



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

Λεπτομερής Σχεδιασμός Δοχείων Πίεσης



Αχλαδιανάκης Κωνσταντίνος

Επιβλέπων: Επικ. Καθηγητής Δ. Βαλουγεώργης

Βόλος, Οκτώβριος 2000



αρ. εισ. 232 / Π.Α.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 1459/1
Ημερ. Εισ.: 27-11-2000
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ
2000
ΑΧΛ

Η διπλωματική εργασία, σίγουρα δεν είναι υπόθεση ενός και μόνο ατόμου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Δ. Βαλουγεώργη, για την δυνατότητα που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του, την συνεχή καθοδήγηση του καθόλη την διάρκεια της εργασίας, και κυρίως για τον τρόπο σκέψης που μου μετέδωσε. Τον καθηγητή κ. Σ. Καραμάνο για την καθοριστική συνεισφορά του σε πολλά τμήματα της συγκεκριμένης εργασίας. Τον καθηγητή κ. Κ. Παπαδημητρίου για την συμμετοχή του στην επιτροπή αξιολόγησης της εργασίας. Τον καθηγητή κ. Ν. Χασιώτη για την βοήθεια που μου προσέφερε όσον αφορά την συγκέντρωση πληροφοριών σε αρκετά θέματα, όπως αυτά παρουσιάζονται στον πρόλογο της εργασίας.

Επιπλέον θέλω να ευχαριστήσω όλα τα άτομα του εργαστηρίου ηλεκτρονικών υπολογιστών για την άψογη συνεργασία και να επισημάνω το άριστο πνεύμα ομαδικότητας που υπήρξε και συνεχίζει να υπάρχει. Συγκεκριμένα θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Θ. Γκίκα, τον κ. Ζ. Πουλάκη, τον κ. Α. Καρκαλέτση, τον κ. Δ. Μπερσίμη, την κα. Α. Χατζοπούλου τον κ. Σ. Παπασπύρου, τον κ. Σ. Μαραγκουδάκη.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους, κ. Γ. Κακουδάκη, κ. Ν. Ελευθερίου, κα Ό. Ελευθεριάδου και κ. Α. Ζησιόπουλο για τις συμβουλές την βοήθεια και βέβαια την συνεχή παρότρυνση τους.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω την συνάδελφο κα Ιωάννα Γιακουμάκη για την συνεχή συμπαράσταση και βοήθεια, ιδιαίτερα όσον αφορά την επιμέλεια και την παρουσίαση της συγκεκριμένης εργασίας,

Την συγκεκριμένη εργασία την αφιερώνω στην οικογένεια μου, τους αφανείς ήρωες κάθε τέτοιας προσπάθειας,

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή και βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	1
2. Γενικές αρχές σχεδιασμού δοχείων πίεσης.....	9
2.1 Σχεδιαστικά μεγέθη.....	9
2.2 Φιλοσοφία σχεδιασμού - Είδη και κατηγορίες τάσεων.....	18
2.3 Κώδικας ASME Section VIII.....	20
2.3.1 Division 1.....	21
2.3.2 Division 2.....	21
3. Λεπτομερής σχεδιασμός.....	22
3.1 Κελύφη-Καπάκια.....	22
3.2 Στόμια.....	27
3.3 Φλάντζες.....	31
3.4 Κωνικά τμήματα.....	34
3.5 Στηρίγματα.....	36
4. Λογισμικό PVElite / CODECALC.....	40
4.1 Εισαγωγή.....	40
4.2 PVElite.....	40
4.3 CodeCalc.....	51
4.4 Εφαρμογές.....	53
5. Εφαρμογές της Ελληνικής Πετροχημικής Βιομηχανίας.....	59
5.1 Εισαγωγή.....	59
5.2 Σφαίρα βινυλοχλωριδίου (VCM).....	59
5.3 Σφαίρα προπυλενίου.....	67
6. Συμπεράσματα.....	74
7. Παραρτήματα.....	75
8. Βιβλιογραφία.....	110

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Μέχρι το δεύτερο μισό του δεκάτου ενάτου αιώνα ήταν σύνηθες φαινόμενο για τους μηχανικούς της εποχής, να κινούνται με ευκολία και χωρίς μεγάλη διάκριση ανάμεσα στις ειδικότητες και τα ενδιαφέροντα του πολιτικού, του μηχανολόγου, του μεταλλειολόγου κ.τ.λ. Στην συνέχεια παρουσιάσθηκε η ανάγκη σε κάθε ένα από τους παραπάνω τομείς, να δημιουργηθούν οργανισμοί που θα είχαν το ρόλο της παροχής τεχνικής γνώσης και της συστηματικής προώθησης της συνεχούς αυξανόμενης ροής της πληροφορίας από το πεδίο της έρευνας σε αυτό της πρακτικής εφαρμογής.

Ένας από τους πρώτους οργανισμούς που δημιουργήθηκαν όσον αφορά τον τομέα του μηχανολόγου μηχανικού ήταν ο ASME (American Society of Mechanical Engineers) [1], [2], [3], το 1880.Από το ξεκίνημα του ο ASME δραστηριοποιήθηκε στην ανάπτυξη τεχνικών κανονισμών ξεκινώντας με κοχλιοσυνδέσεις και σήμερα αριθμεί περισσότερους από 600.

Ο ASME έγινε γνωστός για την βελτίωση και την ασφάλεια εξοπλισμού ,κυρίως όσον αφορά τους λέβητες. Είναι σημαντικό να πούμε ότι από το 1870 έως το 1910 είχαν καταγραφεί τουλάχιστον 10.000 εκρήξεις λεβήτων στην Αμερική. Ορισμένα μάλιστα από τα ατυχήματα ήταν τόσο σημαντικά που προκάλεσαν δημόσια κατακραυγή και απαίτηση για άμεση επανόρθωση. Το 1910 ο ρυθμός αυτός είχε φτάσει σε εντυπωσιακά νούμερα με περίπου 1300 με 1400 εκρήξεις το χρόνο.

Το 1911 ο ASME προχωράει στην ίδρυση επιτροπής με σκοπό την τυποποίηση κανονισμών όσον αφορά την κατασκευή (σχεδιασμός, εξέταση, υλικά, επιθεώρηση, και πιστοποίηση) λεβήτων ατμού και άλλων δοχείων πίεσης. Η επιτροπή παίρνει την ονομασία Boiler end Pressure Vessel Committee και το 1914 -15 προχωράει στην έκδοση του πρώτου κώδικα για λέβητες, με την ονομασία Boiler Code.

Ένας εξίσου σημαντικός οργανισμός που δραστηριοποιείται στην ανάπτυξη, έκδοση, εφαρμογή και προώθηση κανονισμών είναι ο BSI (British Standards Institution). Δημιουργήθηκε το 1901 όταν τα ιδρύματα των πολιτικών μηχανικών, μηχανολόγων

μηχανικών, ναυπηγών και το ίδρυμα σιδήρου και χάλυβα δημιούργησαν μια επιτροπή για την τυποποίηση σιδήρου και χάλυβα σε γέφυρες, σιδηρόδρομους και ναυσιπλοΐα .

Όσον αφορά τα δοχεία πίεσης στον κανονισμό BS 5500 [4], περιλαμβάνονται προδιαγραφές για μεταλλικά συγκολλητά δοχεία πίεσης. Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνονται μέθοδοι σχεδιασμού, επιλογής υλικών, κατασκευής και κατεργασίας, εξέτασης και επιθεώρησης για διάφορες γεωμετρίες και τρεις κατηγορίες κατασκευής δοχείων πίεσης.

Ο BSI δεν γράφει κανονισμούς αλλά φέρνει σε επαφή αρμόδιες ομάδες (πανεπιστήμια, πετρελαϊκές εταιρίες) που ενδιαφέρονται για το γράψιμο κάποιου συγκεκριμένου κανονισμού. Μια επιτροπή από αυτές τις ομάδες δημιουργεί το προσχέδιο του απαιτούμενου κανονισμού. Ο κανονισμός δημοσιεύεται δίνοντας την δυνατότητα σε κάθε αρμόδιο ενδιαφερόμενο να κάνει σχόλια και παρατηρήσεις όσον αφορά το περιεχόμενο. Πραγματοποιούνται βελτιώσεις και στην συνέχεια ο κανονισμός δημοσιεύεται σαν British Standards.

Άλλα χρήσιμα «εργαλεία» που χρησιμοποιούν οι μηχανικοί, τα οποία προκύπτουν και αυτά από συνεργασίες εταιριών με τμήματα έρευνας και ανάπτυξης πανεπιστημίων αποτελούν οι γερμανικοί κώδικες DIN και οι ευρωπαϊκοί EURONORM. Θα πρέπει πάντως να σημειώσουμε ότι από τους προαναφερόμενους κώδικες, ο πλέον διαδεδομένος κώδικας που τυγχάνει ευρείας αποδοχής και εφαρμογής, είναι ο κώδικας ASME. Ο οργανισμός ASME και οι κώδικες ASME πρόσφατα μετονομάστηκαν σε ASME International.

Ένας από τους κώδικες ASME είναι ο κώδικας ASME-SECTION VIII, που αναφέρεται στην κατασκευή δοχείων πίεσης. Ως δοχεία πίεσης ορίζονται τα δοχεία που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό πίεσης, εσωτερικής ή εξωτερικής. Αυτή η πίεση προέρχεται από εξωτερική πηγή ή από την χρήση θερμότητας από άμεση ή έμμεση πηγή, ή οποιοδήποτε σχετικό συνδυασμό.

Μηχανικοί οι οποίοι σχεδιάζουν εξοπλισμό σε βιομηχανία χημικών και φυσικών διεργασιών, αργά η γρήγορα έρχονται αντιμέτωποι με τον σχεδιασμό δοχείων πίεσης και τον υπολογισμό των σχετικών απαιτήσεων. Γνώσεις μετάδοσης θερμότητας, ρευστομηχανικής, στοιχείων μηχανών, αντοχής υλικών αποτελούν απαραίτητα «εργαλεία» με τα οποία πρέπει να είναι

απόλυτα εξοικειωμένος ο μηχανικός ενώ παράλληλα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη και άλλα δεδομένα όπως στοιχεία κόστους αλλά και γεωμετρικά στοιχεία (π.χ. περιορισμοί όγκου και βάρους). Συνεπώς γίνεται φανερό ότι για ένα μηχανικό ο σχεδιασμός και η κατασκευή δοχείων πίεσης είναι διαδικασία εξαιρετικά σημαντική και σύνθετη.

Συμπληρώνοντας τα όσα αναφέρονται παραπάνω, πρέπει να πούμε ότι αποτελεί σημαντική παράμετρος η εξοικείωση του σχεδιαστικού μηχανικού με όλα τα είδη τάσεων και φορτίσεων που αναπτύσσονται σε ένα δοχείο πίεσης, έτσι ώστε να εφαρμοσθούν σωστά τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης τάσεων. Λέγοντας ανάλυση τάσεων αναφερόμαστε στον καθορισμό της σχέσης ανάμεσα στις εξωτερικές δυνάμεις που εφαρμόζονται σε ένα δοχείο και των αντίστοιχων τάσεων που προκύπτουν. Επιπλέον ο σχεδιαστής θα πρέπει να θεωρήσει μια ικανοποιητική τάση ή μια θεωρία αστοχίας έτσι ώστε να συνδυάσει τάσεις και να θέσει επιτρεπόμενα όρια τάσεων.

Θα πρέπει στο σημείο αυτό να σημειώσουμε ότι τα δοχεία πίεσης όπως αυτά ορίζονται διαχωρίζονται από τις ατμοσφαιρικές δεξαμενές. Ως ατμοσφαιρικές δεξαμενές θεωρούμε κατά κανόνα δεξαμενές εκτεθειμένες στο περιβάλλον. Θεωρούμε δηλαδή ότι η πίεση εξωτερικά ή εσωτερικά δεν υπερβαίνει την 1atm (=14.7 psi) και κατά συνέπεια ο σχεδιασμός τους διαφοροποιείται από αυτόν των δοχείων πίεσης (αποτελούν αντικείμενο εφαρμογής από άλλους κώδικες όπως ο American Petroleum Institute Standard No.620, API).

Τυπικά παραδείγματα δοχείων πίεσης με ευρύτατη εφαρμογή αποτελούν οι εναλλάκτες θερμότητας, οι αντιδραστήρες, οι στήλες απόσταξης, τα αεριοφυλάκια συμπιεστών, οι φυγοκεντρήρες και όλα τα δοχεία φυσικών και χημικών διεργασιών. Δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για αποθήκευση ρευστών και στις οποίες επικρατούν ειδικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

Με την αναφορά των παραπάνω διατάξεων γίνεται φανερή η σημασία στην σημερινή τεχνολογία καθώς και το μεγάλο πεδίο εφαρμογής και χρησιμοποίησης, τόσο στην βιομηχανία όσο και σε καθημερινές εφαρμογές των δοχείων πίεσης. Επίσης πρέπει να προσθέσουμε ότι παράμετροι ασφάλειας, προστασίας περιβάλλοντος, υγιεινής σχετίζονται άμεσα με τα δοχεία

πίεσης ο λεπτομερής σχεδιασμός των οποίων αποτελεί αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Σύμφωνα με τον ASME International οι διάφορες κατηγορίες υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των δοχείων πίεσης είναι οι εξής:

- Ανθρακοχάλυβες και χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε κραματικά στοιχεία.
- Μη σιδηρούχα μέταλλα.
- Υψηλής περιεκτικότητας σε κραματικά στοιχεία χάλυβες.
- Φυλλοειδής χυτοσίδηρος (cast iron), σφαιροειδής χυτοσίδηρος (cast nodular iron – έχει αναβαθμισμένες μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με τον φυλλοειδή).
- Όλκιμος χυτοσίδηρος (cast ductile iron).
- Φερριτικοί χάλυβες κατάλληλοι για συγκόλληση με εφελκυστικές ιδιότητες οι οποίες έχουν αποκτηθεί με θερμική κατεργασία.

Όλες οι παραπάνω κατηγορίες υλικών βρίσκονται στο Subsection C του SECTION VIII DIVISION 1 στο οποίο ακόμα περιλαμβάνονται πληροφορίες για την κατασκευή δοχείων που αποτελούνται από 2 ή περισσότερα ξεχωριστά επίπεδα (layered construction) και εναλλακτικοί κανόνες για την κατασκευή δοχείων πίεσης με υλικά που έχουν υψηλές επιτρεπόμενες τάσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Πίνακες με τιμές των τάσεων λειτουργίας συνάρτηση της θερμοκρασίας, τιμές του ορίου διαρροής συνάρτηση της θερμοκρασίας, πίνακες εξωτερικής πίεσης, χημική σύνθεση και τιμές ιδιοτήτων των υλικών (συντελεστής θερμικής διαστολής, μέτρο ελαστικότητας, συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας κ.α) όλων των υλικών που χρησιμοποιούνται από τον κώδικα δίδονται στο ASME CODE SECTION II PART D [3].

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η μεγάλη πλειοψηφία των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των δοχείων πίεσης είναι σιδηρούχα υλικά και η κατασκευή πραγματοποιείται με συγκόλληση.

Για την επιθεώρηση των δοχείων πίεσης όσον αφορά την ανίχνευση επιφανειακών ή εσωτερικών ασυνεχειών χρησιμοποιείται ποικιλία μη καταστρεπτικών μεθόδων

(NONDESTRUCTIVE EXAMINATION). Η λεπτομερής περιγραφή και ανάπτυξη των διαδικασιών για την εξέταση με κάποια από τις μεθόδους πραγματοποιείται στον ASME CODE SECTION V. Η ανίχνευση των ασυνεχειών πραγματοποιείται σε υλικά, συγκολλήσεις, και κατασκευασμένα εξαρτήματα.

Ακολουθεί σύντομη αναφορά ορισμένων από των χρησιμοποιούμενων μεθόδων:

- Έλεγχος με την μέθοδο μαγνητικών σωματιδίων (MT - magnetic particle examination). Πρόκειται για μέθοδο ανίχνευσης ρηγμάτων και ανάλογων ατελειών πάνω ή κοντά στην επιφάνεια σιδήρου και μαγνητικών κραμάτων του χάλυβα.
- Έλεγχος με την μέθοδο δεισδυσσης ρευστού (PT – liquid penetrant examination). Πρόκειται για μέθοδο που δίνει την δυνατότητα εντοπισμού ασυνεχειών εκτεθειμένων στην επιφάνεια σιδηρούχων και μη σιδηρούχων υλικών και τα οποία είναι μη πορώδη.
- Έλεγχος με την μέθοδο της ραδιογράφησης (RT – radiographic examination). Το κυριότερο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η παραγωγή μόνιμης καταγραφής (εικόνας) το λεγόμενο ραδιογράφημα (radiograph), για τον λόγο αυτό αποτελεί την ευρύτερα χρησιμοποιούμενη τεχνική ανίχνευσης τρισδιάστατων ατελειών.
- Έλεγχος με την μέθοδο υπερήχων (UT – ultrasonic examination). Πρόκειται για μέθοδο εντοπισμού ασυνεχειών διαπερνώντας το υλικό με υπερηχητικούς παλμούς με συχνότητες που κυμαίνονται από 1 MHz έως 5 MHz.

Με την ολοκλήρωση της κατασκευής του δοχείου πίεσης πραγματοποιείται υδροστατικός έλεγχος, με την εφαρμογή κατάλληλης πίεσης, (hydrostatic test) για τον εντοπισμό διαρροών (leak testing). Σε περιπτώσεις δοχείων που λόγω του ιδιαίτερου σχεδιασμού και / ή του τρόπου στήριξης τους δεν μπορούν με ασφάλεια να γεμίσουν με νερό ή δεν μπορούν εύκολα να στεγνώσουν, για χρήσεις που αυτό θεωρείται απαραίτητο, στην θέση του υδροστατικού ελέγχου πραγματοποιείται έλεγχος με αέρα (pneumatic test).

Η μέθοδος κατασκευής και ο τρόπος σύνδεσης των διαφόρων τμημάτων αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα κεφάλαια κατά την μελέτη των δοχείων πίεσης. Στεγανότητα , πιθανότητα σφαλμάτων, παραμένουσες τάσεις και παραμορφώσεις, οικονομία υλικού, ασφάλεια χρήσης,

απλούστευση κατασκευών είναι ορισμένα μόνο από τα θέματα που είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την επιλογή και εφαρμογή του τρόπου σύνδεσης και κατασκευής.

Σύμφωνα με τον ASME SECTION VIII DIVISION 1 SUBSECTION B υπάρχουν 3 τρόποι κατασκευής δοχείων πίεσης:

- Συγκόλληση με τήξη (Fusion Welding). Πρόκειται για την ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδο κατασκευής δοχείων πίεσης κατά την οποία προσδίδεται θερμότητα στα υπό ένωση μέταλλα μέχρι να συμβεί σύντηξη. Δεν απαιτείται η εφαρμογή εξωτερικής πίεσης.
- Χαλκοκόλληση (Brazing). Κατά την διαδικασία αυτήν η σύνδεση παράγεται με θέρμανση πάνω από τους 800 °F (= 429 °C) και χρησιμοποίηση μη σιδηρούχων πληρωτικών μετάλλων (π.χ. χαλκός), με χαρακτηριστικό την χαμηλότερη θερμοκρασία τήξης από τα προς κόλληση μέταλλα. Το πληρωτικό μέταλλο διανέμεται ανάμεσα στις επιφάνειες σε υγρή κατάσταση έτσι ώστε μετά την απόψυξη να δημιουργηθεί η ένωση σε στερεή κατάσταση.
- Σφυρηλάτηση (Forging). Δίνονται οι απαιτήσεις σχετικά με τα υπό πίεση σφυρηλατημένα δοχεία χωρίς διαμήκης ενώσεις, συμπεριλαμβανομένου των εξαρτημάτων τους τα οποία είναι κατασκευασμένα από άνθρακα και χαμηλής περιεκτικότητας χάλυβες ή υψηλής περιεκτικότητας χάλυβες.

Επιπρόσθετα των όσων αναφέρονται παραπάνω στον SECTION IX αναφέρεται στις προδιαγραφές που πρέπει να έχουν τεχνικοί που πραγματοποιούν την συγκόλληση και τις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν κατά την συγκόλληση.

Ερχόμενος σε επαφή ο μηχανικός με κάποιον από τους εφαρμοζόμενους κώδικες σχετικούς με τον σχεδιασμό δοχείων πίεσης, κατά κανόνα σχηματίζει αρχικά αρνητικές εντυπώσεις ως προς το κατά πόσο εύχρηστοι μπορεί να είναι οι κώδικες αυτοί. Είναι σύνηθες το φαινόμενο μετά από αρκετές μέρες μελέτης και έρευνας για την επίλυση κάποιου συγκεκριμένου προβλήματος να βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο χρόνος που αφιερώθηκε θα ήταν σημαντικά μικρότερος με σωστότερη χρήση του εκάστοτε κώδικα.

Η δυσκολία κατά την χρήση προφανώς έχει να κάνει με την τεράστια ποσότητα πληροφοριών σχετικά με τα δοχεία πίεσης, κάτι που γίνεται φανερό και από τα όσα έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα (υλικά – έλεγχος –συγκολλήσεις κ.α). Το σημαντικότερο όμως πρόβλημα είναι η μεγάλη διασπορά των πληροφοριών αυτών σε πλήθος τμημάτων (Sections) του ίδιου κώδικα (ή ακόμα και υποτμημάτων- Subsections-του ίδιου τμήματος) με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή μια γρήγορη προσέγγιση προβλημάτων σχεδιασμού δοχείων πίεσης.

Ο σκοπός και η συνεισφορά της παρούσας διπλωματικής εργασίας συνοψίζεται στα παρακάτω σημεία:

- Διατύπωση βήμα προς βήμα μεθοδολογίας, πάνω στα συνηθέστερα προβλήματα που αφορούν το σχεδιασμό δοχείων πίεσης, έχοντας ως υπόβαθρο τον πιο αντιπροσωπευτικό από τους εφαρμοζόμενους κώδικες, τον ASME International για τον οποίο ήδη έχουμε δώσει κάποια στοιχεία. Πραγματοποιείται με άλλα λόγια ένα είδος « αποκωδικοποίησης » του συγκεκριμένου κώδικα, στοχεύοντας στην κατά το δυνατόν εύκολη χρήση και απλοποίηση του.
- Παρουσίαση και χρήση σε συγκεκριμένες εφαρμογές του προγράμματος PVElite [5], και του προγράμματος CODECALC [6] . Πρόκειται για εξαιρετικά δημοφιλή, σύγχρονα και έγκυρα λογισμικά σχετικά με τα δοχεία πίεσης , τα οποία διατίθενται από την COADE Engineering Software. Το PVElite πραγματοποιεί σχεδιασμό και ανάλυση πύργων μεγάλου ύψους και οριζόντιων δοχείων χρησιμοποιώντας τους κώδικες ASME Section VIII Division 1 Division 2 [2] και BS-5500. Το CODECALC εξειδικεύεται περισσότερο στον σχεδιασμό και ανάλυση των επιμέρους συνιστωσών που συνθέτουν ένα δοχείο πίεσης χρησιμοποιώντας τον ASME Section VIII Division 1.
- Επίλυση συγκεκριμένων εφαρμογών της ελληνικής πετροχημικής βιομηχανίας

Επιχειρείται λοιπόν, τόσο από θεωρητική άποψη όσο και με την χρήση υπολογιστικών πακέτων, η κατά το δυνατόν καλύτερη (και απλούστερη για τους λόγους που εξηγήσαμε) προσέγγιση όλης εκείνης της πληροφορίας σχετικά με την ανάλυση και τον σχεδιασμό των δοχείων πίεσης.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι γενικές αρχές του σχεδιασμού δοχείων πίεσης (χρησιμοποιούνται τα εγχειρίδια των Dennis R. Moss [7] και Eugene F. Megyesy [8]). Επίσης αναφέρονται ορισμοί και ορολογία για όλα τα σχετικά σχεδιαστικά μεγέθη. Στην συνέχεια αναπτύσσεται η φιλοσοφία σχεδιασμού και γίνεται εκτενή αναφορά στα είδη και τις κατηγορίες των τάσεων. Το κεφάλαιο αυτό κλείνει με παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου της συγκεκριμένης εργασίας, του ASME Section VIII, των 2 τμημάτων που περιέχει Division 1 και Division 2 (ομοιότητες και διαφορές).

Στο κεφάλαιο 3 προχωράμε στον λεπτομερή σχεδιασμό. Αναπτύσσονται με την σειρά που αναφέρονται: κελύφη, κεφαλές, κωνικά τμήματα, στόμια, φλάντζες, στηρίγματα (αναφορά σε άνεμο και σεισμό). Γίνεται η περιγραφή των δοχείων και όλων των σχετικών εξαρτημάτων που τα συνοδεύουν.

Στο κεφαλαίο 4 γίνεται εκτενής παρουσίαση του λογισμικού PVElite και του λογισμικού CODECALC. Αφού δώσουμε ορισμένα εισαγωγικά στοιχεία για τα δύο πακέτα προχωράμε σε συγκεκριμένες πληροφορίες: δυνατότητες του κάθε προγράμματος, πεδίο εφαρμογών, ευκολία χρήσης, ταχύτητα, κ.τ.λ. Επιπρόσθετα παρουσιάζονται εφαρμογές των 2 προγραμμάτων.

Στο κεφάλαιο 5 πραγματοποιούνται δύο γενικότερες εφαρμογές που έχουν σαν στόχο να συνοψίσουν και να εφαρμόσουν τα όσα αναφέρονται στα προηγούμενα κεφάλαια, υπό την μορφή πραγματικών προβλημάτων με την χρήση τόσο του κώδικα όσο και των δύο υπολογιστικών προγραμμάτων. Οπότε στο πλαίσιο αυτό σχεδιάζονται δύο σφαίρες αποθήκευσης υδροποιημένων υδρογονανθράκων υπό πίεση

Στο κεφάλαιο 6 συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία.

Τέλος στο κεφάλαιο 7 βρίσκονται παραρτήματα τα οποία εμπεριέχουν λογικά διαγράμματα για καθένα από τα αντικείμενα που εξετάζονται στο κεφάλαιο 3. Μέσα από τα λογικά διαγράμματα αυτά, επιχειρείται μια πιο εύχρηστη και γρήγορη αντιμετώπιση των θεμάτων που εξετάζονται.

2.ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΟΧΕΙΩΝ ΠΙΕΣΗΣ

2.1 Σχεδιαστικά μεγέθη

Για τον πλήρη σχεδιασμό δοχείων πίεσης πολλά και ιδιαίτερος σημαντικά είναι τα μεγέθη που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, Ακολουθεί ανάπτυξη των μεγεθών αυτών, μέσα από την προσεκτική επιλογή των οποίων καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό η ασφαλής και σωστή λειτουργία των δοχείων πίεσης. Πρόκειται για κοινά μεγέθη που τα συναντάμε τόσο στο δοχείο όσο και σε συνιστώσες (φλάντζες, ακροφύσια, στηρίξεις κ.α.) ενώ τα επιμέρους μεγέθη (διαφορετικά σε κάθε εξάρτημα) θα εξεταστούν στο 3 κεφάλαιο. Τα βασικά αυτά μεγέθη που υπεισέρχονται στον σχεδιασμό των δοχείων πίεσης, είναι:

1.Εσωτερική πίεση λειτουργίας – Design internal pressure: P_i

Η πίεση λειτουργίας χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του απαιτούμενου πάχους. Συνίσταται για λόγους ασφαλείας να επιλέγεται τιμή μεγαλύτερη από την πραγματική τιμή λειτουργίας (operating pressure - ένα ποσοστό 10 % είναι αρκετό). Στην συγκεκριμένη τιμή πρέπει να συμπεριλαμβάνεται και η πίεση που ασκείται από υγρά και άλλα περιεχόμενα του δοχείου (static head).

2. Εσωτερική θερμοκρασία λειτουργίας – Design temperature for P_i : T_i

Πρόκειται για την εσωτερική θερμοκρασία, η οποία σχετίζεται με την εσωτερική πίεση λειτουργίας.

3. Εξωτερική πίεση λειτουργίας – Design external pressure: P_o

4. Εξωτερική θερμοκρασία λειτουργίας – Design temperature for P_i : T_o

Σχετίζεται με την εξωτερική πίεση λειτουργίας. Αλλάζοντας την τιμή αυτήν μεταβάλλονται συγκεκριμένες ιδιότητες των χρησιμοποιούμενων υλικών επηρεάζοντας τους υπολογισμούς εξωτερικής πίεσης.

5. Προσδιορισμός υλικού – Material specification

Η ονομασία του υλικού (π.χ. χάλυβας SA-516 70 για τα αμερικάνικα πρότυπα) μας δίνει την δυνατότητα προσδιορισμού των ιδιοτήτων του υλικού, όπως όριο ροής, μέγιστες επιτρεπόμενες τάσεις από αντίστοιχους πίνακες (κώδικας SECTION II PART D). Επιπλέον πληροφορία που δίδεται, είναι εάν το υλικό έχει υποστεί ανόπτηση (επιτυγχάνεται μείωση της σκληρότητας του – λεπτόκοκκη δομή). Χρησιμοποιείται σε πίνακες του προαναφερόμενου κώδικα.

6. Μέγιστη επιτρεπόμενη τάση στην θερμοκρασία σχεδιασμού – Shell allowable stress at Ti: S

Πρόκειται για την μέγιστη επιτρεπόμενη εφελκυστική τάση η τιμή της οποίας προσδιορίζεται με την επιλογή του υλικού, σύμφωνα με τους πίνακες υλικών. Η μέγιστη επιτρεπόμενη θλιπτική τάση που χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό κυλινδρικών δοχείων τα οποία σχετίζονται με φόρτιση η οποία παράγεται από διαμήκη θλιπτική τάση καθορίζεται σύμφωνα την διαδικασία του κώδικα SECTION VIII DIVISION 1 UG-23 (b) και η οποία παρουσιάζεται αναλυτικά στο παράρτημα Α .

7. Μέγιστη επιτρεπόμενη τάση στην θερμοκρασία περιβάλλοντος – Shell allowable stress at ambient temperature: Sa

Η συγκεκριμένη τιμή καθορίζεται και αυτή μέσω της επιλογής του υλικού και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό την μέγιστης επιτρεπόμενης πίεσης New and Cold για την οποία θα αναφερθούμε στην συνέχεια.

8. Αποτελεσματικότητα της συγκόλλησης – Joint Efficiency: E

Ο κώδικας SECTION VIII DIVISION 1 στην παράγραφο UW – 12 δίνει τις τιμές E για ενώσεις που έχουν παραχθεί με την διαδικασία ηλεκτροσυγκόλλησης με τόξο ή συγκόλλησης με αέριο. Η αποδοτικότητα της ένωσης εξαρτάται από 2 παράγοντες: τον τύπο της ένωσης και από τον βαθμό εξέτασης της ένωσης χωρίς να εξαρτάται από τον βαθμό εξέτασης των άλλων ενώσεων. Στην συνέχεια ακολουθεί παρουσίαση των τύπων ένωσης, των κατηγοριών ένωσης (κατηγορίες ένωσης δημιουργούνται με βάση την θέση της ένωσης στο δοχείο πίεσης) και των διαφόρων βαθμών εξέτασης.

α) Τύποι ένωσης – Joint types

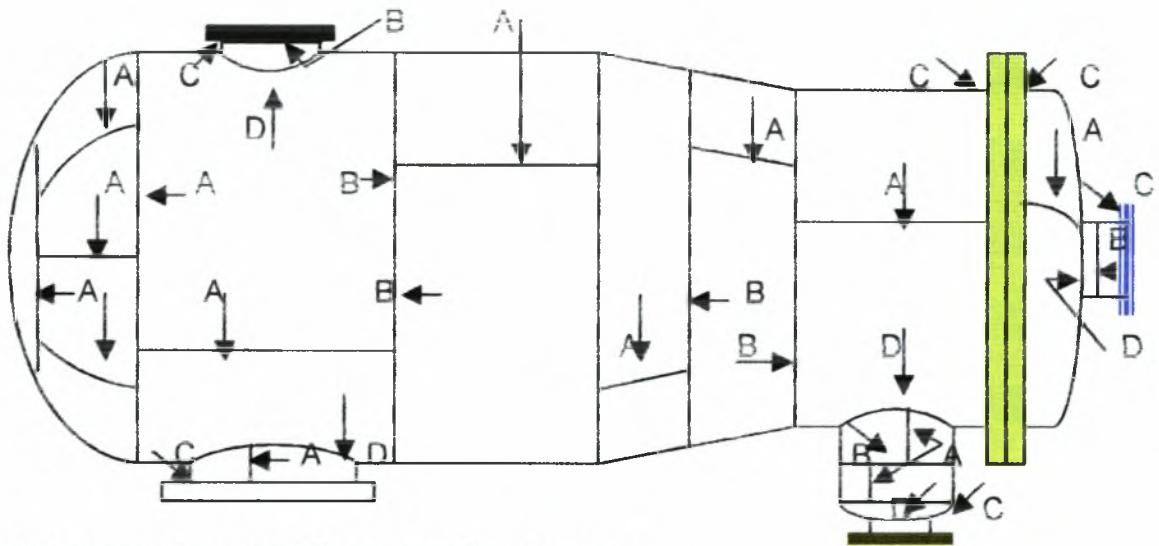
- Σύνδεση κατά συμβολή (butt joint -τα συνδεόμενα μέλη βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο).

1. Πραγματοποιείται με διπλή συγκόλληση και αν χρησιμοποιείται επικαλύπτρα αυτή πρέπει να αφαιρείται μετά την συγκόλληση.
 2. Πραγματοποιείται με μονή συγκόλληση και με επικαλύπτρα.
 3. Πραγματοποιείται με μονή συγκόλληση χωρίς επικαλύπτρα.
- Σύνδεση με επικάλυψη (lap joint - το ένα μέλος επικαλύπτει το άλλο).
 1. Το ένα μέλος επικαλύπτει το άλλο. Πραγματοποιείται με διπλή συγκόλληση.
 2. Το ένα μέλος επικαλύπτει το άλλο. Πραγματοποιείται με μονή συγκόλληση με χρησιμοποίηση επιπρόσθετα συγκόλλησης τύπου plug.

β) Κατηγορίες ένωσης – Joint categories

- Κατηγορία Α. Διαμήκεις ενώσεις εντός των ορίων το κυρίου κελύφους, συνδεδεμένοι θάλαμοι (π.χ. φρεάτια συγκέντρωσης ένωσης), μεταβατικές διαμέτροι, ή ακροφύσια · κάθε συγκολλητή ένωση εντός των ορίων της σφαίρας, επίπεδου κεφαλιού ή δοχείου με επίπεδες πλευρές· περιφερειακές ενώσεις που συνδέουν ημισφαιρικά καπάκια με το κυρίως κέλυφος, με μεταβατικές διαμέτρους, με ακροφύσια ή με συνδεδεμένους θαλάμους.
- Κατηγορία Β. Περιφερειακές ενώσεις εντός των ορίων του κυρίου κελύφους, συνδεδεμένοι θάλαμοι, μεταβατικές διαμέτροι, ή ακροφύσια συμπεριλαμβανομένου ανάμεσα στην μεταβατική διάμετρο και στον κύλινδρο είτε στην μεγάλη πλευρά είτε στην μικρή · περιφερειακές ενώσεις που συνδέουν διαμορφωμένα (formed) εκτός από ημισφαιρικά καπάκια με το κυρίως κέλυφος, με μεταβατικές διαμέτρους, με ακροφύσια ή με συνδεδεμένους θαλάμους.
- Κατηγορία C. Ενώσεις που συνδέουν φλάντζες, Van Stone επικαλύψεις, tubesheets με διαμορφωμένα κεφάλια, με το κυρίως κέλυφος με μεταβατικές διαμέτρους, με ακροφύσια ή με συνδεδεμένους θαλάμους· κάθε ένωση που συνδέει μια επίπεδη πλευρά με μια άλλη σε ένα δοχείο με επίπεδες πλευρές.
- Κατηγορία D. Ενώσεις που συνδέουν συνδεδεμένους θαλάμους ή ακροφύσια με το κυρίως κέλυφος, με μεταβατικές διαμέτρους, με σφαίρες, με κεφάλια ή με δοχεία με επίπεδες πλευρές και ενώσεις που συνδέουν ακροφύσια με συνδεδεμένους θαλάμους (για ακροφύσια στην μικρή πλευρά της μεταβατικής διαμέτρου ανατρέχουμε στην κατηγορία Β).

Στο σχήμα 1 απεικονίζονται οι παραπάνω κατηγορίες σε διάφορες θέσεις σε ένα δοχείο πίεσης.



Σχήμα 1: Κατηγορίες συγκόλλησης σε δοχείο πίεσης.

γ) Βαθμοί εξέτασης: § UW-11 SECTION VIII DIVISION 1

- Πλήρη ραδιογράφηση (Full radiography). Οι συγκολλητές ενώσεις εξετάζονται με ραδιογράφηση σε όλο το μήκος τους.
- Σημειακή ραδιογράφηση (Spot radiography).
- Καθόλου ραδιογράφηση (No radiography).

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω πληροφορία και τον πίνακα UW-12 SECTION VIII DIVISION 1 είμαστε σε θέση να επιλέξουμε την αποδοτικότητα της συγκόλλησης. Επιπρόσθετα πρέπει να σημειώσουμε ότι ο κώδικας απαιτεί να μην διαφέρουν περισσότερο από μια κατηγορία ραδιογράφησης 2 ραφές στο ίδιο δοχείο πίεσης. Για παράδειγμα εάν περιφερειακές ενώσεις δεν υποβάλλονται σε ραδιογράφηση ($E=0.7$) τότε οι διαμήκεις ραφές έχουν μέγιστη τιμή $E=0.85$ ακόμα και αν οι συγκεκριμένες ραφές έχουν υποστεί πλήρη ραδιογράφηση. Το πρακτικό συμπέρασμα είναι ότι οι περιφερειακές ενώσεις, οι οποίες συνήθως λιγότερο καταπονημένες, μπορεί να έχουν σημειακή ραδιογράφηση σε ($E=0.85$) ενώ οι διαμήκεις έχουν υποστεί πλήρη ραδιογράφηση πράγμα που κάνει οικονομικότερη την επιθεώρηση. Σε γενικές γραμμές για πλήρη ραδιογράφηση $E=1.0$, για σημειακή ραδιογράφηση $E=0.85$, χωρίς

ραδιογράφηση $E=0.7$. Κατασκευές χωρίς ραφές παίρνουν τιμή ίση με $E=1.0$. Προφανώς η μείωση του συντελεστή E προκαλεί αύξηση του απαιτούμενου πάχους του δοχείου.

9. Επιτρεπόμενη διάβρωση – Corrosion allowance: c

Η τιμή αυτή δίνει το μέγεθος της διάβρωσης που επιτρέπουμε να υποστούν τα τοιχώματα του δοχείου κατά την διάρκεια της χρήσης του. Συνεπώς το πάχος αυτό λαμβάνεται υπόψη κατά τον προσδιορισμό του αρχικού πάχους του δοχείου.

Με βάση τα παραπάνω μεγέθη και εκείνα που θα παρουσιαστούν στο τρίτο κεφάλαιο, γίνονται μια σειρά υπολογισμών που δίνουν την συνολική εικόνα των δοχείων πίεσης. Οι κυριότεροι κοινοί υπολογισμοί, οι οποίοι σχετίζονται με τα βασικά μεγέθη, (οι επιμέρους παρουσιάζονται και αυτοί στο 3 κεφάλαιο) που γίνονται είναι οι εξής:

- Απαιτούμενο πάχος - Required thickness, tr . Είναι το ελάχιστο πάχος που απαιτείται για την ασφαλή λειτουργία.
- Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας – Maximum allowable working pressure, **MAWP**. Πρόκειται για την εσωτερική πίεση κατά την οποία το πιο κρίσιμο στοιχείο του δοχείου φορτίζεται στο μέγιστο επιτρεπόμενο σημείο, ενώ κατά τον προσδιορισμό της θεωρούμε ότι ισχύουν οι ακόλουθες συνθήκες:
 1. Το δοχείο βρίσκεται σε διαβρωμένη κατάσταση
 2. Το δοχείο βρίσκεται υπό τη επίδραση της εφαρμοζόμενης θερμοκρασίας
 3. Το δοχείο βρίσκεται στη φυσιολογική θέση λειτουργίας
 4. Το δοχείο βρίσκεται κάτω από την επίδραση άλλων φορτίσεων, οι οποίες ενεργούν επιπρόσθετα στην εσωτερική πίεση (αέρας, εξωτερική πίεση, υδροστατική πίεση).

Πολλοί χρήστες και κατασκευαστές δοχείων πίεσης περιορίζουν τον υπολογισμό της επιτρεπόμενης πίεσης στα καπάκια ή στο κέλυφος παρά σε μικρότερα στοιχεία όπως φλάντζες, ανοίγματα κ.α.

- Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας στην θερμοκρασία περιβάλλοντος - Maximum allowable working pressure New and Cold, **MAWPNC**. Σε σχέση με τις συνθήκες της **MAWP** έχουμε τις εξής διαφοροποιήσεις:
 1. Το δοχείο δεν έχει διαβρωθεί (New).
 2. Η θερμοκρασία δεν επηρεάζει την αντοχή του - θερμοκρασία δωματίου (cold).

Οι υπόλοιπες συνθήκες που αναφέρονται παραπάνω (3 και 4) θα πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη.

