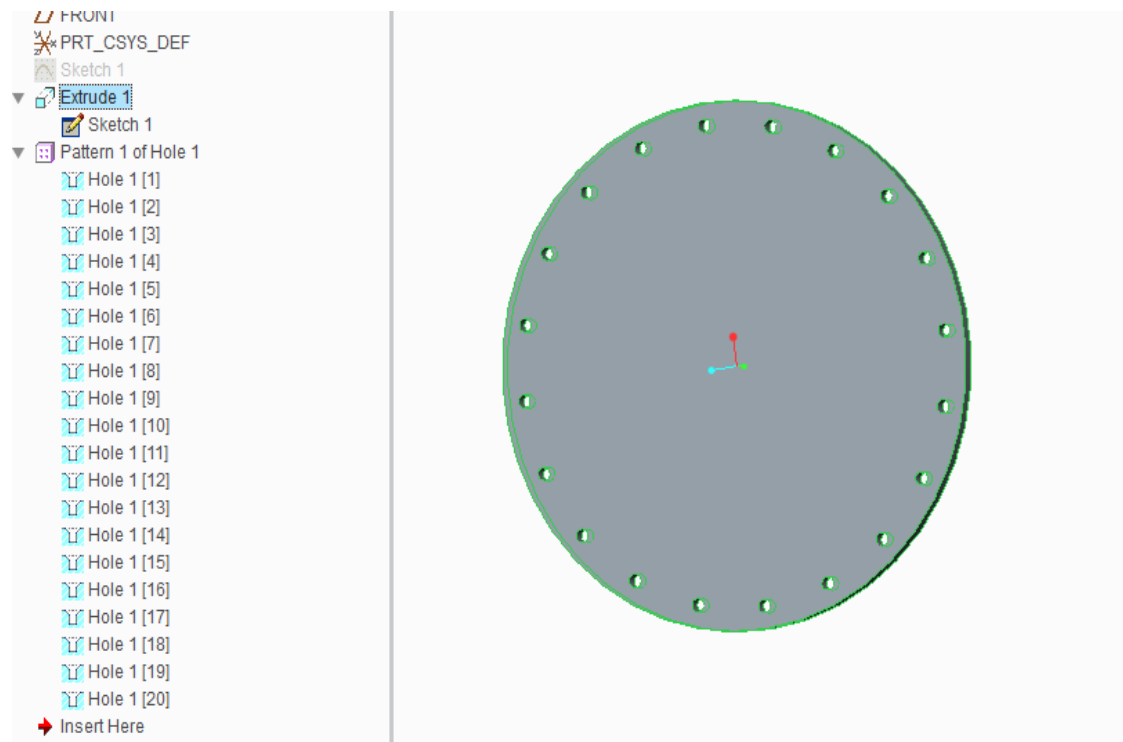
Η πρώτη φλάντζα που κατασκευάζουμε στο πρόγραμμα είναι η κάτω η οποία αποτελείται από δύο κυλινδρικά μέρη. Το ένα έχει μεγάλη διάμετρο 788mm, μικρή διάμετρο 600mm και ύψος 30mm, ενώ το άλλο έχει διάμετρο 591mm και πάχος τοιχώματος 9mm και ύψος 300mm. Πάνω στη μεγάλη διάμετρο έχουν δημιουργηθεί είκοσι τρύπες διαμέτρου 20mm με σκοπό να ενωθεί με βίδες και παξιμάδια η κάτω με την πάνω φλάντζα, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 4.4: Φλάντζα (κάτω μέρος)

4.1.5. Φλάντζα

Η φλάντζα αυτή είναι η δεύτερη που κατασκευάζουμε στο πρόγραμμα και αποτελείται από ένα κυλινδρικό μέρος 788mm διαμέτρου και ύψους 30mm. Επιπλέον έχουν δημιουργηθεί είκοσι τρύπες όμοια με την προηγούμενη φλάντζα 20mm με σκοπό να ενωθούν μεταξύ τους οι δύο φλάντζες. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνονται οι εντολές που χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθεί το μοντέλο αυτό.



Εικόνα 4.5: Φλάντζα

4.1.6. Ποδαρικό

Η δεξαμενή αποτελείται από δύο ποδαρικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την στήριξη της δεξαμενής. Τα ποδαρικά αυτά συγκολλούνται στο εξωτερικό μέρος της δεξαμενής και «αγκαλιάζουν» το πιεστικό δοχείο και απέχουν 150mm από το έδαφος. Το ποδαρικό παρουσιάζεται στην εικόνα 4.6.



Εικόνα 4.6: Ποδαρικό

4.1.7. Γάντζος

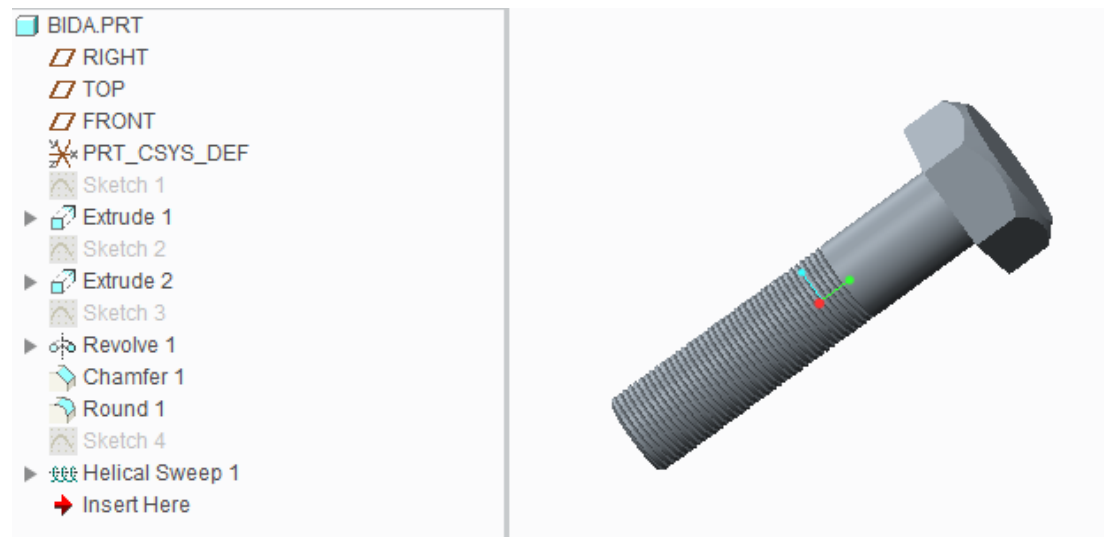
Κάθε πιεστικό δοχείο έτσι και η δεξαμενή υγραερίου έχει συγκολλημένα δύο γαντζάκια τα οποία χρησιμοποιούνται για την μεταφορά της δεξαμενής προς τον χώρο που πρέπει να τοποθετηθεί. Το σχήμα του γάντζου καθώς και οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του παρουσιάζονται στην εικόνα που ακολουθεί.



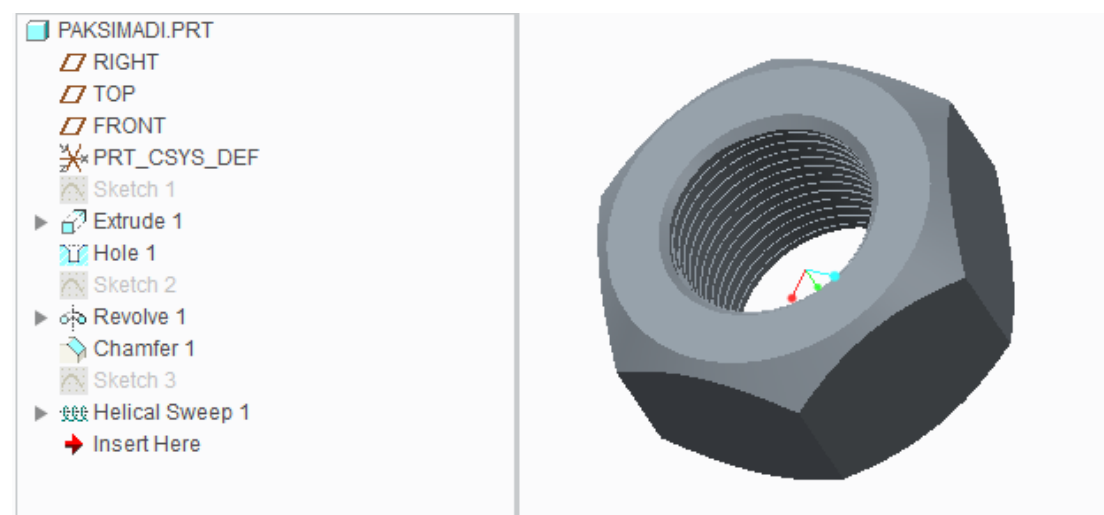
Εικόνα 4.7: Γάντζος

4.1.8. Βίδα και παξιμάδι

Οι δύο φλάντζες της δεξαμενής ενώνονται μεταξύ τους με είκοσι βίδες και είκοσι παξιμάδια διαμέτρου 20mm όπως παρουσιάζονται στις ακόλουθες εικόνες.