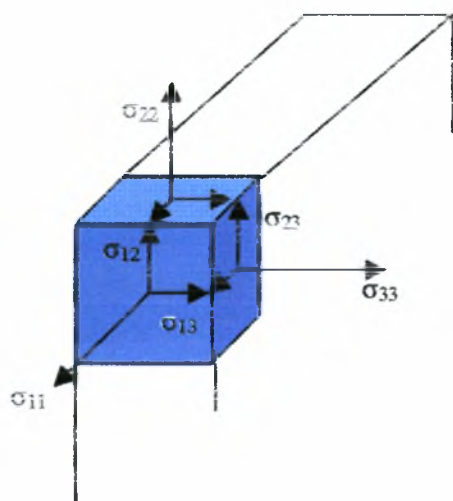
- Πίεση για υδροστατικό έλεγχο – Hydrostatic test pressure. Πραγματοποιείται, ανάλογα την περίπτωση ένας από τους παρακάτω 3 υπολογισμούς.
 1. Hydro. Pressure = 1.5 MAWP. Εάν η τιμή της τάσης του υλικού του δοχείου στην θερμοκρασία σχεδιασμού είναι μικρότερη από ότι στην θερμοκρασία κατά την οποία γίνεται ο έλεγχος, τότε η υδροστατική πίεση ελέγχου θα πρέπει να αυξάνεται αναλογικά, δηλαδή τότε: Hydro. Pressure = 1.5 MAWP $\frac{Sa}{S}$ με Sa, τάση στην θερμοκρασία ελέγχου.
 2. Στην περίπτωση που οι υπολογισμοί δεν γίνονται για τον υπολογισμό της MAWP τότε χρησιμοποιείται η πίεση σχεδιασμού και οι παραπάνω σχέσεις γίνονται: Hydro. Pressure = 1.5 Pi και Hydro. Pressure = 1.5 Pi $\frac{Sa}{S}$.
 3. Πέρα από τις πιέσεις MAWP και P ως βάση για τον υπολογισμό της Hydro. Pressure μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μια τρίτη πίεση Px, η οποία μπορεί να προκύψει μετά από συμφωνία ανάμεσα στον χρήστη και τον κατασκευαστή. Πρόκειται για την μέγιστη επιτρεπόμενη εσωτερική πίεση όπως αυτή προκύπτει από τύπους που περιέρονται στον κώδικα για κάθε στοιχείο του δοχείου χρησιμοποιώντας την ονομαστική διάμετρο, τις επιτρεπόμενες τιμές τάσεις όπως αυτές δίνονται στο Subpart 1 of Section II Part D για την θερμοκρασία όπου πραγματοποιείται ο έλεγχος και λαμβάνοντας υπόψη την επιτρεπόμενη διάβρωση. Συνήθως χρησιμοποιείται η MAPWNC. Με βάση τα παραπάνω προκύπτει Hydro. Pressure = 1.5 MAPWNC – Head (Hydro). Όπου Head (Hydro) υδροστατική πίεση που πιθανώς υπάρχει στο υπό εξέταση στοιχείο.
- Ελάχιστες θερμοκρασίες μετάλλου – Minimum metal temperatures. Πρόκειται για 3 διαφορετικές θερμοκρασίες. Η πρώτη προκύπτει κατευθείαν από το διάγραμμα UCS-66 DIVISION 1 SECTION VIII. Η δεύτερη παράγεται αν η πραγματική τάση είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη τάση χρησιμοποιώντας το σχήμα UCS-66.1 DIVISION 1 SECTION VIII. Εάν το υλικό που χρησιμοποιείται έχει τις προδιαγραφές που παρουσιάζονται στην § UG -20 DIVISION 1 τότε ως ελάχιστη θερμοκρασία αναφέρεται και μια τρίτη θερμοκρασία (- 20 °F) η οποία καταγράφεται στην περίπτωση

που είναι μικρότερη από τις θερμοκρασίες που δίνουν τα διαγράμματα. Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται οι παραπάνω θερμοκρασίες δίνεται στο παράρτημα Β.

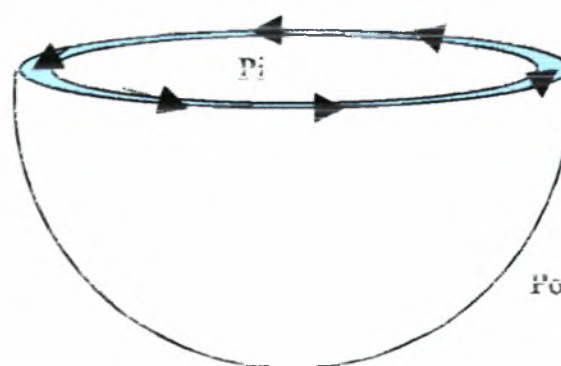
2.2 Φιλοσοφία σχεδιασμού - Είδη και κατηγορίες τάσεων

Το πρώτο βήμα σε μια ανάλυση τάσεων, όσον αφορά ένα δεδομένο πρόβλημα είναι η διατύπωση όλων των σχεδιαστικών μεγεθών του προβλήματος και ο καθορισμός όλων των εφαρμοζόμενων εξωτερικών φορτίσεων. Στην συνέχεια πρέπει να γίνει σύνδεση των εξωτερικών φορτίσεων με τα τμήματα του δοχείου που αντιστέκονται στην φόρτιση έτσι ώστε να υπολογιστούν οι αντίστοιχες τάσεις.

Προφανώς η πιο συνηθισμένη μορφή φόρτισης εφόσον αναφερόμαστε σε δοχεία πίεσης, αποτελεί η εσωτερική ή εξωτερική πίεση. Τα δοχεία πίεσης συνήθως έχουν την μορφή σφαιρών, κυλίνδρων, κώνων, ελλειψοειδών, κ.τ.λ. Πρόκειται για κατασκευές που η μέση τους επιφάνεια σχηματίζεται με περιστροφή μιας επίπεδης καμπύλης γύρω από ένα άξονα, τον άξονα συμμετρίας του στερεού που παράγεται. .



Σχήμα 2: Απεικόνιση των τάσεων σε τυχαίο σημείο.



Σχήμα 3: Τάσεις σ_{12} σε τομή σφαίρας.

Ο τανυστής των τάσεων σε ένα σημείο(σχήμα 2) στο τοίχωμα του δοχείου έχει την μορφή:

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{13} & \sigma_{23} & \sigma_{33} \end{bmatrix}$$

Για δοχεία που υποβάλλονται σε εσωτερική ή εξωτερική πίεση μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις:

- Η τάση σ_{33} κυμαίνεται από $-P_i$ (εσωτερική πίεση) στην εσωτερική επιφάνεια έως $-P_o$ (εξωτερική πίεση) στην εξωτερική επιφάνεια.
- Οι τάσεις σ_{23}, σ_{13} μηδενίζονται τόσο στην εξωτερική όσο και στη εσωτερική επιφάνεια. Θεωρούμε ότι $\sigma_{23} = \sigma_{13} = 0$ παντού.
- Η τάση σ_{12} λόγω συμμετρίας είναι ίση με μηδέν: $\sigma_{12} = 0$. Αυτό εξηγείται ως εξής: Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται οι τάσεις σ_{12} για την περίπτωση της σφαίρας. Η φορά των τάσεων θα έπρεπε κανονικά να προκαλεί ροπή κάτι που δεν γίνεται. Υποθέτουμε λοιπόν ότι για κάθε τάση σ_{12} που επενεργεί υπάρχει μια αντίθετη της που την εξουδετερώνει

Έχουμε δηλαδή τριαξονική εντατική κατάσταση και οι τρεις κύριες τάσεις είναι :

$$\sigma_x = \sigma_{11} = \text{διαμήκης τάση}, \quad \sigma_\phi = \sigma_{22} = \text{περιφερειακή τάση}, \quad \sigma_r = \sigma_{33} = \text{ακτινική τάση}$$

Όταν το πάχος ενός δοχείου είναι πολύ μικρό σε σχέση με την ακτίνα του, ισχύει δηλαδή $R_m / t > 10$ τότε τα δοχεία πίεσης χαρακτηρίζονται ως λεπτότοιχα δοχεία πίεσης ή αλλιώς ως μεμβράνες. Στην περίπτωση αυτή υπολογίζοντας τις κύριες τάσεις συμπεραίνουμε ότι η ακτινική τάση σ_r είναι αμελητέα σε σχέση με τις άλλες 2 τάσεις και μπορούμε να την θεωρήσουμε ίση με μηδέν. Θεωρούμε δηλαδή ότι έχουμε διαξονική εντατική κατάσταση και οι 2 εναπομείνουσες τάσεις χαρακτηρίζονται ως τάσεις μεμβράνης.

Το υπολογιζόμενο πάχος όπως αυτό δίνεται για την περίπτωση μόνο εξωτερικής ή εσωτερικής πίεσης πολλές φορές δεν είναι αρκετό για να αντέξει την επίδραση άλλων συνδυαζόμενων φορτίσεων. Σε ένα δοχείο πίεσης, τα «καπάκια» που κλείνουν τα δοχεία, οι αντιδράσεις από τις στηρίξεις, η τυχόν ποικιλία σε διατομές και πάχος, και η συνολική κάμψη λόγω του βάρους, σεισμού και αέρα προκαλούν μεταβλητή κατανομή τάσεων στο δοχείο πίεσης. Άρα λοιπόν χρειάζονται λεπτομερείς υπολογισμοί που να δίνουν την επίδραση της

κάθε φόρτισης χωριστά και στην συνέχεια συνδυασμός των φορτίσεων, για να οριστεί πλήρως η εντατική κατάσταση στο υπό εξέταση τμήμα του δοχείου. Συνεπώς οι τάσεις που εμφανίζονται σε ένα δοχείο πίεσης ανήκουν σε πολλές κατηγορίες οι οποίες ταξινομούνται ανάλογα με τον τύπο της φόρτισης (που προκαλεί την συγκεκριμένη τάση) και το βαθμό επικινδυνότητας τους ως προς το δοχείο.

Κατηγορίες τάσεων - Classes of stress

1. Βασική τάση- Primary stress

α) Γενικές– General. Πρόκειται για τον πιο επικίνδυνο τύπο από όλα τα είδη των τάσεων . Το βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι δεν είναι αυτόπεριοριζόμενες (self limiting). Τέτοιες τάσεις γενικά προκαλούνται από εσωτερική ή εξωτερική πίεση ή παράγονται από συνεχείς εξωτερικές φορτίσεις και ροπές. Χωρίζονται σε 2 κατηγορίες

- Βασική γενική τάση μεμβράνης, P_m : Η τάση αυτή εμφανίζεται εγκάρσια σε όλη την διατομή ενός δοχείου. Παραδείγματα αποτελούν: περιφερειακές και διαμήκεις τάσεις λόγω πίεσης, θλιπτικές και εφελκυστικές αξονικές τάσεις λόγω του αέρα, διαμήκεις τάσεις εξαιτίας της κάμψης οριζόντιων δοχείων πάνω σε στηρίγματα, τάση μεμβράνης στο κέντρο επίπεδου κεφαλιού, τάση μεμβράνης στον τοίχο του ακροφυσίου εντός των ορίων της ενίσχυσης λόγω πίεσης ή εξωτερικής φόρτισης, αξονική θλίψη λόγω βάρους.
- Βασική γενική καμπτική τάση, P_b . Εμφανίζονται σε λιγότερες περιπτώσεις. Παραδείγματα αποτελούν: καμπτική τάση σε ρηχά κωνικά καπάκια, στο κέντρο ενός επίπεδου κεφαλιού, σε συνδέσμους σε στενά ανοίγματα.

Η αναγκαιότητα του παραπάνω διαχωρισμού προκύπτει από το γεγονός ότι η γενική καμπτική τάση μπορεί να πάρει μεγαλύτερη επιτρεπόμενη τιμή από την γενική τάση μεμβράνης. Όταν οι παραπάνω τάσεις ξεπεράσουν το όριο ροής του υλικού η κατασκευή αστοχεί.

β) Βασική τοπική τάση μεμβράνης – Primary local membrane stress, P_L . Πρόκειται για συνδυασμό 2 τάσεων, την βασικής τάσης μεμβράνης P_m συν δευτερεύουσα τάση μεμβράνης η οποία προκαλείται από μόνιμα φορτία. Κρίθηκε σκόπιμο, η τοπική τάση από μόνιμα φορτία εφόσον παρουσιάζει σημαντικό κίνδυνο ως συνδυασμός, να ταξινομηθεί σαν βασική τάση.

Παράγεται είτε λόγω πίεσης είτε λόγω άλλων μηχανικών φορτίσεων. Η βασική τοπική τάση μεμβράνης είναι συνδυασμός μόνο τάσεων μεμβράνης, Έτσι μόνο οι τάσεις μεμβράνης από ένα τοπικό φορτίο συνδυάζονται με βασικές γενικές τάσεις μεμβράνης και όχι με καμπτικές τάσεις. Έτσι λοιπόν $P_L = P_m + Q_m$ όπου Q_m τοπική τάση παραγόμενη από σταθερή φόρτιση. Παραδείγματα αποτελούν : P_m + τάση μεμβράνης σε τοπικές ασυνέχειες (ένωση κελύφους-καπακιού, ένωση κώνου κυλίνδρου, ένωση ακροφυσίου κυλίνδρου, ένωση φλάντζας – κελύφους, ένωση κελύφους – κολάρου), P_m + τάσεις μεμβράνης από τοπικά σταθερά φορτία (στηρίξεις ,φορτίσεις ακροφυσίων, δοκοί, βασικές συνδέσεις).

2. Δευτερεύουσα τάση- Secondary stress

Το βασικό χαρακτηριστικό για την συγκεκριμένη τάση είναι το ότι είναι αυτοπεριοριζόμενη (η διαρροή μετριάζει την τάση). Αναπτύσσονται στις συνδέσεις των κύριων στοιχείων ενός δοχείου πίεσης. Η εφαρμογή μιας τέτοιας τάσης δεν προκαλεί αστοχία της κατασκευής εξαιτίας της αντίστασης που προσφέρει ο «κορμός» της κατασκευής, με τον οποίο ενώνονται τα διάφορα στοιχεία, στην αναπτυσσόμενη τάση. Χωρίζονται σε 2 κατηγορίες:

- Δευτερεύουσα τάση μεμβράνης, Q_m (αξονική τάση στην ένωση φλάντζας και του hub της φλάντζας, θερμικές τάσεις, τάση μεμβράνης στην περιοχή άρθρωσης ενός καπακιού, τάση μεμβράνης λόγω τοπικής σταθερής φόρτισης).
- Δευτερεύουσα καμπτική τάση μεμβράνης, Q_b (καμπτική τάση σε μεγάλη ασυνέχεια της κατασκευής, το μη ομοιόμορφο τμήμα της κατανομής των τάσεων σε δοχείο με χοντρά τοιχώματα λόγω της εσωτερικής πίεσης, τάσεις ασυνέχειας σε κολάρα).

3. Τάση αιχμής- Peak stress

Παραδείγματα αποτελούν: θερμικές τάσεις σε τοίχωμα λόγω ξαφνικής αλλαγής της θερμοκρασίας , θερμικές τάσεις σε επικαλύψεις, τάσεις σε γωνία ασυνέχειας. Πρόκειται για τάσεις επιπρόσθετες στις βασικές και δευτερεύουσες τάσεις και παρουσιάζονται στο σημείο συγκέντρωσης τάσεων.

Μόλις οι διάφορες τάσεις σε ένα στοιχείο του δοχείου καθοριστούν στην συνέχεια πρέπει να συνδυαστούν μεταξύ τους και το τελικό αποτέλεσμα να συγκριθεί με την αντίστοιχη επιτρεπόμενη τάση. Για να γίνει αυτό χρειάζεται η χρήση μιας κατάλληλης θεωρίας, ενός

κριτηρίου αστοχίας που να συσχετίζει την κατάσταση αντοχής μιας σύνθετης κατασκευής σε σύνθετη καταπόνηση, με την κατάσταση αντοχής ενός δοκιμίου από το ίδιο υλικό, που υποβάλλεται σε απλό εφελκυσμό ή θλίψη. Η διαδικασία αυτή πρέπει να γίνει γιατί αν για παράδειγμα είχαμε απλά μονοαξονική καταπόνηση μιας κατασκευής (θλίψη, εφελκυσμό) ένας απλός έλεγχος σε δοκίμιο από το ίδιο υλικό θα ήταν αρκετός για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της αστοχίας. Στην περίπτωση όμως που η κατασκευή υποβάλλεται σε σύνθετη καταπόνηση, όπως συνήθως γίνεται στην περίπτωση των δοχείων πίεσης δεν είναι δυνατό να κάνουμε αντίστοιχο έλεγχο, γιατί προφανώς δεν είναι δυνατό πειραματικά να αναπαραστήσουμε και να ελέγξουμε την οποιαδήποτε εντατική κατάσταση. Έτσι λοιπόν σύμφωνα με το εκάστοτε κριτήριο αστοχίας η εντατική κατάσταση ανάγεται σε μια ισοδύναμη μονοαξονική κατάσταση εξίσου επικίνδυνη με τη δοσμένη τριαξονική. Στην συνέχεια παρουσιάζονται δύο από τις θεωρίες αστοχίας, οι οποίες χρησιμοποιούνται από τον ASME Code Section VIII. Πρόκειται για την θεωρία μέγιστης τάσης και την θεωρία της μέγιστης διατμητικής τάσης.

Θεωρία μέγιστης τάσης - Maximum stress theory (Lame (1833) και W.J.M. Rankine (1856))
Πρόκειται για την παλιότερη ευρύτερα εφαρμοζόμενη και απλή μέθοδο που χρησιμοποιείται. Αυτή η θεωρία υποστηρίζει ότι η θραύση του υλικού εξαρτάται μόνο από την απόλυτη τιμή της μέγιστης κύριας τάσης σ_1 ($|\sigma_1| \geq |\sigma_2| \geq |\sigma_3|$). Οι τάσεις στις άλλες κατευθύνσεις αγνοούνται. Άρα ισοδύναμη τάση σ_{σ} είναι η $|\sigma_1|$. Οπότε για να επέλθει η αστοχία, πρέπει σ_{σ} με την τάση S της μονοαξονικής καταπόνησης. Αυτή η θεωρία χρησιμοποιείται για διαξονική εντατική κατάσταση σε μεμβράνες. Με την θεωρία αυτή προβλέπεται με ακρίβεια η αστοχία σε ψαθυρά υλικά όχι όμως και σε όλκιμα υλικά. Αυτό γιατί τα όλκιμα υλικά αστοχούν σε επίπεδα με κλίση 45° προς την διεύθυνση επιβολής των φορτίων λόγω διάτμησης, αρκετά πριν η εφελκυστική ή η θλιπτική τάση μέγιστη.

Θεωρία της μέγιστης διατμητικής τάσης- Maximum shear stress theory (Ch.A. Coulomb (1773), H. Tresca (1868) J.J. Guest (1900)).

Συνήθως η θεωρία λέγεται κριτήριο Tresca και η κρίσιμη κατάσταση προσδιορίζεται από την μέγιστη διατμητική τάση. Σύμφωνα με την θεωρία, η διαρροή ξεκινάει στο σημείο όπου η

μέγιστη διατμητική τάση γίνει ίση με το μισό του μονοαξονικού ορίου διαρροής F_y . Για διαξονική εντατική κατάσταση όπου $\sigma_1 > \sigma_2$ η μέγιστη διατμητική τάση θα είναι $(\sigma_1 - \sigma_2)/2$. Δηλαδή $\sigma_{\sigma} = \sigma_1 - \sigma_2$. Σε τριαξονική εντατική κατάσταση όπου $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ μέγιστη διατμητική τάση είναι $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$. Οπότε η διαρροή ξεκινάει όταν $\sigma_{\sigma} = F_y = \sigma_1 - \sigma_3$. Το συγκεκριμένο κριτήριο δίνει καλά αποτελέσματα σε όλκιμα υλικά.

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια έχει προκύψει ο πίνακας 1 ο οποίος δίνει τις επιτρεπόμενες τιμές τάσεων για σύνθετες καταπονήσεις.

Συνδυαζόμενες τάσεις	Επιτρεπόμενες τάσεις
Βασική γενική τάση μεμβράνης, P_m	SE
Βασική γενική καμπτική τάση, P_b	$1.5 SE < 0.9 F_y$
Βασική τοπική τάση μεμβράνης P_L	
$P_L = P_m + Q_m$	$1.5 SE < 0.9 F_y$
Δευτερεύουσα τάση μεμβράνης, Q_m^*	$1.5 SE < 0.9 F_y$
Δευτερεύουσα καμπτική τάση μεμβράνης, Q_b	$3 SE < 2 F_y < UTS$
Τάση αιχμής, F	S_a
$P_m + P_b + Q_m^* + Q_b$	$3 SE < 2 F_y < UTS$
$P_L + P_b$	$1.5 SE < 0.9 F_y$
$P_L + P_b + Q_m^* + Q_b$	$3 SE < 2 F_y < UTS$
$P_L + P_b + Q_m^* + Q_b + F$	S_a

Πίνακας 1:Επιτρεπόμενες τάσεις για συνδυαζόμενες τάσεις.(Q_{ms} =τάση μεμβράνης από μόνιμα φορτία, Q_m^* =τάση μεμβράνης από αυτοπεριοριζόμενα φορτία, F_y =ελάχιστο όριο ροής, $U.T.S$ =ελάχιστη αντοχή εφελκυσμού, S_a =επιτρεπόμενη τάση για κάθε αριθμό περιόδων από καμπύλες κόπωσης).

Στον κώδικα Division 1 του Section VIII λαμβάνονται υπόψη μόνο 2 κατηγορίες τάσεων, βασικές τάσεις μεμβράνης και βασικές καμπτικές τάσεις.

2.3 ASME Code Section VIII

Πρόκειται για το τμήμα του κώδικα στο οποίο γίνεται λεπτομερής κάλυψη της απαραίτητης γνώσης για τον σχεδιασμό και κατασκευή των δοχείων πίεσης. Αποτελείται από τρεις επιμέρους υποδιαιρέσεις (divisions).

- Division 1. Παρέχει απαιτήσεις που εφαρμόζονται κατά τον σχεδιασμό, κατασκευή, επιθεώρηση, έλεγχο και πιστοποίηση δοχείων πίεσης.
- Division 2. Κινείται στα ίδια πλαίσια με τον Division 1 με την διαφορά ότι χρησιμοποιεί εναλλακτικούς κανόνες για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων.

- Division 3. Εδώ δίνονται απαιτήσεις για δοχεία ιδιαίτερα μεγάλης πίεσης, μεγαλύτερης από 10.000 Psi.

2.3.1 Division 1

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι τα δοχεία πίεσης που κατασκευάζονται σύμφωνα με το Division 1 του Section VIII κατασκευάζονται με κανόνες και δεν απαιτείται λεπτομερή εκτίμηση των τάσεων. Αναγνωρίζεται ότι μεγάλες τοπικές τάσεις και δευτερεύουσες καμπτικές τάσεις μπορεί να υπάρχουν αλλά επιτρέπονται με την χρήση ενός μεγαλύτερου συντελεστή ασφαλείας ο οποίος χρησιμοποιείται για τις άγνωστες τάσεις. Δίδονται τύποι υπολογισμού του πάχους και των τάσεων των βασικών στοιχείων. Χρησιμοποιείται διαξονική εφελκυστική κατάσταση συνεπώς τα δοχεία αντιμετωπίζονται ως μεμβράνες. Επίσης χρησιμοποιείται ως θεωρία αστοχίας, η θεωρία μέγιστης τάσης. Στο σημείο αυτό πρέπει να πούμε ότι οι υπολογισμοί που παρουσιάζονται στο 3 κεφαλαίο αφορούν κανονισμούς σχεδιασμού των επιμέρους στοιχείων ενός δοχείων στοιχείων πίεσης οι οποίοι κατά κύριο λόγο βρίσκονται στο Division 1. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ο συγκεκριμένος κώδικας δεν λαμβάνει ρητά υπόψη τα αποτελέσματα των συνδυαζόμενων τάσεων ούτε παρέχει λεπτομερή μεθοδολογία για τον τρόπο με τον οποίο συνδυάζονται οι τάσεις. Παρέχοντας απλούς σχεδιαστικούς κανόνες και χρησιμοποιώντας συντελεστές ασφαλείας στοχεύει σε ασφαλείς και οικονομικές λύσεις για συνηθισμένες εφαρμογές δοχείων πίεσης, η φύση των οποίων δεν απαιτεί λεπτομερή εκτίμηση όλων των τάσεων.

2.3.2 Division 2

Σύμφωνα με το Division 2 απαιτείται λεπτομερή ανάλυση όλων των τάσεων και αυτή η επιπρόσθετη γνώση εξαργυρώνεται με την χρήση υψηλότερων επιτρεπόμενων τάσεων αντί για μεγάλους συντελεστές ασφαλείας. Θεωρείται τριαξονική εντατική κατάσταση και χρησιμοποιείται ως κριτήριο αστοχίας, η θεωρία της μέγιστης διαμητικής τάσης. Παρέχεται ρητά η μεθοδολογία για το πώς συνδυάζονται οι τάσεις και επιτρεπόμενες τιμές τάσεων για τις συνδυαζόμενες κατηγορίες. Γενικά χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου το Division 1 οδηγεί σε ψηλά κόστη ή σε κατασκευαστικές δυσκολίες. Απαιτείται προσεχτικότερη επιλογή των υλικών, μεγαλύτερη ακρίβεια στις διαδικασίες σχεδιασμού και αρκετά πιο ολοκληρωμένη εξέταση και επιθεώρηση της κατασκευής

3. ΛΕΠΤΟΜΕΡΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΧΕΙΩΝ ΠΙΕΣΗΣ

3.1 Κελύφη και Καπάκια-Shells and Heads

Ο κώδικας ASME Section VIII Division 1 πραγματοποιεί υπολογισμούς σε ποικιλία γεωμετριών για κεφάλια (πίνακας 2) και καπάκια (πίνακας 3) τόσο για εξωτερική όσο και για εσωτερική πίεση με βάση είτε την εσωτερική ή την εξωτερική ακτίνα.

Κελύφη		
Γεωμετρικός τύπος	Υπολογισμοί εσ. πίεσης	Υπολογισμοί εξ. πίεσης
Κύλινδρος	Πραγματοποιούνται	Πραγματοποιούνται
Σφαίρα	<<	<<
Κώνος	<<	<<

Πίνακας 2 : Γεωμετρικοί τύποι κελυφών που χρησιμοποιούνται

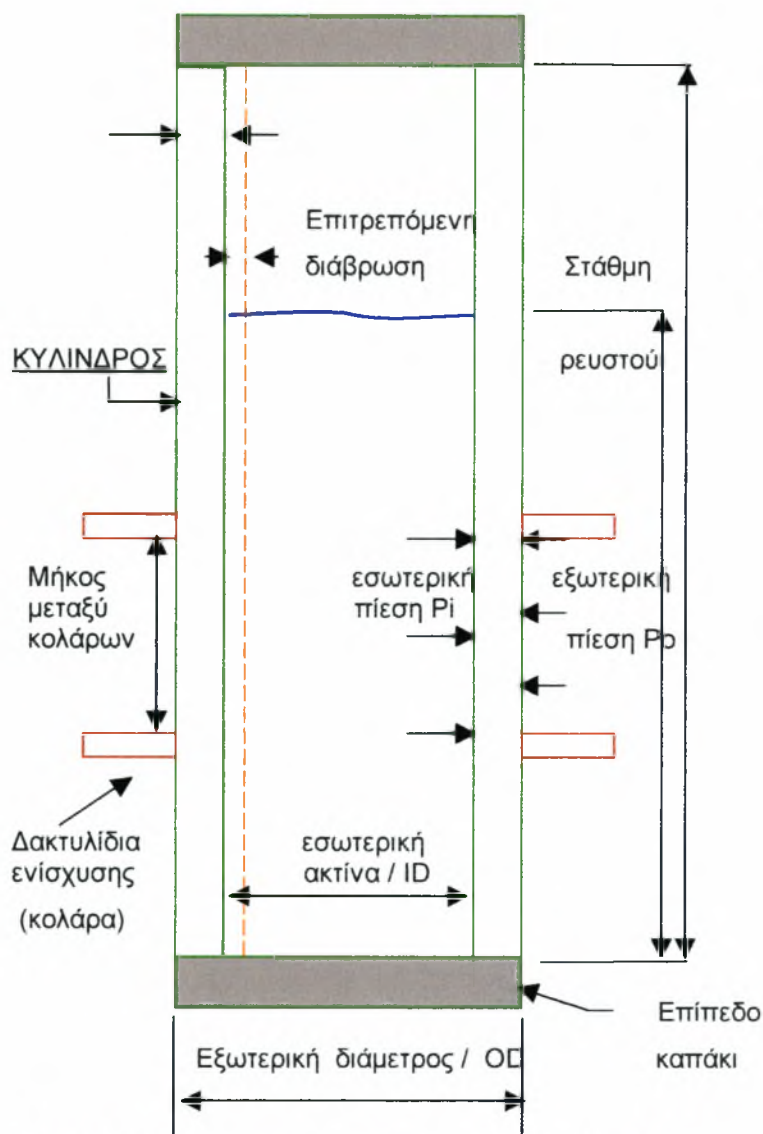
Καπάκια		
Γεωμετρικός τύπος	Υπολογισμοί εσ. πίεσης	Υπολογισμοί εξ. πίεσης
Έλλειψη	Πραγματοποιούνται	Πραγματοποιούνται
Ημισφαίριο	<<	<<
Κώνος	<<	<<
Torispherical	<<	<<
Επίπεδο	<<	Δεν πραγματοποιούνται

Πίνακας 3 : Γεωμετρικοί τύποι καπακιών που χρησιμοποιούνται

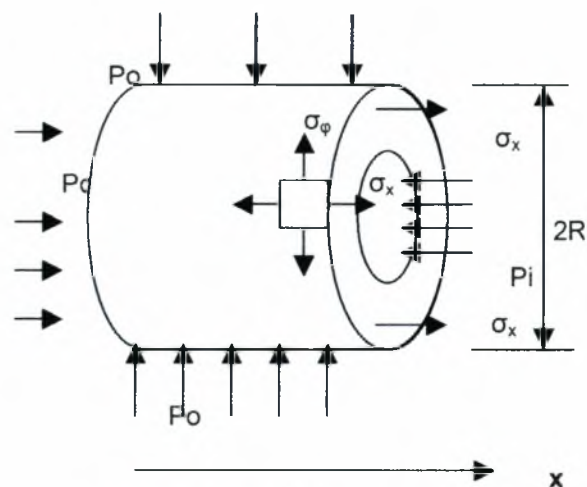
Στην συνέχεια γίνεται ξεχωριστή αναφορά σε κάθε ένα από τους παραπάνω γεωμετρικούς τύπους. Δίνονται στοιχεία όσον αφορά την γεωμετρία τους και τους σχεδιαστικούς υπολογισμούς. Η υπολογιστική διαδικασία παρουσιάζεται αναλυτικά στο παράρτημα Γ, για την περίπτωση ενός κυλινδρικού κελύφους. Η φιλοσοφία της διαδικασίας αυτής εφαρμόζεται, με μικρές διαφοροποιήσεις (οι οποίες κατά κύριο λόγο προέρχονται από την διαφορετική γεωμετρία) και για τους υπόλοιπους τύπους κελυφών και καπακιών.

A) Κυλινδρικά κελύφη.

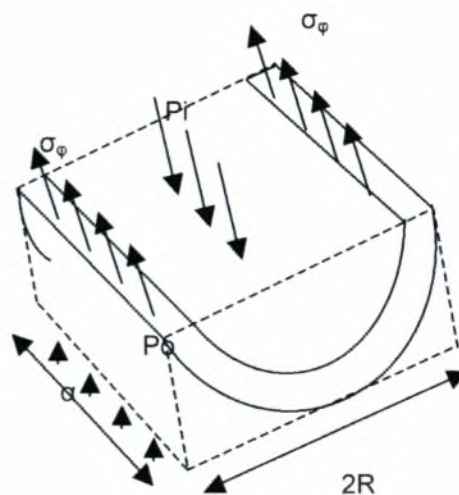
Η μορφή ενός κυλινδρικού κελύφους φαίνεται στο σχήμα 4. Πρόκειται για έναν από τους ευρύτερα χρησιμοποιούμενους τύπους κελυφών σε δοχεία πίεσης. Σε ένα κύλινδρο γίνονται υπολογισμοί σχετικοί τόσο με την εσωτερική όσο και με την εξωτερική πίεση.



Σχήμα 4 : Γεωμετρικά μεγέθη σε κυλινδρικό κέλυφος



Σχήμα 5 : Εγκάρσια τομή σε κύλινδρο



Σχήμα 6 : Τομή παράλληλη στον άξονα

Στην περίπτωση λεπτότοιχων δοχείων, όπως έχουμε αναφέρει, υπάρχουν 2 κύριες τάσεις, η διαμήκης τάση σ_x και η περιφερειακή τάση σ_ϕ οι οποίες υπολογίζονται με την παρακάτω διαδικασία [$R = (R_o + R_i)/2$ η μέση ακτίνα του κελύφους:

- Υπολογισμός σ_x : στο σχήμα 5 παίρνουμε ισορροπία δυνάμεων στην κατεύθυνση x οπότε προκύπτει η ακόλουθη σχέση.

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow P_o \pi R^2 + \sigma_x 2\pi R t - P_i \pi R^2 = 0 \Rightarrow \sigma_x = (P_i - P_o) R / 2t$$

- Υπολογισμός σ_ϕ : στο σχήμα 6 κάνουμε την εξής παραδοχή: θεωρούμε ότι το τμήμα του κυλίνδρου βρίσκεται σε ένα υποθετικό ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο μήκους α και πλάτους $2R$. Από ισορροπία δυνάμεων στην κατεύθυνση ϕ προκύπτει η σχέση.

$$\Sigma F_\phi = 0 \Rightarrow P_o 2R \alpha + 2\sigma_x \alpha t - P_i 2R \alpha = 0 \Rightarrow \sigma_\phi = (P_i - P_o) R / t$$

Όσον αφορά τους υπολογισμούς εσωτερικής πίεσης μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις.

1. Αρχικά γίνεται η επιλογή της ακτίνας που χρησιμοποιείται ως βάση για τους υπολογισμούς: εσωτερική R_i ή εξωτερική R_o .
2. Με βάση τον τύπο της ακτίνας προσδιορίζονται οι αντίστοιχοι τύποι του ελάχιστου απαιτούμενου πάχους t_r , της μέγιστης επιτρεπόμενης πίεσης λειτουργίας MAWP, της μέγιστης επιτρεπόμενης πίεσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος MAWPNC, και της πραγματικής τάσης σε συνθήκες σχεδιασμού S_{actual} .
3. Στην συνέχεια υπολογίζεται η πίεση για τον υδροστατικό έλεγχο καθώς και η ελάχιστη θερμοκρασία του μετάλλου.
4. Υπολογίζεται ο όγκος και το βάρος του υλικού καθώς και ο εσωτερικός όγκος του δοχείου.

Οι υπολογισμοί εξωτερικής πίεσης περιλαμβάνουν τα εξής.

1. Με βάση το χρησιμοποιούμενο υλικό υπολογίζεται το μέτρο ελαστικότητας
2. Στην συνέχεια προσδιορίζουμε το λόγο της εξωτερικής διαμέτρου προς μια αρχική πρόβλεψη πάχους D_o / T . Με βάση την τιμή αυτή επιλέγεται η επαναληπτική διαδικασία προσδιορισμού η τιμή του ελάχιστου απαιτούμενου πάχους για την εξωτερική πίεση.
3. Χρησιμοποιώντας τη ίδια διαδικασία υπολογίζεται η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση, θέτοντας ως αρχική τιμή πάχους, την τιμή του πραγματικού πάχους.
4. Με την ίδια διαδικασία υπολογίζεται η μέγιστη (SLEN) του μήκους L μεταξύ των κολάρων.

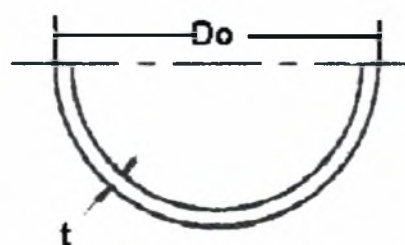
Επίσης πραγματοποιούνται υπολογισμοί όσον αφορά την συγκόλληση στο κολάρο (παράρτημα Γ (Δ)):

1. Υπολογισμός του ακτινικού φορτίου πίεσης στο κέλυφος
2. Υπολογισμός του ακτινικού διατμητικού φορτίου.
3. Υπολογισμός της πρωτοβάθμιας ροπής επιφάνειας (κολάρου και κελύφους).
4. Υπολογισμός της διάτμηση ροής της συγκόλλησης.
5. Υπολογισμός του επιτρεπόμενου φορτίου στην συγκόλληση.
6. Υπολογισμός ελάχιστου πάχους της συγκόλλησης
7. Υπολογισμός ελάχιστου διαστήματος ανάμεσα στις συγκολλήσεις.

8. Υπολογισμός του συνισταμένου φορτίου στην συγκόλληση.

Τέλος γίνεται προσδιορισμός της απαιτούμενης ροπής αδρανείας και της διαθέσιμης ροπής αδρανείας, αφού πρώτα καθοριστεί ο τρόπος με τον οποίο σχετίζεται το κολάρο με το κέλυφος. Αν δηλαδή το κολάρο δεν εφάπτεται στο κέλυφος (ή εφάπτεται αλλά ο σχεδιαστής προτιμά να πάρει υπόψη μόνο το κολάρο), ή αν θεωρούμε συνδυασμό του κολάρου με το κέλυφος.

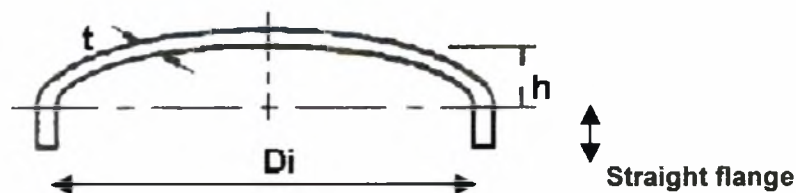
Β) Σφαιρικά κελύφη και ημισφαιρικά καπάκια



Σχήμα 7: Ημισφαίριο

Στις σφαίρες λόγω συμμετρίας οι τάσεις σ_x και σ_θ είναι ίδιες και ίσες με $\sigma_x = \sigma_\theta = (P_i - P_o)R / 2t$

Γ) Ελλειψοειδή καπάκια §UG –32(d) και §UG – 33(d).



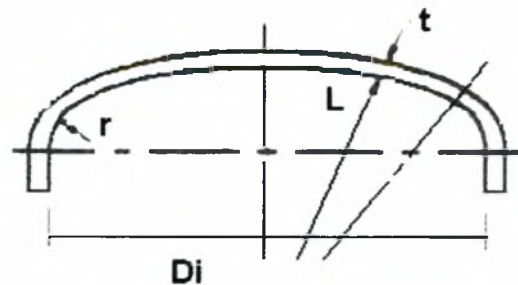
Σχήμα 8: Ελλειψοειδές καπάκι

Στα ελλειψοειδή καπάκια οι, διαφοροποιημένες σε σχέση με τους άλλους γεωμετρικούς τύπους, τιμές που πρέπει να καθοριστούν είναι:

1. Ο λόγος του μεγαλύτερου άξονα της έλλειψης μήκους D_i προς το λόγο του μικρότερου άξονα μήκους $2h$ (aspect ratio). Όπου h είναι το εσωτερικό βάθος του κεφαλιού (σχήμα 8). Ο λόγος αυτός παίρνει συνήθως την τιμή δυο (aspect ratio =2).
2. Μήκος της ευθείας φλάντζας (straight flange). Σύμφωνα με footnote 18 στην § UG –32 καπάκια, τα οποία συνδέονται κατά συμβολή με τα κελύφη (butt joint), όταν έχουν μεγαλύτερο πάχος από το κέλυφος δεν χρειάζονται κάθετη φλάντζα για να ενωθούν με το κέλυφος. Ανεξάρτητα όμως από τον περιορισμό αυτόν στην πράξη συνήθως

χρησιμοποιούνται κάθετες φλάντζες σε όλα τα είδη καπακιών εκτός από τα ημισφαιρικά. Συνηθισμένη τιμή για ελλειψοειδή καπάκια είναι 5 cm.

Δ) Σφαιρικά καπάκια ξUG –32(e) και ξUG – 33(e).

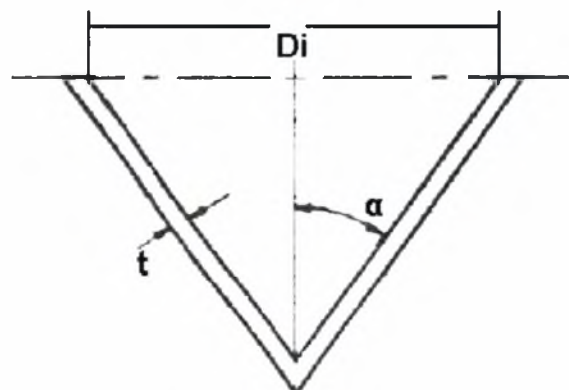


Σχήμα 9: Σφαιρικό καπάκι (Torispherical head)

Στα σφαιρικά καπάκια οι διαφοροποιημένες τιμές που πρέπει να καθοριστούν είναι:

1. Μήκος της straight flange. Συνήθως δεν υπάρχει.
2. Ακτίνα άρθρωσης (knuckle radius) r . Πρόκειται για την τοπική ακτίνα στην περιοχή μετάβασης από την κάθετη φλάντζα στο σφαιρικό καπάκι.
3. Εσωτερική ακτίνα κορυφής (crown radius) L .

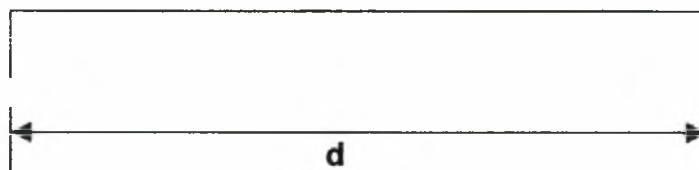
Ε) Κωνικά καπάκια ξUG –32(f) και ξUG – 33(f).



Σχήμα 10: Κωνικό καπάκι (Conical head).

Στα κωνικά καπάκια οι διαφοροποιημένη γεωμετρική τιμή που πρέπει να καθοριστεί είναι η ημιγωνία κορυφής (half apex angle) α . Η μέγιστη τιμή της α για κώνους υπό εσωτερική πίεση και χωρίς περιοχές μετάβασης είναι 30 μοίρες ενώ αν υπάρχουν περιοχές μετάβασης (όπως σε σφαιρικά καπάκια) είναι 60 μοίρες. Για εξωτερική πίεση είναι επίσης) είναι 60 μοίρες.