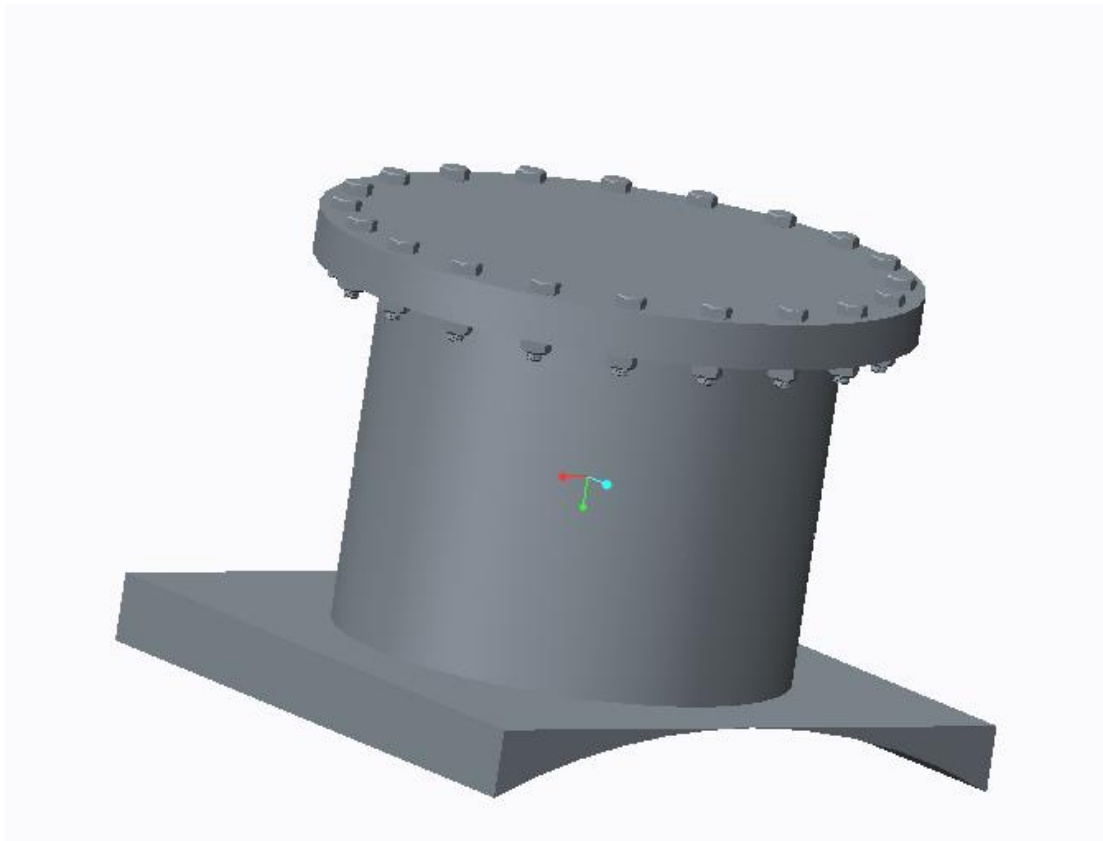
Εικόνα 4.8: Βίδα



Εικόνα 4.9: Παξιμάδι

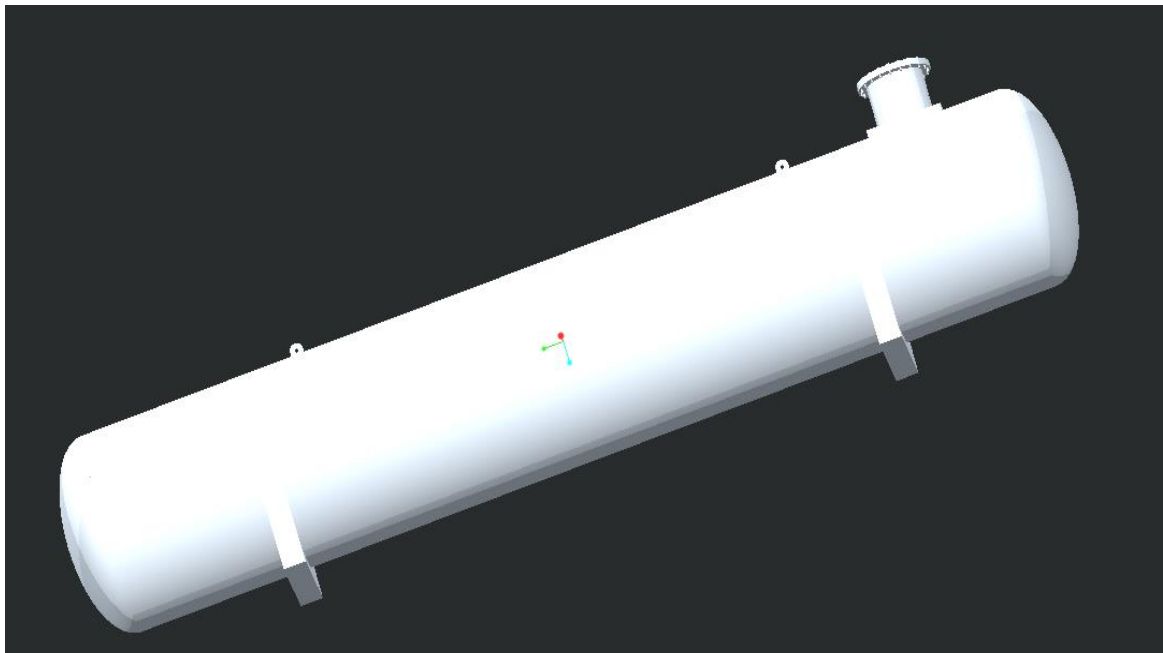
4.2. Ένωση των parts (assembly)

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστεί το τελικό τρισδιάστατο σχήμα της δεξαμενής το οποίο έχει προκύψει από την ένωση όλων των παραπάνω μοντέλων. Το πρώτο assembly που έφτιαξα αποτελείται από την θυρίδα, τις δύο φλάντζες, είκοσι βίδες και είκοσι παξιμάδια. Και παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα.

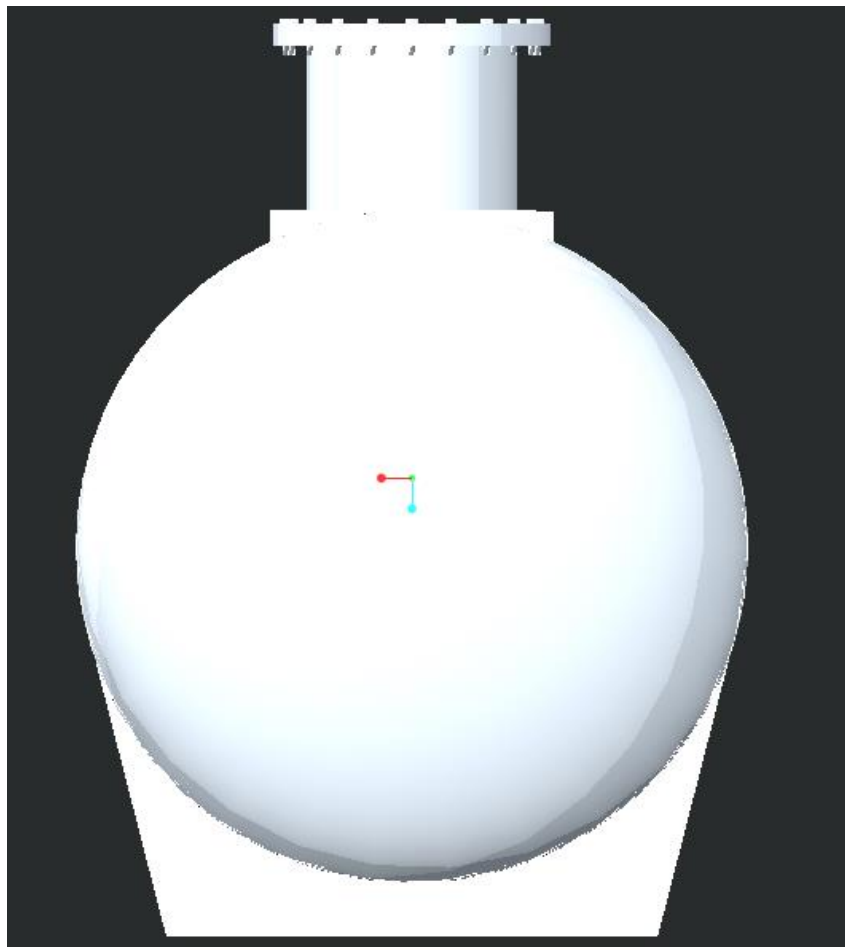


Εικόνα 4.10: Assembly 1

Τέλος δημιουργείται και το τελικό σχήμα της δεξαμενής το οποίο αποτελείται από το παραπάνω assembly ενωμένο με το κυλινδρικό δοχείο, τα δύο ελλειψοειδή μέρη, τους δύο γάντζους και τα δύο ποδαρικά. Η δεξαμενή είναι χρωματισμένη λευκή όπως είναι και στην πραγματικότητα και οι διαστάσεις τις αντιστοιχούν σε δεξαμενή χωρητικότητας 30.000lt. το τρισδιάστατο αυτό μοντέλο παρουσιάζεται στις επόμενες εικόνες.



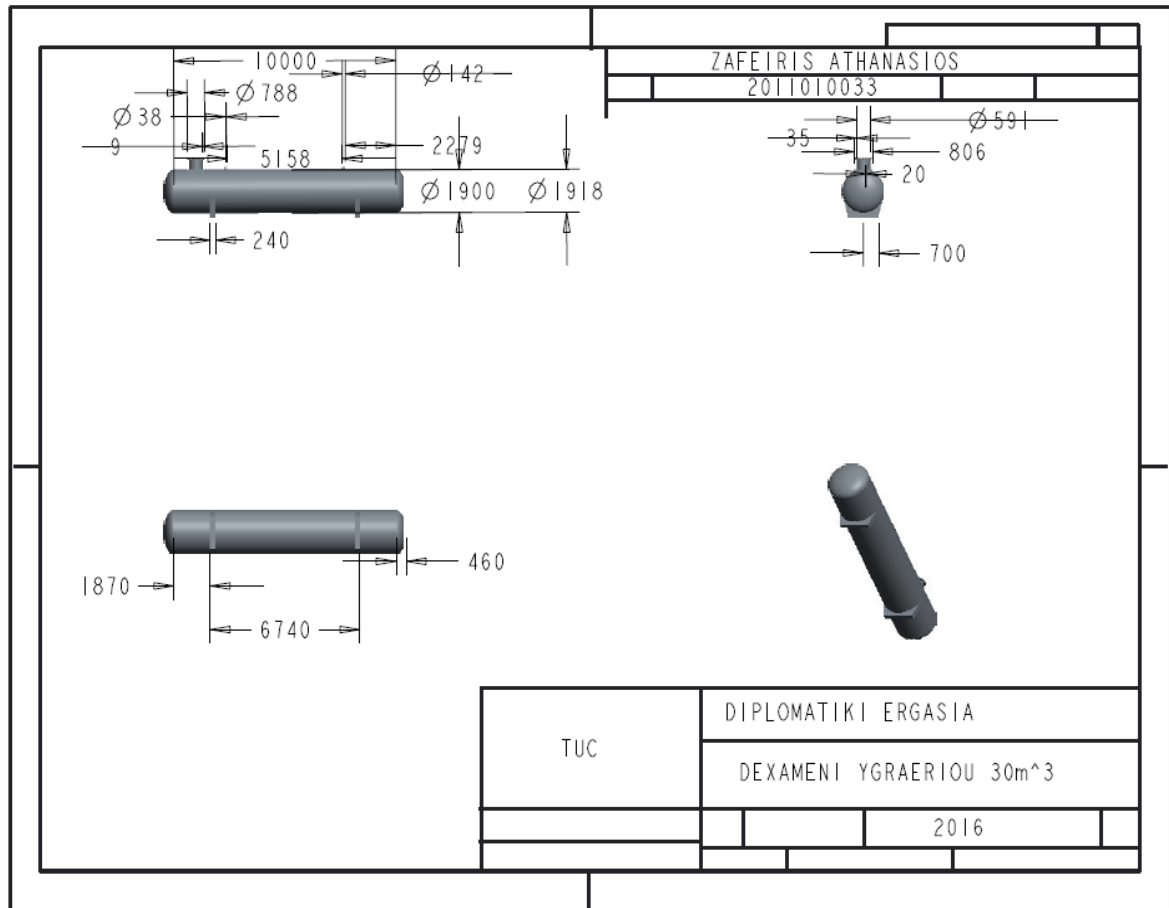
Εικόνα 4.11: Ελεύθερο σχήμα δεξαμενής 30κυβικών μέτρων