ΣΤ) Επίπεδα καπάκια §UG –34



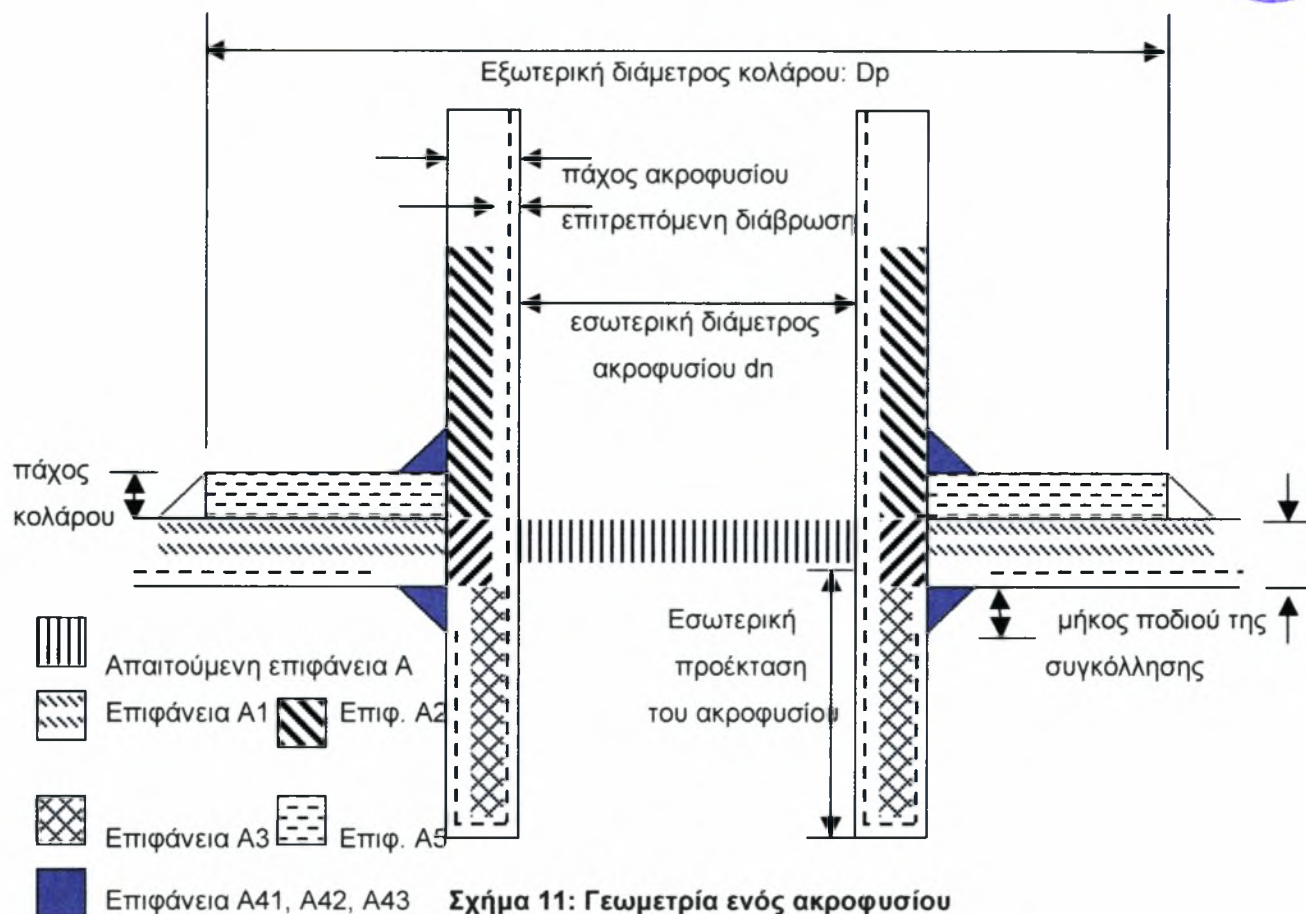
Σχήμα 10: Κωνικό καπάκι (Conical head).

Τα επίπεδα καπάκια όπως είπαμε σχεδιάζονται μόνο για εσωτερική πίεση και μπορεί να είναι κυκλικά ή μη κυκλικά. Αν το καπάκι είναι κυκλικό τότε d είναι η διάμετρος. Αν το καπάκι είναι μη κυκλικό τότε d είναι η μικρή διάσταση και ορίζουμε ως D την μεγάλη διάσταση. Σημαντικό ρόλο παίζει και ο καθορισμός του παράγοντα C σύμφωνα με § UG –34 (d), η τιμή του οποίου εξαρτάται από την μέθοδο και τον τρόπο ένωσης, τις διαστάσεις του κελύφους και ορισμένους αδιάστατους παράγοντες.

3.2 Ακροφύσια – Nozzles

Ο κώδικας ASME Section VIII Division 1 πραγματοποιεί υπολογισμούς σε ακροφύσια τα οποία βρίσκονται σε κελύφη ή καπάκια δοχείων πίεσης. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι οι υπολογισμοί αφορούν το ακροφύσιο, το κέλυφος ή το καπάκι, το κολάρο (αν υπάρχει) και τις συγκολλήσεις που χρησιμοποιούνται για να ενώσουν όλα τα παραπάνω στοιχεία.

Στην συνέχεια δίνονται στοιχεία όσον αφορά την γεωμετρία και τους σχεδιαστικούς υπολογισμούς με βάση την γεωμετρία του σχήματος 11. Η υπολογιστική διαδικασία παρουσιάζεται αναλυτικά στο παράρτημα Δ, όπου εξετάζεται η περίπτωση ακροφυσίου συνδεδεμένο σε κυλινδρικό κέλυφος.



Σχετικά με την δομή της υπολογιστικής διαδικασίας γίνονται οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Αρχικά με βάση την διαδικασία που περιγράφεται στο παράρτημα Γ γίνονται οι υπολογισμοί εσωτερικής και εξωτερικής πίεσης τόσο για το κέλυφος (ή το καπάκι) και για το ακροφύσιο.
- Στην συνέχεια γίνονται υπολογισμοί όσον αφορά τις επιφάνειες ενίσχυσης. Σύμφωνα με § UG-36 (c) (3) από την παραπάνω απαίτηση εξαιρούνται συγκολλητά ακροφύσια διαμέτρου 3.5 in σε δοχεία πάχους $\leq 3/8$ in, και ακροφύσια διαμέτρου 2.375 in σε δοχεία πάχους πάνω από $3/8$ in. Μεγαλύτερα ακροφύσια από τα παραπάνω θα πρέπει να ενισχυθούν. Η βασική απαίτηση όσον αφορά τον προσδιορισμό των επιφανειών είναι να ενισχυθεί το δοχείο γύρω από το ακροφύσιο με ισοδύναμη ποσότητα μετάλλου με αυτήν που αφαιρείται για την οπή του ακροφυσίου.

Για τον γενικό αυτή απαίτηση πρέπει να κάνουμε τα ακόλουθα σχόλια.

1. Δεν είναι απαραίτητο να αντικατασταθεί η πραγματική ποσότητα μετάλλου, αλλά μόνο η ποσότητα που απαιτείται για αντίσταση στην εσωτερική πίεση, (A).

2. Το πραγματικό πάχος του ελάσματος που χρησιμοποιείται και ο λαιμός του ακροφυσίου είναι συνήθως πιο παχύ από αυτό που με βάση τους υπολογισμούς πραγματικά απαιτείται. Συνεπώς η επιπλέον ποσότητα στο τοίχωμα του δοχείου (A1) και στο τοίχωμα του ακροφυσίου (A2) λαμβάνεται ως ενίσχυση. Ομοίως και η εσωτερική επέκταση του ακροφυσίου μέσα στο δοχείο (A3) καθώς και το υλικό των συγκολλήσεων (A41 – ένωση κολάρου ακροφυσίου, A42 ένωση κολάρου – δοχείου, A43 ένωση κολάρου – ακροφυσίου) μπορεί να θεωρηθεί ως ενίσχυση .
 3. Η ενίσχυση πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε συγκεκριμένα όρια πάχους και διαμέτρου. Ορίζουμε τα παρακάτω όρια:
 - Όριο λειτουργικής διαμέτρου υλικού (effective material diameter limit). Πρόκειται για την μέγιστη απόσταση από τον άξονα του ακροφυσίου, κατά μήκος του τοίχους του δοχείου που λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό διαθέσιμων επιφανειών, (dl). Σύμφωνα με § UG -37 η τιμή αυτή είναι η μέγιστη από d_n και $R_n + t_n + t$ [t_n και t είναι το πάχος (πραγματικό, ονομαστικό ή ελάχιστο) του ακροφυσίου και του δοχείου αντίστοιχα ενώ $R_n = d_n/2$ είναι η εσωτερική ακτίνα του ακροφυσίου]. Το PVElite επιτρέπει την εισαγωγή μικρότερου ορίου (DL).
 - Όριο λειτουργικού πάχους υλικού (effective material thickness limit) Πρόκειται για την μέγιστη απόσταση από το τοίχος του δοχείου κατά μήκος του άξονα του ακροφυσίου, που λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό διαθέσιμων επιφανειών. Σύμφωνα με § UG -37 η τιμή αυτή είναι η μικρότερη από $2.5t$ και $2.5t_n + t_e$. Το PVElite επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει μικρότερο όριο (TL)
 4. Η απαιτούμενη επιφάνεια της ενίσχυσης πρέπει να είναι επαρκής για όλα τα επίπεδα που διέρχονται από το κέντρο του ακροφυσίου κάθετα στην επιφάνεια του δοχείου. Σχετικό παράδειγμα δίνεται στο τέλος του παραρτήματος Δ.
 5. Αν η διαθέσιμη επιφάνεια είναι μικρότερη από την απαιτούμενη τότε πρέπει να προστεθεί κολάρο (A5).
- Υπολογισμός του ελάχιστου πάχους λαιμού του ακροφυσίου. Αφού αναφερθούν διαφορετικές τιμές πάχους σχετικές με το ακροφύσιο επιλέγεται η μικρότερη τιμή.

- Προσδιορισμός της αντοχής (τάσεις) της ενίσχυσης § UG- 41(a). Σύμφωνα με UG- 41(a) υλικά που χρησιμοποιούνται για ενίσχυση πρέπει να έχουν επιτρεπόμενη τάση μεγαλύτερο ή ίσο από το υλικό του τοίχου του δοχείου (εκτός αν τέτοιο υλικό δεν είναι διαθέσιμο). Χαμηλότερης αντοχής υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί αρκεί η επιφάνεια της ενίσχυσης να αυξάνεται αντιστρόφως ανάλογα με τον λόγο των επιτρεπόμενων τάσεων των 2 υλικών . Εναποθετημένα συγκολλητά μέταλλα εξωτερικά του δοχείου ή κολάρα που χρησιμοποιούνται σαν ενίσχυση πρέπει να θεωρείται ότι έχουν επιτρεπόμενη τάση ίση με την μικρότερη από τα 2 υλικά που συγκολλούνται . Συγκόλληση σε δοχείο -ακροφύσιο και κολάρο – ακροφύσιο εσωτερικά του τοιχώματος του δοχείου ή εσωτερικά του κολάρου χρεώνεται με τιμή τάσης ίση με τον τοίχο του δοχείου η του κολάρου, αντιστοίχως.
- Προσδιορισμός της αντοχής (φορτία) της ενίσχυσης, § UG- 41(b). Στις συγκολλήσεις που συνδέουν ακροφύσια με το δοχείο, μπορεί να υπάρξει αστοχία στις συγκολλήσεις ή στον λαιμό του ακροφυσίου σε διάφορους συνδυασμούς (δρόμους αστοχίας) ανάμεσα στην συγκόλληση και το ακροφύσιο. Παραδείγματα των δρόμων αστοχίας παρουσιάζονται στο, Fig UG – 41.1 (a) για την περίπτωση ακροφυσίου που εισέρχεται στο δοχείο, και στο Fig.UG – 41.1 (b) για την περίπτωση που το ακροφύσιο εφάπτεται στο τοίχωμα του δοχείου. Σύμφωνα με § UG- 41(b) η αντοχή των συγκολλήσεων και του λαιμού του ακροφυσίου για αυτούς τους δρόμους αστοχίας πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την μικρότερη από τις παρακάτω τιμές.
 1. Την αντοχή σε εφελκυσμό της διατομής του στοιχείου ή των στοιχείων ενίσχυσης που λαμβάνονται υπόψη (W_{1-1} , W_{2-2} , W_{3-3} όσον αφορά το Fig. UG-41)
 2. Την αντοχή σε εφελκυσμό της απαιτούμενης επιφάνειας A, μείον την αντοχή σε εφελκυσμό της επιφάνειας ενίσχυσης η οποία θεωρείται ενσωματωμένη στον τοίχωμα του δοχείου A1. Το φορτίο που προκύπτει ονομάζεται W

Σύμφωνα με UW-15 (b), υπολογισμοί αντοχής για τις συγκολλήσεις σε ακροφύσιο δεν χρειάζονται για τις παρακάτω περιπτώσεις . Fig UW-16.1 (a), (b),(c),(d),(e),(f-1),(f-2),(f-3),(f-4),(g),(x-1),(y-1) και (z-1) και για όλα τα σχήματα σε Figs. UHT-18.1 και UHT-18.2. **Γενικότερα στις περιπτώσεις κατά τις οποίες τα ακροφύσια έχουν ακέραια (ενσωματωμένη) ενίσχυση.**
- Προσδιορισμός των επιτρεπόμενων τάσεων για τις συγκολλήσεις σύμφωνα με §UW-15 (c). Η επιτρεπόμενη τάση για groove ή fillet συγκόλληση είναι η τάση του ασθενέστερου

υλικού που συνδέεται από την συγκόλληση, πολλαπλασιασμένο με κάποιον από τους παρακάτω παράγοντες:

1. Αυλακοειδή συγκόλληση σε εφελκυσμό (Groove – weld tension) 74 %
2. Αυλακοειδή συγκόλληση σε διάτμηση (Groove – weld shear) 60 %
3. fillet-weld σε διάτμηση 49%

Σύμφωνα με § UW-15 (a) η αντοχή των groove συγκολλήσεων σχετίζεται με διάτμηση ή εφελκυσμό . Ενώ οι fillet μόνο με διάτμηση.

Σύμφωνα με § UG-45 (c) Η επιτρεπόμενη τιμή της διατμητικής τάσης στον λαιμό του ακροφυσίου είναι ίση με το 70% της επιτρεπόμενης τάσης του υλικού του ακροφυσίου.

- Με βάση τις παραπάνω τάσεις υπολογίζονται τα φορτία στις συγκολλήσεις και στο λαιμό του ακροφυσίου. Στην συνέχεια αθροίζονται ανάλογα τον δρόμο αστοχίας που εξετάζουμε και συγκρίνονται με την αντοχή (για παράδειγμα W ή κάποιο από W_{1-1} , W_{22} , W_{3-3}) του δρόμου αστοχίας.

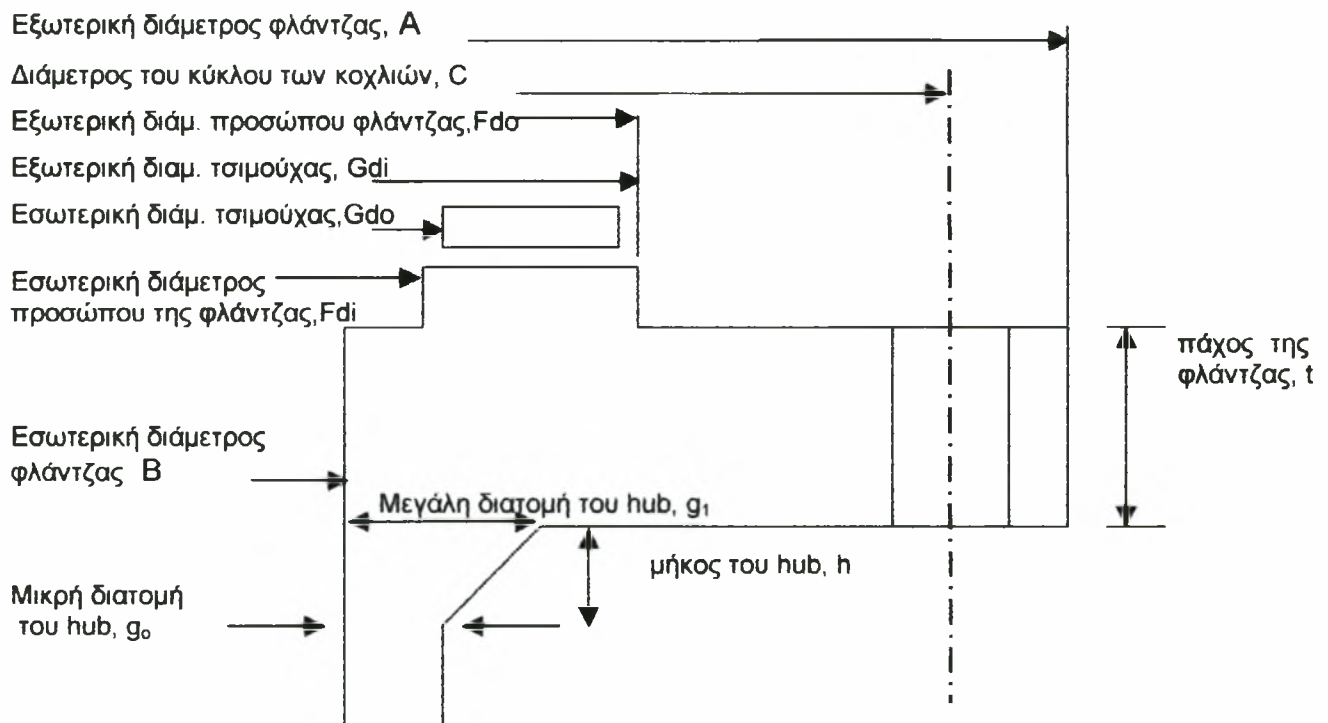
3.3 Φλάντζες– Flanges

Ο κώδικας ASME Section VIII Division 1 πραγματοποιεί υπολογισμούς σε 3 τύπους κυκλικών κοχλιοσυνδεμένων φλαντζών.

1. Τύπος σπαστών φλαντζών. Αυτός ο τύπος καλύπτει εκείνες τις περιπτώσεις κατά τις οποίες η φλάντζα δεν έχει άμεση σύνδεση με τον λαιμό του ακροφυσίου το δοχείο ή τοίχωμα αγωγού αλλά και περιπτώσεις κατά τις οποίες η μέθοδος της ένωσης δεν θεωρείται ότι δίνει μηχανική αντοχή ισοδύναμη με ακέραια συγκόλληση .Τυπικά είδη σπαστών φλαντζών καθώς και η θέση των φορτίων και των ροπών φαίνονται στο APPENDIX 2 Fig.2-4 (1) ,(1a),(2),(2a),(3),(3a),(4),(4a).
2. Τύπος ακέραιων φλαντζών Αυτός ο τύπος καλύπτει εκείνες τις περιπτώσεις κατά τις οποίες η φλάντζα είναι χυτευμένη ή σφυρηλατημένη ακέραια με τον λαιμό του

ακροφυσίου το δοχείο ή τοίχωμα αγωγού αλλά και περιπτώσεις κατά τις οποίες η μέθοδος της ένωσης θεωρείται ακέραια κατασκευή. Τυπικά είδη σπαστών φλάντζων καθώς και η θέση των φορτίων και των ροπών φαίνονται στο APPENDIX 2 Fig.2-4 (5), (6), (6a), (6b), (7).

3. Τύπος προαιρετικών φλάντζων Αυτός ο τύπος καλύπτει εκείνες τις περιπτώσεις κατά τις οποίες η ένωση της φλάντζας με τον λαιμό του ακροφυσίου το δοχείο ή τοίχωμα αγωγού είναι τέτοια ώστε η κατασκευή να θεωρείται ότι συμπεριφέρεται σαν ενιαία και να υπολογίζεται σαν ακέραια φλάντζα, εκτός αν για απλούστευση ο σχεδιαστής υπολογίσει την κατασκευή σαν σπαστή φλάντζα αρκεί καμία από τις ακόλουθες τιμές να μην υπερβαίνεται: $G_0 = 5/8$ in, $B/G_0 = 300$, $P = 300$ psi, Θερμοκρασία λειτουργίας = 700°F . Τυπικά είδη προαιρετικών φλάντζων φαίνονται στο Fig.2-4 (8), (8a), (9), (9a), (10), (10a), (11).



Σχήμα 12: Γεωμετρία φλάντζας.

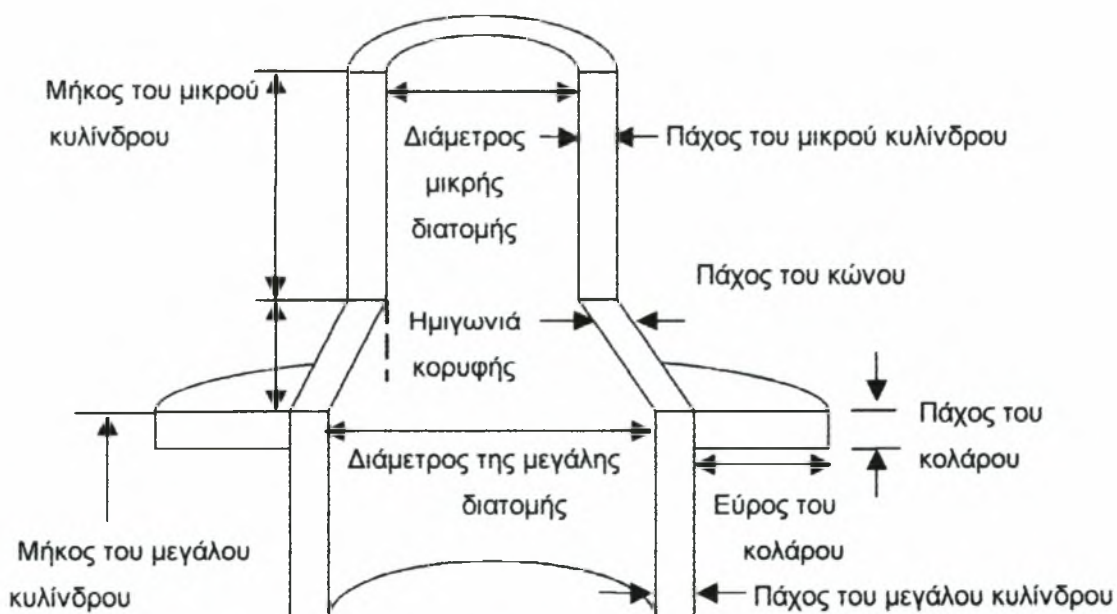
Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι μια φλάντζα αποτελείται από τα δύσκαμπτα τμήματα (stiff) και τα εύκαμπτα (springs). Συγκεκριμένα στα δύσκαμπτα ανήκει το κυρίως τμήμα της φλάντζας και το hub ενώ στα εύκαμπτα οι κοχλίες και οι τσιμούχες (σχήμα 12). Όσον αφορά τα φορτία, το αρχικό φορτίο του κοχλία πρέπει να είναι αρκετά υψηλό για την έδραση της τσιμούχας και ακόμα υψηλότερο για να «σφραγίσει» η σύνδεση όταν η πίεση εφαρμόζεται, εφόσον το φορτίο της πίεσης προστίθεται σε αυτό του κοχλία και αποφορτίζει την τσιμούχα.

Η ανάλυση μιας τυπικής φλάντζας περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Καθορισμός των συνθηκών λειτουργίας και των χρησιμοποιούμενων υλικών. Συνεπώς καθορίζονται παράλληλα οι επιτρεπόμενες τάσεις για την φλάντζα και την κοχλιοσύνδεση στις θερμοκρασίες λειτουργίας και περιβάλλοντος.
- Προσδιορισμός του υλικού της τσιμούχας και των χρησιμοποιούμενων γεωμετρικών παραγόντων του κώδικα από τους αντίστοιχους πίνακες.
- Με βάση την πίεση σχεδιασμού και την πληροφορία από την τσιμούχα υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια για τους κοχλίες. Στην συνέχεια υπολογίζεται η πραγματική επιφάνεια, η οποία προφανώς πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη
- Με βάση τις επιφάνειες των κοχλίων και τις επιτρεπόμενες τάσεις του υλικού του κοχλία γίνεται προσδιορισμός των βασικών φορτίων σχεδιασμού στους κοχλίες.
- Υπολογισμός των καμπτικών ροπών στην φλάντζα. Σε κάθε περίπτωση η ροπή είναι αποτέλεσμα της φόρτισης (πίεση, φορτίο τσιμούχας, κ.α) και της απόστασης από τον κύκλο της κοχλιοσύνδεσης του σημείου εφαρμογής της δύναμης. Το τελικό αποτέλεσμα είναι μια ροπή για τις συνθήκες λειτουργίας και μια ροπή για τις συνθήκες έδρασης της τσιμούχας. Οι τάσεις σε μια φλάντζα προσδιορίζονται εξολοκλήρου από την καμπτική ροπή στην φλάντζα. Όλα τα φορτία στην φλάντζα προκαλούν κάμψη στην ίδια στην κατεύθυνση (αριστερόστροφα).

- Από την παράγραφο Appendix 2-7 οι απαραίτητοι γεωμετρικοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των τάσεων.
- Με βάση τους παραπάνω παράγοντες και το πάχος της φλάντζας προκύπτουν οι παράγοντες που χρησιμοποιούνται στους τύπους των τάσεων .
- Προσδιορισμός των τάσεων.
- Προσδιορισμός των επιτρεπόμενων τιμών και σύγκριση τους με τις πραγματικές τιμές.
- Υπολογισμοί δυσκαμψίας στην φλάντζα. Στην παράγραφο APPENDIX S-2 του κώδικα DIVISION 1 δίνονται εξισώσεις που προσδιορίζουν αν θα υπάρξει ή όχι διαρροή στη φλάντζα. Δίνονται τύποι και για την περίπτωση της έδρασης και για την περίπτωση της λειτουργίας. Αν ο παράγοντας που υπολογίζεται είναι μεγαλύτερος από ένα τότε πιθανολογείται διαρροή (οι συγκεκριμένοι τύποι δεν είναι υποχρεωτικοί και η χρήση τους είναι περισσότερο προαιρετική και ενδεικτική).

3.4 Κωνικά τμήματα – Conical Sections



Σχήμα 13: Γεωμετρία κωνικού τμήματος

Ο κώδικας ASME Section VIII Division 1 πραγματοποιεί υπολογισμούς σε κωνικά τμήματα τόσο για εσωτερική όσο και για εξωτερική πίεση. Η υπολογιστική διαδικασία παρουσιάζεται αναλυτικά στο παράρτημα ΣΤ.

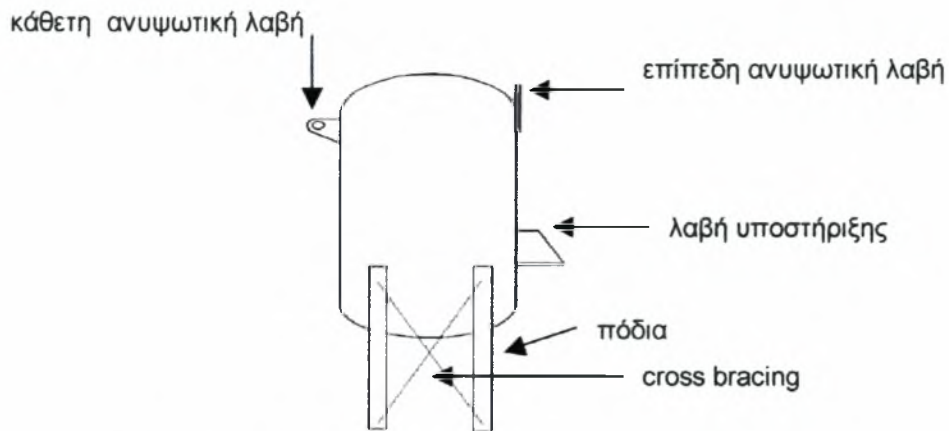
Η ανάλυση σε ένα κωνικό τμήμα περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

- Υπολογισμοί εσωτερικής πίεσης.
 1. Γίνεται επιλογή του τύπου ακτίνας (εσωτερική ή εξωτερική), ως βάση για τους υπολογισμούς.
 2. Υπολογίζεται το απαιτούμενο πάχος και η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση για τον κώνο, τον μεγάλο και τον μικρό κύλινδρο.
 3. Καθορίζεται αν απαιτείται ενίσχυση. Αν ναι υπολογίζεται η απαιτούμενη και η διαθέσιμη επιφάνεια ενίσχυσης τόσο για την περιοχή κώνου – μικρού κυλίνδρου όσο και για την περιοχή κώνου - μεγάλου κυλίνδρου.

- Υπολογισμοί εξωτερικής πίεσης.
 1. Υπολογίζεται το απαιτούμενο πάχος και η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση για τον κώνο, τον μεγάλο και τον μικρό κύλινδρο.
 2. Καθορίζεται αν απαιτείται ενίσχυση. Αν ναι υπολογίζεται η απαιτούμενη και η διαθέσιμη επιφάνεια ενίσχυσης τόσο για την περιοχή κώνου – μικρού κυλίνδρου όσο και για την περιοχή κώνου - μεγάλου κυλίνδρου.
 3. Υπολογίζεται η απαιτούμενη και η διαθέσιμη ροπή αδρανείας τόσο για την περιοχή κώνου – μικρού κυλίνδρου όσο και για την περιοχή κώνου - μεγάλου κυλίνδρου.

3.5 Στηρίξεις σε κατακόρυφα δοχεία.

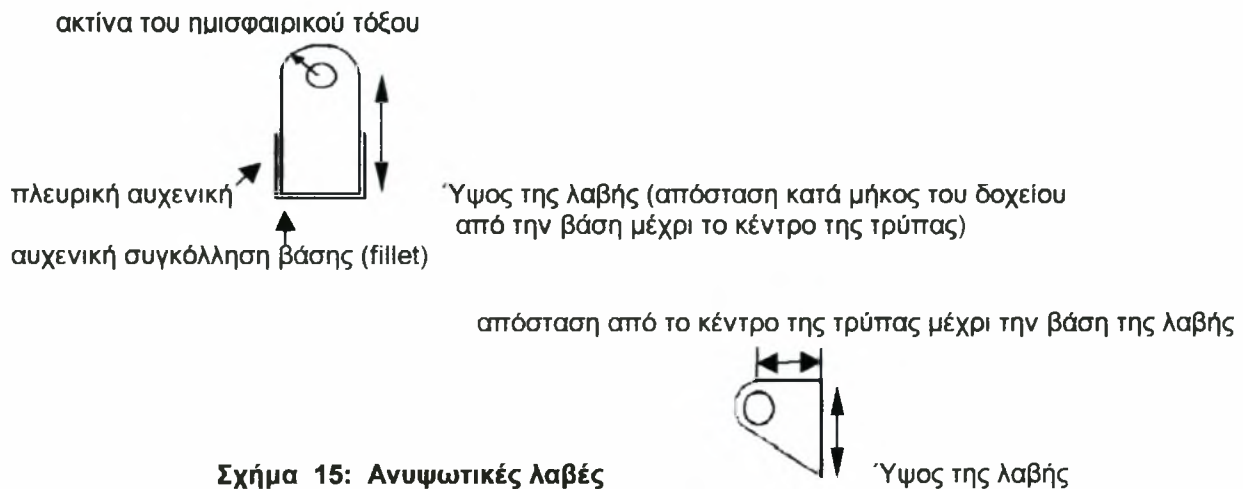
Περιγράφεται η γεωμετρία τριών διαφορετικών τύπων στήριξης. Συγκεκριμένα αναφερόμαστε σε ανυψωτικές λαβές (lifting lugs), λαβές υποστήριξης (support lugs) και πόδια (legs). Στο σχήμα 14 παρουσιάζονται οι συγκεκριμένες στηρίξεις. Επιπρόσθετα, όσον αφορά τα legs, αναπτύσσεται ο υπολογισμός αστοχίας σύμφωνα με τον μοναδιαίο έλεγχο AISC.



Σχήμα 14: Είδη στήριξης σε κατακόρυφα δοχεία

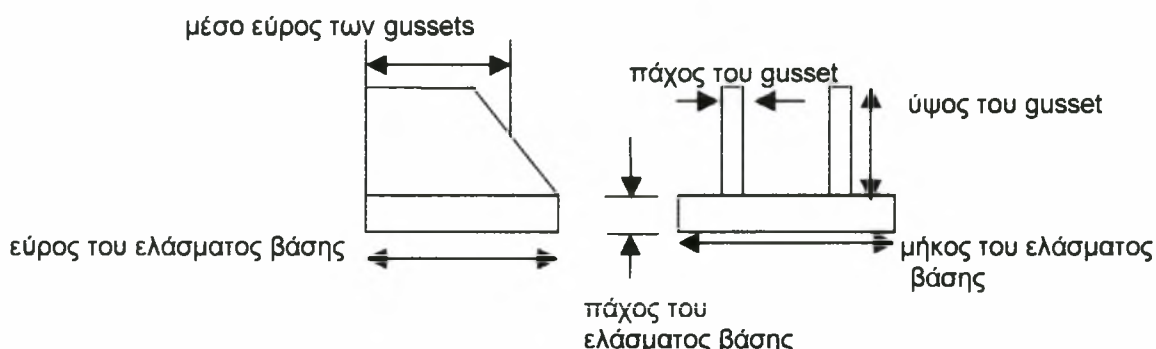
3.5.1 Ανυψωτικές λαβές (Lifting lugs) – Λαβές υποστήριξης (support lugs)

Γενικά υπάρχουν 2 τύποι ανυψωτικών λαβών με βάση την κατεύθυνση τους, επίπεδες και κάθετες. Οι επίπεδες συγκολλούνται κατά κανόνα κάτω από την ραφή του πάνω καπακιού, και εκτείνονται αρκετά πάνω από την ραφή έτσι ώστε τα συρματόσχοινα ανύψωσης να μην μπερδεύονται με το καπάκι και τα στόμια του. Οι κάθετες λαβές (αυτιά – ears) χρησιμοποιούνται για την απαλλαγή από κάποια εμπόδια μεταφέροντας το σημείο στήριξης μακριά από το κέλυφος του δοχείου.



Σχήμα 15: Ανυψωτικές λαβές

Οι λαβές υποστήριξης αποτελούν ένα από τους λιγότερο ακριβούς και άμεσους τρόπους στήριξης δοχείων πίεσης. Μέσω της στήριξης αυτής προκαλούνται θλιπτικές, εφελκυστικές και διατμητικές δυνάμεις στο τοίχωμα των δοχείων πίεσης. Αποτελούνται από 2 συνδεδετικά ελάσματα (gussets), ένα έλασμα βάσης πάνω στο οποίο είναι τοποθετημένα τα gussets και, όπου χρειάζεται, από ένα έλασμα κορυφής. Η γεωμετρία των συγκεκριμένων στηριγμάτων δίδεται στον σχήμα 16.



Σχήμα 16: Γεωμετρία λαβών στήριξης

3.5.2 Legs (πόδια)

Τα πόδια μπορεί να είναι στύλοι διαφόρων σχημάτων ή σωλήνες. Επιπρόσθετη στήριξη παρέχεται αν τα πόδια είναι cross-braced (σχήμα 14) με τον τρόπο αυτόν αυξάνεται η ακαμψία της κατασκευής και ελαχιστοποιούνται οι καμπτικές τάσεις.

Όταν σε ένα δοχείο πίεσης το οποίο στηρίζεται σε πόδια, καθοριστούν όλα τα βάρη οι δυνάμεις και οι ροπές καθορίζεται η ολική εντατική κατάσταση με την χρήση του "unity check AISC". Ο έλεγχος αυτός εφαρμόζεται στην περίπτωση που έχουμε συνδυασμό αξονικής θλίψης και κάμψης. Κατά τον έλεγχο αυτόν θα πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες απαιτήσεις.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{(1 - \frac{f_a}{F_{ex}}) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{(1 - \frac{f_a}{F_{ey}}) F_{by}} \leq 1.0 \quad (1) \text{ Εξίσωση αστάθειας}$$

$$\frac{f_a}{0.60 F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (2) \text{ Εξίσωση αντοχής}$$

Εάν $\frac{f_a}{F_a} \leq 0.15$, δηλαδή έχουμε μικρό αξονικό φορτίο, τότε στην θέση των παραπάνω σχέσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη σχέση.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (3)$$

Οι δείκτες x και y (οι οποίοι συνδυάζονται με τους δείκτες b,m,e) δηλώνουν τον άξονα της κάμψης (έχουμε διαξονική κάμψη), ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές των εξισώσεων (1), (2),(3) παρουσιάζονται στην συνέχεια.

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^2}{8C_c^3}}$$

Είναι η αξονική επιτρεπόμενη τάση η τιμή της οποίας προκύπτει αν είχαμε μόνο αξονική φόρτιση, λαμβάνοντας υπόψη και τον λυγισμό για $C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} > \frac{Kl}{r}$ ε. Στην συγκεκριμένη περίπτωση βρισκόμαστε στην ανελαστική περιοχή.

Για την περίπτωση που $C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} < \frac{Kl}{r}$ τότε βρισκόμαστε στην ελαστική περιοχή και η παραπάνω σχέση γράφεται:

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2}$$

$F_b = 0.66 F_y$ Πρόκειται για την τιμή της θλιπτικής επιτρεπόμενης καμπτικής τάσης η τιμή της οποίας προκύπτει αν είχαμε μόνο καμπτική φόρτιση.

Ακόμα στην εξίσωση (1)

$$F_c = \frac{12\pi^2 E}{23 \left(\frac{K l_b}{r_b} \right)^2}$$

Η σχέση αναφέρεται στην ελαστική περιοχή. Όπου l_b είναι το πραγματικό μήκος στο επίπεδο της κάμψης και r_b είναι η αντίστοιχη ακτίνα αδρανείας, K είναι ο συντελεστής μήκους λυγισμού στο επίπεδο της κάμψης (για τον σχεδιασμό ποδίων δοχείων πίεσης οι συνηθέστερες τιμές είναι 1 και 1.5).

f_a = υπολογιζόμενη αξονική τάση.

f_b = υπολογιζόμενη θλιπτική αξονική καμπτική τάση.

C_m = συντελεστής η τιμή του οποίου προκύπτει από τις παρακάτω περιπτώσεις.

- Για θλιβόμενα μέλη σε μεταθετά πλαίσια, $C_m = 0.85$
- Για περιοριζόμενα θλιβόμενα μέλη σε μη μεταθετά πλαίσια χωρίς ενδιάμεσα φορτία στους στύλους.
 $C_m = 0.6 - 0.4 M_1/M_2$ αλλά όχι λιγότερο από 0.4. Όπου M_1/M_2 είναι ο λόγος της μικρότερης προς την μεγαλύτερη ροπή στα άκρα του συγκεκριμένου τμήματος μέλους στο επίπεδο της κάμψης.

4. Υπολογιστικά προγράμματα ανάλυσης και σχεδιασμού δοχείων πίεσης

4.1 Εισαγωγή

Μια από τις σημαντικότερες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην ανάπτυξη λογισμικού για βιομηχανικές εφαρμογές είναι η **COADE Engineering software**. Στα πλαίσια των δραστηριοτήτων της έχουν αναπτυχθεί 2 υπολογιστικά προγράμματα, σχετικά με την ανάλυση και τον σχεδιασμό δοχείων πίεσης. Συγκεκριμένα έχει αναπτυχθεί το πρόγραμμα **PVElite** με το οποίο πραγματοποιείται ολοκληρωμένη σύνθεση ενός δοχείου πίεσης και το πρόγραμμα **CodeCalc** με το οποίο γίνεται χωριστά ο σχεδιασμός του κάθε τμήματος ενός δοχείου πίεσης. Πρόκειται για «εργαλεία» εύχρηστα, ιδιαίτερος εφαρμοσίμα και εξαιρετικά αξιόπιστα όσον αφορά τα αποτελέσματα τους. Στην συνέχεια γίνεται αναλυτική παρουσίαση των δύο προγραμμάτων, ενώ παράλληλα δίνονται στοιχεία για τις δυνατότητες και τον τρόπο χρήσης τους.

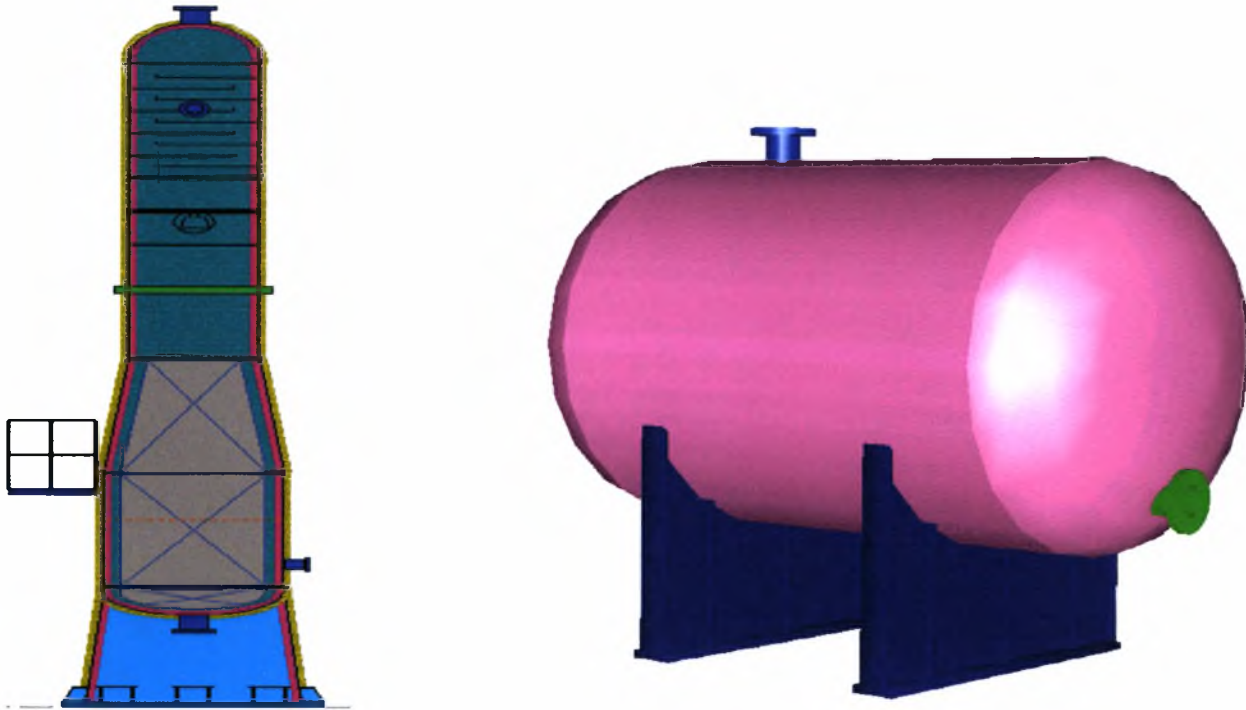
4.2 Υπολογιστικό πρόγραμμα PVElite

4.2.1 Γενικά

Στο PVElite περιλαμβάνονται 19 εφαρμογές σχετικές με τον σχεδιασμό των δοχείων πίεσης, οι κυριότερες από αυτές είναι:

- Ανάλυση και σχεδιασμός κάθε δοχείου για ρεαλιστικούς συνδυασμούς φόρτισης, (πίεση, απόβαρο, αέρα, σεισμό) σύμφωνα με τους κώδικες ASME Section VIII Division1 και 2 και BS 5500. Γίνονται οι υπολογισμοί που δίνουν το ελάχιστο πάχος τοιχώματος λόγω πίεσης και τις επιτρεπόμενες διαμήκεις τάσεις (τόσο για θλίψη όσο και για εφελκυσμό) στο τοίχωμα του δοχείου για πιθανούς συνδυασμούς φορτίσεων.