Εικόνα 4.12: Πλάγια όψη δεξαμενής

4.3. Μηχανολογικό σχέδιο δεξαμενής

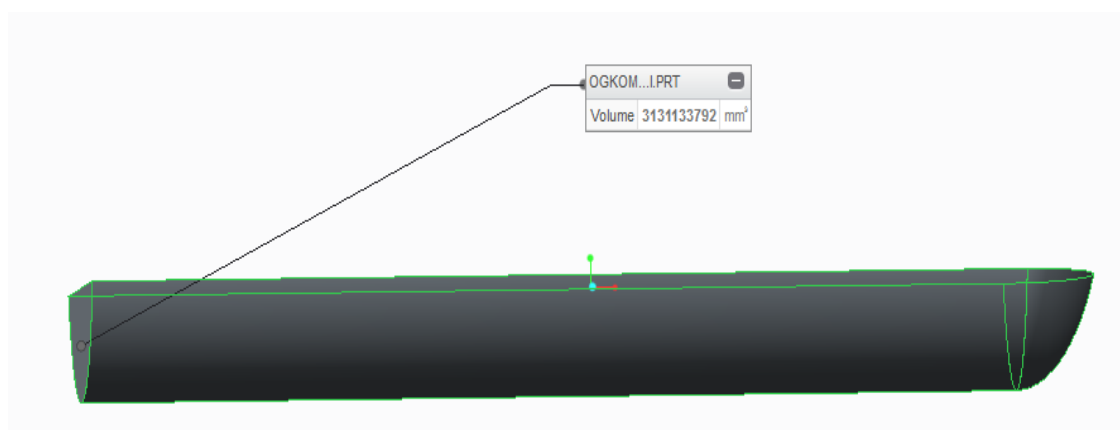
Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται και το μηχανολογικό σχέδιο της παραπάνω δεξαμενής όπου παρουσιάζονται όλες οι διαστάσεις της.



Εικόνα 4.13: Μηχανολογικό σχέδιο δεξαμενής

4.4. Ογκομετρικός πίνακας δεξαμενής

Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε ακριβώς την περιεκτικότητα της δεξαμενής σε υγραέριο γνωρίζοντας μόνο το ύψος του υγρού από τον δείκτη της δεξαμενής. Αυτό μπορεί να γίνει με την χρήση σχέσεων που να υπολογίζουν όγκο και εμβαδόν σχημάτων και με χρήση ολοκληρωμάτων για τον ακριβή υπολογισμό. Μπορούμε όμως να αποφύγουμε όλες αυτές τις πράξεις και να λύσουμε το πρόβλημα μας με τη βοήθεια του creo το οποίο ανάλογα με το ύψος που έχει το υγρό μπορεί να μας βρει ακριβώς πόσο υγραέριο έχουμε μέσα στη δεξαμενή. Αυτό που πρέπει να κάνει ο χρήστης είναι να σχεδιάσει τη μισή δεξαμενή όπως είναι στη πραγματικότητα και με την βοήθεια δύο επιπέδων (το ένα στη βάση της δεξαμενής και το άλλο στο ύψος που βρίσκεται το υγρό) να βρει την ποσότητα του υγραερίου που υπάρχει εντός της δεξαμενής. Επίσης θα πρέπει να χρησιμοποιήσει την εντολή solidify και με την εντολή measure-volume θα εμφανίζεται η ποσότητα του υγρού στο συγκεκριμένο ύψος που επέλεξε. Τέλος το νούμερο που εμφανίζει το πρόγραμμα θα πρέπει να πολλαπλασιάζεται επί δύο καθώς η δεξαμενή που είναι σχεδιασμένη είναι η μισή. Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται όλα τα παραπάνω και το επίπεδο έχει οριστεί σε ύψος 500mm. Στο παράρτημα στο τέλος της εργασίας παρουσιάζεται όλος ο ογκομετρικός πίνακας της δεξαμενής αυτής.



Εικόνα 4.14: Ογκομέτρηση δεξαμενής

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε πως όταν το υγρό είναι σε ύψος 500mm τότε η μισή δεξαμενή έχει 3131lt. Άρα σε ολόκληρη την δεξαμενή ο όγκος που καταλαμβάνει το υγραέριο είναι 6262lt.

4.5. Ανάλυση δυνάμεων στο creo simulate

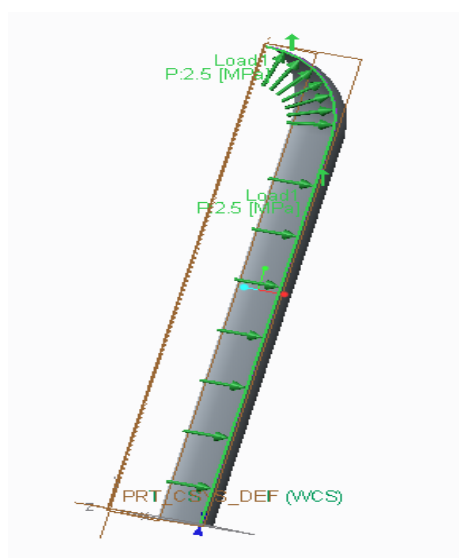
Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστεί μια προσομοίωση της δεξαμενής όταν σε αυτή ασκούνται οι μέγιστες δυνάμεις και πιέσεις που μπορεί να δημιουργήσει το ρευστό που περιέχεται σε αυτή, δηλαδή το υγραέριο. Το πιεστικό δοχείο αυτό είναι αξονοσυμμετρικό έτσι για να έχουμε μία πιο λεπτομερή ανάλυση και για να μπορέσω να τοποθετήσω όλες τις δυνάμεις που ασκούνται στη δεξαμενή έχω σχεδιάσει ένα μέρος της δεξαμενής, συγκεκριμένα το 1/8 του πιεστικού δοχείου.

Στο πρόγραμμα έχω εισάγει τα χαρακτηριστικά του χάλυβα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του πιεστικού δοχείου, όπως αυτά αναφέρονται στη σελίδα 20 της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η μέγιστη πίεση που ασκεί το ρευστό στα τοιχώματα της δεξαμενής έχει οριστεί ως 25bar, η οποία είναι και η πίεση υδραυλικής δοκιμής. Δεν έχω συμπεριλάβει οποιαδήποτε άλλη πίεση καθώς θεωρούνται αμελητέες βάσει του πάχους των τοιχωμάτων της δεξαμενής και του υλικού που χρησιμοποιείται.

Όπως είδαμε θεωρητικά στην παράγραφο 3.2.1, η πίεση που ασκείται στο κυλινδρικό μέρος του πιεστικού δοχείου είναι $p \cdot R/t$ και θεωρώντας ως πίεση την πίεση δοκιμής 25bar ή αλλιώς 2,5MPa, ως ακτίνα της δεξαμενής των 30 κυβικών μέτρων 949,91mm και ως πάχος των τοιχωμάτων 9mm, τότε προκύπτει ότι η δύναμη που ασκείται είναι περίπου 263MPa ή 263N/mm². Ενώ η μέγιστη θεωρητική τιμή της δύναμης που ασκείται στο cup της δεξαμενής ισούται με $p \cdot R/2 \cdot t$, η οποία σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα ισούται με 131,5N/mm².

Όπως θα παρατηρήσουμε σε αυτή την παράγραφο οι θεωρητικές τιμές που υπολογίσαμε παραπάνω είναι πολύ κοντά με τις τιμές που υπολογίζουμε μέσα από το πρόγραμμα. Επιπλέον οι τιμές αυτές είναι αρκετά χαμηλότερες από την δύναμη των 355N/mm² που είναι το όριο θραύσης του υλικού.

Για την εισαγωγή των δυνάμεων στο πρόγραμμα, αρχικά ελέγχουμε το πιεστικό δοχείο στις δύο διαστάσεις και έπειτα στις τρεις. Στην εικόνα που ακολουθεί μπορούμε να παρατηρήσουμε τις δυνάμεις που ασκούνται.

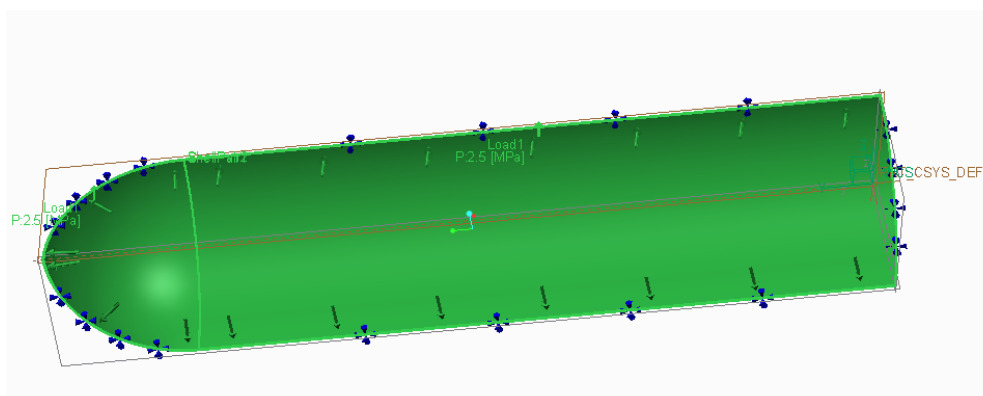


Εικόνα 4.15: Δυνάμεις στις δύο διαστάσεις

Έχοντας εισάγει όλα τα δεδομένα σχετικά με το υλικό που χρησιμοποιούμε καθώς και με τις δυνάμεις που ασκούνται στους δύο άξονες του πιεστικού δοχείου παρατηρούμε πως το πρόγραμμα επιλύει στο πρώτο βήμα 630 εξισώσεις και φτάνει να επιλύει 1811 στο τρίτο βήμα. Οι δυνάμεις (Pa), οι μετατοπίσεις(mm) καθώς και οι περιστροφικές κινήσεις που ασκούνται σε κάθε διεύθυνση παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.