- Σύνθεση και σχεδιασμός κατακόρυφων δοχείων τα οποία υποστηρίζονται είτε από πόδια (legs), λαβές (lugs) ή πουκάμισα (skirts) και σύνθεση οριζόντιων δοχείων στηριγμένων σε saddles (σχήμα 14).



Σχήμα 14: Κάθετο δοχείο (στηριγμένο σε skirt) και οριζόντιο (στηριγμένο σε saddle)

- Ξεχωριστή ανάλυση των τμημάτων ενός δοχείου. Στην περίπτωση που για παράδειγμα ζητείται το πάχος ενός δοχείου υπό την επίδραση πίεσης, δεν είναι απαραίτητο το χτίσιμο ολόκληρου του δοχείου. Αυτό γίνεται είτε χρησιμοποιώντας το ίδιο το PVElite, κυρίως όμως μέσω του CodeCalc μιας και εφαρμογές του εμπεριέχονται στο PVElite. Έτσι δύναται ο σχεδιασμός σε κελύφη, καπάκια, κωνικά τμήματα, υποδοχείς αγωγών (σύμφωνα με κώδικες TEMA και ASME), ορθογώνια δοχεία, στόμια, φλάντζες, στηρίξεις, ενίσχυση, μεγάλα ανοίγματα κ.α

4.2.2 Παρουσίαση της δομής του προγράμματος.

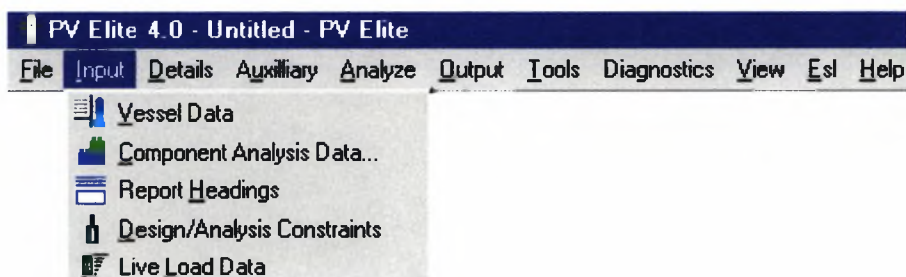
Σε γενικές γραμμές η δομή του προγράμματος χωρίζεται σε 3 τμήματα: Εισαγωγή – εισάγεται η απαραίτητη πληροφορία για τον προσδιορισμό του δοχείου, τις απαιτήσεις λειτουργίας του και τις σχεδιαστικές κατευθύνσεις. Ανάλυση – μετάφραση των δεδομένων εισαγωγής και

εφαρμογή των αντίστοιχων κανονισμών και κωδίκων για την δημιουργία αποτελεσμάτων. Εξαγωγή – Παρουσίαση των αποτελεσμάτων με παράλληλη αναλυτική επεξήγηση με τέτοιο τρόπο ώστε η τελική αναφορά να είναι πλήρης κατανοητή και αξιοποιήσιμη. Ξεκινώντας το PVElite ο χρήστης βλέπει σε γενικές γραμμές στον υπολογιστή, τις επιλογές που φαίνονται στον πίνακα 4.

Κύριοι κατάλογοι εντολών	
Γραμμές εργαλείων	
Εισαγωγή δεδομένων των βασικών τμημάτων	Επιφάνεια σχεδιασμού και σύνθεσης
Επιπρόσθετα στοιχεία για τα βασικά τμήματα	
Γραμμή περιγραφής τρέχουσας κατάστασης	

Πίνακας 4: Δομή αρχικής σελίδας του PVElite

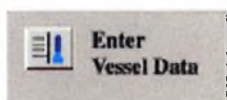
Κύριοι κατάλογοι εντολών



Σχήμα 15: Περιεχόμενα καταλόγου Input

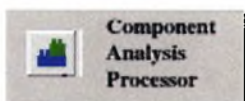
Οι κύριοι κατάλογοι εντολών αποτελούνται από:

- Κατάλογος **File**: Γίνεται η κλασική διαχείριση των αρχείων που δημιουργεί το PVElite.
- Κατάλογος **Input** : Πρόκειται για τον βασικό κατάλογο εισαγωγής δεδομένων του προγράμματος, τα σημαντικότερα περιεχόμενα του οποίου είναι:



Πρόκειται για την βασική διαδικασία εισαγωγής δεδομένων. Αντιστοιχεί στην αρχική σελίδα που περιγράφεται στον πίνακα 4. Εδώ γίνεται η εισαγωγή και η

επιμέλεια των δεδομένων για τα τμήματα του δοχείου (κελύφη, καπάκια, φλάντζες, πουκάμισα και κωνικά τμήματα) και για τις λεπτομέρειες του δοχείου. Σε όλη την διάρκεια της σύνθεσης, στην επιφάνεια σχεδιασμού γίνεται απεικόνιση της τρέχουσας κατάστασης. Επιλέγοντας κάποιο από τα τμήματα που ήδη έχουν σχεδιαστεί εμφανίζονται οι πληροφορίες του συγκεκριμένου τμήματος οι οποίες μπορούν να δεχτούν περαιτέρω επεξεργασία.



Με την επιλογή αυτή ο χρήστης χρησιμοποιεί εφαρμογές του CodeCalc στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η ξεχωριστή ανάλυση ενός τμήματος του δοχείου και όχι ολόκληρου του δοχείου.



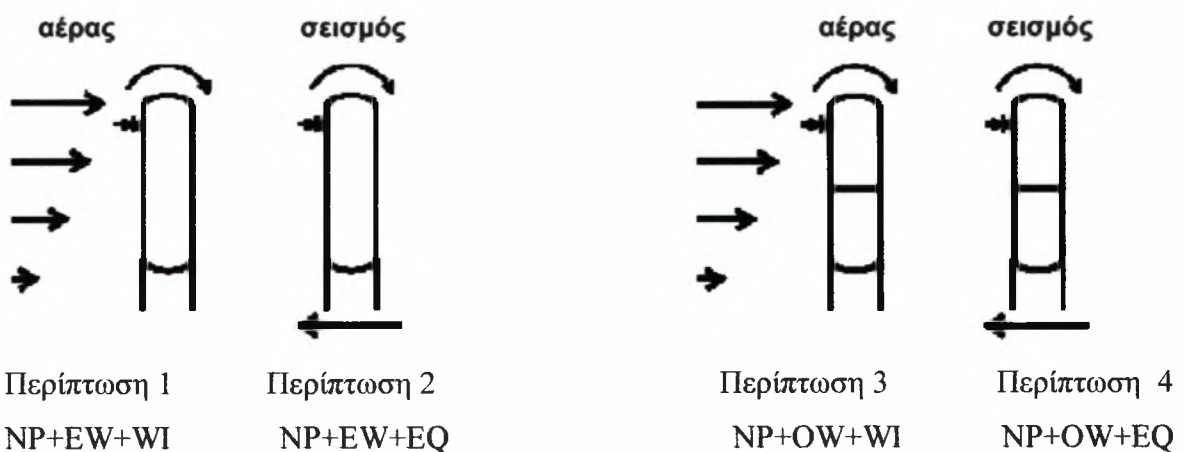
Με την επιλογή αυτή εμφανίζεται η παρακάτω εικόνα.

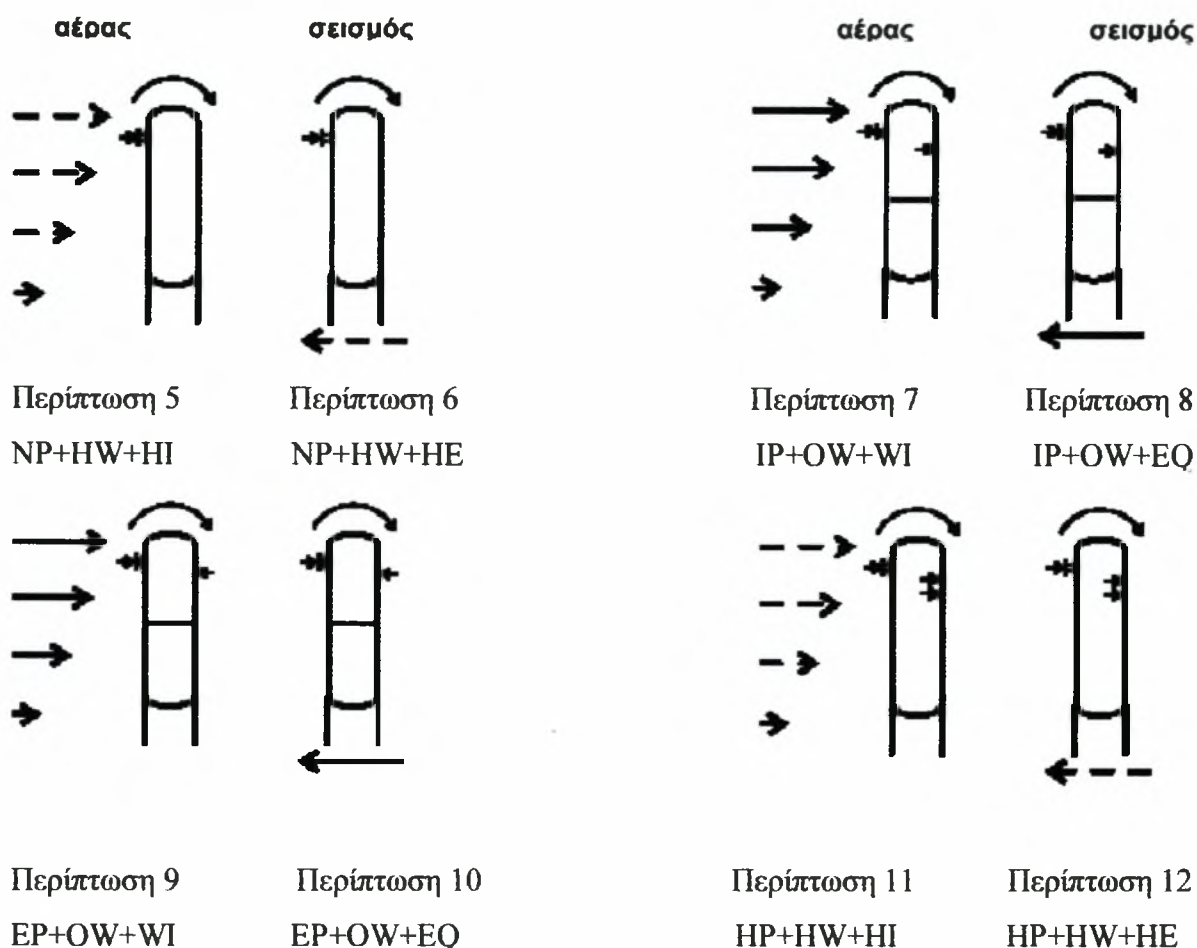
Design Data		Stress Combination Load Cases	
Design Internal Pressure:	<input type="text" value="0"/> bars	#1	NP+EW+Wl
Design Internal Temperature:	<input type="text" value="-17.7778"/> C	#2	NP+EW+EQ
Datum Line Distance:	<input type="text" value="0"/> m.	#3	NP+OW+Wl
Hydrotest Type / Position:	UG99c Vertical	#4	NP+OW+EQ
Projection from Top:	<input type="text" value="0"/> cm.	#5	NP+HW+HI
Proj. from Bottom Hyd/Ope:	<input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> cm.	#6	NP+HW+HE
Min. Metal Temperature:	<input type="text" value="90.09"/> C	#7	IP+OW+Wl
Flange Distance to Top:	<input type="text" value="0"/> m.	#8	IP+OW+EQ
Construction Type:	Welded	#9	EP+OW+Wl
Service Type:	None	#10	EP+OW+EQ
Degree of Radiography:	RT 1	#11	HP+HW+HI
Miscellaneous Weight:	<input type="text" value="0"/> %	#12	HP+HW+HE
Design Code:	Division 1	#13	
User Defined MAWP/MAPnc:	<input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> bars	#14	
User Defined Hydro. Press:	<input type="text" value="0"/> bars	#15	
<input checked="" type="checkbox"/> Use Higher Long. Stress	<input checked="" type="checkbox"/> Hydro. Allow. Unmodified	#16	
<input type="checkbox"/> Consider Vortex Shedding	<input type="checkbox"/> Is this a heat Exchanger ?	#17	
<input type="checkbox"/> Corroded Hydrotest		#18	
Design Modification <input type="checkbox"/> Select Wall Thickness for Internal Pressure <input checked="" type="checkbox"/> Select Wall Thickness for External Pressure <input type="checkbox"/> Select Stiffening Rings for External Pressure <input type="checkbox"/> Select Wall Thickness for Axial Stress		#19	
		#20	
		Installation Options	
		Nozzle Design Options <input checked="" type="checkbox"/> For MAWP + Static Head <input type="checkbox"/> For Design P + Static Head <input type="checkbox"/> For Vessel MAWP <input type="checkbox"/> Consider MAP nc <input type="checkbox"/> Consider External Loads for Nozzle Tr <input type="checkbox"/> Consider Code Case 2168 [Div. 1]	

Εδώ γίνεται η εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων σχετικά με ολόκληρο το δοχείο.

Διακρίναμε 4 κατηγορίες:

1. Σχεδιαστικά μεγέθη. Εισάγονται τα παρακάτω δεδομένα : P_i , T_i , γραμμή αναφοράς, τύπος και θέση υδροστατικού ελέγχου, ελάχιστη θερμοκρασία μετάλλου προσδιορισμένη από τον χρήστη, τρόπος κατασκευής, ειδική λειτουργία του δοχείου, βαθμός ραδιογράφησης. Επίσης εισάγονται: η απόσταση από την εξωτερική επιφάνεια του δοχείου (σε κάθε θέση ελέγχου) μέχρι το πρόσωπο της υψηλότερης φλάντζας κατά την θέση εξέτασης και μέχρι το πρόσωπο της χαμηλότερης φλάντζας (οι αποστάσεις αυτές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της υδροστατικής πίεσης). Τέλος υπάρχουν κάποιες επιλογές στην περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί να τροποποιήσει κάποιους υπολογισμούς του προγράμματος.
2. Συνδυασμοί φόρτισης. Το πρόγραμμα πραγματοποιεί υπολογισμούς σε διάφορους συνδυασμούς εσωτερικής πίεσης, εξωτερικής πίεσης, πίεση υδροστατικού ελέγχου, αέρα σεισμό. Μπορεί να καθοριστούν μέχρι 20 συνδυασμοί. Για παράδειγμα στην περίπτωση που έχουμε εσωτερική πίεση, βάρος κατά την λειτουργία και αέρα τότε εισάγεται το άθροισμα $IP+ OW +WI$. Στην συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες από αυτές τις περιπτώσεις.





Επεξήγηση συμβόλων	
NP= έλλειψη πίεσης	WI = φορτίο λόγω αέρα
IP = εσωτερική πίεση	EQ = φορτίο λόγω σεισμού
EP =εξωτερική πίεση	HE = φορτίο σεισμού σε υδροέλεγχο
HP = πίεση υδροστατικού ελέγχου	HI = φορτίο αέρα σε υδροέλεγχο
EW = άδειο δοχείο	
OW = βάρος λειτουργίας	
HW = βάρος λόγω υδροστατικού ελέγχου	

Πίνακας 5: Συμβολισμοί φορτίων

Τα «live» φορτία, όπως ονομάζονται τα φορτία σεισμού και αέρα, υπολογίζονται για δύο συνθήκες: λειτουργίας και υδροστατικό έλεγχο. Οι τιμές των φορτίων στην δεύτερη περίπτωση είναι συνάρτηση των τιμών της πρώτης.

3. Επιλογές σχετικές με το σχεδιασμό των στομιών.
4. Το PVElite εκτός από την ανάλυση μπορεί και πραγματοποιεί και σχεδιασμό του τοιχώματος των δοχείων για πιέσεις και φορτία. Εκτός από την αύξηση του πάχους

του τοιχώματος όσον αφορά την εξωτερική πίεση το πρόγραμμα μπορεί να συστήσει κατάλληλο κολάρο. Όλα αυτά γίνονται μέσω των επιλογών «Design Modification».



Με την επιλογή αυτή εισάγονται δεδομένα για τα live φορτία, δηλαδή για τα φορτία σεισμού και αέρα.

Wind Data			
Wind Design Code:	ASCE-93		
Wind for Hydrotest:	33	%	
Design Wind Speed:	70	mile/hr	
Base Elevation:	0	ft.	
Exposure Constant:	3		
Importance Factor:	1		
Roughness Factor:	1		
Beta: Operating/Empty/Full	0.01	0	0

Σχήμα 16: Δεδομένα για αέρα

Το PVElite χρησιμοποιεί τους παρακάτω κώδικες για την εισαγωγή δεδομένων όσον αφορά τον αέρα. Για κάθε ένα από τους κώδικες υπάρχει διαφορετική λίστα εισαγωγής δεδομένων. Στο σχήμα 16 εικονίζονται τα δεδομένα όσον αφορά τον ASCE 7 – 93

- ASCE — American Society of Civil Engineers Standard 7, 1993 edition
- UBC — Uniform Building Code, 1991 edition.
- NBC — National Building Code of Canada., 1990 edition.
- User Defined Wind Profile - Ο χρήστης εισάγει το προφίλ του αέρα.
- ASCE-95 — The American Society of Civil Engineers Standard 7, 1995 edition
- IS-875 — India's National Standard Wind design code, 1987 edition.

Seismic Data			
Seismic Design Code:	ASCE-93		
Seismic for Hydrotest:	0	%	
Seismic Coefficient Av:	0.05		
Seismic Coefficient Cc:	2		
Performance Factor:	1		
Amplification Factor:	1		

Σχήμα 17: Δεδομένα για σεισμό

Το PVElite χρησιμοποιεί τους παρακάτω κώδικες για την εισαγωγή δεδομένων όσον αφορά τον άνεμο. Στο σχήμα 17 εικονίζονται τα δεδομένα όσον αφορά τον ASCE 7 – 93.

- ASCE-88 — American Society of Civil Engineers Standard 7 1988.
- ASCE-93 — American Society of Civil Engineers Standard 7 1993.
- UBC — Uniform Building Code, 1991.
- NBC — National Building Code of Canada, 1990.
- IS-1893 RSM — India's seismic design code.
- IS-1893 SCM — India's seismic design code.
- ASCE-95 — American Society of Civil Engineers ,1995.
- UBC97 — Uniform Building Code, 1997 .
- G Loading—Επιτάχυνση του δοχείου βασισμένη σε κλάσμα της βαρύτητας.

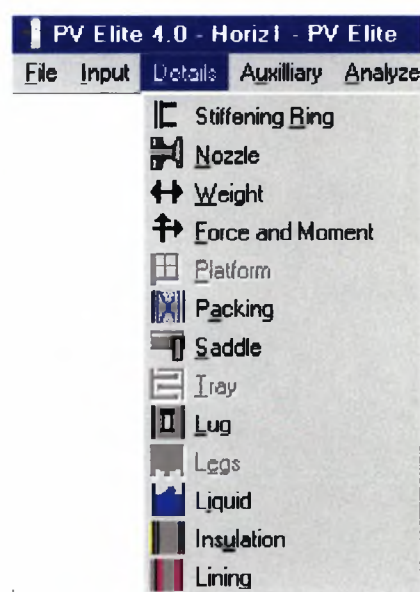
• Κατάλογος Details.

Η παρουσία των λεπτομερειών στα μοντέλα του PVElite εξυπηρετεί 2 στόχους. Αφενός τον καλύτερο προσδιορισμό του ολικού φορτίου που προκαλεί το απόβαρο και αφετέρου την συλλογή πληροφορίας για την ακριβέστερη ανάλυση των τμημάτων του δοχείου. Η διαδικασία εισαγωγής είναι αρκετά απλή:

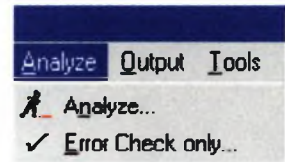
- Επιλέγουμε το τμήμα του δοχείου στην επιφάνεια σχεδιασμού, στο οποίο θα προστεθεί η λεπτομέρεια.
- Στην συνέχεια από τον κατάλογο Details που φαίνεται στον σχήμα 18 επιλέγουμε τον τύπο της λεπτομέρειας (detail) που μας ενδιαφέρει.

Συγκεκριμένα υπάρχουν οι ακόλουθες λεπτομέρειες: πλατφόρμες, ρευστά, μόνωση, κολάρα στόμια, πόδια, λαβές, βάρος, δυνάμεις και ροπές, saddles, δίσκοι σε στήλες απόσταξης, περιβλήματα στεγανότητας (packing) και εσωτερική επένδυση (lining).

- Στην συνέχεια στην οθόνη του υπολογιστή εμφανίζεται παράθυρο στο οποίο συμπληρώνονται τα στοιχεία της συγκεκριμένης λεπτομέρειας.



Σχήμα18: Περιεχόμενα του Details

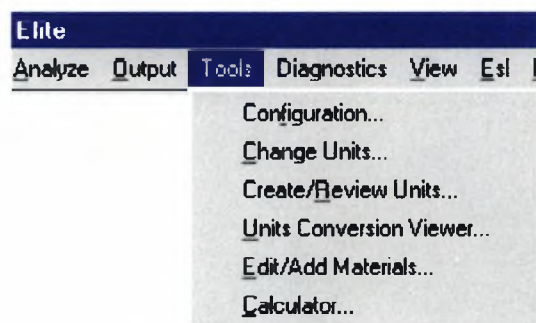


- Κατάλογος **Analyze**

Εδώ υπάρχουν 2 επιλογές. Με την επιλογή Analyze σταματάει η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων και το πρόγραμμα προχωράει στην διαδικασία ανάλυσης αφού πρώτα γίνει, έλεγχος των δεδομένων που έχουν εισαχθεί. Με την επιλογή Error Check Only γίνεται απλά ο έλεγχος των δεδομένων χωρίς να χρειάζεται να γίνει ανάλυση. Κάθε ανάλυση περιλαμβάνει 16 με 20 με βήματα και ο χρήστης είναι σε θέση να επιλέξει είτε όλα τα βήματα, είτε κάποιο από αυτά. Ενδεικτικά αναφέρονται τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 0 Έλεγχος λαθών. Βήμα 1 Εισαγωγή δεδομένων. Βήμα 3 Προσδιορισμός συντεταγμένων. Βήμα 3 Υπολογισμοί εσωτερικής πίεσης. Βήμα 4 Υπολογισμοί υδροστατικού ελέγχου. Βήμα 5 Υπολογισμοί εξωτερικής πίεσης. Βήμα 6 Βάρος των βασικών τμημάτων. Βήμα 7 Βάρος των λεπτομερειών. Βήμα 8 Υπολογισμοί μέγιστης επιτρεπόμενης πίεσης λειτουργίας της φλάντζας.

- Κατάλογος **Tools**



Σχήμα19: Περιεχόμενα του Tools

Ο κατάλογος Tools ελέγχει διαδικασίες γενικής χρήσης. Οι κυριότερες επιλογές που υπάρχουν είναι οι εξής :

1. Διαμόρφωση. Μία πλειάδα μεταβλητών διαδικασιών του προγράμματος καθορίζονται με αυτήν την επιλογή.
2. Δημιουργία ομάδας μονάδων.
3. Προσθαφαίρεση υλικών. Το PVElite διαθέτει μια εξαιρετικά ενημερωμένη βάση δεδομένων όσον αφορά τα υλικά που χρησιμοποιεί ο κώδικας ASME. Το υλικό μπορεί είτε να αναγραφεί στο σημείο που ζητείται είτε να επιλεγεί κατευθείαν από

την βάση δεδομένων. Ο χρήστης όμως είναι σε θέση να εισάγει κάποιο υλικό στην βάση δεδομένων, αφού πρώτα συμπληρώσει τον πίνακα με τις ιδιότητες του υλικού, ενώ παράλληλα μπορεί να αφαιρέσει κάποιο υλικό.

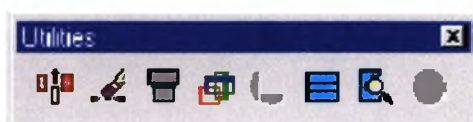
- Κατάλογος **View**. Στον κατάλογο View είναι ενσωματωμένες όλες οι γραμμές εργαλείων (βλέπε πίνακα 4) μέσω των οποίων πραγματοποιείται η σύνθεση και επεξεργασία των δοχείων πίεσης. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι κυριότερες γραμμές εργαλείων.



Γραμμή Element. Κάθε ένα από τα εικονίδια αντιστοιχεί σε κάποιο από τα βασικά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται ένα δοχείο πίεσης (κύλινδρος, έλλειψη, σφαιρικά καπάκια, ημισφαίρια, κωνικά τμήματα, συγκολλητά επίπεδα κεφάλια, φλάντζες, skirt). Επιλέγοντας κάποιο από τα παραπάνω τμήματα ένα παράθυρο εμφανίζεται, όπου εισάγονται τα σχεδιαστικά και γεωμετρικά δεδομένα που αφορούν το συγκεκριμένο τμήμα.

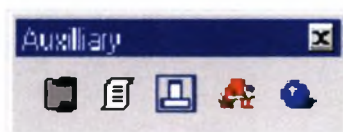




Γραμμή Detail. Εδώ εμφανίζονται σε εικονίδια τα περιεχόμενα τα εικονίδια του καταλόγου Details.



Γραμμή Utility. Εδώ υπάρχουν οι εξής επιλογές, με την σειρά των εικονιδίων που φαίνονται στο σχήμα. **Insert** - Εισάγεται ένα καινούργιο τμήμα πριν ή μετά το τρέχον (μαρκαρισμένο στην επιφάνεια σχεδιασμού) στοιχείο. **Delete** – διαγραφή του τρέχοντος σημείου. **Update** – Κάποιες αλλαγές στα δεδομένα δεν εμφανίζονται άμεσα στη επιφάνεια σχεδιασμού. Μέσω του συγκεκριμένου εικονιδίου εμφανίζονται οι αλλαγές στη επιφάνεια σχεδιασμού. **Share** – Εάν κάποια αλλαγή σε κάποιο από τα τμήματα του δοχείου αφορά και τα υπόλοιπα τμήματα του δοχείου, τότε μέσω του συγκεκριμένου εικονιδίου ενημερώνονται για την συγκεκριμένη αλλαγή και τα υπόλοιπα τμήματα του δοχείου. **Flip** – Τα οριζόντια δοχεία χιζονται από τα αριστερά προς τα δεξιά και τα κάθετα από την βάση προς την κορυφή. Εάν ένα δοχείο ξεκινάει με

ένα skirt τότε πρόκειται για ένα κάθετο δοχείο. Τόσο τα κατακόρυφα δοχεία που στηρίζονται σε πόδια όσο και τα οριζόντια χτίζονται έχοντας ως πρώτο τμήμα καπάκι. Εάν αυτό το πρώτο τμήμα έχει τοποθετηθεί ακατάλληλα όσον αφορά το δοχείο που πρόκειται να σχεδιαστεί (οριζόντιο ή κάθετο) τότε με το συγκεκριμένο εικονίδιο γίνεται διόρθωση του προσανατολισμού που πρέπει να έχει το δοχείο. Αφού τοποθετηθεί και το δεύτερο τμήμα το δοχείο δεν μπορεί πια να αλλάξει προσανατολισμό από οριζόντιο σε κάθετο (ή αντίστροφα). Στην συνέχεια εάν καπάκια, φλάντζες, κωνικά τμήματα έχουν λανθασμένο προσανατολισμό χρησιμοποιώντας συγκεκριμένο εικονίδιο να τους δώσουμε τον σωστό προσανατολισμό (οριζόντιο ή κάθετο). **Mat** – εμφανίζεται η βάση δεδομένων των υλικών. **Zoom** – Μεγεθύνονται τμήματα του δοχείου. **Plan / Layout View** - όψη του κυλίνδρου ή του καπακιού στην οποία φαίνεται ο προσανατολισμός των δοχείων και τα λειτουργικά των όρια διαμέτρων τους (effective diameter limits).



Γραμμή Auxiliary. Είναι διαθέσιμες είναι οι ακόλουθες επιλογές: **Pipe Properties** – Με αυτή την επιλογή εμφανίζεται η βάση δεδομένων για διαστάσεις αγωγών. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασης των διαστάσεων του επιλεγμένου τμήματος, με τα δεδομένα που παρέχει η συγκεκριμένη βάση δεδομένων. **List Dialog** – Εδώ υπάρχει η δυνατότητα σχολιασμού (editing) ορισμένων λεπτομερειών του δοχείου. Ένα χαρακτηριστικό στοιχείο αυτής της επιλογής είναι ότι η θέση της συγκεκριμένης λεπτομέρειας μπορεί να προσδιοριστεί από την γραμμή αναφοράς. **Export to DXF File**  - Το DXF file αποτελεί ένα αρχείο κειμένου το οποίο περιέχει εντολές για την δημιουργία δισδιάστατου CAD σχεδίου. Αρκετά δημοφιλή σχεδιαστικά πακέτα, όπως το AutoCad και το MicroStation διαβάζουν και επεξεργάζονται τα αρχεία DXF. Δημιουργούνται 3 αρχεία: το σχέδιο του δοχείου, ο κατάλογος του στομίου, και η λίστα των υλικών. **3D Viewer**  - Εδώ υπάρχει η δυνατότητα να εμφανιστεί η πραγματική γεωμετρία του δοχείου στις τρεις διαστάσεις.

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι σε μια απλή εφαρμογή του PVElite περιγράφεται από την ακόλουθη διαδικασία. Επιλέγουμε το πρώτο τμήμα του δοχείου αφού πρώτα δώσουμε τα δεδομένα που αφορούν το συγκεκριμένο τμήμα. Τα οριζόντια δοχεία χτίζονται από αριστερά προς τα δεξιά και τα κατακόρυφα από κάτω προς τα πάνω. Καθώς τα δεδομένα του κάθε τμήματος εισάγονται το δοχείο αρχίζει να παίρνει την τελική του μορφή. Σε κάθε τμήμα προστίθενται οι λεπτομέρειες ενώ όπως έχουμε αναφέρει κάθε στιγμή υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής των δεδομένων. Μόλις ολοκληρωθεί το χτίσιμο του δοχείου προχωράμε στην ανάλυση και στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

4.3 Υπολογιστικό πρόγραμμα CodeCalc

4.3.1 Γενικά

Η φιλοσοφία που χαρακτηρίζει την λειτουργία και την χρήση του υπολογιστικού προγράμματος CodeCalc μοιάζει αρκετά με αυτήν του PVElite, άλλωστε όπως έχει αναφερθεί στο PVElite περιλαμβάνονται οι εφαρμογές του CodeCalc μέσω της επιλογής Component Analysis. Ο ρόλος του συγκεκριμένου προγράμματος περιορίζεται στην επιμέρους ανάλυση των τμημάτων ενός δοχείου πίεσης, σε περιπτώσεις που μόνο αυτό απαιτείται, χωρίς να χρειάζεται η ανάλυση ολόκληρου του δοχείου.

4.3.2 Παρουσίαση της δομής του προγράμματος.

Κύριοι κατάλογοι εντολών
Γραμμές εργαλείων
Επιφάνεια εισαγωγής και επεξεργασίας δεδομένων για κάθε τμήμα του δοχείου. Επιπλέον γίνεται απεικόνιση του κάθε τμήματος, ανάλυση των δεδομένων και παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Πίνακας 6: Δομή αρχικής σελίδας του CodeCalc

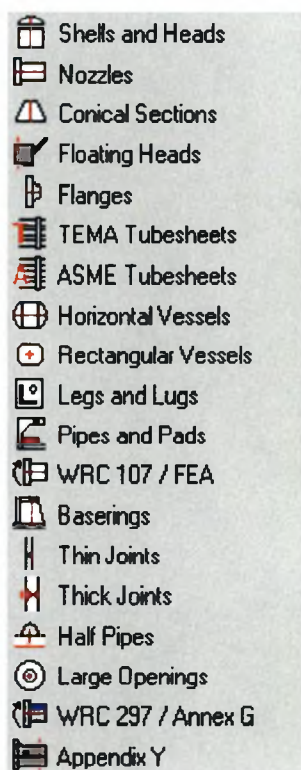
Κύριοι κατάλογοι εντολών



Οι σημαντικότεροι κατάλογοι είναι οι παρακάτω:



- Κατάλογος **Edit**. Εδώ οι σημαντικότερες επιλογές είναι :
Γίνεται η εισαγωγή μέσω της εντολής insert νέου τμήματος αμέσως μετά το τρέχον τμήμα, ενώ μπορεί να γίνει μέσω της εντολής delete, διαγραφή του τρέχοντος τμήματος
- Κατάλογος **Analyze**. Με τις επιλογές του συγκεκριμένου καταλόγου πραγματοποιείται η ανάλυση του υπό εξέταση τμήματος είτε περισσότερων τμημάτων που βρίσκονται μέσα στο υπάρχον αρχείο του προγράμματος. Μέσω της εντολής Choose Analysis Type γίνεται η επιλογή του τμήματος που πρόκειται να αναλυθεί (πίνακας 7).



Ουσιαστικά στον πίνακα αυτόν συνοψίζονται όλες οι εφαρμογές οι του προγράμματος , συγκεκριμένα περιλαμβάνεται η ανάλυση σε: κελύφη και καπάκια, στόμια, κωνικά τμήματα, Floating καπάκια, φλάντζες, υποδοχείς αγωγών (σύμφωνα με κώδικες TEMA και ASME), οριζόντια δοχεία και ορθογώνια δοχεία, στηρίγματα, αγωγούς και κολάρα, προσδιορισμός των τάσεων στο κέλυφος του δοχείου μέσω του WRC 107, δαχτυλίδια βάσης, λεπτές και χοντρές ενώσεις, μεγάλα ανοίγματα, ανάλυση σύμφωνα με WRC 207, και υπολογισμό τάσεων σύμφωνα Appendix Y Section VIII Division 1.

Επιλέγοντας κάποια από τις παραπάνω εφαρμογές, εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή το παράθυρο της εφαρμογής στο οποίο γίνεται με απλό τρόπο η εισαγωγή των δεδομένων, η ανάλυση και η λήψη των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 7: Εφαρμογές του CodeCalc

Όσον αφορά τους υπόλοιπους καταλόγους αλλά και τις γραμμές εργαλείων η λειτουργία τους είναι ταυτόσημη με των αντίστοιχων του προγράμματος PVElite, μια και όπως έχει αναφερθεί η φιλοσοφία , τουλάχιστον ως προς τον τόπο λειτουργίας των 2 προγραμμάτων είναι η ίδια.

4.4 Εφαρμογές του προγράμματος CodeCalc

Στην συνέχεια παρουσιάζονται παραδείγματα εφαρμογών του προγράμματος CodeCalc για κελύφη, στόμια, φλάντζες και στηρίξεις.

4.4.1 Κέλυφος

Για την περίπτωση του κελύφους και συγκεκριμένα για την περίπτωση ενός κυλινδρικού κελύφους χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα που αναφέρονται στον πίνακα 8.

Εσωτερική πίεση P_i	27.73 bars	Αποτελεσματικότητα της ραφής E	0.85
Εσωτερική θερμοκρασία T_i	371.14 °C	Μήκος του κυλίνδρου L	101.6 cm
Εξωτερική πίεση P_o	5 bars	Εσωτερική διάμετρος D_i	153.035 cm
Εξωτερική θερμοκρασία	20 °C	Επιτρεπόμενη διάβρωση c	0.1375 cm
Υλικό κελύφους	SA-516 70	Τύπος κελύφους	Κύλινδρος
Επιτρεπόμενη τάση S	114450.36KPa	Επιτρεπόμενη τάση S_a	120655.50KPa

Πίνακας 8: Δεδομένα για το κυλινδρικό κέλυφος

Με βάση τα συγκεκριμένα δεδομένα το πρόγραμμα CodeCalc έδωσε τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 9.

Αποτελέσματα εσωτερικής πίεσης		Ελάχιστες θερμοκρασίες μετάλλου	
Απαιτούμενο πάχος	2.283 cm	Σύμφωνα με UCS-66	-1 °C
Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση	27..66bars	Σύμφωνα με UCS-66.1	-11 °C
Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση New and Cold	33.38 bars	Υπολογισμοί όγκου και βάρους (χωρίς την διάβρωση)	
Υδροστατικές πιέσεις		Όγκος του κελύφους (υλικό)	126.1lt
Σύμφωνα με UG-99(b)	37.91 bars	Βάρος του κελύφους (υλικό)	9.7KN
Σύμφωνα με UG-99(c)	43.39 bars	Εσωτερικός όγκος του κελύφους	1868.8 lt
Αποτελέσματα εξωτερικής πίεσης		Βάρος του νερού στο δοχείο	18.3 KN
Απαιτούμενο πάχος + επιτρεπόμενη διάβρωση	1.1162 cm	Υπολογισμοί όγκου και βάρους (με την διάβρωση)	
Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση	21.41bars	Όγκος του κελύφους (υλικό)	110.6 lt
		Βάρος του κελύφους (υλικό)	8.5KN
Μέγιστο μήκος ανάμεσα σε κολάρα	1283.526cm	Εσωτερικός όγκος του κελύφους	1884.4 lt
		Βάρος του νερού στο δοχείο	18.5 KN

Πίνακας 9: Αποτελέσματα για το κυλινδρικό κέλυφος

4.4.2 Στόμια

Στον πίνακα 5.10 παρουσιάζονται τα δεδομένα για ένα στόμιο το οποίο εισέρχεται, σχηματίζοντας ορθή γωνία, σε ένα κυλινδρικό κέλυφος. Για την ενίσχυση του έχει χρησιμοποιηθεί κολάρο. Επιπλέον χρησιμοποιείται ο κώδικας Division 1

Εσωτερική πίεση P_i	6.89 bars
Εσωτερική θερμοκρασία T_i	176.68 °C
Εξωτερική πίεση P_o	6.89 bars
Εξωτερική θερμοκρασία	176.68 °C
Υλικό κελύφους	SA-516 70
Επιτρεπόμενη τάση S	120655.5KPa
Επιτρεπόμενη τάση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος S_a	120655.5KPa
Αποτελεσματικότητα της ραφής E κελύφους - στομίου	1
Αποτελεσματικότητα της ραφής E του λαιμού του στομίου	1
Εξωτερική διάμετρος του κελύφους	140.335 cm
Επιτρεπόμενη διάβρωση c στο κέλυφος	0.7937 cm
Γωνία ανάμεσα σε στόμιο και κέλυφος	90 μοίρες
Τάξη της συνδεόμενης φλάντζας	CL 600
Βαθμίδα της συνδεόμενης φλάντζας	GR 1.1
Υλικό του στομίου	SA -106 B
Επιτρεπόμενη τάση S για το στόμιο	103419KPa
Επιτρεπόμενη τάση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος S_a για στόμιο	103419KPa
Εξωτερική διάμετρος στομίου	60.96cm
Επιτρεπόμενη διάβρωση c σε στόμιο	0.7937 cm
Είδος στομίου	εισερχόμενο
Εξωτερική προέκταση του ακροφυσίου	10.16 cm
Μήκος του ποδιού της συγκόλλησης στομίου και κολάρου/ κελύφους	1.27 cm
Μήκος του ποδιού της συγκόλλησης κολάρου και κελύφους	1.5875 cm
Μήκος της συγκόλλησης στην επιφάνεια επαφής στομίου και δοχείου	1.5875 cm
Υλικό του κολάρου	SA-516 70
Διάμετρος του κολάρου	78.74 cm
Πάχος του κολάρου	1.5875 cm
Μήκος της συγκόλλησης στην επιφάνεια επαφής στομίου και κολάρου	1.5875 cm

Πίνακας 10: Δεδομένα σχετικά με το ακροφύσιο

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών εσωτερικής και εξωτερικής πίεσης για το στόμιο και το κέλυφος.

Κέλυφος		Στόμιο	
Απαιτούμενο πάχος για εσωτερική πίεση	0.4 cm	Απαιτούμενο πάχος για εσωτερική πίεση	0.20 cm
Απαιτούμενο πάχος για εξωτερική πίεση	2.377cm	Απαιτούμενο πάχος για εξωτερική πίεση	1.094cm
Επιτρεπόμενη πίεση	8.49 bars	Επιτρεπόμενη πίεση	50.80 bars

Πίνακας 11: Αποτελέσματα εσωτερικής και εξωτερικής πίεσης.

Στον πίνακα 5.12 δίδονται τα αποτελέσματα υπολογισμών για σχετικά με τις επιφάνειες ενίσχυσης, το ελάχιστο πάχος του λαιμού του ακροφυσίου, το βάρος του στομίου και την ελάχιστη θερμοκρασία μετάλλου.

Όριο λειτουργικής διαμέτρου υλικού	114.2644cm
Όριο λειτουργικού πάχους υλικού χωρίς κολάρο	4.3121cm
Όριο λειτουργικού πάχους υλικού με κολάρο	4.3121cm
Διαθέσιμη επιφάνεια ενίσχυσης για εσωτερική πίεση	119.487cm ²
Διαθέσιμη επιφάνεια ενίσχυσης για εξωτερική πίεση	51.812cm ²
Απαιτούμενη επιφάνεια για εσωτερική πίεση	23.074cm ²
Απαιτούμενη επιφάνεια για εξωτερική πίεση	45.661cm ²
Ελάχιστο πάχος του λαιμού του ακροφυσίου	1.1938 cm
Βάρος στομίου, κολάρου, φλάντζας (σε κατάσταση διάβρωσης)	3.80 KN
Βάρος στομίου, κολάρου, φλάντζας (αρχική κατάσταση)	3.86 KN
Ελάχιστη θερμοκρασία μετάλλου του στομίου UCS-66	-14 °C
Ελάχιστη θερμοκρασία μετάλλου του στομίου UCS-66.1	-75 °C
Ελάχιστη θερμοκρασία μετάλλου του στομίου UG-20(f)	-29 °C

Πίνακας 12: Υπολογισμοί στο στόμιο

Στον πίνακα 5.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών σχετικά με τα φορτία της ενίσχυσης και την αντοχή των δρόμων αστοχίας.

Προσδιορισμός της φορτίων της ενίσχυσης	
W	462. KN
W ₁₋₁	518 KN
W ₂₋₂	228 KN
W ₃₋₃	599 KN
Προσδιορισμός των επιτρεπόμενων φορτίων της ενίσχυσης	
Διάτμηση στην εξωτερική συγκόλληση του ακροφυσίου	616 KN
Διάτμηση στην συγκόλληση του κολάρου	1161 KN
Διάτμηση στον τοίχωμα του στομίου	1285 KN
Εφελκυστικό φορτίο στην groove συγκόλληση στο κολάρο	1163 KN
Εφελκυστικό φορτίο στην groove συγκόλληση στο στόμιο	582 KN
Αντοχή των δρόμων αστοχίας	
Δρόμος 1-1	2446KN > W ή W ₁₋₁
Δρόμος 2-2	2362 KN> W ή W ₂₋₂
Δρόμος 3-3	1742 KN> W ή W ₃₋₃

Πίνακας 13: Υπολογισμοί φορτίων και αντοχής στις συγκολλήσεις

4.4.3 Φλάντζες

Στον πίνακα 14 γίνεται η παρουσίαση δεδομένων μιας συγκολλητής φλάντζας με hub

Εσωτερική πίεση P_i	27.58 bars
Εσωτερική θερμοκρασία	1343.36°C
Εσωτερική διάμετρος της φλάντζας	81.28 cm
Εξωτερική διάμετρος της φλάντζας	99.375 cm
Πάχος της φλάντζας	5.08 cm
Πάχος του hub στην μικρή διατομή	1.27 cm
Πάχος του hub στην μεγάλη διατομή	2.8575 cm
Μήκος του hub	6.985 cm
Υλικό φλάντζας	SA-516 70
Επιτρεπόμενη τάση S	120655.5KPa
Επιτρεπόμενη τάση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος S_a	120655.5KPa
Υλικό κοχλιοσύνδεσης	SA-193 B7
Επιτρεπόμενη τάση S	172365KPa
Επιτρεπόμενη τάση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος S_a	172365KPa
Επιτρεπόμενη διάβρωση c στην φλάντζα	0 cm
Διάμετρος του κύκλου της κοχλιοσύνδεσης	93.8 cm
Ονομαστική διάμετρος του κοχλία	2.54 cm
Αριθμός των κοχλίων	36
Εξωτερική διάμετρος προσώπου φλάντζας	87.63 cm
Εσωτερική διάμετρος προσώπου της φλάντζας	83.82 cm
Τύπος πρόσοψης της φλάντζας	Code Sketch 1a
Εξωτερική διάμετρος τσιμούχας	91.44 cm
Εσωτερική διάμετρος τσιμούχας	83.82 cm
Παράγοντας τσιμούχας	2.75
Μοναδιαίο φορτίο έδρασης της τσιμούχας	25510 KPa

Πίνακας 14: Παρουσίαση δεδομένων σχετικών με την φλάντζα

Στον πίνακα 15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα υπολογισμού ορισμένων γεωμετρικών σταθερών.

Διαβρωμένη εσωτερική διάμετρος της φλάντζας	81.28 cm
Διαβρωμένο hub (μεγάλη διατομή)	2.858 cm
Διαβρωμένο hub (μικρή διατομή)	1.27 cm
Διάσταση R του κώδικα	3.492 cm
Μήκος επαφής της τσιμούχας	1.905 cm
Βασικό εύρος της έδρασης της τσιμούχας	0.952 cm
Λειτουργικό εύρος της τσιμούχας	0.778 cm
Υπολογισμός διαμέτρου G	86.075 cm

Πίνακας 15: Γεωμετρικά μεγέθη

Στον πίνακα 16 πραγματοποιείται ο υπολογισμός των βασικών φορτίων σε φλάντζα και κοχλίες καθώς και των συνολικών ροπών σε συνθήκες έδρασης και λειτουργίας.

Υδροστατικό φορτίο λόγω πίεσης	1605 KN
Υπολογισμός του θλιπτικού φορτίου	319 KN
Υδροστατικό φορτίο λόγω πίεσης εσωτερικά της φλάντζας	1431 KN
Δύναμη λόγω πίεσης στην πρόσοψη της φλάντζας	174 KN
Υπολογισμός του απαραίτητου φορτίου για την κοχλιοσύνδεση	1924 KN
Υπολογισμός φορτίου κοχλιοσύνδεσης για την έδραση της τσιμούχας	536 KN
Υπολογισμός της απαιτούμενης επιφάνειας για τους κοχλίες	111.609 cm ²
Υπολογισμός του φορτίου της κοχλιοσύνδεσης κατά τον σχεδιασμό της φλάντζας, κατά την έδραση της τσιμούχας	318.98 KN
Δύναμη για την έδραση της τσιμούχας	318.98 KN
Συνολική ροπή για τις συνθήκες λειτουργίας	92017Nm
Συνολική ροπή για την έδραση της φλάντζας	81646Nm

Πίνακας 16: Βασικά φορτία και ολικές ροπές

Στον πίνακα 17 γίνεται ο υπολογισμός των τιμών των πραγματιών και των επιτρεπόμενων τάσεων στην φλάντζα.

Τάσεις	Λειτουργία		Συνθήκες έδρασης	
	Πραγματική	Επιτρεπόμενη	Πραγματική	Επιτρεπόμενη
Διαμήκης τάση στο hub	157645	180983	139876	180983
Ακτινική τάση στην φλάντζα	75715	120656	67181	120656
Εφαπτομενική τάση φλάντζας	46880	120656	41596	120656
Μέση τάση στην φλάντζα	116680	120656	103529	120656
Τάση κοχλία	150323	172356	41921	172356

Πίνακας 17: Τιμές τάσεων σε (Kpa)

Τέλος στον πίνακα 18 δίδονται οι τιμές της μέγιστης επιτρεπόμενης πίεσης και της δυσκαμψία της φλάντζας σε συνθήκες λειτουργίας και σε συνθήκες έδρασης της τσιμούχας.

Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση (λειτουργία)	28.5 bars
Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση (έδραση της τσιμούχας)	37.4 bars
Υπολογισμοί δυσκαμψίας για την φλάντζα (λειτουργία)	0.796
Υπολογισμοί δυσκαμψίας για την φλάντζα (έδραση της τσιμούχας)	1.035

Πίνακας 18: Επιτρεπόμενες πιέσεις και δυσκαμψία.

4.4.4 Στηρίγματα

Όσον αφορά τα στηρίξεις σαν εφαρμογή παρουσιάζονται τα legs. Τα δεδομένα παρουσιάζονται στον πίνακα 19.

Εσωτερική πίεση σχεδιασμού	18.13 bars
Θερμοκρασία	21.11 C
Εξωτερική διάμετρος του δοχείου	426.72 cm
Μήκος του δοχείου από επαπτομένη σε επαπτομένη	1.524m
Ύψος της κάτω επαπτομένης πάνω από το έδαφος	3.8609m
Βάρος λειτουργίας του δοχείου	996.35 KN
Αριθμός των ποδιών	4
Μήκος των ποδιών	3.8608 m
Συντελεστής λυγισμού	0.49
Υλικό	SA-36
Όριο ροής για το υλικό	248205.59 kpa
Τύπος στήριξης σύμφωνα με AISC	W8x67
Υπάρχουν σύνδεσμοι ανάμεσα στα πόδια	όχι

Πίνακας 19: Δεδομένα για τις στηρίξεις

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 20.

Διατομή της επιφάνειας	127.097 cm ²
Ακτίνα αδρανείας	3.8608 m
Φορτίο βάρους στην κορυφή του κάθε leg	249.1KN
Αξονική θλίψη	19598.86KN
Επιτρεπόμενη θλίψη	134905.53 KN
Καμπτική τάση	0
Επιτρεπόμενη καμπτική τάση	148923.36 Kpa
Μοναδιαίος έλεγχος AISC	0.1453 >.1

Πίνακας 20: Δεδομένα για τις στηρίξεις

5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΠΕΤΡΟΧΗΜΙΚΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

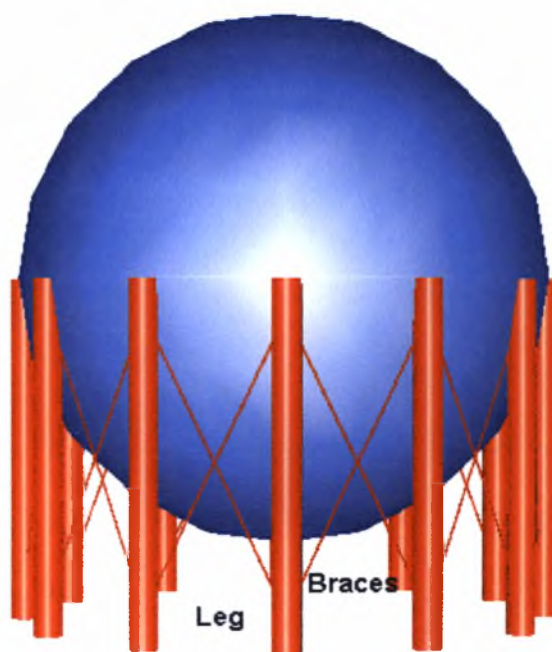
5.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της πιο ολοκληρωμένης εικόνας, σχετικά με τον σχεδιασμό των δοχείων πίεσης, παρουσιάζονται στην συνέχεια δύο σφαίρες αποθήκευσης υγροποιημένων υδρογονανθράκων υπό πίεση. Εξετάζεται μια σφαίρα αποθήκευσης VCM (Vinyl chloride πολυμερεί) και μια σφαίρα αποθήκευσης προπιλενίου. Συγκεκριμένα γίνεται αναφορά σε όλα τα απαραίτητα σχεδιαστικά και γεωμετρικά δεδομένα, τα οποία λαμβάνονται από υπαρκτά κατασκευαστικά σχέδια (λεπτομέρειες των συγκεκριμένων σχεδίων βρίσκονται συνημμένες στο τέλος της εργασίας). Επίσης γίνεται παρουσίαση και σχολιασμός των σημαντικότερων υπολογισμών όπως αυτοί δίδονται από το πρόγραμμα PVElite καθώς και σύγκριση, όπου βέβαια αυτή είναι εφικτή, με τα πραγματικά εικόνα των 2 σφαιρών. Επιπρόσθετα, για την περίπτωση της σφαίρας VCM, η εισαγωγή των δεδομένων σχετικών με τον σεισμό έγινε με την χρήση 2 διαφορετικών κωδίκων, του ASCE-93 και του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (Ε.Α.Κ –2000).

5.2 Σφαίρα αποθήκευσης VCM – Δεδομένα

Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται κάποια γενικά σχεδιαστικά δεδομένα για την σφαίρα

Γενικά σχεδιαστικά δεδομένα	
Εσωτερική πίεση λειτουργίας P_i	7.8455 bars
Εσωτερική θερμ. λειτουργίας T_i	- 14 °C
Απόσταση του κάτω ημισφαιρίου από την γραμμή αναφοράς	-11.5498m
Θέση υδροελέγχου	Οριζόντια
Βαθμός ραδιογράφησης	Πλήρης (RT1)
Συντελεστής αύξησης βάρους(%)	5
Χρησιμοποιούμενοι κώδικες	Division 1 και Division 2
Τρόπος κατασκευής	Συγκόλληση
Θεώρηση της παραγράφου UG-23(d)	NAI



Πίνακας 5.1: Σχεδιαστικά δεδομένα της σφαίρας VCM

Για την ακριβέστερη εισαγωγή των δεδομένων η σφαίρα έχει χωριστεί σε 2 ημισφαίρια. Τα δεδομένα παρουσιάζονται στους πίνακες 5.2 και 5.3. Τα περισσότερα από αυτά είναι κοινά και για τον λόγο αυτό στο πίνακα 5.3 απλά παρουσιάζονται τα σημεία στα οποία το πάνω ημισφαίριο διαφοροποιείται από το κάτω.

ΚΑΤΩ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ			
Εσωτερική διάμετρος		21.2 m	
Πάχος ημισφαιρίου		3.323cm < t < 3.62cm	
Επιτρεπόμενη διάβρωση		0.13 cm	
Εσωτερική πίεση λειτουργίας		7.8455 bars	
Εσωτερική θερμ. λειτουργίας		-14C	
Εξωτερική πίεση λειτουργίας		0 bars	
Εξωτερική θερμοκρασία λειτουργίας		50 C	
Joint Efficiency διαμ /περιφερ. ραφές		1	1
Υλικό		SA-516 70	
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ			
Division 1		Division 2	
Επ. τάση S	137892 Kpa	Επ. τάση S	160644 Kpa
Επ. τάση Sa	137892 Kpa	Επ. τάση Sa	160644 Kpa
Επ. τάση S _{Hydrotest}	179260 Kpa	Επ. τάση S _{Hydrotest}	235795 Kpa
Πυκνότητα	0.007833 kg/cm ³	Πυκνότητα	0.00783344kg/cm ³
Τάση διαρροής	261995 Kpa	Τάση διαρροής	261995 Kpa
Καμπύλη από UCS-66	B	Καμπύλη από AM-218.1	B
Διάγραμμα εξωτερικής πίεσης	CS-2	Διάγραμμα εξωτερικής πίεσης	CS-2

Πίνακας 5.2: Σχεδιαστικά και γεωμετρικά δεδομένα για το κάτω ημισφαίριο

ΠΑΝΩ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ	
Μήκος straight flange	0.0762m
Πάχος ημισφαιρίου	2.844cm < t < 3.180cm

Πίνακας 5.3: Δεδομένα για το πάνω ημισφαίριο (τα υπόλοιπα είναι όμοια με το κάτω)

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα για την σφαίρα και τις στηρίξεις

Στηρίγματα - Legs	
Τύπος στηρίγματος	σωλήνας
Αριθμός ποδιών	11
Εσωτερική διάμετρος	94.5 cm
Εξωτερική διάμετρος	97 cm
Διάμετρος του κύκλου που περνάει από τα κέντρα των ποδιών	20.7m
Μήκος του ποδιού	11.55m

Ρευστό - VCM	
Πυκνότητα ρευστού	0.9160g/cm ³
Ποσότητα	Γεμάτο δοχείο =5000m ³

Πίνακας 5.5: Δεδομένα για το ρευστό

Πίνακας 5.4: Δεδομένα για τις στηρίξεις

Συνδυασμοί φόρτισης	
1:NP+EW+WI	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΥΜΒΟΛΩΝ
2:NP+EW+EQ	NP: έλλειψη πίεσης
3:NP+OW+WI	IP: εσωτερική πίεση
4:NP+OW+EQ	EP: εξωτερική πίεση
5:NP+HW+HI	HP: πίεση υδροελέγχου
6:NP+HW+HE	EW: απόβαρο
7:IP+OW+WI	OW: βάρος λειτουργίας
8:IP+OW+EQ	HW: βάρος υδροελέγχου
9:EP+OW+WI	WI: φορτίο ανέμου
10:EP+OW+EQ	EQ: φορτίο λόγω σεισμού
11:HP+HW+HI	HE: σεισμός κατά τον υδροέλεγχο
12:HP+HW+HE	HI: άνεμος κατά τον υδροέλεγχο

Πίνακας 5.6: Πιθανοί συνδυασμοί φορτίων

Δεδομένα για άνεμο - ASCE-7 93	
Ταχύτητα ανέμου	38 m/sec
Ανύψωση	0 m
Σταθερά έκθεσης	A -Μεγάλες πόλεις
Παράγοντας σπουδαιότητας	1
Παράγοντας τραχύτητας	1
Παράγοντας απόσβεσης	Beta = 0.01

Πίνακας 5.7: Δεδομένα για τον άνεμο

Δεδομένα για σεισμό - ASCE-7 88	
Παράγοντας σπουδαιότητας	1.5
Τύπος εδάφους	S2 ⇒ S=1.2
Σταθερά έκθεσης	A -Μεγάλες πόλεις
Παράγοντας οριζόντιου φορτίου	2.5
Σεισμικότητα περιοχής	2

Πίνακας 5.8: Δεδομένα για τον σεισμό

Δεδομένα όσον αφορά τον σεισμό δόθηκαν και μέσω του ελληνικού αντισεισμικού κώδικα μέσα από την παρακάτω διαδικασία.

Βήμα 1₀ : Προσδιορισμός της συνολικής ακαμψίας των ποδιών (legs) και των στηρίξεων (braces) ανάμεσα στα πόδια. Δίδεται από την ακόλουθη σχέση.

$$K_{TOTAL} = K_{LEGS} + K_{BRACES} = N \frac{12EI}{h^3} + \sum_{i=0}^{10} \frac{EA}{L} \cos^2 \Phi \cos^2 \Theta_i$$

Όπου N = 11 ο αριθμός των Legs, h = 11.55 m το μήκος του ενός Leg, E = 199.943392 GPa το μέτρο ελαστικότητας του υλικού, i = πR_m³ / I η ροπή αδρανείας της διατομής του σωλήνα, R_m η μέση ακτίνα του σωλήνα και t πάχος του.

Επιπλέον A θεωρούμε την επιφάνεια της διατομής (ορθογωνική) των braces, L το μήκος του, Φ = 55.15° την γωνιά που δημιουργείται ανάμεσα σε ένα brace και στην απόσταση ανάμεσα σε ένα ζευγάρι Legs και Θ_i = 32.72° η γωνιά που σχηματίζει το επίπεδο ενός ζευγαριού Legs με την διεύθυνση του σεισμού.

Με αντικατάσταση στα παραπάνω μεγέθη προκύπτει $K_{TOTAL} = 159.359 \text{ MPa m}$.

Βήμα 2₀: Υπολογισμός της ιδιοπεριόδου T από την σχέση:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_{TOTAL}}} = 1.12 \text{ scc}$$

Όπου $m = 5071$ τη η συνολική μάζα (περιλαμβάνει το βάρος της κατασκευής και το βάρος του ρευστού).

Βήμα 3₀: Εφαρμογή του Ελληνικού Αντισεισμικού Κώδικα. Από τον Ε.Α.Κ. προέκυψαν οι τιμές των μεταβλητών που δίδονται στον παρακάτω πίνακα.

Χαρακτηριστικές περιόδου του φάσματος	$T_1=0.15$ και $T_2= 0.6$
Συντελεστής σπουδαιότητας κατασκευής	$\gamma_1 = 1.3$
Μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους (με βάση την γεωγραφική (θέση)	$A = 0.16$
Διορθωτικός συντελεστής n για ποσοστό απόσβεσης $\zeta(\%) \neq 5\%$	$n = \sqrt{\frac{7}{2+\zeta}} = 1.32, \zeta=2$
Συντελεστής επιρροής της θεμελίωσης	$\theta=1$
Συντελεστής φασματικής ενίσχυσης	$\beta_0 = 2.5$
Συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής	$q = 1$
Κατηγορία εδάφους	B

Πίνακας 5.9: Δεδομένα από τον Ε.Α.Κ.

Βήμα 4₀: Προσδιορισμός φάσματος σχεδιασμού σύμφωνα με την σχέση:

$$\Phi_d(T) = \gamma_1 A \frac{n\theta}{q} \beta_0 \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} = 1.5 \cdot 0.16 \cdot \frac{1.32 \cdot 1}{1} \cdot 2.5 \left(\frac{0.6}{1.12}\right)^{\frac{2}{3}} = 0.45$$

Συνεπώς τα δεδομένα όσον αφορά τον σεισμό συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα :

Δεδομένα για σεισμό - Ε.Α.Κ. 2000	
Παράγοντας σπουδαιότητας	1.5
Συντελεστής φόρτισης G_x	0.45
Συντελεστής φόρτισης G_z	0.45
Συντελεστής φόρτισης G_y	0.315
Ποσοστό (%) για υδροέλεγχο	33

Πίνακας 5.10: Δεδομένα για σεισμική φόρτιση

5.2.1 Αποτελέσματα από PVElite

Στον πίνακα 5.11 δίδονται οι σχετικοί με την εσωτερική πίεση υπολογισμοί. Είναι φανερό ότι το εύρος τιμών του απαιτούμενου πάχους όπως προκύπτει από τον κώδικα Division 2, προσεγγίζει καλύτερα το εύρος τιμών του πραγματικού πάχους της σφαίρας. Ο κώδικας Division 1 δίνει υψηλότερες τιμές στο απαιτούμενο πάχος, λόγω της χρήσης μικρότερων τιμών επιτρεπόμενων τάσεων.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	ΚΑΤΩ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ	ΠΑΝΩ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ
ΚΩΔΙΚΕΣ	Απαιτούμενο πάχος	Απαιτούμενο πάχος
Division 1	3.8831cm	3.5166cm
Division 2	3.3542cm	3.031cm
ΚΩΔΙΚΕΣ	Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση με βάση το απαιτ. πάχος	Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση με βάση το απαιτ. πάχος
Division 1	7.89 bars	8.06 bars
Division 2	7.98 bars	8.03 bars
ΚΩΔΙΚΕΣ	MAWPNC με βάση το απαιτ. πάχος	MAWPNC με βάση το απαιτ. πάχος
Division 1	10.14 bars	9.36 bars
Division 2	10.29 bars	9.38 bars
ΚΩΔΙΚΕΣ	Πραγματική τάση με βάση Pi και tr	Πραγματική τάση με βάση Pi και tr
Division 1	137MPa	134.5 MPa
ΚΩΔΙΚΕΣ	Ελάχιστη θερμοκρασία μετάλλου με βάση το tr	Ελάχιστη θερμοκρασία μετάλλου με βάση το tr
Division 1	11 °C	7 °C
Division 2	6 °C	5 °C

Πίνακας 5.11: Υπολογισμοί σχετικοί με την εσωτερική πίεση.

Παρατηρείται διαφοροποίηση ανάμεσα στο υπολογιζόμενο απαιτούμενο πάχος και το πραγματικό πάχος της σφαίρας. Η διαφοροποίηση οφείλεται κατά κύριο λόγο στον διαφορετικό κώδικα (γαλλικός) που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της σφαίρας ο οποίος παρουσιάζεται περισσότερο «ελαστικός» δίνοντας μικρότερες τιμές πάχους από ότι οι κώδικες Division 1 (κατά κύριο λόγο) και Division 2.

Στον πίνακα 5.12 παρουσιάζονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες υδροστατικές πιέσεις. Οι μικρότερες τιμές του Division 2 οφείλονται στην χρήση μικρότερου συντελεστή (1.25 – πολλαπλασιάζεται με την αντίστοιχη, ανάλογα με την περίπτωση πίεση) σε σχέση με τον συντελεστή του Division 1 (1.3).

Αποτελέσματα υδροστατικού ελέγχου			
Division 1	UG 99b	UG 99b (34)	UG 99 c
	10.26 bars	10.20 bars	10.09
Division 2	AT-300		AT-301
	9.98 bars		9.65 bars

Πίνακας 5.12: Πιέσεις για υδροστατικό έλεγχο.

Ο επόμενος πίνακας περιέχει το βάρος των επιμέρους τμημάτων του δοχείου. Η μεγαλύτερη ποσότητα υλικού στο κάτω ημισφαίριο συνδέεται με την

Ημισφαίρια	βάρος	όγκος	διαβρωμένο βάρος	διαβρωμένος όγκος
Κάτω ημισφαίριο	227301kg	2495000lt	219751 kg	2 496 x 10 ⁶ lt
Πάνω ημισφαίριο	210819kg	2522000 lt	203658 kg	2 523 x 10 ⁶ lt
Συνολικό	438119 kg	5016712 lt	423408 kg	5 x 10 ⁶ lt
Συνολικό βάρος ρευστού	4594tn		Συνολικό βάρος legs	39tn

Πίνακας 5.13: Υπολογισμοί βάρους και όγκου για ημισφαίρια , ρευστό και πόδια

Το συνολικό βάρος του δοχείου υπολογίζεται για διάφορες περιπτώσεις που δίδονται στον παρακάτω πίνακα.

Βάρος κατασκευής = πόδια + ημισφαίρια χωρίς τα μετακινούμενα τμήματα	Βάρος κατασκευής + νερό γεμάτο δοχείο υδροέλεγχος	Βάρος κατασκευής + VCM γεμάτο δοχείο συνθήκες λειτουργίας
477tn	5401tn	5071tn

Πίνακας 5.14: Υπολογισμοί βάρους σε 3 διαφορετικές περιπτώσεις για την κατασκευή

Το βάρος δημιουργεί θλιπτικές τάσεις σύμφωνα με την σχέση:

$$s = \frac{Wg}{ct}, \quad (\text{Pa})$$

Όπου W είναι το βάρος του δοχείου πάνω από το υπό θεώρηση τμήμα, c είναι η περίμετρος με βάση την μέση ακτίνα και t το πάχος του υπό θεώρηση τμήματος. Συνήθως οι θλιπτικές τάσεις που προκύπτουν λόγω πάχους δεν είναι ίσως σημαντικές, ώστε από αυτές να προκύψει εκείνη η πιο επικίνδυνη τάση για την κατασκευή.

Το PVElite υπολογίζει την ιδιοπερίοδο και κατά συνέπεια και η ιδιοσυχνότητα της κατασκευής υπολογίζεται σύμφωνα με την μέθοδο Freese σύμφωνα με την οποία η κατασκευή συμπεριφέρεται σαν οριζόντια πακτωμένη δοκός. Αφού υπολογιστεί η εκτροπή (deflection) y της κατασκευής υπολογίζεται η ιδιοπερίοδος από την σχέση.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{y}{g}} \quad (1)$$

Συγκρίνοντας την τιμή της ιδιοπερίοδου που δίνει το PVElite (3.2568 sec) παρατηρούμε σημαντική διαφοροποίηση με την ιδιοπερίοδο που προέκυψε με την διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο 5.2.1 (1.12 sec) αλλά και με την τιμή που προκύπτει αν στην σχέση (1) χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό της εκτροπής y την σχέση από το manual του Dennis Moss [7]:

$$y = \frac{ml(\sin \theta)^2}{6EA} = 0.03m \Rightarrow T = 0.4 \text{ sec}$$

(όπου $m=507 \text{ kg}$ η μάζα της σφαίρας, $l = 8.5 \text{ m}$ το μήκος ενός brace, $\theta=34.85^\circ$, $A=0.00378 \text{ m}^2$ η διατομή του brace).

Επιπλέον το πρόγραμμα PVElite έδινε την ίδια τιμή ιδιοπερίοδου για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις: άδειο δοχείο, γεμάτο με νερό, γεμάτο με VCM προκαλώντας αμφιβολίες σχετικά με την εγκυρότητα του υπολογισμού της ιδιοπερίοδου.

Η επικοινωνία με την εταιρία διάθεσης του PVElite επιβεβαίωσε τις συγκεκριμένες αμφιβολίες για την υπό εξέταση περίπτωση, της σφαίρας. Συγκεκριμένα σε απάντηση της εταιρίας αναφέρεται ότι η μέθοδος Freese δίνει πολύ καλά αποτελέσματα εφαρμοζόμενη σε ψηλούς πύργους και σε παρόμοιες κατασκευές ενώ ενδέχεται να μην δίδει εξίσου σωστά αποτελέσματα σε διαφορετικές γεωμετρίες όπως στην περίπτωση της σφαίρας. Συνεπώς δεν χρησιμοποιήθηκε η ιδιοπερίοδος του PVElite εφόσον αυτή είναι ακατάλληλη για διατάξεις

όπως της συγκεκριμένης σφαίρας. Επιπρόσθετα ελέγχθηκε η αξιοπιστία της για την περίπτωση που θεωρείται ότι η μέθοδος Freese δίνει πολύ καλά αποτελέσματα δηλαδή σε ψηλούς πύργους. Η διαδικασία και τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου ελέγχου περιγράφονται στο παράρτημα Ζ.

Κάθε ένα από τα φορτία που επιδρούν στο δοχείο πίεσης προκαλούν αντίστοιχες τάσεις οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 5.16.

Division 1 + E.A.K									
ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ	IP	HP	EW	OW	HW	WI	EQ	HI	HE
ΚΑΤΩ	136982	167474	1860.1	19769.3	20692.5	20.6933	5691.52	6.6	1815.93
ΠΑΝΩ	134318	166174	892.96	10674.7	11151	22.4633	6183.6	7.15	1967.33
Division 1 + ASCE-7 88									
ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ	IP	HP	EW	OW	HW	WI	EQ	HI	HE
ΚΑΤΩ	Τα ίδια αποτελέσματα με Division 1+ E.A.K						681.744	<<	217.517
ΠΑΝΩ							740.736		235.660

Πίνακας 5.16: Διαμήκεις τάσεις που προκαλούνται από αντίστοιχες πιθανές φορτίσεις του δοχείου (KPa).

Οι τάσεις που προκύπτουν από τον παραπάνω πίνακα συνδυάζονται μεταξύ τους έτσι ώστε να βρεθεί ο πιο επικίνδυνος για το δοχείο συνδυασμός τάσεων μέσω της σύγκρισης με τις επιτρεπόμενες τιμές τάσεων. Για κάθε τμήμα υπάρχουν τέσσερις επιτρεπόμενες τάσεις στην διαμήκη κατεύθυνση (πίνακας 5.17)

ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ	Διαμήκης επιτρεπόμενη εφελκυστική τάση	Ηδροστατική διαμήκης εφελκυστική τάση	Διαμήκης επιτρεπόμενη θλιπτική τάση - UG -23	Ηδροστατική διαμήκης θλιπτική τάση
ΚΑΤΩ	165470	215112	-53136.4	-66713.5
ΠΑΝΩ	165470	215112	-48923.7	-63445.7

Πίνακας 5.17: Επιτρεπόμενες διαμήκεις τάσεις σύμφωνα με τον κώδικα Division 1 (KPa).

Ως πιο επικίνδυνος για το δοχείο συνδυασμός προέκυψε ο συνδυασμός εσωτερικής πίεσης-σεισμού – βάρους λειτουργίας για το κάτω ημισφαίριο, όσον αφορά την διαμήκη επιτρεπόμενη εφελκυστική τάση. Συγκεκριμένα προέκυψε τάση ίση με 136982.34 KPa η οποία όμως είναι μικρότερη από την αντίστοιχη επιτρεπόμενη τάση 165470 KPa. Συνεπώς το δοχείο δεν είναι overstress Πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι υπολογισμοί έγιναν με βάση το

υπολογιζόμενο απαιτούμενο πάχος του δοχείου. Το ελάχιστο πάχος για να μην είναι overstress το δοχείο (όπως αυτό υπολογίζεται από το PVElite) είναι **3.25cm**.

Εφόσον έχουν καθοριστεί όλα τα βάρη οι δυνάμεις και οι ροπές καθορίζεται η ολική εντατική κατάσταση με την χρήση του μοναδιαίου ελέγχου AISC. (πίνακας 5.18). Με βάση τα πιο δυσμενή φορτία στα πόδια της σφαίρας λόγω σεισμού ή ανέμου εφαρμόζεται η μέθοδος AISC. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου ελέγχου πρέπει να είναι ίσο ή μικρότερο της μονάδας.

ΚΩΔΙΚΕΣ	AISC Unity Check
Division 1 + E.A.K	2.2 > 1
Division 1 + ASCE-7 68	0.8716 < 1

Πίνακας 5.18: AISC Unity Check

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 5.18 για την περίπτωση του ελληνικού αντισεισμικού κώδικα η σφαίρα δεν περνάει τον μοναδιαίο έλεγχο AISC, και μάλιστα με αρκετά μεγάλη διαφορά (η τιμή 2.2 θεωρείται αρκετά υψηλή για τον συγκεκριμένο έλεγχο). Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι η συγκεκριμένη σφαίρα έχει ηλικία τριάντα χρόνων ενώ ο κώδικας E.A.K. που χρησιμοποιήθηκε είναι ένας τωρινός κώδικας. Με βάση την παρατήρηση αυτή, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι με την πάροδο του χρόνου οι εφαρμοζόμενοι κώδικες έχουν γίνει περισσότερο «αυστηροί» όσον αφορά τον έλεγχο και την κατασκευή, διατάξεων όπως η σφαίρα VCM.

5.3 Σφαίρα αποθήκευσης προπυλενίου – Δεδομένα

Η δεύτερη σφαίρα που εξετάζεται είναι η σφαίρα προπυλενίου. Χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας ASME SECTION VIII Division 2 ενώ γίνεται σύγκριση όπου αυτό είναι εφικτό, των αποτελεσμάτων του προγράμματος PVElite με τα πραγματικά μεγέθη (όπως αυτά παρουσιάζονται στα κατασκευαστικά σχέδια της σφαίρας προπυλενίου). Όσον αφορά τους πιθανούς συνδυασμούς φόρτισης χρησιμοποιήθηκαν αυτοί που χρησιμοποιήθηκαν και στην

περίπτωση της σφαίρας VCM (πίνακας 5.6). Στον πίνακα που ακολουθεί δίδονται κάποια γενικά σχεδιαστικά δεδομένα για την σφαίρα.

Γενικά σχεδιαστικά δεδομένα	
Εσωτερική πίεση σχεδιασμού P_i	11.2 bars
Εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού T_i	- 48 °C
Εξωτερική πίεση σχεδιασμού P_o	1.03 bars
Εξωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού T_o	60 °C
Βαθμός ραδιογράφησης	Πλήρης (RT1)
Συντελεστής αύξησης βάρους(%)	5
Τρόπος κατασκευής	Συγκόλληση
Θεώρηση της παραγράφου UG-23(d)	NAI
Προέκταση του ακροφυσίου από την κορυφή της σφαίρας	35.1cm
Προέκταση του ακροφυσίου από την βάση της σφαίρας	30.12 cm

Πίνακας 5.19: Γενικά σχεδιαστικά δεδομένα της σφαίρας προπυλενίου.

Για τον άνεμο και τον σεισμό χρησιμοποιήθηκαν οι κώδικες ASCE- 7 95 και UBC 1991 αντίστοιχα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται φαίνονται στους πίνακες 5.20 και 5.21.

Δεδομένα για άνεμο - ASCE-7 95	
Ταχύτητα ανέμου	38 m/sec
Ανύψωση	0 m
Σταθερά έκθεσης	C – ακάλυπτη έκταση
Παράγοντας σπουδαιότητας	1
Παράγοντας τραχύτητας	1
Παράγοντας απόσβεσης	Beta = 0.01

Πίνακας 5.20: Δεδομένα για άνεμο

Δεδομένα για σεισμό – UBC 1991	
Παράγοντας σπουδαιότητας	1
Τύπος εδάφους	S3 \Rightarrow S=1.5
Παράγοντας οριζόντιου φορτίου	3
Σεισμικότητα περιοχής (γεωγραφική κατανομή)	5

Πίνακας 5.21: Δεδομένα για σεισμό

Για τον υπολογισμό της ιδιοπεριόδου χρησιμοποιήθηκαν τύποι από το manual του Dennis Moss [7]:

$$y = \frac{m l (\sin \theta)^2}{6EA} = 0.0025m \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{y}{g}} = 0.1 \text{ sec}$$

(όπου $m=3400$ in η μάζα της σφαίρας, $l = 7.9$ m το μήκος ενός brace, $\theta=34.85^\circ$, $A=0.00378$ m² η διατομή του brace).

Στην συνέχεια έγινε προσδιορισμός του φάσματος σχεδιασμού σύμφωνα με την παρακάτω σχέση από τον Ε.Α.Κ:

$$\Phi_d(T) = \gamma_1 A_1 \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{\eta \theta}{q} \beta_0 \right) \right] = 1.3 \cdot 0.16 \cdot \left[1 + \frac{0.1}{0.15} \left(\frac{1.32 \cdot 2.5 \cdot 1}{1} \right) \right] = 0.52$$

Συνεπώς τα δεδομένα όσον αφορά τον σεισμό (με βάση τον Ε.Α.Κ) συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα :

Δεδομένα για σεισμό - Ε.Α.Κ. 2000	
Παράγοντας σπουδαιότητας	1.5
Συντελεστής φόρτισης Gx	0.52
Συντελεστής φόρτισης Gz	0.52
Συντελεστής φόρτισης Gy	0.37
Ποσοστό (%) για υδροέλεγχο	33

Πίνακας 5.22: Δεδομένα για σεισμική φόρτιση από Ε.Α.Κ.

ΚΑΤΩ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ	
Εσωτερική διάμετρος	21.216 m
Πάχος ημισφαιρίου	4.3cm
Επιτρεπόμενη διάβρωση	0.15 cm
Εσωτερική πίεση λειτουργίας	11.2 bars
Εσωτερική θερμοκρασία λειτουργίας	-48C
Εξωτερική πίεση λειτουργίας	1.03 bars
Εξωτερική θερμοκρασία λειτουργίας	60 C
Joint Efficiency διαμήκεις /περιφερειακές ραφές	1 1
Υλικό	SA-516 70
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ- Division 2	
Επ. τάση S	160644 Kpa
Επ. τάση Sa	160644 Kpa
Επ. τάση S _{Hydrotest}	235795 Kpa
Πυκνότητα	0.00783344kg/cm ³
Τάση διαρροής	261995 Kpa
Καμπύλη από AM-218.1	B
Διάγραμμα εξωτερικής πίεσης	CS-2

Πίνακας 5.23: Δεδομένα για τον κάτω ημισφαίριο

ΠΑΝΩ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ	
Μήκος straight flange	0.0672m
Πάχος ημισφαιρίου	4cm < t < 4.2cm

Πίνακας 5.24: Δεδομένα για τον πάνω ημισφαίριο (τα υπόλοιπα είναι όμοια με το κάτω ημισφαίριο).

Το δοχείο είναι γεμάτο με προπυλένιο ενώ για την στήριξη του χρησιμοποιήθηκαν σωλήνες πάχους 3 cm (πίνακες 5.24 και 5.25).

Ρευστό - προπυλένιο	
Πυκνότητα ρευστού	0.0005530Kg/cm ³
Ποσότητα	Γεμάτο δοχείο =5000m ³

Πίνακας 5.25: Δεδομένα ρευστού

Στηρίγματα - Legs	
Τύπος στηρίγματος	σωλήνας
Αριθμός ποδιών	12
Εσωτερική διάμετρος	110 cm
Εξωτερική διάμετρος	104 cm
Διάμετρος του κύκλου που περνάει από τα κέντρα των ποδιών	20.752m
Μήκος του ποδιού	13.631m

Πίνακας 5.26: Δεδομένα για στηρίγματα

Η σφαίρα περιλαμβάνει μια σειρά από στόμια, από τα οποία επιλέχθηκαν 2 στα πλαίσια της παρουσίασης των σχετικών υπολογισμών. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται ένα στόμιο στην βάση της σφαίρας το οποίο εισέρχεται μέσα στο δοχείο (πίνακας 5.26) και ένα στόμιο στην κορυφή (πίνακας 5.27) το οποίο εφάπτεται στην επιφάνεια του δοχείου. Τα δύο στόμια χρησιμοποιούν σαν ενίσχυση hub. Η τάξη της φλάντζας προσδιορίζει το βάρος της βάρος και η βαθμίδα το υλικό.

Ακροφύσιο A -βάση του δοχείου			
Εσωτερική διάμετρος	25.4 cm	Πάχος του στομίου	1.27cm
Τάξη της φλάντζας	CL 300	Ύψος του hub	9.12 cm
Βαθμίδα της φλάντζας	GR 1.1	Ύψος του κεκλιμένου hub	8.4 cm
Υλικό του ακροφυσίου	SA -333 6	Πάχος του hub	3.52 cm
Βάρος του ακροφυσίου	2.689 KN	Εξωτερική προέκταση του στομίου	18.5 cm
Μήκος του ποδιού της συγκόλλησης εξωτερικά στο κέλυφος	0.9cm	Εσωτερική προέκταση του στομίου	250 cm
Μήκος του ποδιού της συγκόλλησης εσωτερικά στο κέλυφος	0.9cm	Μήκος της συγκόλλησης στην επιφάνεια επαφής στομίου - δοχείου	4.3 cm

Πίνακας 5.27: Δεδομένα για το στόμιο που βρίσκεται στην βάση του δοχείου

Ακροφύσιο B -κορυφή του δοχείου			
Εσωτερική διάμετρος	30.48 cm	Πάχος του στομίου	1.27cm
Τάξη της φλάντζας	CL 150	Ύψος του hub	10.39 cm
Βαθμίδα της φλάντζας	GR 1.1	Ύψος του κεκλιμένου hub	13.28 cm
Υλικό του ακροφυσίου	SA -350 LF2	Πάχος του hub	6.48 cm
Βάρος του ακροφυσίου	1.657 KN	Εξωτερική προέκταση του στομίου	23.67 cm
Μήκος του ποδιού της συγκόλλησης εξωτερικά στο κέλυφος	0.9cm	Μήκος της συγκόλλησης στην επιφάνεια επαφής στομίου - δοχείου	4.3 cm

Πίνακας 5.28: Δεδομένα για το στόμιο που βρίσκεται στην κορυφή του δοχείου

5.3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΡVΕlite

Τα αποτελέσματα όσον αφορά τους υπολογισμούς της εσωτερικής πίεσης παρουσιάζονται στον πίνακα 5.28. Παράλληλα παρουσιάζονται και οι πραγματικές τιμές.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	ΚΑΤΩ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ	ΠΑΝΩ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ
ΚΩΔΙΚΕΣ	Πάχος	Πάχος
Division 2 – απαιτούμενο πάχος	4.2374cm	4.0647cm
Πραγματική τιμή	4.3cm	4cm στον πάτο και 4.2cm οι «φλούδες»
ΚΩΔΙΚΕΣ	Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση HOT AND CORRODED	Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση HOT AND CORRODED
Division 2 με βάση τα πάχη 4.3cm και 4 cm αντίστοιχα	11.39 bars	11.06 bars
Πραγματική τιμή	11.2 bars	11.2 bars
ΚΩΔΙΚΕΣ	MAWPNC με βάση το απαιτ. πάχος	MAWPNC με βάση το απαιτ. πάχος
Division 2 με βάση τα πάχη 4.3cm και 4 cm αντίστοιχα	13 bars	12.09 bars
ΚΩΔΙΚΕΣ	Ελάχιστη θερμοκρασία μετάλλου	Ελάχιστη θερμοκρασία μετάλλου
Division 2		14 °C
Πραγματική τιμή		- 48 °C

Πίνακας 5.29: Υπολογισμοί εσωτερικής πίεσης για την σφαίρα προπυλενίου

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι μέγιστες υδροστατικές πιέσεις για τους 2 διαφορετικούς ελέγχους του κώδικα Division 2 καθώς και η πραγματική τιμή που λήφθηκε υπόψη.