Name	Value	Convergence
max_disp_mag:	1.960613e+00	0.0%
max_disp_x:	1.115244e+00	0.0%
max_disp_y:	1.960607e+00	0.0%
max_disp_z:	0.000000e+00	0.0%
max_prin_mag:	2.703147e+02	0.0%
max_rot_mag:	0.000000e+00	0.0%
max_rot_x:	0.000000e+00	0.0%
max_rot_y:	0.000000e+00	0.0%
max_rot_z:	0.000000e+00	0.0%
max_stress_prin:	2.703147e+02	0.0%
max_stress_vm:	2.345442e+02	0.0%
max_stress_xx:	1.319781e+02	0.0%
max_stress_xy:	-6.723212e+01	0.1%
max_stress_xz:	0.000000e+00	0.0%
max_stress_yy:	1.690591e+02	0.6%
max_stress_yz:	0.000000e+00	0.0%
max_stress_zz:	2.703147e+02	0.0%
min_stress_prin:	-6.630938e+00	100.0%
strain_energy:	4.940940e+07	0.0%

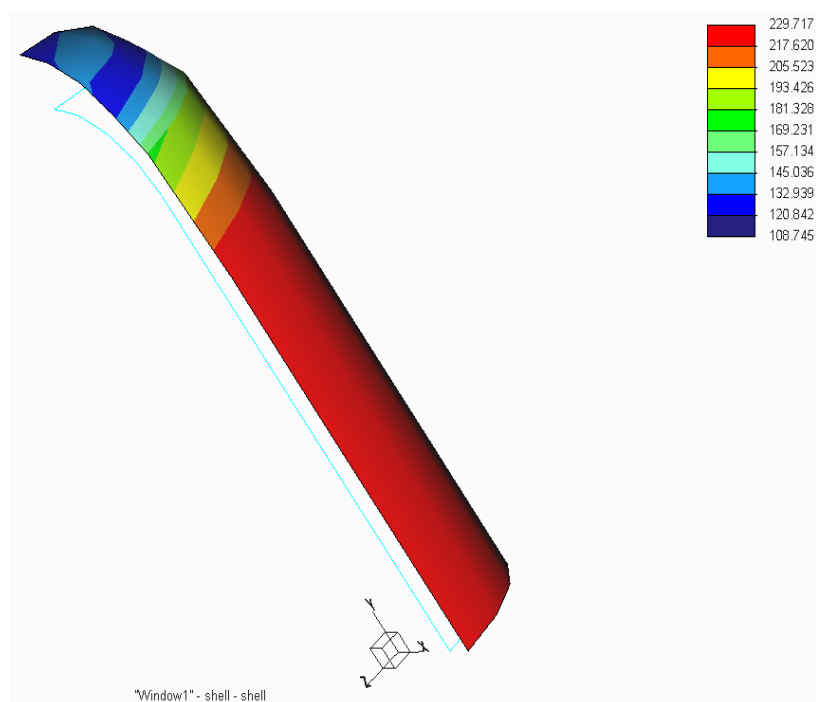
Στην συνέχεια και αφού έχουμε εισάγει τα δεδομένα για το δυσδιάστατο αντικείμενο, ελέγχουμε το πιεστικό δοχείο όπως είναι στην πραγματικότητα, σαν τρισδιάστατο. Όπως θα παρατηρήσουμε στην ακόλουθη εικόνα όλες οι δυνάμεις προέρχονται από το υγραέριο και ασκούνται από το εσωτερικό της δεξαμενής προς τα έξω. Επιπλέον πακτώσαμε την δεξαμενή ώστε να μην έχει κάποια μετατόπιση.



Εικόνα 4.16: Δυνάμεις και στηρίξεις δεξαμενής

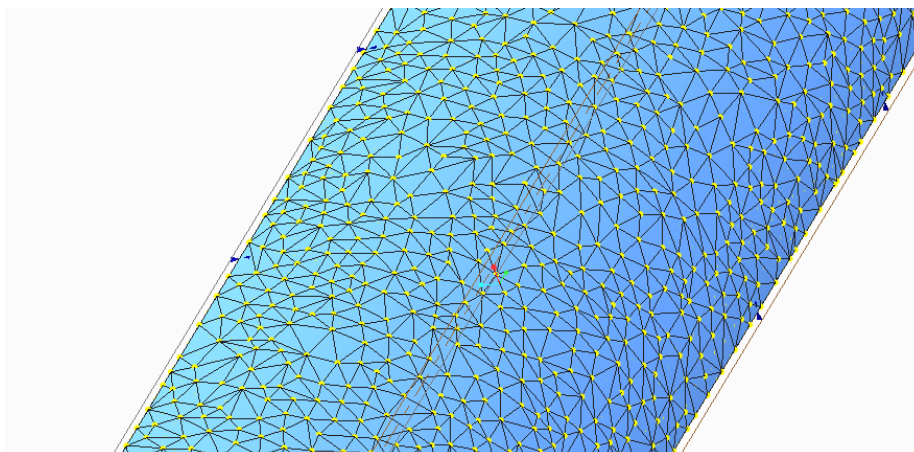
Σε αυτό το στάδιο το πρόγραμμα ακολουθεί 9 βήματα και ξεκινάει λύνοντας 9 εξισώσεις και καταλήγει στις 312. Ομοίως με πριν ακολουθεί ο πίνακας με τις τιμές των μεταβλητών, καθώς και μία εικόνα με τις φορτίσεις που ασκούνται σε κάθε σημείο της δεξαμενής.

Name	Value	Convergence
max_beam_bending:	0.000000e+00	0.0%
max_beam_tensile:	0.000000e+00	0.0%
max_beam_torsion:	0.000000e+00	0.0%
max_beam_total:	0.000000e+00	0.0%
max_disp_mag:	1.986756e+00	0.7%
max_disp_x:	1.108635e+00	2.3%
max_disp_y:	1.986756e+00	0.7%
max_disp_z:	-1.108635e+00	2.3%
max_prin_mag:	2.652545e+02	1.3%
max_rot_mag:	3.291641e-03	13.0%
max_rot_x:	3.291641e-03	13.0%
max_rot_y:	1.171699e-04	68.6%
max_rot_z:	3.291641e-03	13.0%
max_stress_prin:	2.652545e+02	1.3%
max_stress_vm:	2.297175e+02	1.4%
max_stress_xx:	2.645132e+02	1.6%
max_stress_xy:	-6.626235e+01	0.0%
max_stress_xz:	1.326272e+02	1.2%
max_stress_yy:	1.572740e+02	3.3%
max_stress_yz:	6.626235e+01	0.0%
max_stress_zz:	2.645132e+02	1.6%
min_stress_prin:	1.078697e+02	6.3%
strain_energy:	1.243370e+07	0.0%



Εικόνα 4.17: Παρουσίαση πιέσεων

Τέλος για να κάνουμε και την τελική ανάλυση στο πιεστικό δοχείο (solid analysis) το πρόγραμμα δημιουργεί το ακόλουθο σχήμα με οντότητες.

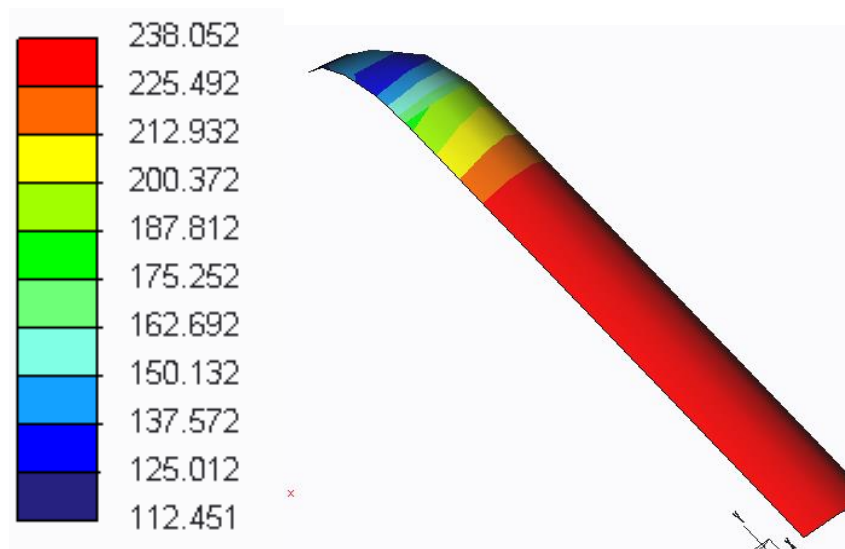


Σχήμα 4.1: Solid analysis

Για να κάνει αυτή την ανάλυση το πρόγραμμα χρειάζεται πολύ περισσότερο χρόνο σε σχέση με τις προηγούμενες αναλύσεις καθώς και οι εξισώσεις που χρειάζεται να επιλύσει φτάνουν και τις 200.000 στο τέταρτο και τελευταίο βήμα. Σε αυτή την ανάλυση έχουν εισαχθεί όλα τα απαραίτητα στοιχεία σχετικά με την δεξαμενή και την στήριξή της και έτσι όπως θα παρατηρήσουμε στην ακόλουθη εικόνα πλέον δεν υπάρχει ούτε περιστροφή του δοχείου, ούτε μετατόπιση.