Αποτελέσματα υδροστατικού ελέγχου		
Πραγματική τιμή	14.6 bars	
Division 2	AT-300	AT-301
	13.62 bars	12.97 bars

Πίνακας 5.30: Πιέσεις για υδροστατικό έλεγχο.

Στον πίνακα 5.30 παρουσιάζονται οι υπολογισμοί βάρους και όγκου για την σφαίρα, το ρευστό, τα πόδια και τα στόμια σύμφωνα με το ΡVΕlite.

Ημισφαίρια	βάρος	όγκος	διαβρωμένο βάρος	διαβρωμένος όγκος	
Κάτω ημισφαίριο	251084kg	2501000lt	242360 kg	2.502 x 10 ⁶ lt	
Πάνω ημισφαίριο	234439kg	2524000 lt	226199 kg	2.525 x 10 ⁶ lt	
Συνολικό	485522kg	5024878 lt	468559 kg	5027006 lt	
Συνολικό βάρος ρευστού	2778040.0 kg	Συνολικό βάρος legs	135678.7 kg	Συνολικό βάρος στομιών	465.4kg

Πίνακας 5.31: Υπολογισμοί βάρους και όγκου

Το συνολικό βάρος της κατασκευής υπολογίζεται για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις: άδειο, σε λειτουργία και γεμάτο με νερό.

Βάρος κατασκευής = πόδια + ημισφαίρια + στόμια χωρίς τα μετακινούμενα τμήματα	Βάρος κατασκευής + νερό γεμάτο δοχείο υδροέλεγχος	Βάρος κατασκευής + προπυλένιο γεμάτο δοχείο συνθήκες λειτουργίας
621666.4 kg	5643477.5 kg	3399706.5 kg

Πίνακας 5.32: Υπολογισμοί βάρους σε 3 διαφορετικές περιπτώσεις για την κατασκευή

Τα φορτία που επιδρούν στο δοχείο πίεσης προκαλούν αντίστοιχες τάσεις οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 5.32.

Division 2 + ASCE-7 95+UBC 1991										
ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ	IP	EP	HP	EW	OW	HW	WI	EQ	HI	HE
ΚΑΤΩ	157607	-13140.3	185361	2199.34	12027.5	19270.5	44.1425	1813.35	14.06	577.655
ΠΑΝΩ	162001	-14166.2	185529	894.826	6217.6	10123.1	47.5843	1954.79	15.11	621.023

Πίνακας 5.33: Υπολογισμός για διαμήκεις τάσεις που προκαλούνται από τις διάφορες φορτίσεις (KPa).

Οι τάσεις που προκύπτουν από τον παραπάνω πίνακα συνδυάζονται μεταξύ τους έτσι ώστε να βρεθεί ο πιο επικίνδυνος για το δοχείο συνδυασμός τάσεων μέσω της σύγκρισης με τις επιτρεπόμενες τιμές τάσεων. Για κάθε τμήμα υπάρχουν τέσσερις επιτρεπόμενες τάσεις στην διαμήκη κατεύθυνση (πίνακας 5.33)

ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ	Διαμήκης επιτρεπόμενη εφελκυστική τάση	Υδροστατική διαμήκης εφελκυστική τάση	Διαμήκης επιτρεπόμενη θλιπτική τάση - UG -23	Υδροστατική διαμήκης θλιπτική τάση
ΚΑΤΩ	192773	235795	-58428.7	-75675.5
ΠΑΝΩ	192773	235795	-54220.2	-70415.8

Πίνακας 5.34: Επιτρεπόμενες διαμήκεις τάσεις σύμφωνα με τον κώδικα Division 1 (KPa).

Ο πιο επικίνδυνος πιθανός συνδυασμός προέκυψε αυτός της εσωτερικής πίεσης, του βάρους λειτουργίας και του σεισμικού φορτίου για το κάτω ημισφαίριο ο οποίος όμως έδωσε τάση 157607.39 KPa μικρότερη από την επιτρεπόμενη 192773 KPa. Με άλλα λόγια έχουμε λόγο πραγματικής τάσης προς επιτρεπόμενη ίσο με 0.8176.

Στον πίνακα 5.35 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του AISC Unity Check σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ. και το UBC.

ΚΩΔΙΚΕΣ	AISC Unity Check
E.A.K	0.39<1
ASCE-7 88	0.28<1

Πίνακας 5.35: AISC Unity Check

Η σφαίρα προπυλενίου σε αντίθεση με την σφαίρα VCM είναι πρόσφατα κατασκευασμένη με την χρήση σύγχρονων κανονισμών. Συνεπώς είναι λογικό η χρησιμοποίηση του E.A.K να «περνάει» τον μοναδιαίο έλεγχο AISC.

5.3.2 Αποτελέσματα από PVElite για στόμια

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τα 2 στόμια παρουσιάζονται στους πίνακες 5.34 και 5.35. Η εσωτερική πίεση είναι υπολογισμένη με βάση την ολική μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας του δοχείου.

Απαιτούμενο πάχος για εσωτερική πίεση	0.0934 cm	√
Απαιτούμενο πάχος για εξωτερική πίεση	0.0760 cm	√
Όριο λειτουργικής διαμέτρου υλικού	51.4 cm	
Όριο λειτουργικού πάχους υλικού	7.5925 cm	
Διαθέσιμη επιφάνεια ενίσχυσης για εσωτερική πίεση	107.644cm ²	
Διαθέσιμη επιφάνεια ενίσχυσης για εξωτερική πίεση	128.264cm ²	
Απαιτούμενη επιφάνεια για εσωτερική πίεση	98.945cm ²	√
Απαιτούμενη επιφάνεια για εξωτερική πίεση	39.295cm ²	√
Ελαχιστο πάχος του λαιμού του ακροφυσίου	0.9834 cm	√
Λόγος των τάσεων για το ακροφύσιο	0.083	√

Πίνακας 5.36: Αποτελέσματα για το κάτω ακροφύσιο

Απαιτούμενο πάχος για εσωτερική πίεση	0.0934 cm	√
Απαιτούμενο πάχος για εξωτερική πίεση	0.0843cm	√
Όριο λειτουργικής διαμέτρου υλικού	51.4 cm	
Όριο λειτουργικού πάχους υλικού	9.6250 cm	
Διαθέσιμη επιφάνεια ενίσχυσης για εσωτερική πίεση	121.337cm ²	
Διαθέσιμη επιφάνεια ενίσχυσης για εξωτερική πίεση	141.892cm ²	
Απαιτούμενη επιφάνεια για εσωτερική πίεση	98.945cm ²	√
Απαιτούμενη επιφάνεια για εξωτερική πίεση	39.283cm ²	√
Ελαχιστο πάχος του λαιμού του ακροφυσίου	0.9834 cm	√
Λόγος των τάσεων για το ακροφύσιο	0.083	√

Πίνακας 5.36: Αποτελέσματα για το πάνω ακροφύσιο

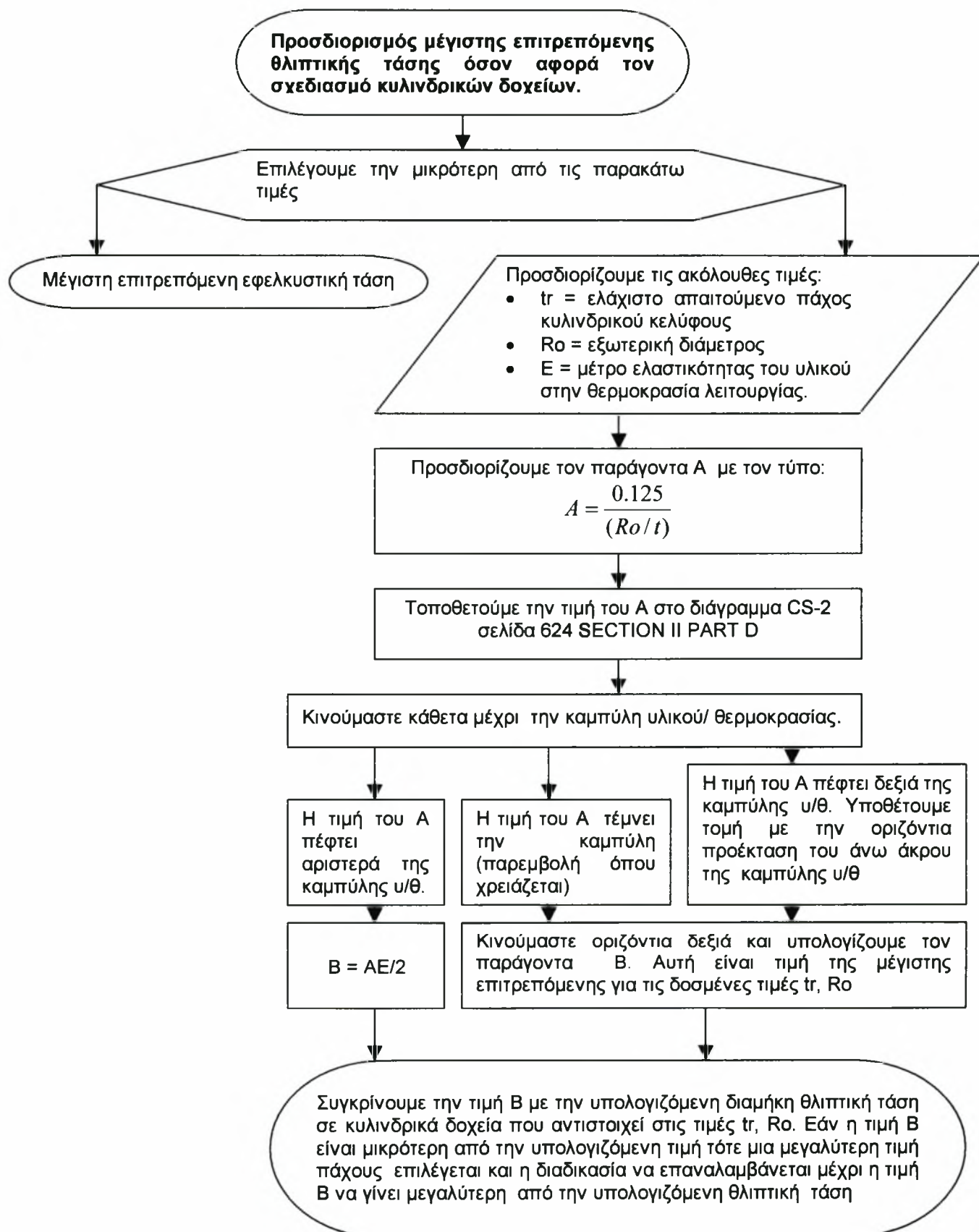
6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία συγκεντρώνεται, μελετάται και καταγράφεται η απαιτούμενη γνώση για τον σχεδιασμό δοχείων πίεσης. Αρχικά αναπτύχθηκε η θεωρητική προσέγγιση κατά την οποία έγινε παρουσίαση μεθοδολογίας σχεδιασμού των κυριότερων τμημάτων ενός δοχείου πίεσης, όπως αυτή παρουσιάστηκε μέσω των παραρτημάτων στο τέλος της συγκεκριμένης εργασίας. Παράλληλα σε προηγούμενα κεφάλαια (2 και 3) παρουσιάστηκε το σύνολο των γεωμετρικών και σχεδιαστικών μεγεθών ενώ αναπτύχθηκε εκτενώς η φιλοσοφία σχεδιασμού των δοχείων πίεσης.

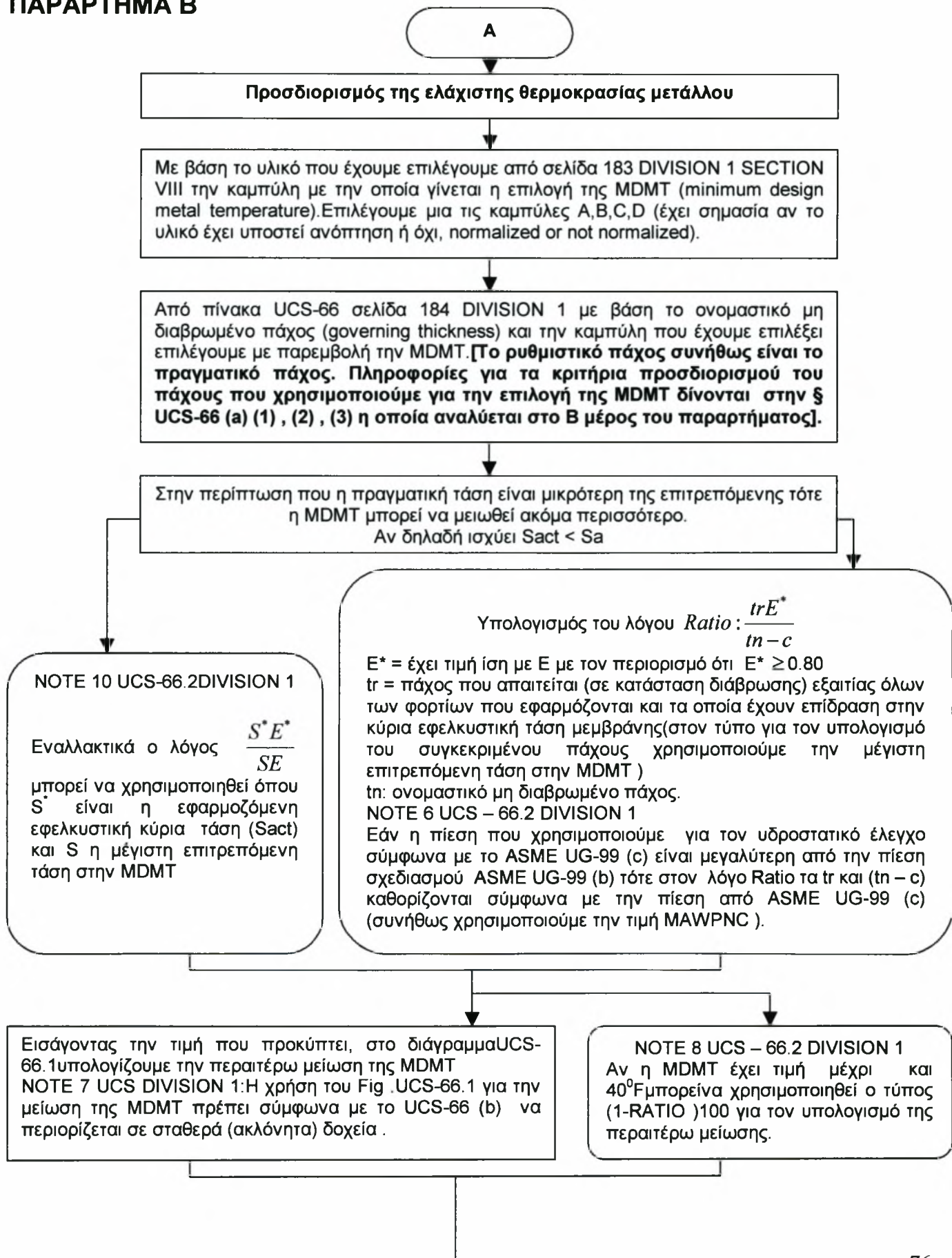
Για την συγκέντρωση της παραπάνω πληροφορίας χρησιμοποιήθηκε εξειδικευμένη βιβλιογραφία έχοντας όμως σαν κύριο υπόβαθρο τον κώδικα ASME. Παράλληλα έγινε σημαντική προσπάθεια απλοποίησης, της κατά γενική ομολογία, δύσκολης χρήσης του συγκεκριμένου κώδικα.

Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν και παρουσιάστηκαν 2 υπολογιστικά πακέτα, το PVElite και το CODECALC, σχετικά με το συνολικό και τον επιμέρους αντίστοιχα, σχεδιασμό δοχείων πίεσης. Πρόκειται για τα πλέον συνήθη εργαλεία της παγκόσμιας πετροχημικής βιομηχανίας. Χρήση του προγράμματος PVElite έγινε σε εφαρμογές της ελληνικής πετροχημικής βιομηχανίας. Μιας σφαίρας VCM, η κατασκευή της οποίας έγινε πριν από τρεις δεκαετίες, και μιας σύγχρονης σφαίρας προπυλενίου. Στην πρώτη σφαίρα το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε στην σύγκριση ανάμεσα στους κώδικες Division 1 και Division 2, ενώ στην δεύτερη ανάμεσα στα αποτελέσματα του PVElite και των πραγματικών στοιχείων της σφαίρας. Για την μεν πρώτη αντικατοπτρίστηκε η διαφορά των 2 κωδίκων με την υπάρχουσα κατάσταση ενώ για την δεύτερη υπήρξε αρκετά καλή προσέγγιση ανάμεσα στα αποτελέσματα του προγράμματος και τα πραγματικά μεγέθη. Αποδεικνύεται με τον τρόπο αυτό η μεγαλύτερη προσοχή που δίδεται στις μέρες μας από ότι παλιότερα. Επιπρόσθετα και στις 2 σφαίρες έγινε παρουσίαση του τρόπου εφαρμογής και χρήση του Ελληνικού Αντισεισμικού Κώδικα όσον αφορά τις στηρίξεις. Τέλος κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του προγράμματος διαπιστώθηκε και επισημάνθηκε, στην εταιρία διάθεσης του προγράμματος PVElite, εσφαλμένη μέθοδος προσδιορισμού της ιδιοπεριόδου σε διατάξεις όπως αυτή της σφαίρας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β



Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία για όλα τα ρυθμιστικά πάχη και παίρνουμε την πιο <<ζεστή>> από τις MDMT για να τοποθετηθεί ως nameplate στην υπό θεώρηση περιοχή .
Σύμφωνα με § UG-99 (h) συστήνεται η MDMT σε ένα υδροστατικό έλεγχο να είναι τουλάχιστον 30° F θετικότερη από την ελάχιστη τιμή αλλά να μην υπερβαίνει τους 120° F.
Σύμφωνα με § UG-100 (c) συστήνεται η MDMT σε ένα υδροστατικό έλεγχο να είναι τουλάχιστον 30° F θετικότερη από την ελάχιστη τιμή

B

Επιλογή ρυθμιστικού πάχους σύμφωνα με §UCS-66 (a)

§UCS-66 (a) (3)

Το ρυθμιστικό πάχος σε μη συγκολλητά τμήματα όπως κοχλιοσυνδεδεμένες φλάντζες υποδοχείς αγωγών (tube sheets) και επίπεδα κεφάλια είναι το πάχος του επίπεδου τμήματος διαιρεμένο με 4. Εάν το ρυθμιστικό πάχος σε κάθε συγκολλητή ένωση υπερβαίνει τις 4 in και η MDMT είναι μικρότερη από 120° F τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί υλικό που έχει υποβληθεί σε impact test

§UCS-66 (a) (1)

Εξαιρώντας τα χυτά (castings) το ρυθμιστικό πάχος σε ένα συγκολλητό κομμάτι είναι :

- για butt ενώσεις εκτός από αυτές σε επίπεδα κεφάλια , υποδοχείς αγωγών (tube sheets) το ονομαστικό πάχος της πιο παχιάς συγκολλητής ένωσης [Fig .UCS -66.3 sketch (a)]
- για corner , fillet ή lap συγκολλήσεις συμπεριλαμβανομένου συνδέσεων όπως καθορίζονται πιο πάνω ,το ελάχιστο πάχος από τα 2 μέρη που συνδέονται
- για επίπεδα κεφάλια , υποδοχείς αγωγών (tube sheets) η μεγαλύτερη τιμή ανάμεσα στην τιμή που προκύπτει από το (b) και το πάχος του επίπεδου τμήματος διαιρεμένο με 4 .
- για συγκολλητές συναρμολογήσεις αποτελούμενες περισσότερο από 2 τμήματα (π.χ. ακροφύσιο – κέλυφος με κολάρο) το ρυθμιστικό πάχος και η MDMT του κάθε τμήματος της συναρμογής πρέπει να καθοριστεί και η πιο <<ζεστή>> από τις MDMT πρέπει να χρησιμοποιηθεί για συνολικά της συναρμολόγησης [Fig .UCS -66.3 sketch (b)].

Εάν το ρυθμιστικό πάχος σε κάθε συγκολλητή ένωση υπερβαίνει τις 4 in και η MDMT είναι μικρότερη από 120° F τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί υλικό που έχει υποβληθεί σε impact test

§UCS-66(a)(2)

Το ρυθμιστικό πάχος σε ένα χυτό πρέπει να είναι το μεγαλύτερο ονομαστικό πάχος

Γ

Προδιαγραφές της παραγράφου § UG -20 DIVISION 1

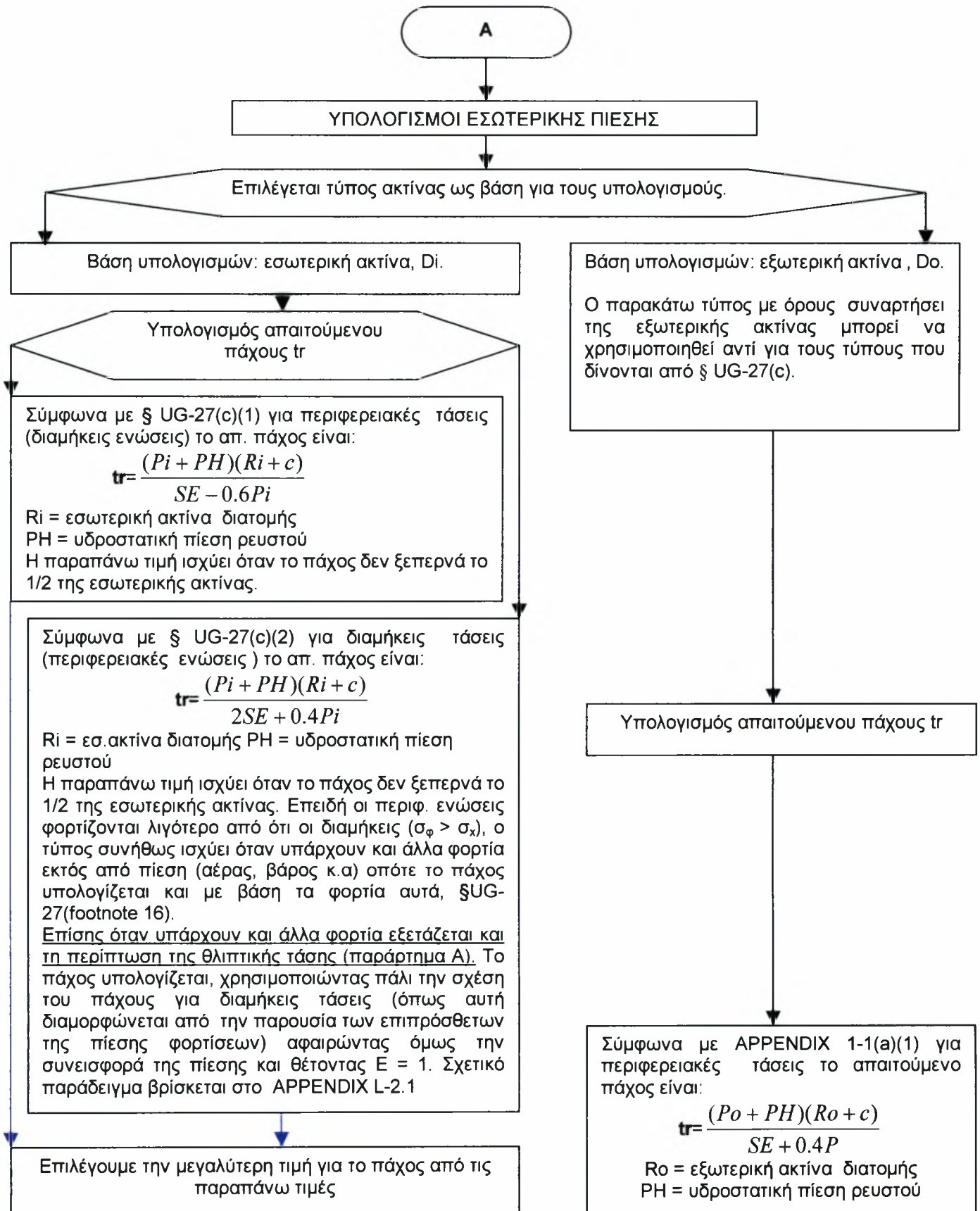
Τα υλικά που έχουν τις παρακάτω προδιαγραφές έχουν ως ελάχιστη θερμοκρασία, μια τρίτη θερμοκρασία η οποία καταγράφεται στην περίπτωση που είναι μικρότερη από τις θερμοκρασίες που δίνουν τα διαγράμματα.

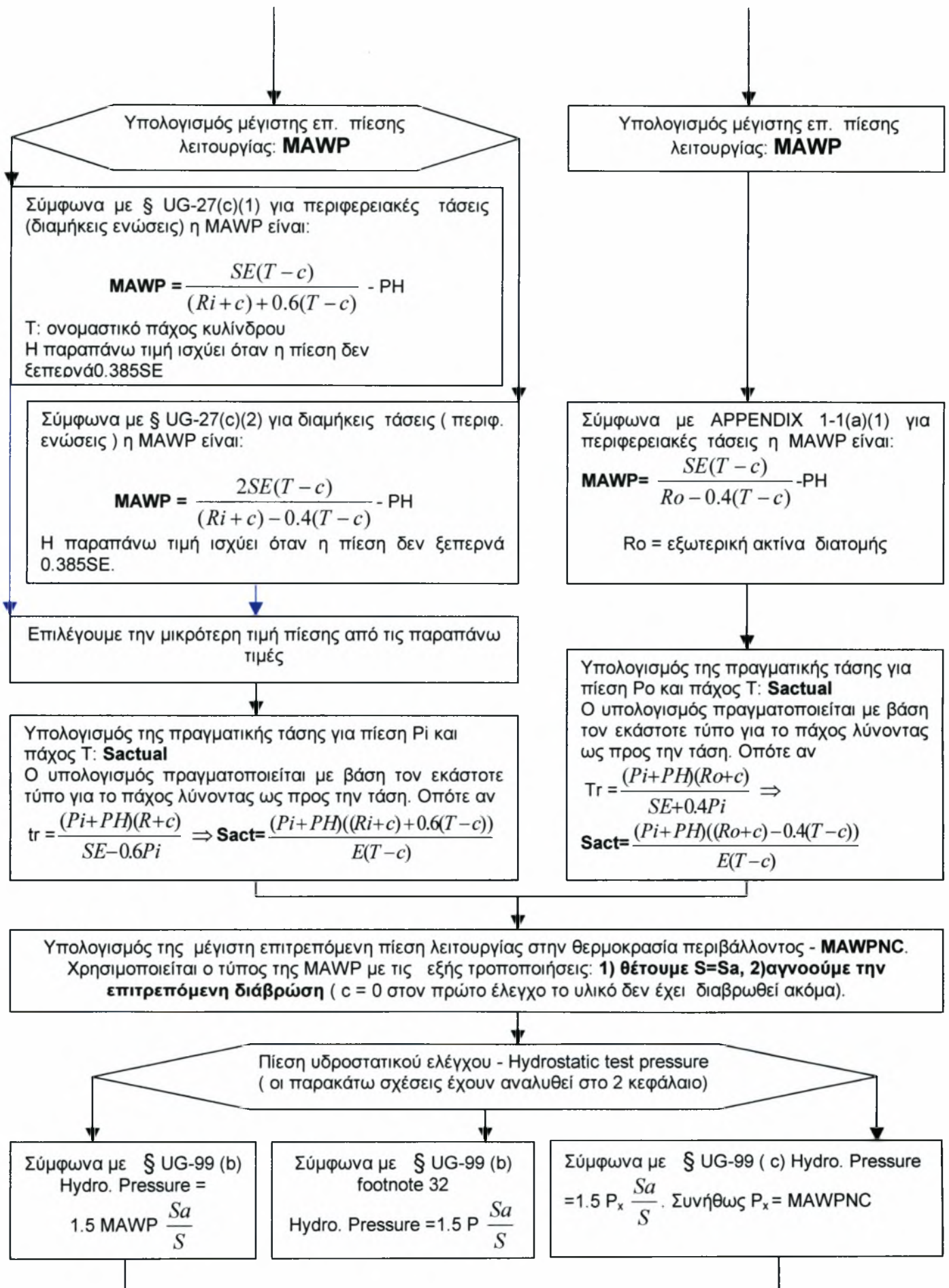
- Το υλικό πρέπει να περιορίζεται σε P-No.1, Gr. No 1 ή 2 και το ρυθμιστικό πάχος να μην υπερβαίνει 0.5 in για υλικά που ανήκουν στην καμπύλη A του Fig .UCS -66 και 1in για υλικά που ανήκουν στην καμπύλη B, C, ή D του Fig .UCS -66.
- Το δοχείο έχει υποστεί υδροστατικό έλεγχο σύμφωνα με § UG -99 (b), (c), ή (k).
- Περιοδικά, θερμικά, ή μηχανικά φορτία δεν κατευθύνουν τον σχεδιασμό του εξοπλισμού.
- Η θερμοκρασία σχεδιασμού παίρνει τιμές από -20° F και 650° F.

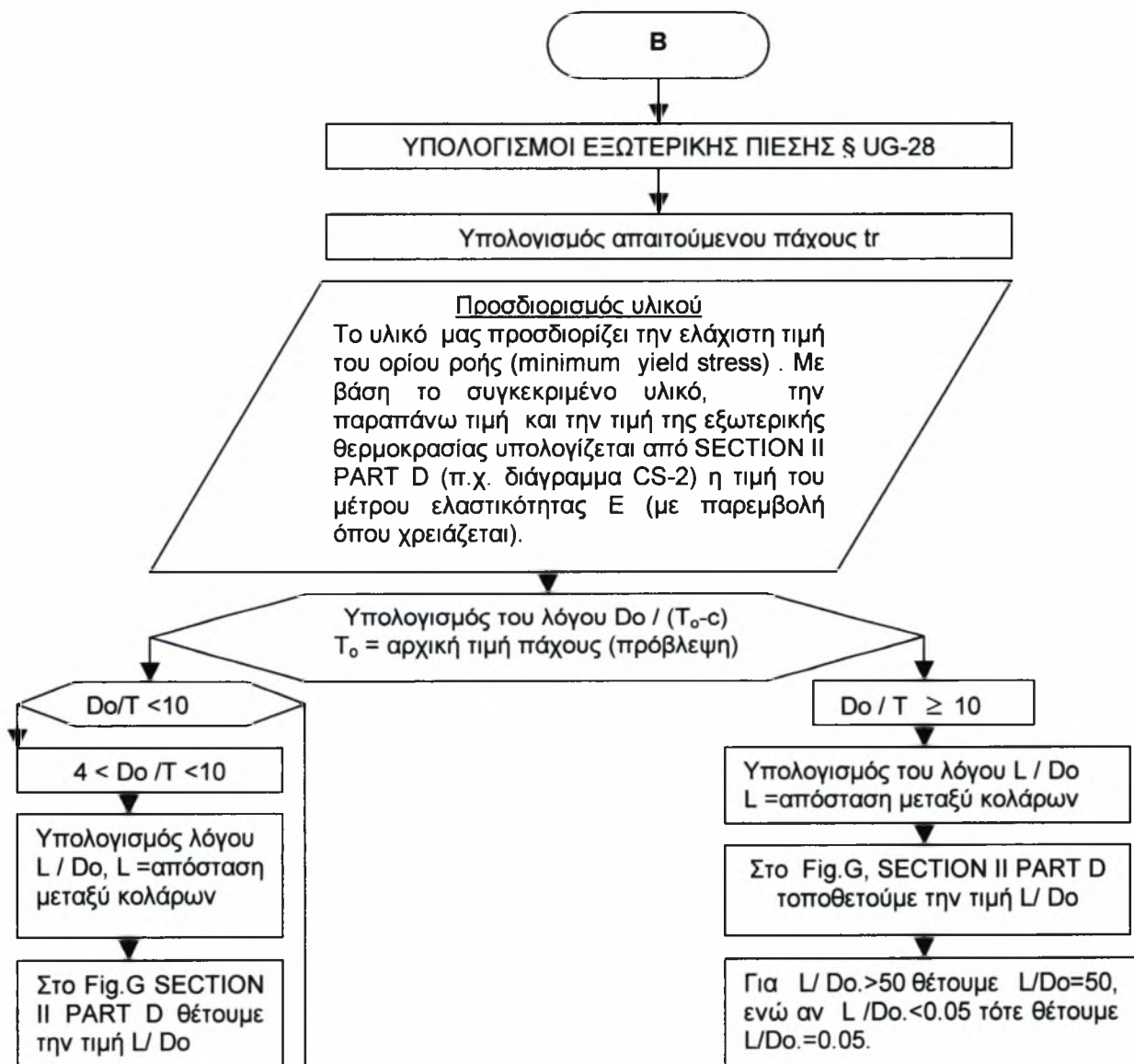
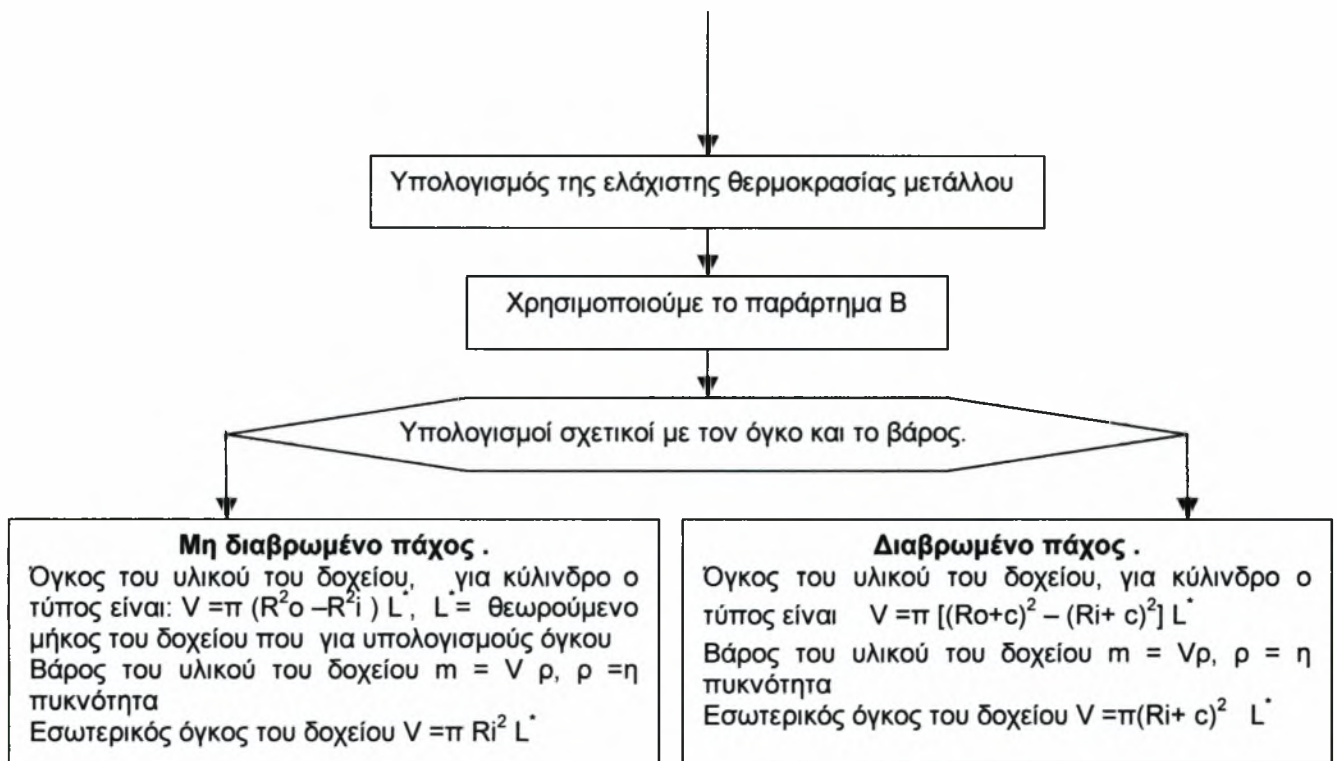
Αν το υλικό τηρεί τα παραπάνω τότε MDMT=-20° F αν είναι μικρότερη από τις θερμοκρασίες των διαγραμμάτων

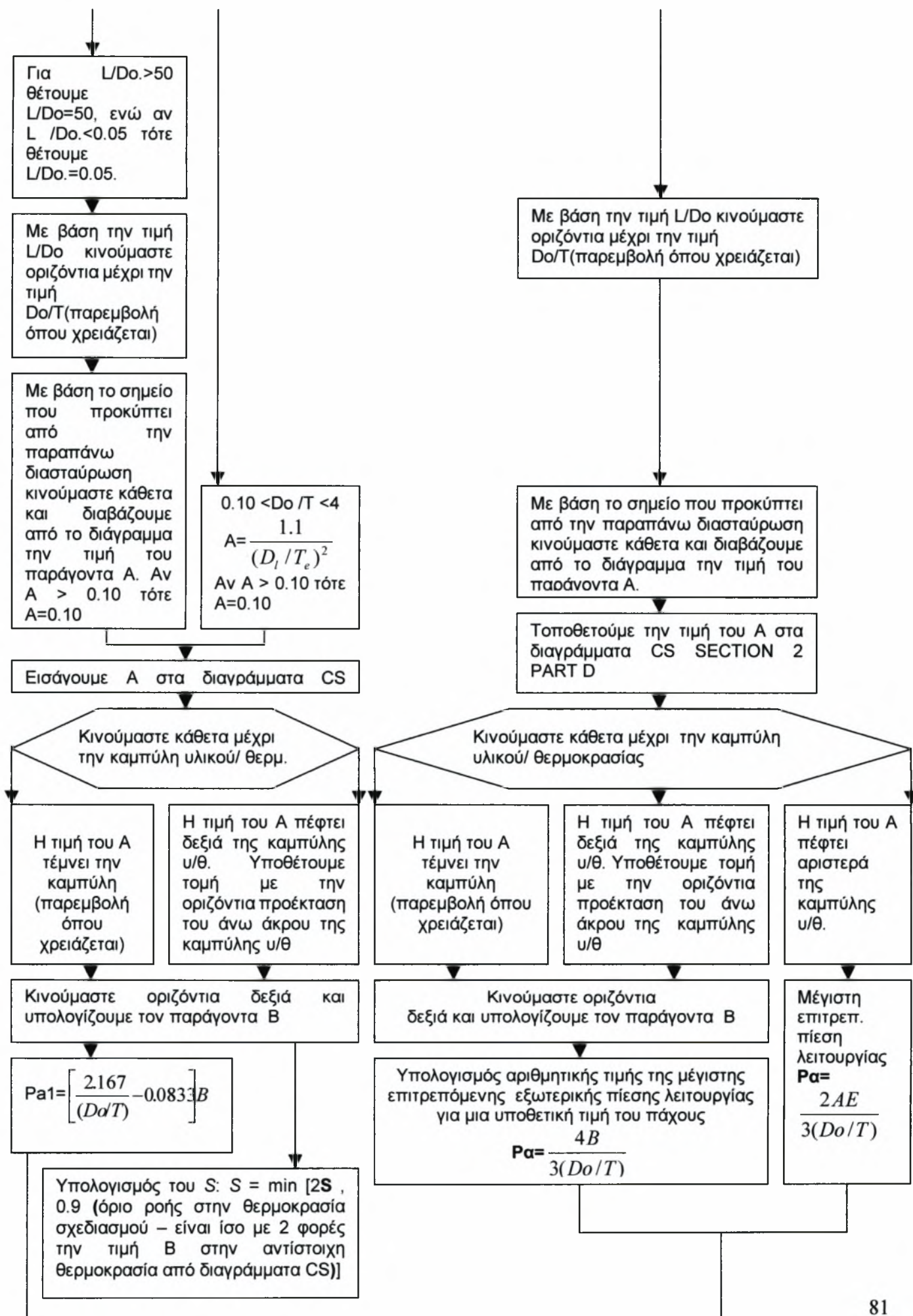
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