Name	Value	Convergence
max_beam_bending:	0.000000e+00	0.0%
max_beam_tensile:	0.000000e+00	0.0%
max_beam_torsion:	0.000000e+00	0.0%
max_beam_total:	0.000000e+00	0.0%
max_disp_mag:	1.953588e+00	0.0%
max_disp_x:	1.115668e+00	0.0%
max_disp_y:	1.951894e+00	0.0%
max_disp_z:	-1.115107e+00	0.6%
max_prin_mag:	2.714119e+02	1.2%
max_rot_mag:	0.000000e+00	0.0%
max_rot_x:	0.000000e+00	0.0%
max_rot_y:	0.000000e+00	0.0%
max_rot_z:	0.000000e+00	0.0%
max_stress_prin:	2.714119e+02	1.2%
max_stress_vm:	2.380522e+02	1.1%
max_stress_xx:	2.705372e+02	0.8%
max_stress_xy:	-6.724453e+01	0.0%
max_stress_xz:	1.354561e+02	0.4%
max_stress_yy:	1.728365e+02	0.7%
max_stress_yz:	6.734099e+01	0.0%
max_stress_zz:	2.712716e+02	0.2%
min_stress_prin:	-9.700367e+00	30.1%
strain_energy:	1.235247e+07	0.0%

Τέλος οι δυνάμεις που ασκούνται στην δεξαμενή είναι οι ακόλουθες και όπως είναι λογικό, και όπως είδαμε από τις θεωρητικές τιμές το κυλινδρικό μέρος της δεξαμενής δέχεται τις μεγαλύτερες δυνάμεις.



Εικόνα 4.18: Πιέσεις κατά τις συνθήκες δοκιμής

4.6. Συμπεράσματα

Όπως παρατηρήσαμε σε αυτή τη παράγραφο μέσα από το πρόγραμμα μπορούμε να σχεδιάσουμε όλα τα μέρη της δεξαμενής καθώς επίσης και να υπολογίσουμε οποιεσδήποτε πιέσεις θέλουμε βάζοντας τα κατάλληλα δεδομένα.

Έτσι λοιπόν έχοντας ως δεδομένο ότι το όριο θραύσης του υλικού που χρησιμοποιούμε είναι 355 N/mm^2 καθώς και τις υπόλοιπες ιδιότητες του υλικού αυτού, καθώς επίσης και την πίεση δοκιμής η οποία είναι 25bar μπορούμε να υπολογίσουμε την πίεση που ασκείται στα τοιχώματα της δεξαμενής, καθώς επίσης μέσα από τις εξισώσεις που επιλύονται από το πρόγραμμα βλέπουμε πως κατανέμονται οι πιέσεις.

Όπως προκύπτει και θεωρητικά την μεγαλύτερη πίεση την έχουμε στο κυλινδρικό μέρος της δεξαμενής και μικρότερη κατά το ήμισυ στο cur της δεξαμενής.

Όπως προανέφερα σε αυτό το κεφάλαιο, το πιεστικό δοχείο σχεδιάστηκε κατά αυτόν τον τρόπο (1/8 του συνολικού μεγέθους), διότι είναι αξονοσυμμετρικό και αυτό μας βοηθάει να τοποθετήσουμε όλες τις δυνάμεις και τις στηρίξεις στα σωστά σημεία. Έτσι λοιπόν λαμβάνοντας υπόψιν μόνο αυτό το κομμάτι της δεξαμενής μπορούμε να λάβουμε αποτελέσματα σχετικά με το τι συμβαίνει σε ολόκληρο το πιεστικό δοχείο.

Τέλος παρατηρούμε πως η πίεση κυμαίνεται από 112MPa στο σημείο όπου τελειώνει η έλλειψη έως και 238 στον κυλινδρικό τομέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΙΕΣΤΙΚΟΥ ΔΟΧΕΙΟΥ

Ο έλεγχος της δεξαμενής όταν ολοκληρωθεί η κατασκευή της είναι το σημαντικότερο μέρος και το σημείο όπου πρέπει να δοθεί τεράστια σημασία. Κατά την ολοκλήρωση του κατασκευαστικού μέρους πρέπει να ακολουθηθούν μία σειρά από διαδικασίες ελέγχου και πιστοποιήσεων. Αυτές οι διαδικασίες είναι οι εξής:

- Πιστοποίηση πιεστικού δοχείου
- Οπτικός έλεγχος συγκολλήσεων
- Ραδιογραφίες συγκόλλησης
- Έλεγχος με διεισδυτικά υγρά
- Υδραυλική δοκιμή

Οι παραπάνω διαδικασίες αναλύονται στις παρακάτω ενότητες. Όλες οι διαδικασίες ελέγχου πρέπει να είναι σύμφωνες με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο και να μην παρεκκλίνουν από αυτό.

5.1. Πιστοποίηση πιεστικού δοχείου

Μόλις ολοκληρωθεί όλη η κατασκευή της δεξαμενής, ο ειδικός φορέας πιστοποίησης κάνει έναν έλεγχο σε όλες τις λαμαρίνες, υλικά καθώς και στις φλάντζες, ελέγχει όλα τα πιστοποιητικά των υλικών καθώς και όλα τα Plate Number των λαμαρινών. Αυτό γίνεται με σκοπό να πιστοποιηθεί πως όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του πιεστικού δοχείου είναι κατάλληλα, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο και την Ελληνική νομοθεσία για την κατασκευή δοχείων υπό πίεση, καθώς και ότι όλα τα στελέχη της δεξαμενής φέρουν πιστοποιητικά. Τέλος, εάν όλα είναι σωστά, πιστοποιεί πως το πιεστικό δοχείο δημιουργήθηκε με βάση το Ευρωπαϊκό Πρότυπο.

5.2. Οπτικός έλεγχος συγκολλήσεων

Ο οπτικός έλεγχος των συγκολλήσεων είναι ο πρώτος έλεγχος που γίνεται στο πιεστικό δοχείο και είναι, όπως και όλοι οι άλλοι έλεγχοι που γίνονται, μη καταστροφικός. Ο έλεγχος αυτός γίνεται πριν καν ξεκινήσει η πρώτη συγκόλληση και ολοκληρώνεται μόλις τελειώσουν όλες οι συγκολλήσεις.

Κατά την έναρξη της πρώτης συγκόλλησης των λαμαρινών εξετάζεται η ποιότητα, η καθαριότητα καθώς και η απουσία ασυνεχειών των υλικών που είναι προς συγκόλληση. Ελέγχεται επίσης πως τα υλικά αυτά είναι ευθυγραμμισμένα μεταξύ τους και σωστά τοποθετημένα. Τέλος πριν την έναρξη κάθε συγκόλλησης είναι απαραίτητο να ελεγχθεί η διαδικασία συγκόλλησης που θα γίνει, δηλαδή θα πρέπει να δούμε πως τα ηλεκτρόδια, η τάση και η ένταση του ρεύματος είναι τα σωστά σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Αυτός ο πρωταρχικός έλεγχος είναι σημαντικό να πραγματοποιείται με σκοπό την αποφυγή λανθασμένων συγκολλήσεων.

Έπειτα ο οπτικός έλεγχος συνεχίζεται και κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης καθώς και κατά το πέρας αυτής. Θα πρέπει λοιπόν να ελέγχονται οι συγκολλήσεις για τυχόν διαταραχές όπως οι ακόλουθες:

- Εξωτερικά ρήγματα, τα οποία προκαλούνται από υψηλή ένταση ρεύματος, ή ανεπαρκούς προθέρμανσης της συσκευής συγκόλλησης
- Επιφανειακοί πόροι, οι οποίοι προκαλούνται είτε από μεγάλη ταχύτητα κίνησης του ηλεκτροδίου, είτε από κακής ποιότητας ηλεκτρόδιο, είτε από βρώμα που υπάρχει επάνω στο υλικό
- Επιφανειακές εγκλίσεις πόρων, οι οποίες συνήθως δημιουργούνται από κακή χρήση της συσκευής συγκόλλησης
- Υποσκάμματα, τα οποία οφείλονται συνήθως σε λανθασμένη επιλογή διαδικασίας συγκόλλησης

Όλα τα παραπάνω μπορούν να προκαλέσουν αστοχία συγκόλλησης και έτσι τα υλικά που συγκολλούνται να χάσουν την αντοχή τους και να αρχίσουν να καταστρέφονται με το πέρας του χρόνου. Αυτή η διαδικασία ελέγχου δεν έχει καθόλου κόστος για την παραγωγή αλλά μπορεί να αποτρέψει σημαντικές αστοχίες. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία του οπτικού ελέγχου των συγκολλήσεων και μόλις επισκευαστούν τυχόν λανθασμένες συγκολλήσεις τότε προχωράμε στην επόμενη μέθοδο ελέγχου που είναι οι ραδιογραφίες συγκόλλησης.

5.3. Ραδιογραφίες συγκόλλησης

Για τις ραδιογραφίες συγκόλλησης, έρχεται ο νηογνώμονας και ορίζει σε ποια σημεία των συγκολλήσεων θα πρέπει να βγουν ραδιογραφίες. Η ραδιογραφία είναι από τις παλαιότερες μεθόδους μη καταστρεπτικών δοκιμών και εξακολουθεί να είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος για κρίσιμες κατασκευές. Οι ακτίνες Χ ή οι ακτίνες Γ χρησιμοποιούνται για να εξεταστεί ένα συστατικό εκθέτοντας μία φωτογραφική ταινία που τοποθετείται στην αντίθετη πλευρά της πηγής ακτινοβολίας. Μετά την επεξεργασία, η ταινία αποκτά ένα μόνιμο αρχείο της συγκόλλησης που παρουσιάζει την πλειοψηφία των εσωτερικών στελεχών. Ο λόγος για τον οποίο γίνονται οι ραδιογραφίες είναι για να ελεγχτούν οι συγκολλήσεις που έχουν γίνει, καθώς αυτές είναι το πιο ευαίσθητο μέρος κάθε κατασκευής.

Όταν εμφανιστούν τα φιλμ από τις ραδιογραφίες, ελέγχονται οι συγκολλήσεις και εάν υπάρχει αστοχία συγκόλλησης επαναλαμβάνεται η συγκόλληση, αλλιώς περνά η δεξαμενή στη διαδικασία της υδραυλικής δοκιμής. Τέλος ο τεχνικός που έχει αναλάβει τις ραδιογραφίες συγκόλλησης εκθέτει μία αναφορά στην οποία αναφέρει στοιχεία σχετικά με τις συγκολλήσεις καθώς και ποιες συγκολλήσεις δεν είναι σωστές. Ένα τέτοιο έγγραφο είναι αυτό που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.

Report No:		Page No:		Sample Received Date (if applicable):				Contract No:				
Client-Address:				Test Location:								
Item:				Material:								
Test according to:				Accep. Standard According To:								
Rad. Source:		Activity (Ci):		Source size (mm):				Heat Treat:				
Film:		Density:		Screens:				F.F.D. (mm):				
Development		Automatic	Time:		I.Q.I. Stand: Loc:				Exp. Techn. SWSI/DWSI/DWDI			
			Manual: Temp:									
X-ray:		KV:		mA:				Exp. Time:				
Dia.	Item	Joint No	Zone (cm)	Thick (mm)	Welder	I.Q.I	Faults	Conclusion		Rematks		
								A.		N. A.		
Aa: Gas Pores		C: Incomplete Fusion		Eb: Transverse Cracks				FF: Film Defect				
Ab: Worm Holes		D: Incomplete Penetration		F:Undercut				Rx: Reshoot				
Ba: Slag Inclusions		Tr: Excess Penetration		Kv: Linear Misalignment				A. :Accepted				
Bb: Slag Lines		Ea: Longitudinal Cracks		Ru: Root Concavity				N.A. : Non Accepted				
Ti:Tungsten Inclusions												
Report Approved By:			Issue Date:				Report		Test Made By:			
			Made By:									
									Test Date:			

55

5.4. Έλεγχος με διεισδυτικά υγρά

Ο έλεγχος με διεισδυτικό υγρό γίνεται για τον εντοπισμό τυχών επιφανειακών ρωγμών. Η διαδικασία η οποία ακολουθείται είναι η εξής. Αρχικά το υγρό απλώνεται στην επιφάνεια της λαμαρίνας, αφού πρώτα έχει καθαριστεί από βρωμιές, στη συνέχεια το πλεονάζον υγρό αφαιρείται, και καθαρίζεται. Έπειτα στην επιφάνεια της λαμαρίνας απλώνεται μία άλλη ουσία η οποία όταν έρθει σε επαφή με το διεισδυτικό υγρό δημιουργεί έντονη χρωματική αντίθεση και έτσι γίνονται εμφανείς οι επιφανειακές ρωγμές.

Η διαφορά της μεθόδου ελέγχου με διεισδυτικό υγρό σε σχέση με την προηγούμενη μέθοδο που αναφέραμε, της ραδιογραφίας είναι ότι η πρώτη αφορά επιφανειακές ρωγμές, ενώ η δεύτερη αφορά αστοχίες που έχουν γίνει στο εσωτερικό κάποιας συγκόλλησης.

5.5. Υδραυλική δοκιμή

Με τον όρο υδραυλική δοκιμή εννοούμε τη δοκιμή που γίνεται στα δοχεία πίεσης για έλεγχο στην αντοχή των υλικών και των εξαρτημάτων που έχουν τοποθετηθεί, καθώς και στις διαρροές. Η υδραυλική δοκιμή περιλαμβάνει την πλήρωση του πιεστικού δοχείου με νερό έως την πίεση των 25,2 bar που είναι κατά 1,43 φορές μεγαλύτερη από την πίεση σχεδιασμού, που είναι 17,65 bar, όπως απαιτεί η νομοθεσία. Χρησιμοποιώντας αυτό το τεστ βοηθάμε στην διατήρηση των προτύπων ασφαλείας και την αντοχή του δοχείου στην πάροδο του χρόνου.

Για να ξεκινήσει η υδραυλική δοκιμή στο πιεστικό δοχείο θα πρέπει να κλείσουν όλες οι φλάντζες της δεξαμενής. Έπειτα θα πρέπει να αρχίσουμε να ρίχνουμε με πίεση νερό μέχρι αυτό να φτάσει την προβλεπόμενη πίεση. Μόλις έχουμε πρεσάρει το δοχείο, το ελέγχουμε για τυχόν διαρροές. Τέλος αποσυμπιέζουμε το δοχείο με χαμηλό βαθμό μέχρι να αδειάσει η δεξαμενή από το νερό. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την υδραυλική δοκιμή είναι:

- Μανόμετρα, για να έχουμε ένδειξη της πίεσης που υπάρχει μέσα στη δεξαμενή
- Ασφαλιστικά, ώστε σε περίπτωση απότομης αύξησης της πίεσης να μην δημιουργηθεί κάποιο σφάλμα στην κατασκευή
- Βαλβίδα απομόνωσης της πίεσης σε περίπτωση συναγερμού
- Αντλία πίεσης
- Σωλήνες που να αντέχουν τέτοιες πιέσεις

Μπορούμε να κάνουμε υδροστατική δοκιμή και με άλλα είδη υγρών απλά το συνηθέστερο και πιο οικονομικό υγρό είναι το νερό. Τέλος όταν ολοκληρωθεί και η υδραυλική δοκιμή ο μηχανικός πρέπει να υπογράψει το έγγραφο που ακολουθεί με σκοπό να πιστοποιήσει ότι η υδραυλική δοκιμή έχει βάσει Ευρωπαϊκού προτύπου.

Όνομα Εταιρείας		ΔΕΛΤΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ HYDRAULIC TEST REPORT		Αρ. Δελτίου Report No.
Πελάτης Customer:		Αρ. Σύμβασης Παραγγελίας: Contract/Order No.		
Έργο Project:		Σχέδια Drawings:		
Τύπος Δοχείου Type of Vessel:		Είδος Δοχείου Kind of Vessel:		
Θάλαμος Chamber	TANK			
Πάχος Κελύφους Shell Thickness				
Υλικό Κελύφους Shell Material				
Υλικό Πυθμένα Bottom Material				
Πίεση Υπολογισμ. Design Pressure				
Πίεση Δοκιμής Test Pressure				
<p>Πιστοποιούμε πως το παραπάνω δοχείο υποβλήθηκε σε υδραυλική δοκιμή. Κατά τη δοκιμή δεν παρατηρήθηκε διαρροή νερού/παραμόρφωση/πτώση ένδειξης μανομέτρου.</p> <p><i>We certify that the above vessel has been hydraulic pressure tested. During the test no leak of water was remarked/deformation/drop of indication on manometer.</i></p>				
Επιθεωρήθηκε από Inspected by				
Εκπρόσωπος Πελάτη/Φορέας Πιστοποίησης Customer Representative/Notified Body				
Ημερομηνία Date				

5.6. Αμμοβολή και βαφή

Τέλος, η τελευταία διαδικασία που γίνεται είναι η αμμοβολή. Κατά την αμμοβολή, κόκκοι άμμου μαύρου χρώματος πέφτουν, μέσω του ειδικού μηχανήματος, με μεγάλη πίεση και αέρα πάνω στο δοχείο και ο χάλυβας, από τον οποίο έχει κατασκευαστεί η δεξαμενή, γίνεται λείος. Η αμμοβολή είναι απαραίτητη να γίνει σε κάθε πιεστικό δοχείο, καθώς γίνονται λείες οι λαμαρίνες και δεν υπάρχει ίχνος ρινισμάτων και διάφορων ατελειών και έτσι δεν διαβρώνεται και δεν χαλάει το χρώμα που τοποθετείται από πάνω. Μόλις τελειώσει η διαδικασία της αμμοβολής, το μέταλλο που έχει δημιουργηθεί ονομάζεται Near White Metal, για το λόγο ότι είναι καθαρό μέταλλο χωρίς ατέλειες. Έπειτα η δεξαμενή περνιέται με αστάρι για να μην σκουριάσει και τέλος, ανάλογα με τις προδιαγραφές και το λόγο που έχει κατασκευαστεί, ψεκάζεται με το κατάλληλο χρώμα, βάσει της νομοθεσίας.

5.7. Φάκελος δεξαμενής

Κάθε πιεστικό δοχείο που παράγεται πρέπει βάσει νομοθεσίας να συνοδεύεται και από τον δικό του φάκελο με όλα τα έγγραφα σχετικά με την παραγωγή του. Κάθε τέτοιος φάκελος θα πρέπει να περιέχει:

- Τη δήλωση συμμόρφωσης του κατασκευαστή, όπου πιστοποιείται πως το πιεστικό δοχείο παρασκευάστηκε με βάσει την Ευρωπαϊκή νομοθεσία
- Ένα πιστοποιητικό, το οποίο αναφέρει πως όλος ο εξοπλισμός που τοποθετήθηκε για την δημιουργία του πιεστικού δοχείου είναι σύμφωνος με την οδηγία 97/23/ΕΟΚ
- Hazard analysis, αναφέρονται οι σωστές συνθήκες λειτουργίας της δεξαμενής
- Το δελτίο της υδραυλικής δοκιμής, το οποίο ανέφερα παραπάνω
- Τα πιστοποιητικά συγκολλήσεων, ηλεκτροσυγκολλητών, με σκοπό την πιστοποίηση πως οι διαδικασίες συγκόλλησης είναι σύμφωνες με την νομοθεσία
- Τα πιστοποιητικά μη καταστροφικών ελέγχων, σχετικά με όλους τους ελέγχους που έγιναν πάνω στο πιεστικό δοχείο
- Τα πιστοποιητικά όλων των περιφερειακών υλικών που απαρτίζουν την δεξαμενή, στα οποία πιστοποιείται πως είναι εξοπλισμός υπό πίεση, καθώς ότι και αυτά είναι σύμφωνα με την νομοθεσία περί εξοπλισμού υπό πίεση
- Το τελικό σχέδιο του πιεστικού δοχείου, στο οποίο απεικονίζονται η πρόσοψη και η αριστερή πλάγια όψη, καθώς επίσης όλες οι συγκολλήσεις και ο περιφερειακός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται.
- Ο πίνακας ογκομέτρησης του πιεστικού δοχείου, ο οποίος μας δείχνει την περιεκτικότητα της δεξαμενής ανάλογα με το ύψος του υγρού, όπως αυτός που βρίσκεται στο παράρτημα 1
- Το αντίγραφο της πινακίδας, το οποίο είναι πάνω στην δεξαμενή και πάνω σε αυτό αναγράφονται όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά της, καθώς και η σήμανση ce

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ, ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αυτό είναι το τελευταίο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφέρω τα μηχανήματα που πρέπει να απαρτίζουν ένα εργοστάσιο κατασκευής πιεστικών δοχείων, τα χαρακτηριστικά αυτών, καθώς και την χωροθέτηση αυτών. Την τεχνογνωσία των μηχανικών που θα χειρίζονται τα παραπάνω μηχανήματα. Τέλος θα γίνει μια ανακεφαλαίωση όλων των θεμάτων με τα οποία ασχολήθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία.