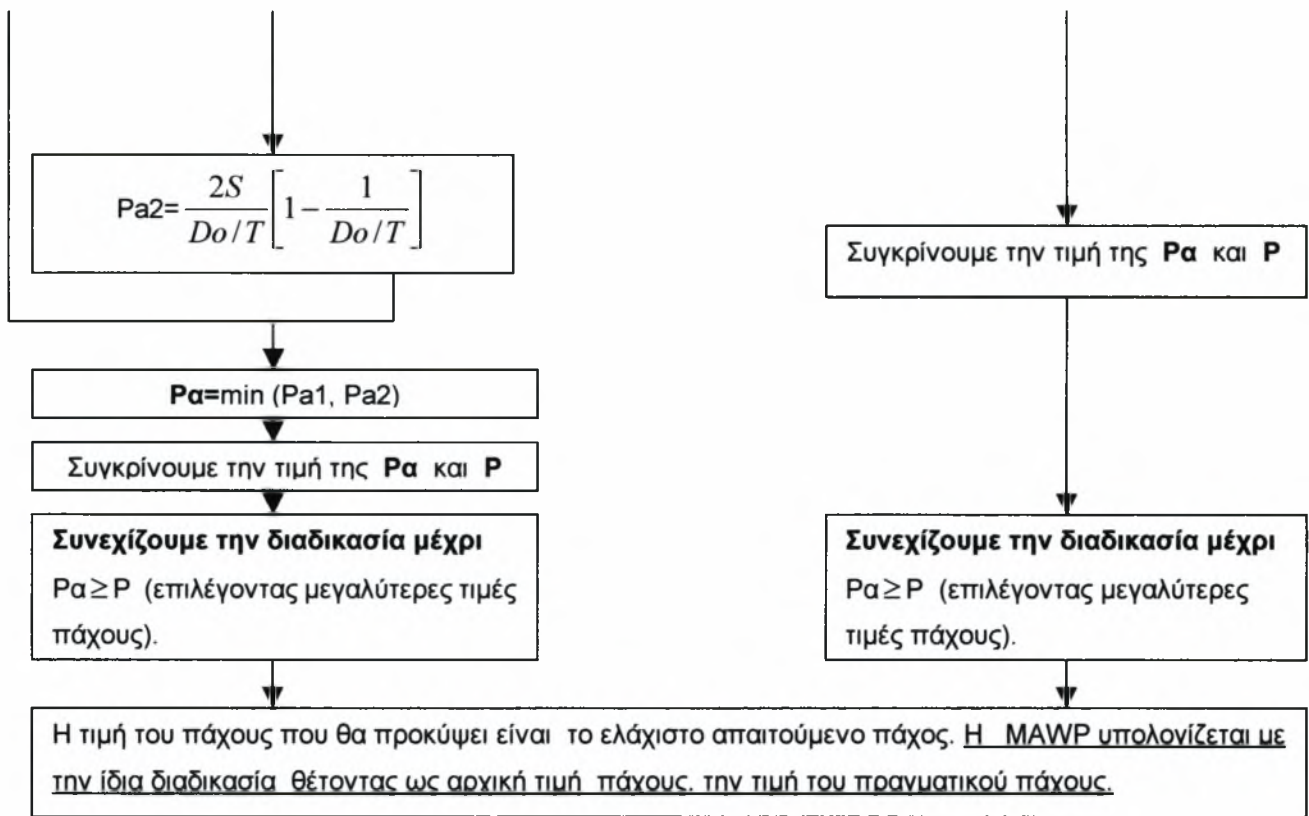
Αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας πραγματοποίησης υπολογισμών σε ένα κυλινδρικό κέλυφος











Υπολογισμός του μέγιστου μήκους μεταξύ των κολάρων: SLEN
Χρησιμοποιούμε την ίδια επαναληπτική διαδικασία αυτήν την φορά για το μήκος L μέχρι $Pa = P$.
Θέτουμε ως αρχική τιμή πάχους την τιμή του πραγματικού πάχους

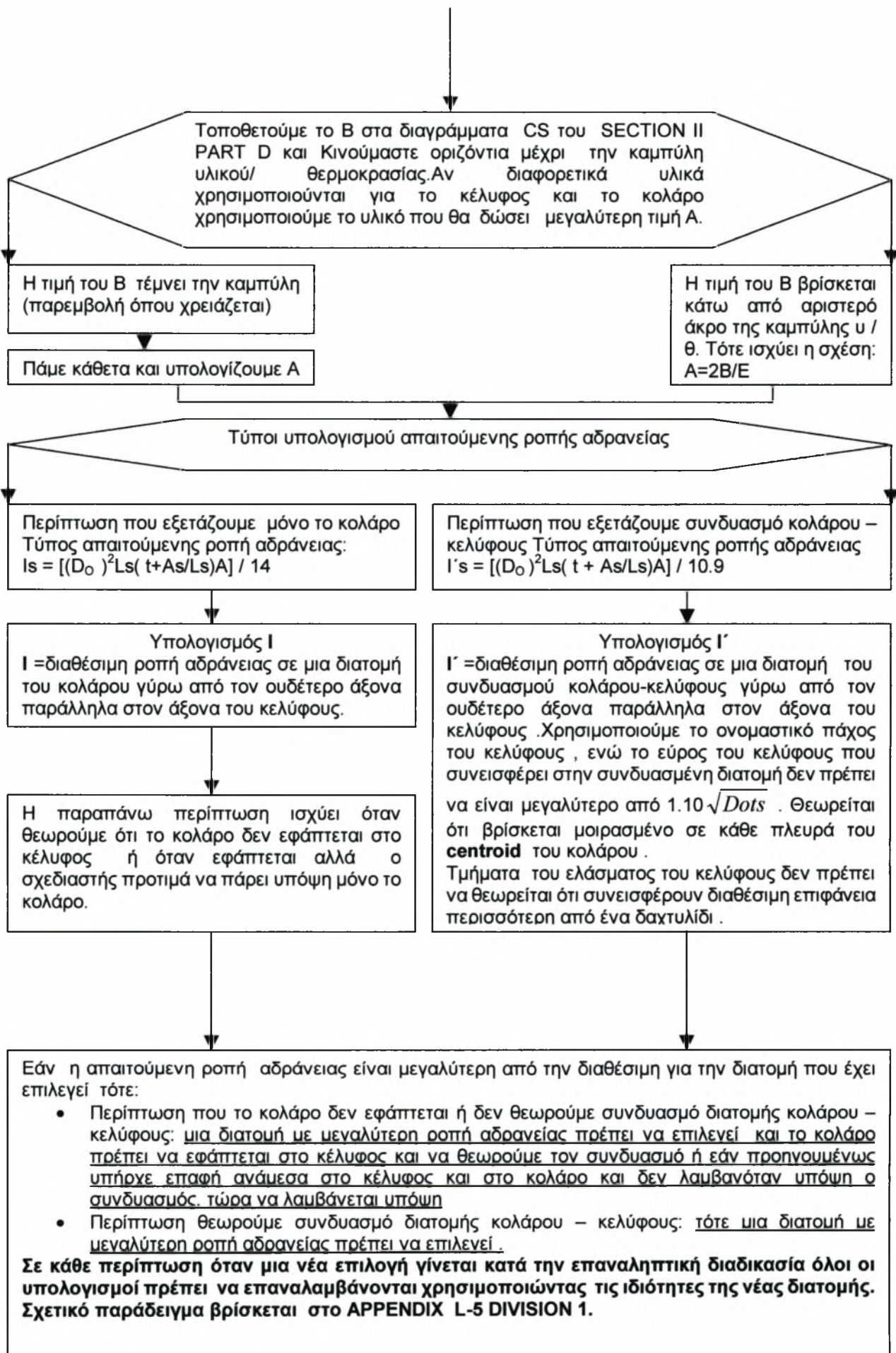
Γ

Υπολογισμός της απαιτούμενης ροπής αδράνειας στην ένωση κολάρου – κέλυφος § UG-29

Προσδιορίζουμε τις παρακάτω τιμές:

- $L_s = 1/2$ της απόστασης του κολάρου από την μια πλευρά μέχρι την επόμενη γραμμή στήριξης + $1/2$ της απόστασης του κολάρου από την άλλη πλευρά του κολάρου μέχρι την επόμενη γραμμή στήριξης. Γραμμή στήριξης θεωρείται (1) ένα δαχτυλίδι, (2) μια περιφερειακή σύνδεση σε ένα κάλυμμα (jacket), (3) μια περιφερειακή γραμμή σε ένα κεφάλι στο $1/3$ του βάθους του κεφαλιού (4) σύνδεση κώνου κυλίνδρου. Fig.UG-28.1
- A_s : διατομή του δαχτυλιδιού

Υπολογισμός του παράγοντα από την σχέση $B = 3/4 * \left(\frac{PoDo}{tr + As/Ls} \right)$



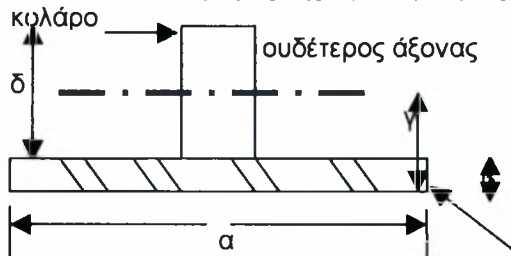
Δ

Υπολογισμοί όσον αφορά την συγκόλληση στο κολάρο.
Γενικά οι συγκολλήσεις πρέπει να υπολογισμένες ώστε να αντέχουν όλο το ακτινικό φορτίο λόγω πίεσης ανάμεσα στα δαχτυλίδια και τις διατμήσεις που ενεργούν ακτινικά εγκάρσια στο κολάρο (έχοντας προκληθεί από εξωτερικά - φορτία εάν υπάρχουν) και μια υπολογισμένη ακτινική διάτμηση ίση με 2 % του θλιπτικού φορτίου στο δαχτυλίδι.

Το ακτινικό φορτίο πίεσης από το κέλυφος είναι $P_o L_s$ [UG-30 (e)]

Το ακτινικό διατμητικό φορτίο είναι ίσο με $V = 0.01 P L_s D_o$

Υπολογισμός της πρωτοβάθμιας ροπή της επιφάνειας (κολάρο και δαχτυλίδι): Q



Στο διπλανό σχήμα η πρωτοβάθμια ροπή ισούται με
 $Q = \alpha \times \beta (\gamma - \beta/2)$

γ = απόσταση από ουδέτερο άξονα

κέλυφος πάχους β

Εικόνα 1

Διάτμηση ροής συγκόλλησης λόγω του φορτίου διάτμησης (Weld Shear Flow) = $V Q / I$

Επιτρεπόμενο φορτίο στην συγκόλληση §UW-18(d) DIVISION 1
Είναι ίσο με το γινόμενο της επιφάνειας συγκόλλησης, της επιτρεπόμενης εφελκυστικής τάσης του υλικού που συγκολλάται και μια αποδοτικότητα ένωσης $E = 0.55$.
Το PVElite υπολογίζει το συγκεκριμένο φορτίο /μονάδα μήκους δηλαδή στο παραπάνω γινόμενο χρησιμοποιεί στην θέση της επιφάνειας το μήκος της συγκόλλησης

Ελάχιστο πάχος της συγκόλλησης §UG-30 (f)

Σε fillet συγκολλήσεις (πρόκειται για τριγωνικές συγκολλήσεις που ενώνουν 2 επιφάνειες σε ορθή μεταξύ τους γωνία) το μήκος του << ποδιού >> της συγκόλλησης δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τις ακόλουθες τιμές: (1) 0.25 in (2) πάχος του δοχείου στην περιοχή της συγκόλλησης (3) πάχος του δαχτυλιδιού στην θέση της συγκόλλησης

Υπολογισμός ελάχιστου διαστήματος ανάμεσα στη συγκολλήσεις § UG-30 (c)

Διακοπτόμενη συγκόλληση πρέπει να τοποθετείται και στις 2 πλευρές του κολάρου και μπορεί να είναι είτε σε σειρά (in-line) είτε εναλλάξ (staggered). Το μήκος στα κομμάτια της συγκόλλησης δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 2 in. και η μεταξύ τους απόσταση πρέπει να είναι $\leq 8t$ (t το πάχος του κελύφους στην διαβρωμένη κατάσταση) για εξωτερικά δαχτυλίδια και $\leq 12t$ για εσωτερικά κολάρα. Το ολικό μήκος της συγκόλλησης σε κάθε πλευρά του δαχτυλιδιού πρέπει να είναι

- όχι λιγότερο από $\frac{1}{2}$ της εξωτερικής περιφέρειας του δοχείου για δαχτυλίδια εξωτερικά.
- όχι λιγότερο από $\frac{1}{3}$ της περιφέρειας του δοχείου για δαχτυλίδια εξωτερικά.

Το συνιστάμενο φορτίο στην συγκόλληση είναι $\sqrt{(VQ/I)^2 + (P_o L_s)^2}$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

Παρουσίαση διαδικασίας πραγματοποίησης υπολογισμών σε ακροφύσιο συνδεδεμένο με κύλινδρο.

A

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

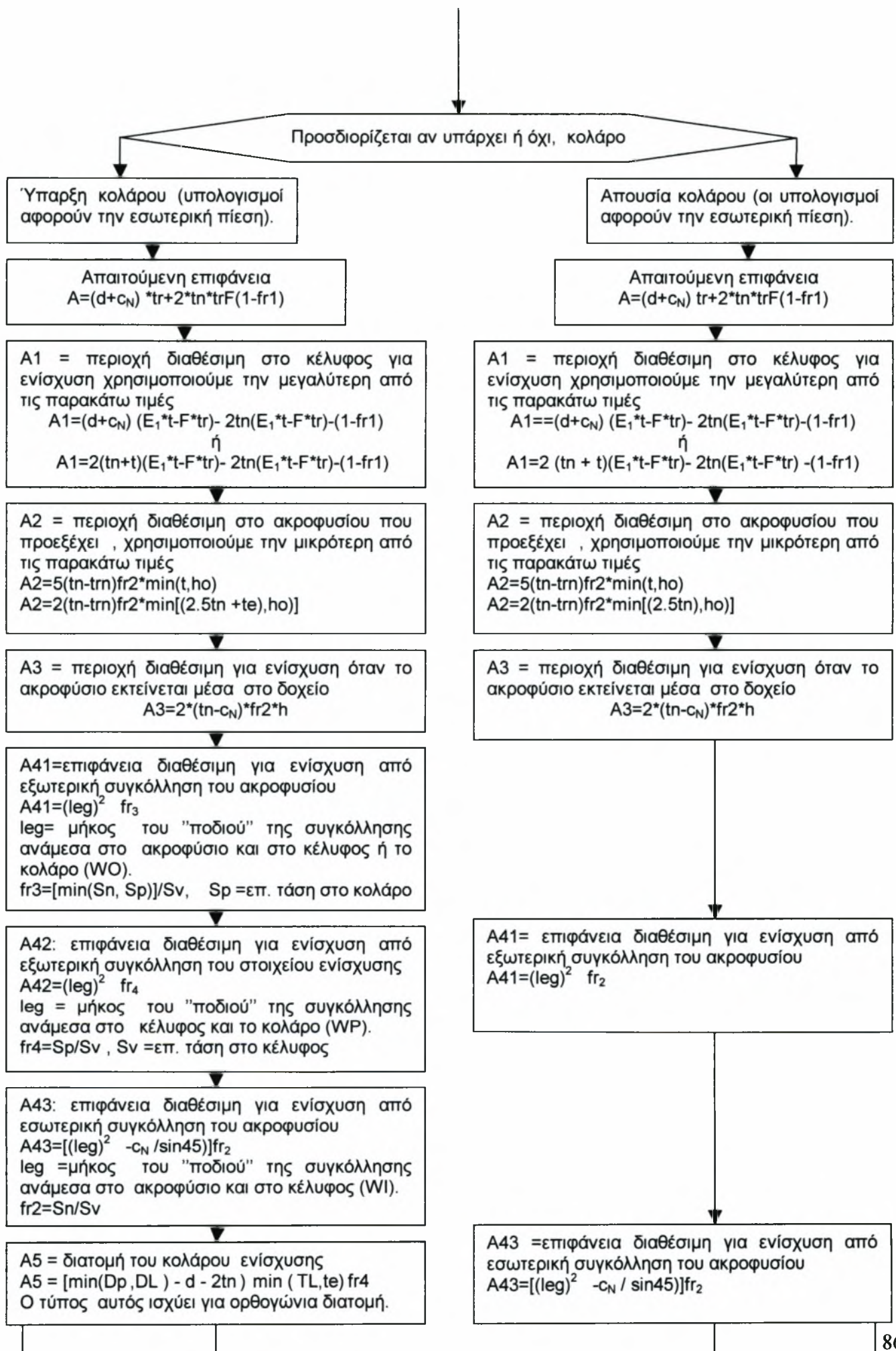
Με την ίδια διαδικασία που περιγράφεται στο παράρτημα Γ υπολογίζεται το απαιτούμενο πάχος υπό εσωτερική πίεση για το κέλυφος t_r και για το ακροφύσιο t_{rn} . Ομοίως για την εξωτερική πίεση υπολογίζεται το μέτρο ελαστικότητας E , η μέγιστη επιτρεπόμενη εξωτερική πίεση, το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος, το μέγιστο μήκος προέκτασης του ακροφυσίου από την επιφάνεια του κελύφους και το μέγιστο μήκος του κυλίνδρου ανάμεσα στα κολάρα.

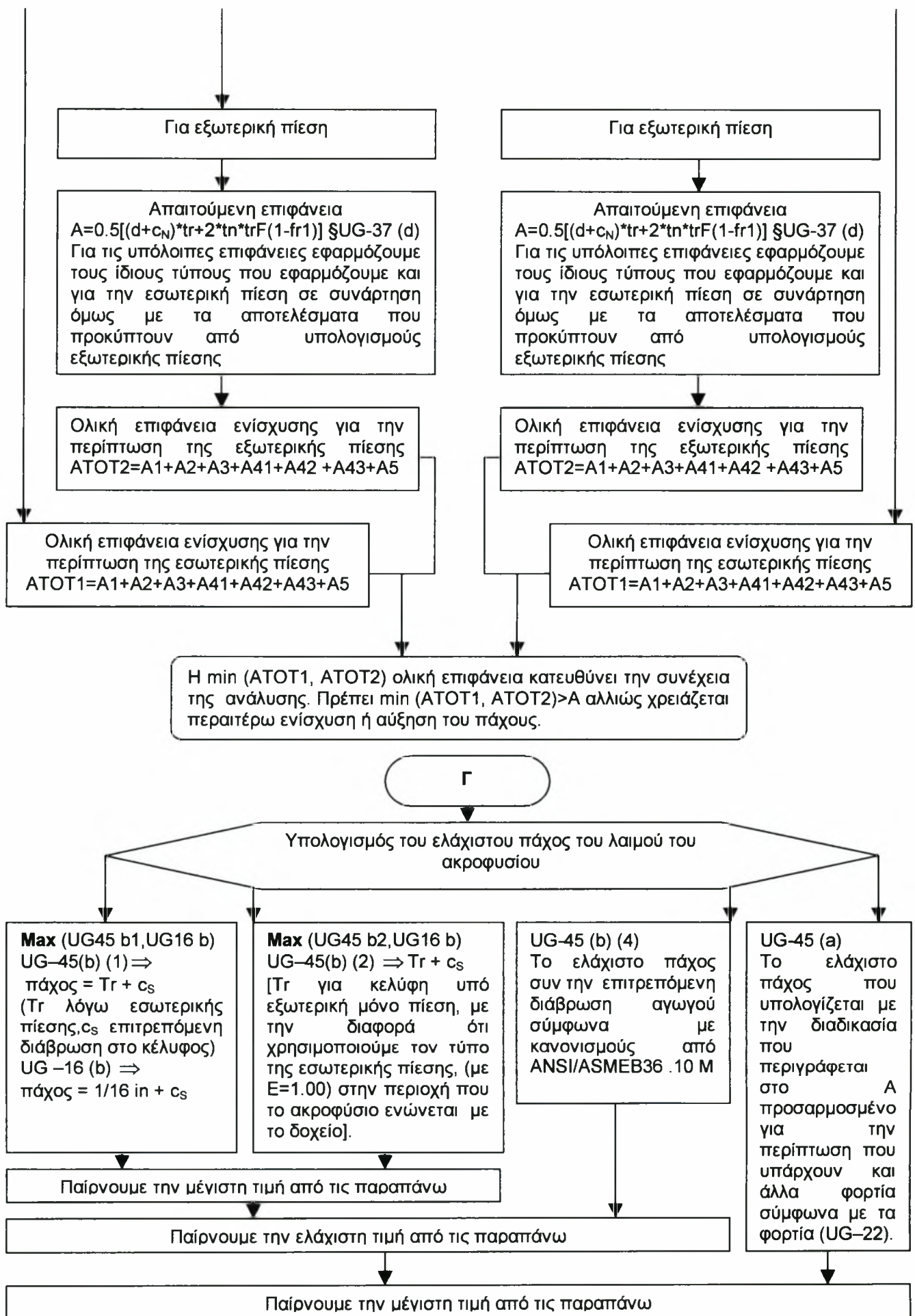
B

Υπολογισμός των επιφανειών ενίσχυσης § UG -37

Προσδιορίζουμε τις ακόλουθες τιμές:

- Όριο λειτουργικής διαμέτρου υλικού d_l . Η μέγιστη από d_n και $R_n + t_n + t$
- Όριο λειτουργικού πάχους υλικού. Η μικρότερη από $2.5t$ και $2.5t_n + t_e$.
- F = συντελεστής διόρθωσης ο οποίος αντικαθιστά την ανομοιομορφία των τάσεων λόγω πίεσης σε συνάρτηση με τον άξονα του δοχείου. Παίρνει την τιμή 1 για όλες τις μορφές ακροφυσίων εκτός αν πρόκειται για ενσωματωμένο (integral) ακροφύσιο οπότε η τιμή F υπολογίζεται από διάγραμμα UG-37.
- f_{r1} = συντελεστής μείωσης αντοχής:
 $f_{r1} = S_n / S_v$ αν το ακροφύσιο εισέρχεται μέσα στο τοίχωμα (S_n επ. τάση ακροφυσίου)
 $f_{r1} = 1$ αν το ακροφύσιο εφάπτεται με κέλυφος
- f_{r2} = συντελεστής μείωσης αντοχής: $f_{r2} = S_n / S_v$ (S_v επιτρεπόμενη τάση του κελύφους)
- c_N = επιτρεπόμενη διάβρωση στο ακροφύσιο
- D_p = εξωτερική διάμετρος του δαχτυλιδιού ενίσχυσης.
- t_e = πάχος ή ύψος στοιχείου ενίσχυσης.
- h = βάθος που εκτείνεται το ακροφύσιο μέσα στο δοχείο και h_o = έξω από το δοχείο
- $E_1 = 1$ όταν το ακροφύσιο είναι σε συμπαγές έλασμα ή έχουμε butt joint κατηγορίας B.
= E από πίνακα UW-12, όταν οποιοδήποτε κομμάτι του ακροφυσίου διέρχεται από οποιαδήποτε άλλη συγκολλητή ένωση.





Δ

Προσδιορισμός της αντοχής (τάσεις) της ενίσχυσης § UG- 41(a).

Προσδιορισμός της αντοχής (φορτία) της ενίσχυσης, § UG- 41(b).

Περίπτωση όπου το ακροφύσιο εισέρχεται μέσα στο δοχείο
FIG.UG-41.1

$W = \text{συνολικό φορτίο της συγκόλλησης} = [A - A1 + 2 t n f r1 (E1t - Ftr)] S_v$
(§UG-41 (b) (2) ⇒ W είναι η αντοχή σε εφελκυσμό της απαιτούμενης επιφάνειας μείον την αντοχή σε εφελκυσμό της επιφάνειας ενίσχυσης η οποία θεωρείται ενσωματωμένη στον τοίχο του δοχείου)

$W_{1-1} = \text{φορτίο συγκόλλησης για δρόμο αντοχής 1-1, FIG.UG-41.1}$
(§UG-41 (b) (1) ⇒ W₁₋₁ είναι η αντοχή σε εφελκυσμό της διατομής του στοιχείου η των στοιχείων ενίσχυσης)
 $W_{1-1} = (A2 + A5 + A41 + A42) S_v$

$W_{2-2} = \text{φορτίο συγκόλλησης για δρόμο αντοχής 2-2} = (A2 + A3 + A41 + A43 + 2tnfr1) S_v$

$W_{3-3} = \text{φορτίο συγκόλλησης για δρόμο αντοχής 3-3} = (A2 + A3 + A5 + A41 + A42 + A43 + 2tnfr1) S_v$

Περίπτωση όπου το ακροφύσιο εφάπτεται στο δοχείο
FIG.UG-41.1

$W = \text{συνολικό φορτίο της συγκόλλησης} = [A - A1] S_v$
(UG-41 (b) (2) ⇒ W είναι η αντοχή σε εφελκυσμό της απαιτούμενης επιφάνειας μείον την αντοχή σε εφελκυσμό της επιφάνειας ενίσχυσης η οποία θεωρείται ενσωματωμένη στον τοίχο του δοχείου)

$W_{1-1} = \text{φορτίο συγκόλλησης για δρόμο αντοχής 1-1, FIG.UG-41.1}$
(§UG-41 (b) (1) ⇒ W₁₋₁ είναι η αντοχή σε εφελκυσμό της διατομής του στοιχείου η των στοιχείων ενίσχυσης)
 $W_{1-1} = (A2 + A5 + A41 + A42) S_v$

$W_{2-2} = \text{φορτίο συγκόλλησης για δρόμο αντοχής 2-2} = (A2 + A41) S_v$

Ε

Προσδιορισμός των επιτρεπόμενων τάσεων για τις συγκολλήσεις σύμφωνα με §UW-15 (c) και § UG-45 (c) και § UG-41 (a).

Στην συνέχεια, με βάση το παράδειγμα που εξετάζει το πρόγραμμα PVElite στο κεφάλαιο NOZZLE, δίνεται η μορφή των σχέσεων των φορτίων της ενίσχυσης.

Διάτμηση στην εξωτερική συγκόλληση του ακροφυσίου: $S_{onw} = (\pi/2)d * W_O * 0.49 * S_n$

Διάτμηση στην συγκόλληση του κολάρου $S_{pew} = (\pi/2)D_p * W_P * 0.49 * S_p$

Διάτμηση στον τοίχο του ακροφυσίου $S_{nw} = (\pi * (d_n + 2c_n + d_{no}) / 4.0) * (t_n - c_n) * 0.7 * S_n$ (d_{no} = εξ. διάμετρος)

Εφελκυστικό φορτίο στην groove συγκόλληση στο κολάρο = $T_{rgw} = (\pi/2) D_{no} * W_{GPN} * 0.74 S_g$
 W_{GPN} = βάθος της groove συγκόλληση ανάμεσα στο ακροφύσιο και το κολάρο
 S_g = επιτρεπόμενη τάση της αυλάκωσης στο κολάρο

Εφελκυστικό φορτίο στην groove συγκόλληση στο ακροφύσιο $T_{ngw} = (\pi/2) D_{no} * (W_{GNVI} - c_s) * 0.74 S_{ng}$
 W_{GNVI} = βάθος της αυλακοειδή συγκόλλησης ανάμεσα στο ακροφύσιο και στο δοχείο

Στην συνέχεια αθροίζονται τα φορτία ανάλογα με τον δρόμο αστοχίας. Για το παραπάνω παράδειγμα του PVElite: $PATH\ 1-1 = (S_{pew} + S_n)$, $PATH\ 2-2 = (S_{onw} + T_{rgw} + T_{ngw} + S_{inw})$, $PATH\ 3-3 = (S_{pew} + T_{ngw} + S_{inw})$. S_{inw} = διάτμηση στην εξωτερική συγκόλληση του ακροφυσίου (μηδέν στο συγκεκριμένο παράδειγμα).

πρέπει $PATH\ 1-1 > W, W_1$ $PATH\ 2-2 > W, W_2$, $PATH\ 3-3 > W, W_3$

Επαναληπτική διαδικασία του PVElite για πίεση, επιφάνεια και UG-45

Υποθέτοντας την ίδια επιτρεπόμενη διάβρωση για ακροφύσιο και δοχείο υπολογίζουμε την μέγιστη (αστοχίας) επιτρεπόμενη διάβρωση, το ελάχιστο πάχος ακροφυσίου και το ελάχιστο (αστοχίας) πάχος δοχείου. Ο χρήστης μπορεί να μελετήσει την διάρκεια ζωής του ακροφυσίου βασιζόμενος στον ρυθμό διάβρωσης και των παραπάνω αποτελεσμάτων.

ΣΤ

APPENDIX L-7.7 EXAMPLE 7: ακροφύσιο κεκλιμένο, 'hill-side'

ΔΕΔΟΜΕΝΑ : Ακροφύσιο εσωτερικής διαμέτρου $ID = 4$ in, πάχος τοιχώματος $1/2$ in εφάπτεται με συγκόλληση σε κυλινδρικό δοχείο εσωτερικής διαμέτρου 30 in και πάχους $1\ 1/2$ in. Εσωτερική πίεση δοχείου 1000 psi και θερμοκρασία $150^\circ F$. Επιτρεπόμενη τάση υλικού ακροφυσίου 15000 psi ενώ για το δοχείο είναι 13800psi. Επιτρεπόμενη διάβρωση = 0. Οι συνδέσεις κατηγορίας A πρόκειται να εξεταστούν πλήρως ακτινογραφικά. Δεν υπάρχουν butt welds στο ακροφύσιο και το ακροφύσιο δεν υφίσταται μια σύνδεση κελύφους κατηγορίας A.
ΖΗΤΟΥΝΤΑΙ : Έλεγχος ενίσχυσης για το ακροφύσιο καθώς και της επάρκειας και των συγκολλήσεων

$$\text{Απαιτούμενο πάχος δοχείου } T_r = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{1000 \times 15}{13800 \times 1.0 - 0.6 \times 1000} = 1.14 \text{ in}$$

$$\text{Απαιτούμενο πάχος ακροφυσίου } T_{rn} = \frac{PR_n}{SE - 0.6P} = \frac{1000 \times 2}{15000 \times 1.0 - 0.6 \times 1000} = 0.139 \text{ in}$$

Μέγεθος απαιτούμενης συγκόλλησης [UW-16 (b), Fig.UW-16.1 Sketch(a)]
 Εξωτερική συγκόλληση ακροφυσίου fillet:
 $t_c = \eta$ μικρότερη τιμή από 0.25 in ή 0.7 t_{min}
 $t_{min} =$ μικρότερη τιμή από 0.75 ή η λεπτότερη από τις χοντρές ενώσεις = 0.5 in ,
 Άρα 0.7 $t_{min} = 0.7 \times 0.5 = 0.35$ in και $t_c = 0.25$ in (ελάχιστο μέγεθος λαιμού)
 Συγκόλληση λαιμού = $0.7 \times 0.5 = 0.35$ in > 0.25 άρα η συγκόλληση είναι ικανοποιητική

Υπολογισμός του παράγοντα μείωσης της αντοχής $f_{r1} = 1.0$, $f_{r2} = S_n / S_v = 15.0 / 13.8 > 1.0$ άρα $f_{r2} = 1.0$

Υπολογισμός του μήκους του ανοίγματος της χορδής στην μέση επιφάνεια του απαιτούμενου πάχους του δοχείου ως εξής. $R_m = R + t_r / 2 = 15 + 1.14 / 2 = 15.6$, $L = 12$ in (απόσταση του άξονα του ακροφυσίου από τον άξονα του δοχείου) $a_1 = \cos^{-1} [(L + R_n) / R_m] = \cos^{-1} [(12 + 2) / 15.6] = 26.0$ deg και $a_2 = \cos^{-1} [(L - R_n) / R_m] = \cos^{-1} [(12 - 2) / 15.6] = 50.0$ deg άρα $\alpha = a_2 - a_1 = 24.0$ οπότε το μήκος της χορδής είναι $d_c = 2R_m \sqrt{1 - \cos^2(\alpha / 2)} = 6.5$ in . Εφόσον ως προς τον άξονα του δοχείου ο άξονας του ακροφυσίου σχηματίζει γωνία 90 μοιρών με τον άξονα τότε από Fig. UG-37 , $F = 0.5$

Έλεγχος των ορίων ενίσχυσης - Όρια παράλληλα στον τοίχο του δοχείου αξονικά και περιφερειακά
 Παίρνουμε $\max(d_c, d) = \max(6.5, 4) = 6.5$ ή $R_{nc} + t_n + t = 3.25 + 0.5 + 1.5 = 5.25$ in και $R_{nl} + t_n + t = 2.0 + 0.5 + 1.5 = 4.0$ in οπότε στην περιφερειακή κατεύθυνση χρησιμοποιούμε την τιμή 6.5 και στην άλλη 4.0.
 Τα όρια κάθετα στο δοχείο είναι η μικρότερη τιμή από $2.5 t = 3.75$ in ή $2.5 t_n + t_e = 1.25$ άρα 1.25

Απαιτούμενη επιφάνεια ενίσχυσης $A = d t_r F + 2 t_n t_r F (1 - f_{r1}) = 3.69$, **διαθέσιμη επιφάνεια ενίσχυσης**
 $A_1 =$ (η μεγαλύτερη τιμή από τις ακόλουθες) $d (E_1 t - F t_r) - 2 t_n (E_1 t - F t_r) (1 - f_{r1}) = 6.06$ και $2 (t + t_n) (E_1 t - F t_r) - 2 t_n (E_1 t - F t_r) (1 - f_{r1}) = 3.73$ άρα $A_1 = 6.06$. **Περιοχή που παρέχεται στο ακροφύσιο** , (η μικρότερη τιμή από τις επόμενες) $A_2 = 5(t_n - t_r) f_{r2} t = 2.71$ ή $A_2 = 5(t_n - t_r) f_{r2} t_n = 0.903$ άρα $A_2 = 0.903$. **Διαθέσιμη επιφάνεια στην εξωτερική συγκόλληση του ακροφυσίου** . $A_4 = (\text{leg})^2 = 0.25$.
 Συνολικό άθροισμα $= 7.21 > 3.69$ άρα η ενίσχυση είναι επαρκής.

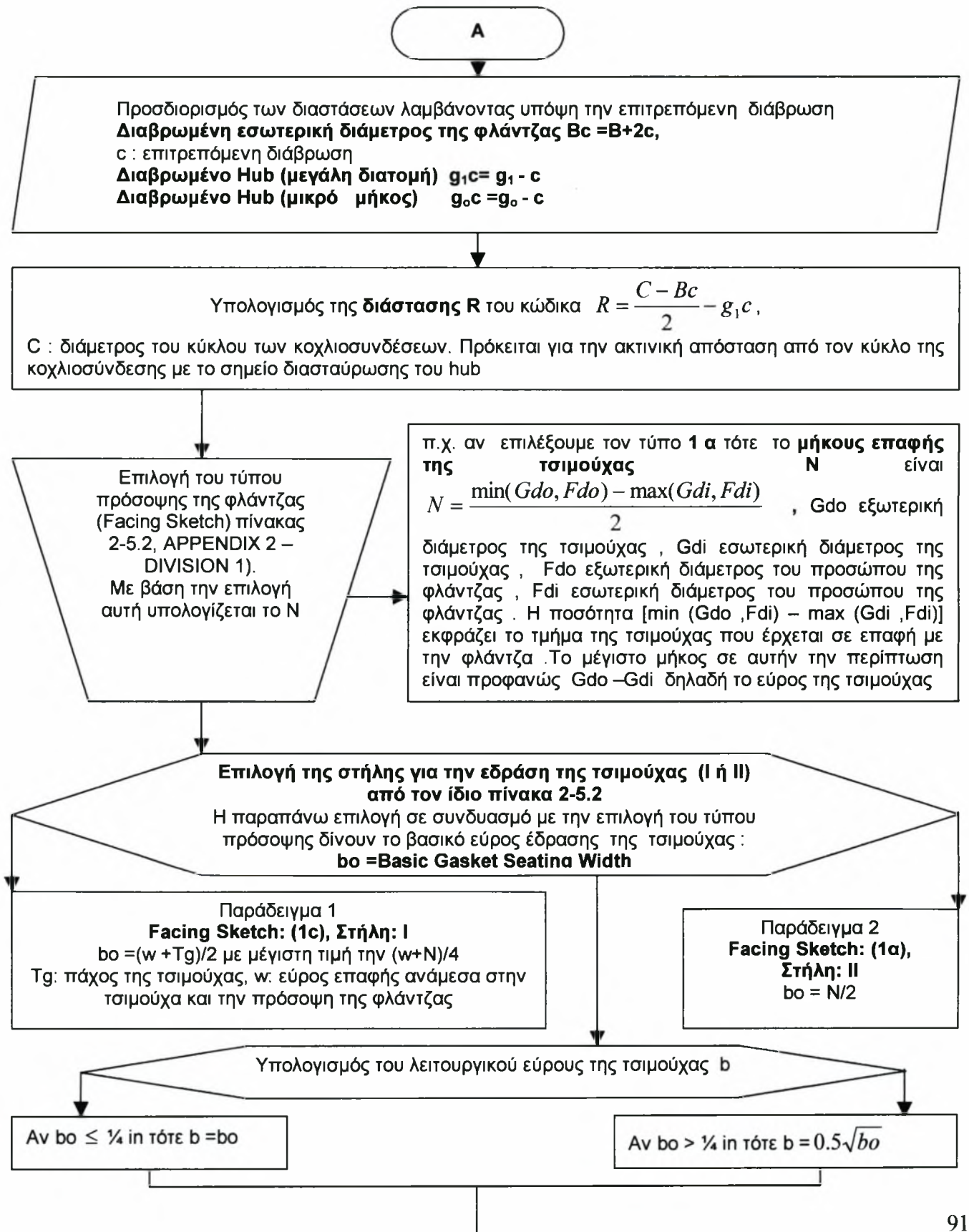
Φορτία που παραλαμβάνονται από τις συγκολλήσεις

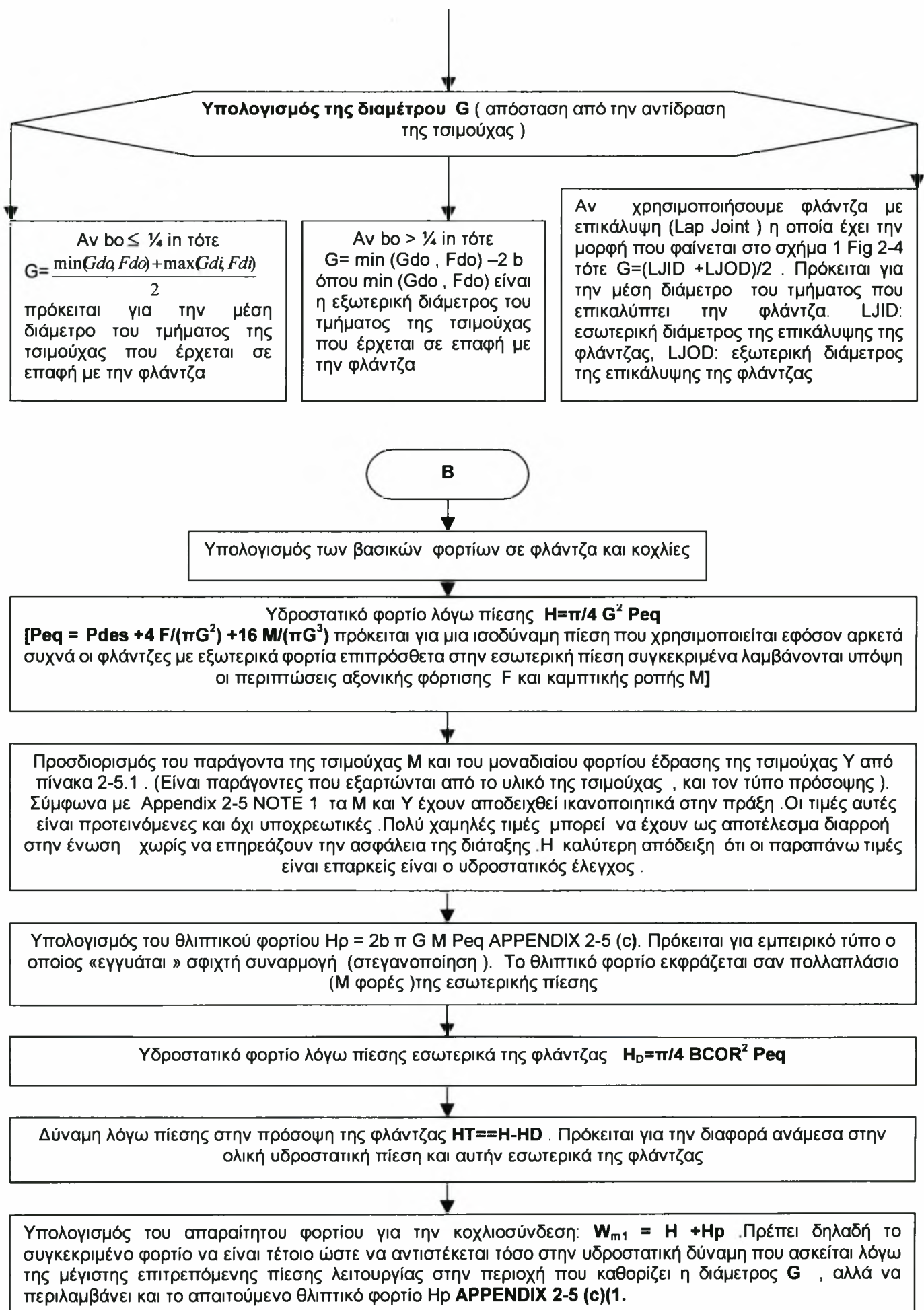
Εφόσον το ακροφύσιο εφάπτεται στον τοίχο του δοχείου και η διαθέσιμη ενίσχυση στο δοχείο είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη ενίσχυση η αντοχή των συγκολλήσεων είναι επαρκής .Επιπλέον σύμφωνα με UW-15 (b) η συγκεκριμένη περίπτωση εξαιρείται όσον αφορά τους υπολογισμούς αντοχής των συγκολλήσεων.