6.1. Μηχανήματα εργοστασίου

Για την υλοποίηση της παραγωγής ενός πιεστικού δοχείου πρέπει να υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές καθώς και τα απαραίτητα μηχανήματα. Τα μηχανήματα αυτά λοιπόν όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη παράγραφο είναι τα ακόλουθα:

- Μηχανήματα αυτόματων συγκολλήσεων
- Μηχανές για χειροκίνητη συγκόλληση (TIG)
- Bending Machines για το κόψιμο των λαμαρινών και την κατασκευή των γάντζων και των ποδαρικών
- Πρέσα για διαμόρφωση των λαμαρινών
- Μηχανή για το κυλινδράρισμα των λαμαρινών
- Τόρνο και φρέζα για την κατασκευή διαφόρων μικροπραγμάτων
- Μηχάνημα για την κατασκευή των cups
- Διάφορες εργαλειομηχανές
- Γερανός για την μεταφορά των λαμαρινών εντός και εκτός του εργοστασίου
- Εξοπλισμό για υδραυλικές δοκιμές
- Μηχανή για ραδιογραφίες
- Εξοπλισμό μη καταστροφικών ελέγχων

Τέλος σε ένα εργοστάσιο όπως και σε κάθε άλλη επιχείρηση θα πρέπει να υπάρχουν τα γραφεία των εργαζομένων.

Όλα τα παραπάνω μηχανήματα που αναφέρθηκαν είναι τα βασικότερα που πρέπει να έχει ένα εργοστάσιο παραγωγής πιεστικών δοχείων. Δεν θα αναφερθώ σε μικροεξοπλισμό καθώς και σε διάφορες συνδέσεις αυτών των μηχανημάτων.

6.2. Χωροταξική διάταξη

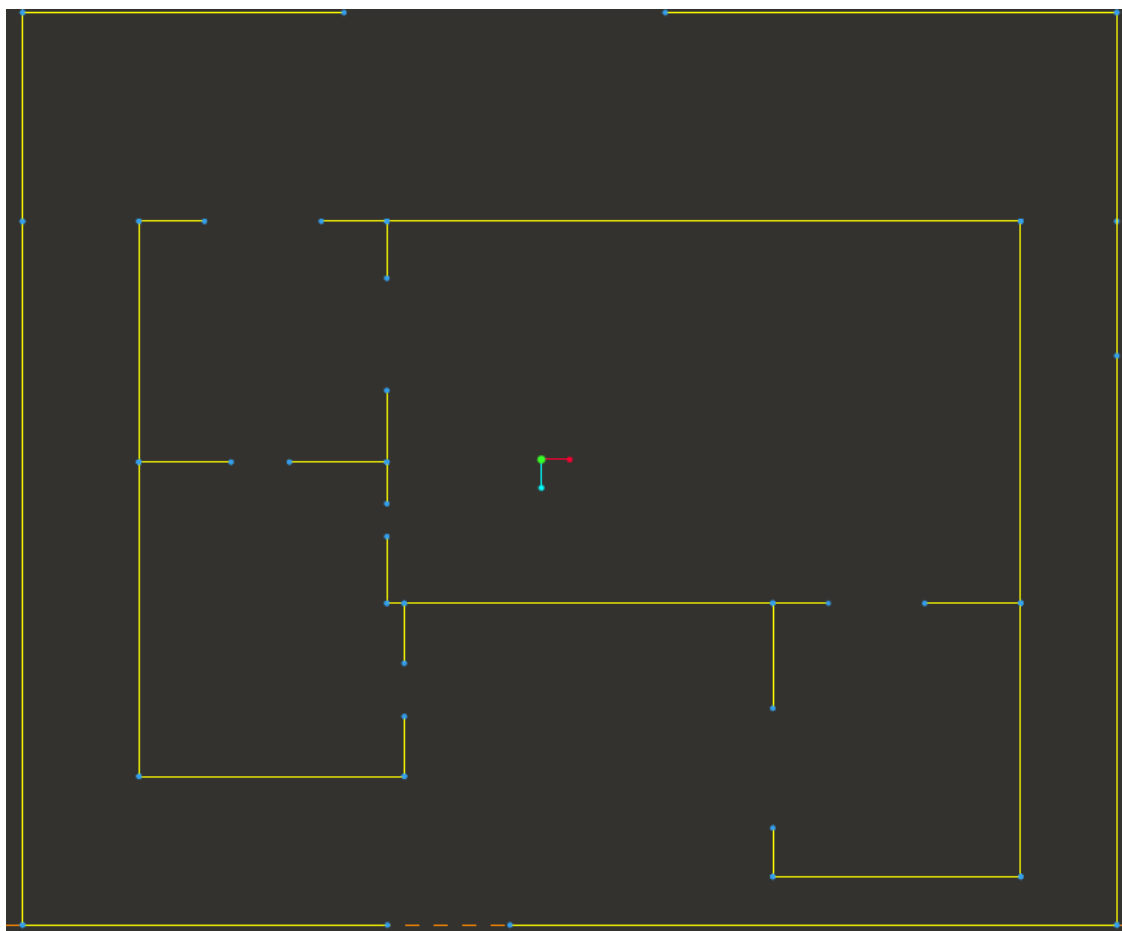
Όλα τα παραπάνω μηχανήματα που αναφέρθηκαν απαρτίζουν τον κύριο κορμό του εργοστασίου. Για να είναι αποτελεσματική όμως η διεξαγωγή της παραγωγικής διαδικασίας θα πρέπει να υπάρχει χωροταξικός σχεδιασμός. Με τον χωροταξικό σχεδιασμό λοιπόν επιτυγχάνουμε:

- Ομαλή ροή των υλικών
- Εξασφάλιση συνθηκών για παραγωγή καλής ποιότητας προϊόντων
- Ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων
- Ελαχιστοποίηση του χρόνου παραγωγής
- Εξασφάλιση συνθηκών άνεσης και ασφάλειας για τους εργαζομένους

Για να καταφέρουμε λοιπόν να επιτύχουμε όλα τα παραπάνω θα πρέπει όλα τα μηχανήματα, τα γραφεία και τα υπόλοιπα μέρη που αποτελούν το εργοστάσιο να τοποθετηθούν στη σωστή θέση. Με τον όρο σωστή θέση εννοούμε την θέση στην οποία όλοι οι εργαζόμενοι δεν θα χρειάζεται να κάνουν άσκοπα δρομολόγια, η μία εργασία δεν θα εμποδίζεται από κάποια άλλη, η μεταφορά των διάφορων λαμαρινών θα ελαχιστοποιείται μέσα στο χώρο και τέλος θα εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του εργοστασίου.

Έτσι λοιπόν θα πρέπει να υπάρχουν διαφορετικοί χώροι μέσα στο εργοστάσιο. Ξεκινώντας από τα γραφεία των εργαζομένων, θα πρέπει να τοποθετηθούν σε έναν χώρο κοντά στην παραγωγή αλλά και στην είσοδο του εργοστασίου, ώστε να υπάρχει και η εύκολη πρόσβαση πελατών στον εργασιακό αυτό χώρο. Ένας άλλος χώρος είναι αυτός για την αποθήκευση των λαμαρινών και των διαφόρων άλλων αναλώσιμων. Ο χώρος αυτός θα πρέπει να βρίσκεται στην αρχή της παραγωγής ώστε να είναι εύκολη και γρήγορη η πρόσβαση των υλικών στις μηχανές. Ο επόμενος χώρος είναι αυτός των μηχανών και των ελέγχων, ο οποίος θα πρέπει να είναι πολύ κοντά και στους δύο προηγούμενους χώρους που αναφέρθηκαν. Τέλος το τελευταίο απαραίτητο μέρος του εργοστασίου είναι ο χώρος όπου θα αποθηκεύονται τα πιεστικά δοχεία τα οποία έχουν παραχθεί και είναι έτοιμα προς πώληση.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται μία κάτοψη του εργοστασίου όπου φαίνονται οι χώροι αυτοί που ανέφερα προηγουμένως. Στην εικόνα αυτή, στο κάτω μέρος είναι η είσοδος στον χώρο του εργοστασίου, στο αριστερό μέρος βρίσκονται τα γραφεία των εργαζομένων, στο δεξί μέρος είναι ο χώρος αποθήκευσης των λαμαρινών και των διαφόρων προϊόντων για κατεργασία, πίσω ακριβώς από αυτό τον χώρο είναι τα μηχανήματα για την κατασκευή του πιεστικού δοχείου και στο τέλος αυτού του χώρου είναι το μέρος όπου αποθηκεύονται τα έτοιμα προϊόντα προς πώληση. Τέλος υπάρχει και η πίσω έξοδος του εργοστασίου. Στο πίσω μέρος του εργοστασίου μπορούν να πραγματοποιηθούν οι διάφορες δοκιμές.



Στην συνέχεια θα χωροθετήσουμε και όλα τα μηχανήματα που αναφέραμε μέσα στον χώρο. Τα μηχανήματα που πρέπει να τοποθετηθούν πρώτα είναι τα μηχανήματα που κατεργάζονται τις λαμαρίνες, έπειτα ακολουθούν τα μηχανήματα για το κυλινδράρισμα των λαμαρινών και οι διάφορες εργαλειομηχανές, τόννοι και φρέζες, όπου γίνεται η λοξοτομή των λαμαρινών όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Έπειτα τοποθετούνται οι μηχανές για παραγωγή των cups και τέλος οι μηχανές συγκόλλησης καθώς και τα μηχανήματα για παραγωγή ποδαρικών και γάντζων.

Στον επόμενο χώρο γίνεται ο έλεγχος και το τεστάρισμα της δεξαμενής έτσι σε αυτόν τον χώρο τοποθετούνται τα διάφορα μηχανήματα για υδραυλικές δοκιμές, ραδιογραφίες και τους υπόλοιπους μη καταστρεπτικούς ελέγχους. Τέλος το πιεστικό δοχείο πηγαίνει για αμοβολή, βαφή και αποθήκευση, στον χώρο αποθήκευσης ή στον προαύλιο χώρο.

Τέλος στον χώρο όλου του εργοστασίου υπάρχουν γερανοί οι οποίοι μεταφέρουν τα διάφορα μέρη του πιεστικού δοχείου από το ένα μηχανήμα στο άλλο και από τον ένα χώρο στον άλλο.

6.3. Ανακεφαλαίωση

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολήθηκε με την παραγωγική διαδικασία κατασκευής ενός πιεστικού δοχείου. Προσπάθησα να εμβαθύνω όσο πιο πολύ γινόταν καθώς και να καλύψω όλα τα απαραίτητα σημεία της μελέτης. Για να γίνει αυτό όμως δεν κατάφερα να ασχοληθώ με τις διαδικασίες συγκόλλησης καθώς και με την αντοχή αυτών. Έτσι λοιπόν αυτό μπορεί να γίνει από κάποιον άλλο φοιτητή ελέγχοντας την αντοχή των συγκολλήσεων με πεπερασμένα στοιχεία.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής λοιπόν αναφέρθηκα σε γενικά στοιχεία που αφορούν το υγραέριο καθώς αυτό είναι το ρευστό που θα περιέχεται στην δεξαμενή. Αnéφερα τις ιδιότητες που έχει καθώς και τα χημικά χαρακτηριστικά του. Επίσης αναφέρθηκα στις χρήσεις του καθώς και στα πλεονεκτήματά του ως καύσιμο. Τέλος έκανα μία εισαγωγή στα πιεστικά δοχεία αναφέροντας όλα τα είδη δεξαμενών υγραερίου που χρησιμοποιούνται.

Περνώντας στο δεύτερο μέρος της εργασίας έγινε αναφορά στις βασικές απαιτήσεις ασφαλείας που θα πρέπει να τηρούνται προκειμένου να κατασκευαστεί ένα πιεστικό δοχείο, στους διάφορους φορείς που πρέπει να ελέγξουν το δοχείο αυτό ώστε να δώσουν την απαραίτητη πιστοποίηση. Τέλος σε αυτό το κεφάλαιο έγινε η παρουσίαση των υλικών καθώς και η επιλογή του κατάλληλου υλικού.

Το τρίτο κεφάλαιο εστίασε στην παραγωγή του πιεστικού δοχείου. Στο μέρος αυτό αναλύθηκαν οι διάφορες δυνάμεις και πιέσεις που ασκούνται στο πιεστικό δοχείο είτε από το υγραέριο είτε από διάφορες εξωτερικές μεταβολές της θερμοκρασίας και διάφορους άλλους απρόβλεπτους παράγοντες. Τέλος έγινε μία παρουσίαση της παραγωγικής διαδικασίας, όπου αναφέρθηκε ο τρόπος κατασκευής του πιεστικού δοχείου καθώς και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής ανέλυσα όλες τις θεωρητικές δυνάμεις στο `ptc creo` όπου μοντελοποίησα το πιεστικό δοχείο δημιουργώντας τα διάφορα `parts` της δεξαμενής και στη συνέχεια ενώνοντας τα μεταξύ του δημιουργήθηκε το τελικό μοντέλο. Με την βοήθεια του `simulate` έλεγξα την δεξαμενή ως προς την αντοχή της βάζοντας όλα τα χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιούνται. Επίσης με την βοήθεια του ίδιου προγράμματος κατάφερα να ογκομετρήσω την δεξαμενή χωρίς να χρειαστεί να χρησιμοποιήσω οποιαδήποτε εξίσωση. Τέλος δημιουργήθηκε και το μηχανολογικό σχέδιο του πιεστικού αυτού δοχείου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύθηκαν όλες οι διαδικασίες ελέγχου που πρέπει να γίνουν στο πιεστικό δοχείο με σκοπό να πάρει την πιστοποίηση καθώς και για να είναι σίγουρο πως δεν θα υπάρξει καμία αστοχία υλικού όταν χρησιμοποιείται σε συνθήκες για τις οποίες έχει δημιουργηθεί.

Τέλος στο τελευταίο μέρος έγινε μια μικρή ανάλυση των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται καθώς και της χωροταξικής διάταξης αυτών.

6.4. Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας την εργασία αυτή θα ήθελα να παρουσιάσω και κάποια συμπεράσματα σχετικά με την κατασκευή πιεστικών δοχείων για υγραέριο.

Αρχικά όπως παρατηρήσαμε στο πρώτο κεφάλαιο υπάρχουν πολλά είδη υγραερίου σε διάφορες μορφές, όπως για παράδειγμα προπάνιο, βουτάνιο και μείγμα. Όλα αυτά τα είδη μπορούν να βρίσκονται σε διάφορες μορφές ανάλογα των συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας. Σε καμία περίπτωση όμως δεν αλλάζουν οι χημικές ιδιότητες τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο είδαμε πως τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του πιεστικού δοχείου είναι εφησυχασμένοι χάλυβες, των οποίων η αντοχή και το όριο θραύσης είναι μεγάλα ακόμα και όταν το πάχος της λαμαρίνας είναι αρκετά μικρό. Έτσι λοιπόν είναι τα καταλληλότερα υλικά που υπάρχουν με σκοπό να χρησιμοποιηθούν σε δοχεία στα οποία ασκούνται μεγάλες πιέσεις.

Στη συνέχεια είδαμε πως η διαδικασία της παραγωγής τέτοιου είδους δεξαμενών μπορεί να φαίνεται απλή και απολύτως αυτοματοποιημένη αλλά χρειάζεται πολύ μεγάλη προσοχή και από τους χειριστές των μηχανημάτων αλλά επίσης είναι απαραίτητη η σωστή συντήρηση των μηχανημάτων.

Έπειτα υπολόγισα τις θεωρητικές τιμές των διάφορων δυνάμεων και πιέσεων που ασκούνται στην δεξαμενή από το υγραέριο, καθώς και τις τιμές που ήρθαν μετά την ανάλυση στο `ptc creo simulate` και μπορούμε να παρατηρήσουμε πως είναι παραπλήσιες. Επίσης παρατηρήσαμε και από το πρόγραμμα πως οι μέγιστες δυνάμεις που ασκούνται στο δοχείο είναι κατά πολύ μικρότερες από το όριο θραύσης του χάλυβα που χρησιμοποιήσαμε.

Ακόμη σχετικά με τα μηχανήματα όπως προανέφερα, κάποια είναι αυτόματα και κάποια άλλα είναι χειροκίνητα, δηλαδή χρειάζονται έναν χειριστή σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας του. Όπως είδαμε λοιπόν ένα αυτόματο μηχάνημα έχει πολλά περισσότερα οφέλη από ένα χειροκίνητο. Τα βασικότερα οφέλη είναι ο χρόνος καθώς και η αποφυγή διαφόρων ανθρώπινων λαθών.

Τέλος η χωροταξική διάταξη των μηχανημάτων καθώς και των χώρων εργασίας σε ένα εργοστάσιο είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι καθώς υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ

ΥΨΟΣ (mm)	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (lt)	ΠΛΗΡΩΣΗ (%)	ΥΨΟΣ (mm)	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (lt)	ΠΛΗΡΩΣΗ (%)
10	18,5	0,06	970	15472,8	51,35
30	96,35	0,32	990	15880,7	52,71
50	207,5	0,69	1010	16288,1	54,06
70	343,65	1,14	1030	16695	55,41
90	500,69	1,66	1050	17101,1	56,76
110	675,92	2,24	1070	17506,18	58,10
130	867,36	2,88	1090	17910,1	59,44
150	1073,51	3,56	1110	18312,7	60,78
170	1293,2	4,29	1130	18713,7	62,11
190	1525,33	5,06	1150	19113	63,44
210	1769,1	5,87	1170	19510,2	64,75
230	2023,8	6,72	1190	19905,34	66,07
250	2288,6	7,60	1210	20298,05	67,37
270	2563	8,51	1230	20688,2	68,66
290	2846,5	9,45	1250	21075,5	69,95
310	3138,5	10,42	1270	21459,7	71,23
330	3438,6	11,41	1290	21840,7	72,49
350	3746,4	12,43	1310	22218,2	73,74
370	4061,5	13,48	1330	22592	74,98
390	4383,42	14,55	1350	22961,8	76,21
410	4711,9	15,64	1370	23327,4	77,42
430	5046,58	16,75	1390	23688,6	78,62
450	5387,1	17,88	1410	24045	79,81
470	5733,26	19,03	1430	24396,4	80,97
490	6084,67	20,20	1450	24742,5	82,12
510	6441,1	21,38	1470	25083,1	83,25
530	6802,23	22,58	1490	25417,8	84,36
550	7167,8	23,79	1510	25746,2	85,45
570	7537,6	25,02	1530	26068,2	86,52
590	7911,4	26,26	1550	26383,2	87,57
610	8289	27,51	1570	26691	88,59
630	8669,94	28,78	1590	26991,1	89,58
650	9054,2	30,05	1610	27283,1	90,55
670	9441,5	31,34	1630	27566,6	91,49
690	9831,6	32,63	1650	27841,7	92,41
710	10224,3	33,93	1670	28105,9	93,28
730	10619,4	35,25	1690	28360,5	94,13
750	11016,7	36,56	1710	28604,3	94,94
770	11415,9	37,89	1730	28836,5	95,71
790	11816,9	39,22	1750	29056,1	96,44
810	12219,5	40,56	1770	29262,3	97,12
830	12623,5	41,90	1790	29453,7	97,76
850	13028,6	43,24	1810	29629	98,34
870	13434,7	44,59	1830	29786	98,86
890	13841,5	45,94	1850	29922,2	99,31
910	14249	47,29	1870	30033,3	99,68
930	14656,8	48,65	1890	30111,2	99,94
950	15064,8	50,00	1900	30129,65	100,00

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έγινε με σκοπό την πλήρη μελέτη των πιεστικών δοχείων και την συμμόρφωση των δοχείων αυτών με την νομοθεσία. Για τον λόγο αυτό διάβασα όλο το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN13445 καθώς και την Ελληνική νομοθεσία η οποία ουσιαστικά εμπεριέχει το παραπάνω πρότυπο και χρησιμοποίησα κάποια μέρη των νομοθεσιών στην εργασία αυτή.

Επίσης με βοήθησε πολύ για την υλοποίηση της εργασίας, η επίσκεψη σε εργοστάσια παραγωγής πιεστικών δοχείων όπου με ξενάγησαν και είδα πως γίνεται η παραγωγή ενός πιεστικού δοχείου από την αρχή μέχρι το τέλος.

Για την χρήση του simulate βοηθήθηκα από το βιβλίο με τίτλο: Introduction to finite element analysis using creo simulate 1.0. του Randy H. Shih.

Διάφοροι ορισμοί που έχουν χρησιμοποιηθεί έχουν παρθεί από διάφορες διαδικτυακές εγκυκλοπαίδειες.