Εφόσον το επίπεδο που θεωρούμε απαιτεί μόνο 50 % ($F = 0.5$) της απαιτούμενης ενίσχυσης σε ένα επίπεδο παράλληλο στο διαμήκη άξονα του δοχείου το άνοιγμα μπορεί να μην είναι επαρκώς ενισχυμένο σε άλλα επίπεδα οπότε εξετάζουμε και την χειρότερη περίπτωση επίπεδο παράλληλο στον διαμήκη άξονα του κελύφους . Στην περίπτωση αυτή αλλάζει το $d = 4$ in και $F = 1.0$. Οπότε $A = 4.54$, $A_1 = 1.46$, $A_2 = 0.903$, $A_4 = 0.25$ και $SUM = A_1 + A_2 + A_4 = 2.61 < 4.54$ άρα η ενίσχυση δεν είναι αρκετή και προχωράμε σε αύξηση του πάχους του ακροφυσίου από $1 / 2$ in σε $7 / 8$ in

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

Αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας πραγματοποίησης υπολογισμών σε φλάντζες





Υπολογισμός φορτίου κοχλιοσύνδεσης για την έδραση της τσιμούχας $W_{m2} = \pi b G Y$. Πρόκειται για το ελάχιστο αρχικό φορτίο που πρέπει να ασκηθεί χωρίς την παρουσία εσωτερικής πίεσης σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης για να « κάτσει » η τσιμούχα και εξαρτάται από υλικό και τη διάμετρο G **APPENDIX 2-5 (c)(2)**. Η ανάγκη για την ύπαρξη επαρκούς φορτίου κοχλία για την έδραση της τσιμούχας σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο υπερισχύει πολλών χαμηλής πίεσης διατάξεων με πρόσωση και υλικό που απαιτούν υψηλό φορτίο έδρασης και το φορτίο του κοχλία που υπολογίζεται από τον τύπο $W_{m1} = H + Hp$ για τις συνθήκες λειτουργίας είναι ανεπαρκές για την έδραση της τσιμούχας.

Υπολογισμός της απαιτούμενης επιφάνειας για τους κοχλίες $AM = \max (AM1, AM2)$. Όπου $AM1 = W_{m1}/Sb$ και $AM2 = W_{m2}/Sa$.
 Sb : επιτρεπόμενη τάση κοχλία στην θερμοκρασία λειτουργίας, Sa : επιτρεπόμενη τάση κοχλία στην θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Προσδιορισμός διαθέσιμης επιφάνειας για τους κοχλίες AB
 (πρέπει $AB > AM$)

Χρησιμοποιώντας πίνακες (λαμβάνοντας υπόψη την ονομαστική διάμετρο του κοχλία C καθώς και τον αριθμό των κοχλίων) από **TEMA Bolt Table** ή από **UNC Bolt Table** υπολογίζεται η επιφάνεια AB .
 Πραγματοποιούνται με βάση την παραπάνω πληροφορία και την γεωμετρία της διάταξης οι παρακάτω υπολογισμοί :

- Ελάχιστη ακτινική απόσταση ανάμεσα σε hub και κοχλίες
- Ελάχιστη ακτινική απόσταση ανάμεσα σε hub και την άκρη της φλάντζας .
- Ελάχιστη περιφερειακή απόσταση ανάμεσα σε κοχλίες
- Πραγματική περιφερειακή απόσταση ανάμεσα σε κοχλίες
- Μέγιστη περιφερειακή απόσταση ανάμεσα σε κοχλίες

Εάν η διάμετρος του κοχλία είναι $> 4in$ ή < 0.5 τότε στο πρόγραμμα PVElite εισάγουμε την επιφάνεια του ενός κοχλία η οποία πολλαπλασιαζόμενη με τον αριθμό των κοχλίων μας δίνει την συνολική διαθέσιμη επιφάνεια AB

Υπολογισμός του φορτίου της κοχλιοσύνδεσης κατά τον σχεδιασμό της φλάντζας W , **APPENDIX 2-5**

Για συνθήκες λειτουργίας $W = WM1$

Για συνθήκες έδρασης της τσιμούχας $W = \frac{(AM + AB)Sa}{2}$.

Ο παραπάνω τύπος δίνει , επιπρόσθετα στις ελάχιστες απαιτήσεις για ασφάλεια , ένα όριο όσον αφορά την κατάχρηση της φλάντζας από υπερβολικό «σφίξιμο» (over bolting). Εφόσον το όριο απέναντι σε τέτοια κατάχρηση χρειάζεται κυρίως για το αρχικό στάδιο κατά το οποίο πραγματοποιείται η κοχλιοσύνδεση και το οποίο γίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος πριν την εφαρμογή της εσωτερικής πίεσης , ο σχεδιασμός της φλάντζας απαιτείται να ικανοποιεί την παραπάνω φόρτιση μόνο σε τέτοιες συνθήκες (κατά την έδραση της φλάντζας δηλαδή). Ενώ για τον λόγο αυτό το φορτίο για τις συνθήκες λειτουργίας δεν διαφοροποιείται ($W = WM1$) σε σχέση με τις ελάχιστες απαιτήσεις για ασφάλεια.

Γ

Υπολογισμός των ροπών στην φλάντζα .APPENDIX 2-6

Η ροπή ενός φορτίου που ενεργεί στην φλάντζα είναι προϊόν του φορτίου και της απόστασης(πίνακας 2-6) του κύκλου της κοχλιοσύνδεσης, από το σημείο εφαρμογής του φορτίου που παράγει την ροπή .

Υπολογισμός απόστασης h_G

Πρόκειται για την απόσταση από το σημείο εφαρμογής του φορτίου HG.

HG: φορτίο στην τσιμούχα (HG=W-H διαφορά ανάμεσα στο φορτίο της φλάντζας και την ολική υδροστατική δύναμη).

Υπολογισμός απόστασης h_T
Πρόκειται για την απόσταση από το σημείο εφαρμογής του φορτίου HT.

$$h_T = \frac{R + g_i + h_i}{2}$$

Ισχύει για ακέραιες φλάντζες. (Fig 2.4 σχέδια 5,6,6a, 6 b, 7 και 8,8a, 9,9a, 10,10a, και 11).

$$h_T = \frac{C-G}{2}$$

Ισχύει για φλάντζες με επικάλυψη Lap -type (Fig 2.4 σχέδια (1) ,(1a))

$$h_T = \frac{h_D + h_G}{2}$$

Ισχύει για «σπαστές» φλάντζες. (Fig 2.4 σχέδια 2, 2a, 3,3a, 4,4a και 8, 8a, 9,9a, 10,10a)

Υπολογισμός απόστασης h_D
Πρόκειται για την απόσταση από το σημείο εφαρμογής του φορτίου HD.

$h_D = R + 0.5 g_1$
Ισχύει για ακέραιες φλάντζες. (Fig 2.4 σχέδια 5,6,6a, 6 b, 7 και 8,8a, 9,9a, 10,10a, και 11)

$h_D = (C-B)/2$
Ισχύει για «σπαστές» φλάντζες. (Fig 2.4 σχέδια 2, 2a, 3,3a, 4,4a και 8, 8a, 9,9a, 10,10a)

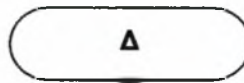
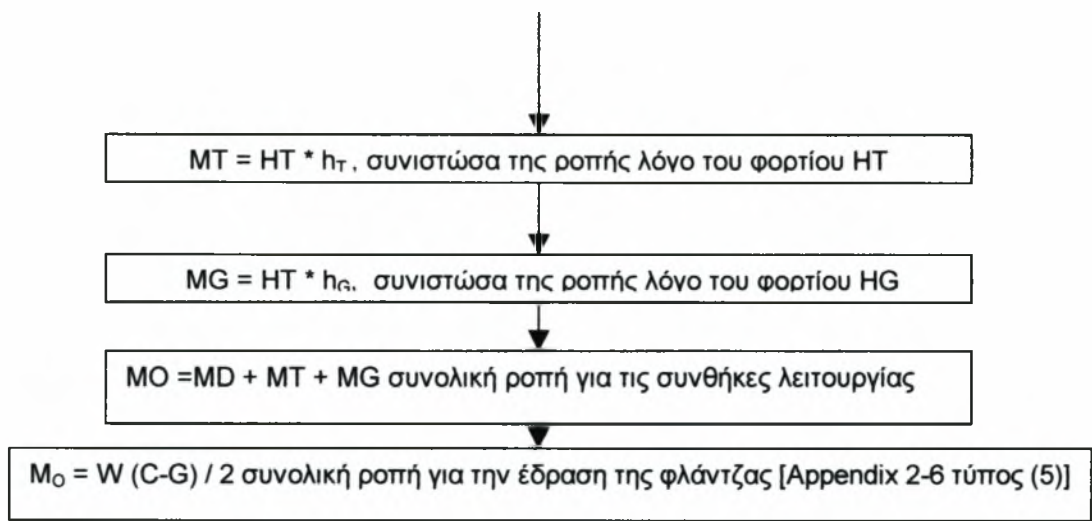
$h_D = (C-B)/2$
Ισχύει για φλάντζες με επικάλυψη Lap -type Fig 2.4 σχέδια (1) ,(1a)

$h_G = \frac{C-G}{2}$
Ισχύει για ακέραιες φλάντζες. (Fig 2.4 σχέδια 5,6, 6a, 6 b, 7 8,8a, 9,9a, 10,10a, και 11)

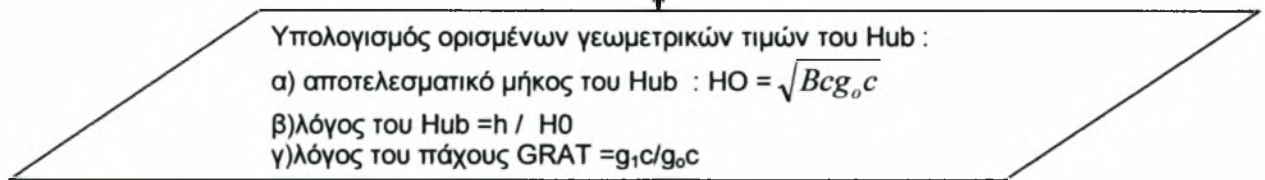
$h_G = \frac{C-G}{2}$
Ισχύει για «σπαστές» φλάντζες. (Fig 2.4 σχέδια 2, 2a, 3,3a, 4,4a και 8, 8a, 9,9a, 10,10a)

$h_G = \frac{C-G}{2}$
Ισχύει για φλάντζες με επικάλυψη Lap -type (Fig 2.4 σχέδια (1) ,(1a))

MD = HD * h_D : συνιστώσα της ροπής λόγο του φορτίου HD



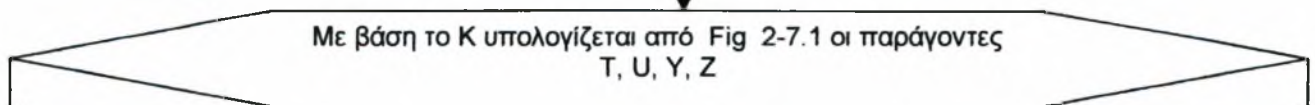
Υπολογισμός των τάσεων της φλάντζας, APPENDIX 2-7



Ακέραιες φλάντζες
 Υπολογισμός παράγοντα F: (Fig.2-7.2)
 Υπολογισμός παράγοντα V: (Fig.2-7.3)
 Υπολογισμός συντελεστή διόρθωσης τάσης f : (Fig .2-7.6). Όταν ο λόγος είναι μεγαλύτερος από 1 τότε πρόκειται για το λόγο της τάσης στο μικρό άκρο προς τον λόγο της τάσης στο μεγάλο άκρο του hub. Για τιμές μικρότερες από το όριο του Fig τότε f=1).

Σπαστές φλάντζες
 Υπολογισμός παράγοντα FL:(Fig.2-7.4)
 Υπολογισμός παράγοντα VL:(Fig.2-7.5)
 Υπολογισμός συντελεστή διόρθωσης τάσης f : f=1

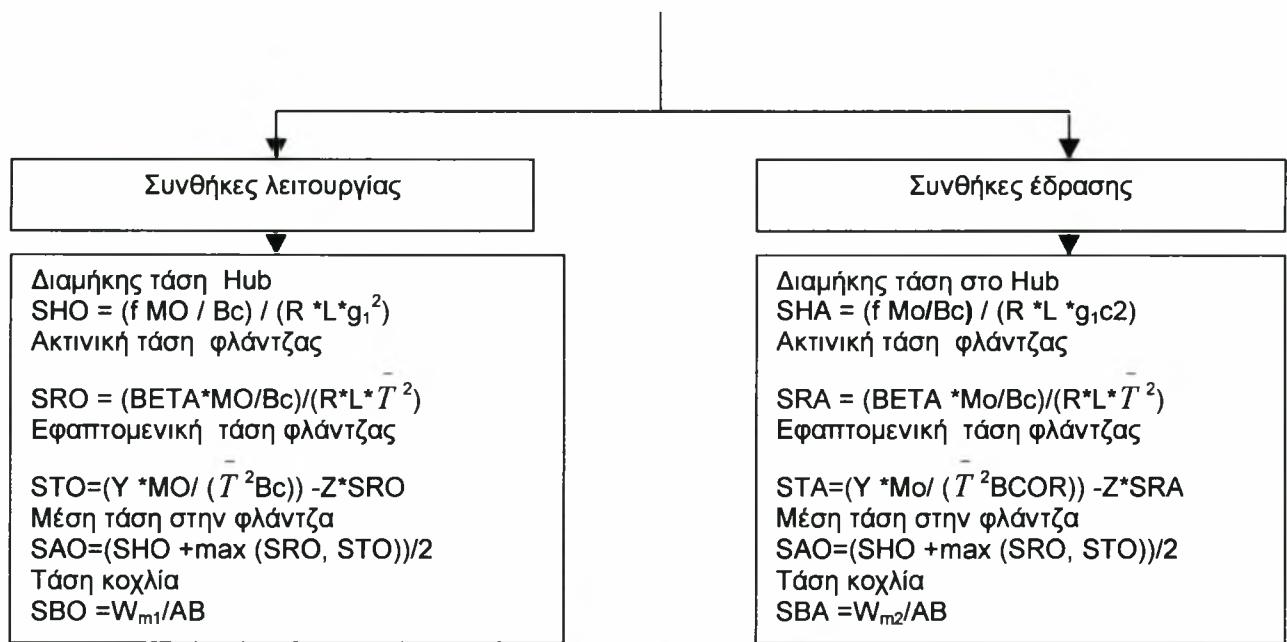
Υπολογισμός του $K=A/B$, A: εξωτερική διάμετρος της φλάντζας, B: εσωτερική διάμετρος της φλάντζας



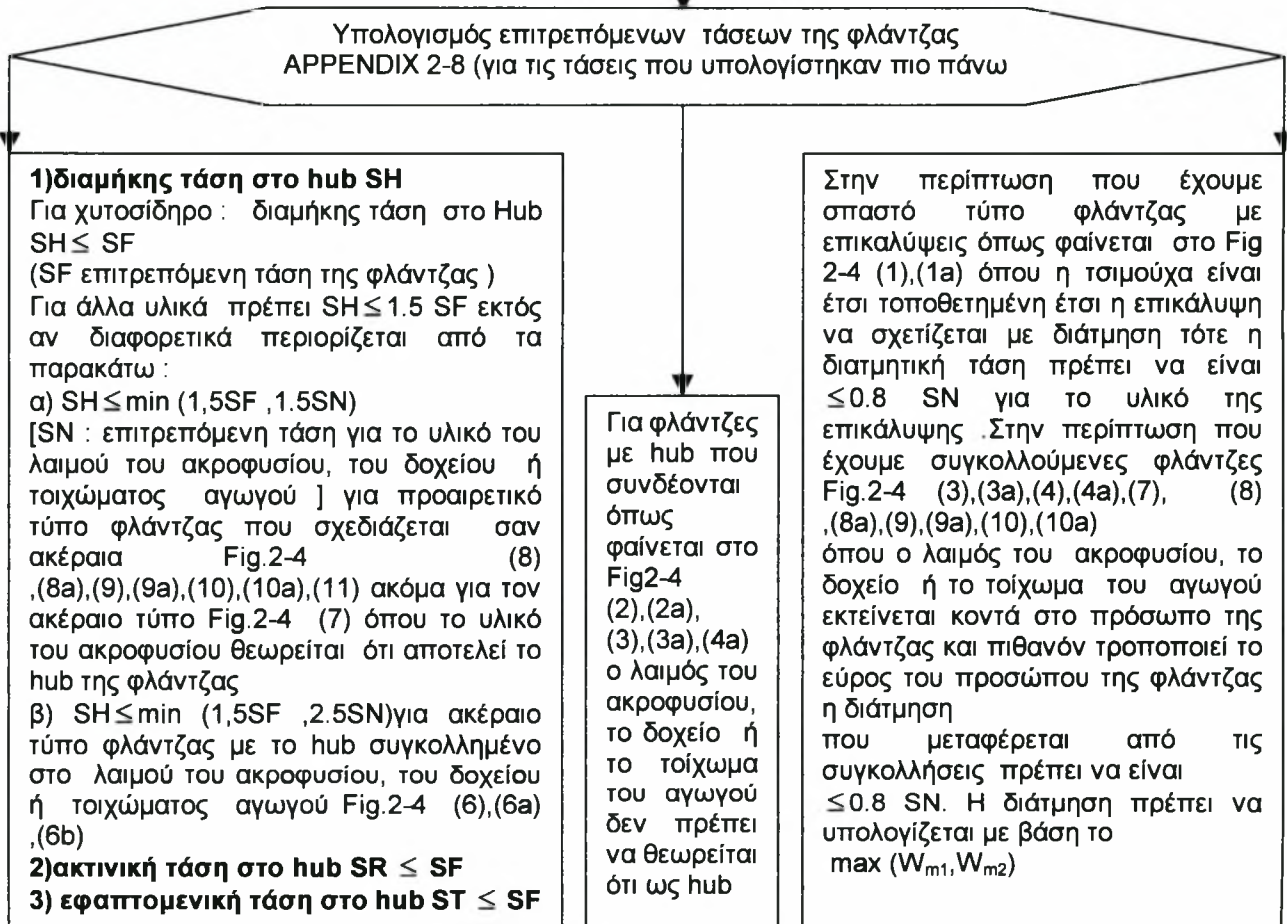
Ακέραιες φλάντζες
 Υπολογισμός των παραγόντων d και e
 $d = (U/V) H0 g_o c^2$, $e = F / H0$

Σπαστές φλάντζες
 Υπολογισμός των παραγόντων d και e
 $d = (U/VL) H0 g_o c^2$, $e = FL / H0$

Υπολογισμός των παραγόντων για τις τάσεις
 Παράγοντας L (LAMBDA) = $(\bar{T} e + 1) / \bar{T} + \bar{T}^3 / d$, Παράγοντας BETA = $(1.33 \bar{T} e + 1)$, όπου \bar{T} είναι το πάχος της τσιμούχας



Ε



Ζ

Στην συνέχεια παρουσιάζεται σε γενικές γραμμές ο αλγόριθμος με την βοήθεια του οποίου το πρόγραμμα PVElite εκτιμάει την **μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας** για **συνθήκες λειτουργίας** και για την **έδραση** της φλάντζας.

Συνθήκες λειτουργίας

- 1) Το πρόγραμμα υπολογίζει τις τάσεις στην δρασμένη πίεση .
- 2) Το πρόγραμμα υπολογίζει την κλίση με βάση την τάση(συγκεκριμένα την μέση τάση στην φλάντζα)σε μηδέν πίεση και την τάση στην δρασμένη πίεση .
- 3) Το πρόγραμμα υπολογίζει την κλίση στο σημείο όπου η τάση γίνεται ίση με την επιτρεπόμενη τάση(την μέση επιτρεπόμενη τάση) . Η πίεση σε αυτό το σημείο είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας.

Έδραση της φλάντζας

Σε χαμηλές πιέσεις η τάση λόγω της έδρασης της φλάντζας δεν εξαρτάται από την πίεση . Σε μεγαλύτερες πιέσεις η τάση εξαρτάται από την πίεση και η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση υπολογίζεται με την ίδια διαδικασία με την διαφορά ότι ο αλγόριθμος ισχύει από το σημείο που η πίεση υπεισέρχεται στον υπολογισμό της τάσης έδρασης

H

Υπολογισμοί δυσκαμψίας για την φλάντζα σύμφωνα με APPENDIX S-2 DIVISION 1

Για ακέραιο και προαιρετικό τύπο φλάντζας (ο οποίος σχεδιάζεται σαν ακέραιος τύπος) , ο δείκτης δυσκαμψίας είναι :

$$J = \frac{52.14RMV}{LEg_o^2 HOK1}$$

RM = MO συνθήκες λειτουργίας ή Mo για συνθήκες έδρασης.
E = το μέτρο ελαστικότητας για το υλικό της φλάντζας στην θερμοκρασία λειτουργίας (συνθήκες λειτουργίας) ή στην θερμοκρασία περιβάλλοντος (συνθήκες έδρασης).
K1 = 0.3 για τον συγκεκριμένο τύπο φλάντζας

Για σπαστό τύπο φλάντζας με παρουσία hub , ο δείκτης δυσκαμψίας είναι :

$$J = \frac{52.14RMV_L}{LEg_o^2 HOK_L}$$

RM = MO συνθήκες λειτουργίας ή Mo για συνθήκες έδρασης.
E = το μέτρο ελαστικότητας για το υλικό της φλάντζας στην θερμοκρασία λειτουργίας (συνθήκες λειτουργίας) ή στην θερμοκρασία περιβάλλοντος (συνθήκες έδρασης).
K_L = 0.2 για τον συγκεκριμένο τύπο φλάντζας

Για σπαστό τύπο φλάντζας χωρίς παρουσία hub και προαιρετικό τύπο φλάντζας (ο οποίος σχεδιάζεται σαν σπαστός τύπος) , ο δείκτης δυσκαμψίας είναι :

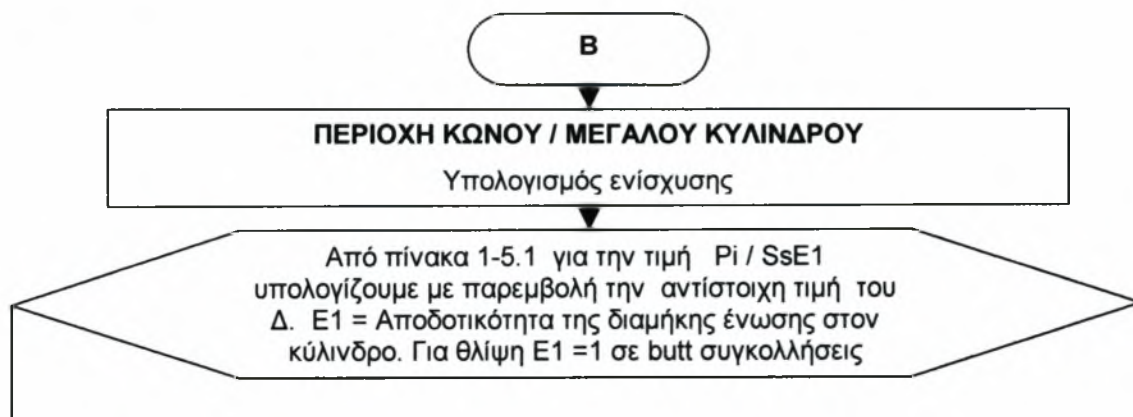
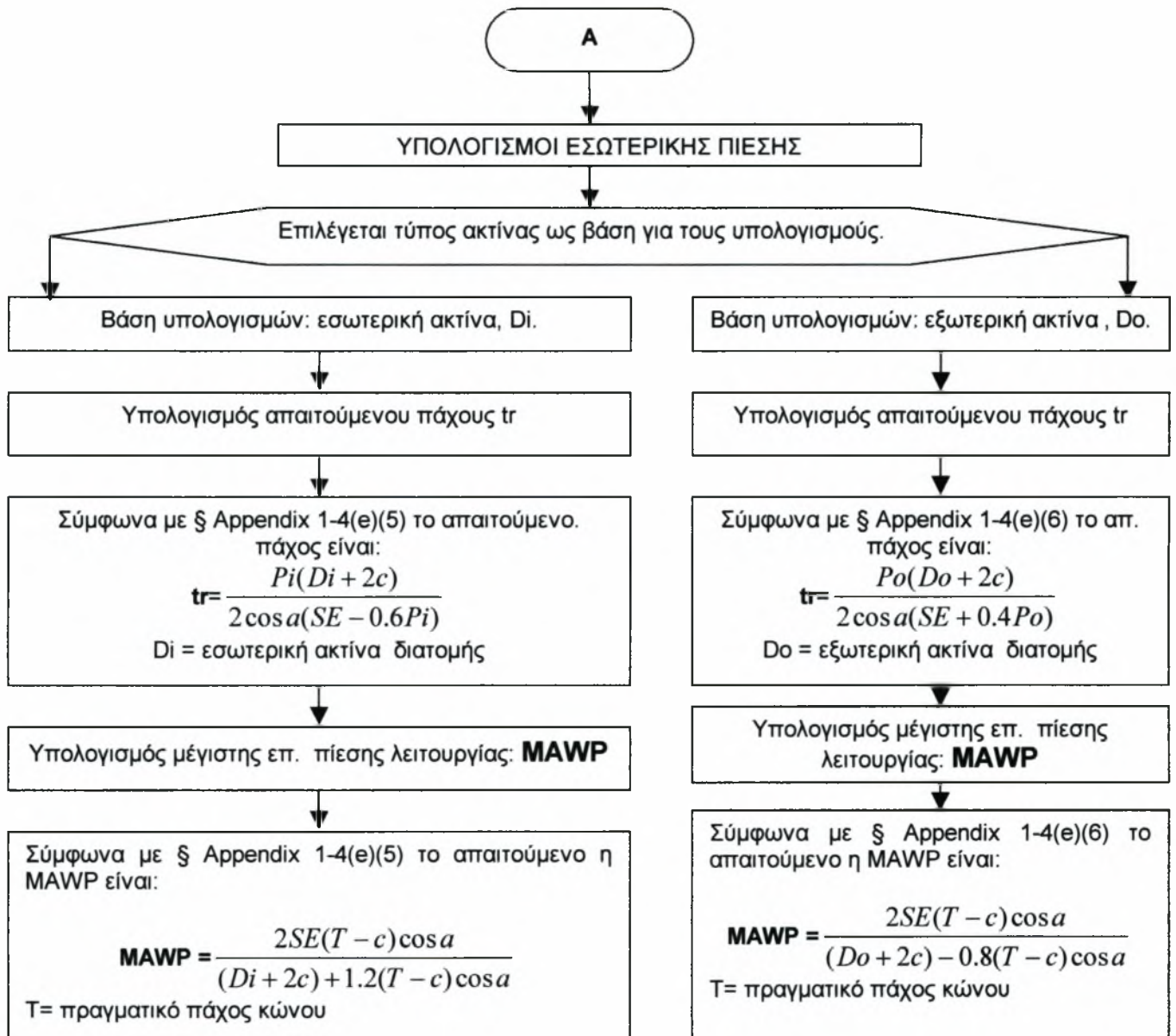
$$J = \frac{109.4RM}{ET^3 \ln(K)K_L}$$

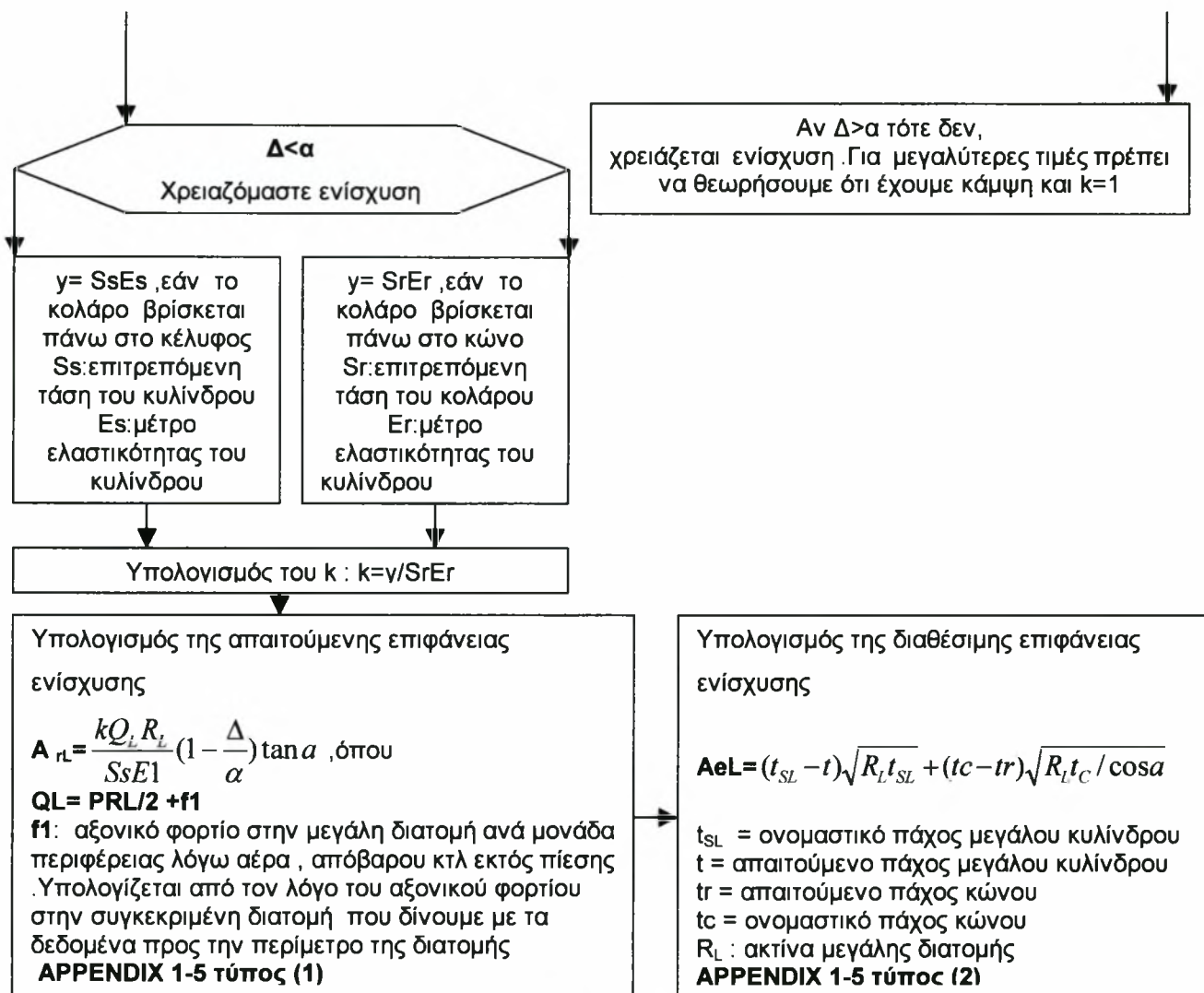
E = το μέτρο ελαστικότητας για το υλικό της φλάντζας στην θερμοκρασία λειτουργίας (συνθήκες λειτουργίας) ή στην θερμοκρασία περιβάλλοντος (συνθήκες έδρασης).
K_L = 0.2 για τον συγκεκριμένο τύπο φλάντζας
T= πάχος της φλάντζας

Πρέπει $J \leq 1$. Εάν η τιμή του J είναι μεγαλύτερη από 1 τότε αυξάνουμε το πάχος T της φλάντζας και υπολογίζουμε ξανά το J μέχρι να ισχύσει ο παραπάνω περιορισμός. Οι παραπάνω υπολογισμοί δεν αποτελούν από μόνοι τους εγγύηση όσον αφορά την εκτίμηση για διαρροή και η χρήση τους πρέπει να θεωρείται σαν μέρος των απαιτήσεων που εξασφαλίζουν στεγανότητα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ

Αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας πραγματοποίησης υπολογισμών σε κωνικό τμήμα





Αν $\Delta > \alpha$ τότε δεν, χρειάζεται ενίσχυση. Για μεγαλύτερες τιμές πρέπει να θεωρήσουμε ότι έχουμε κάμψη και $k=1$

Γ

ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΩΝΟΥ / ΜΙΚΡΟΥ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ
Υπολογισμός ενίσχυσης

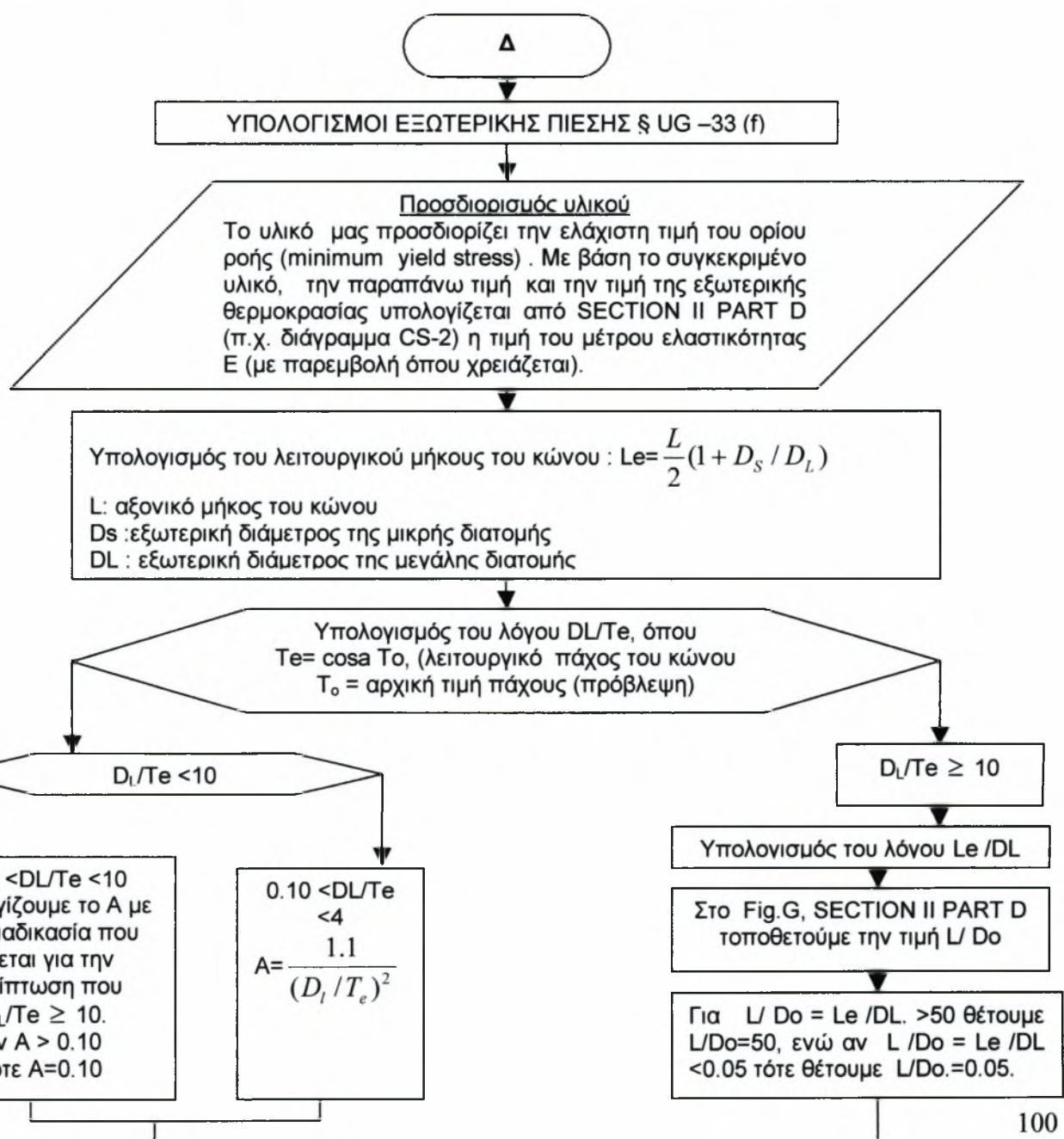
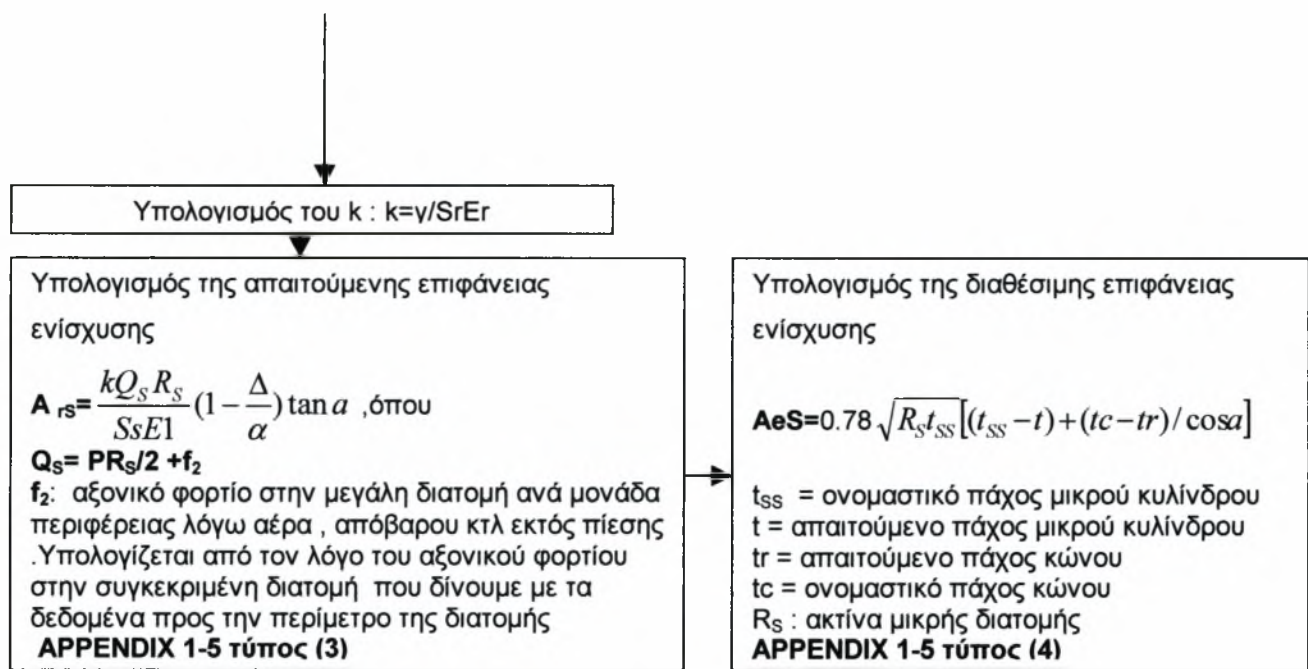
Από πίνακα 1-5.2 για την τιμή $P_i / SsE1$ υπολογίζουμε με παρεμβολή την αντίστοιχη τιμή του Δ . $E1$ = Αποδοτικότητα της διαμήκης ένωσης στον κύλινδρο. Για θλίψη $E1 = 1$ σε butt συγκολλήσεις

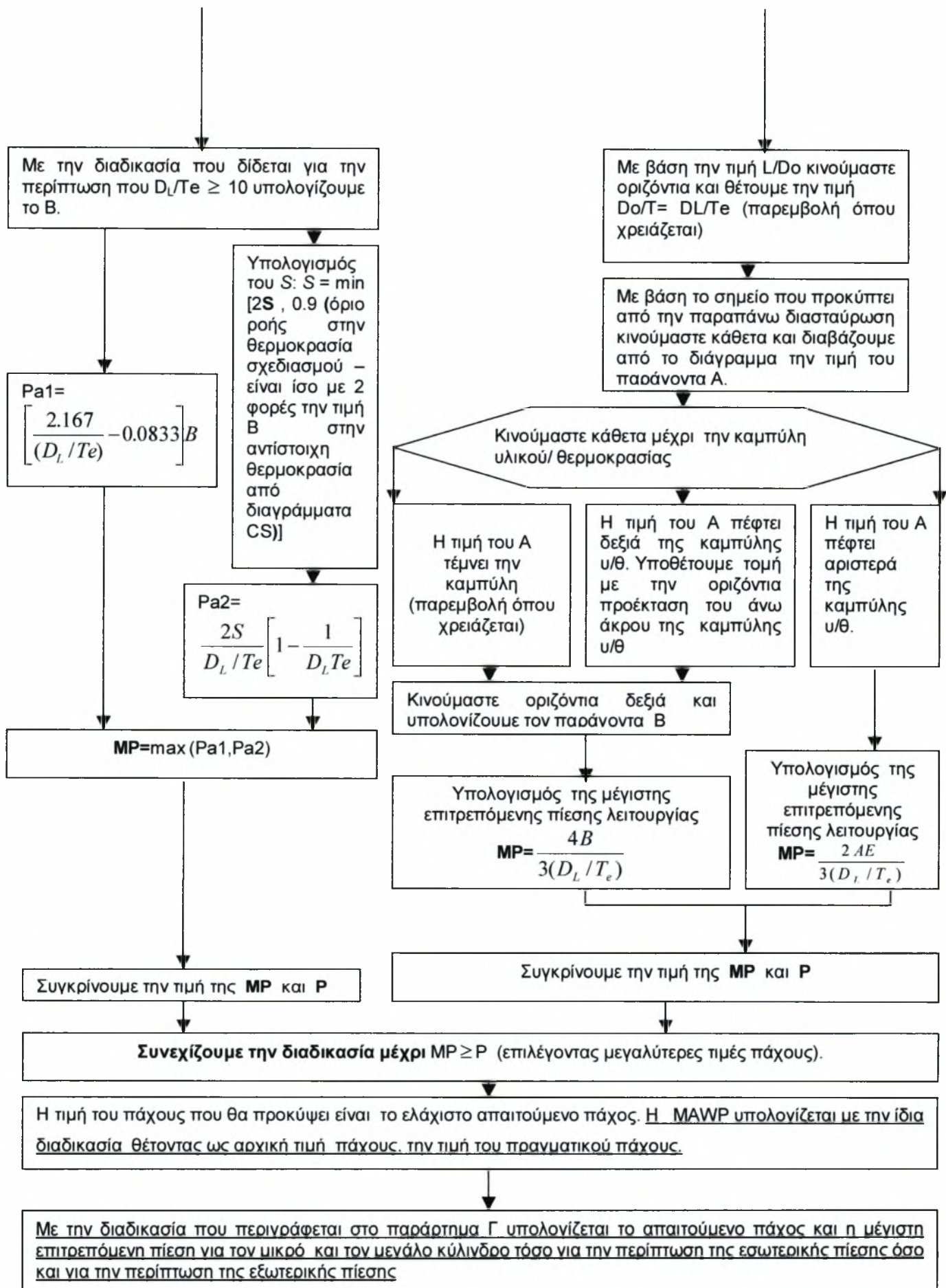
$\Delta < \alpha$
Χρειαζόμαστε ενίσχυση

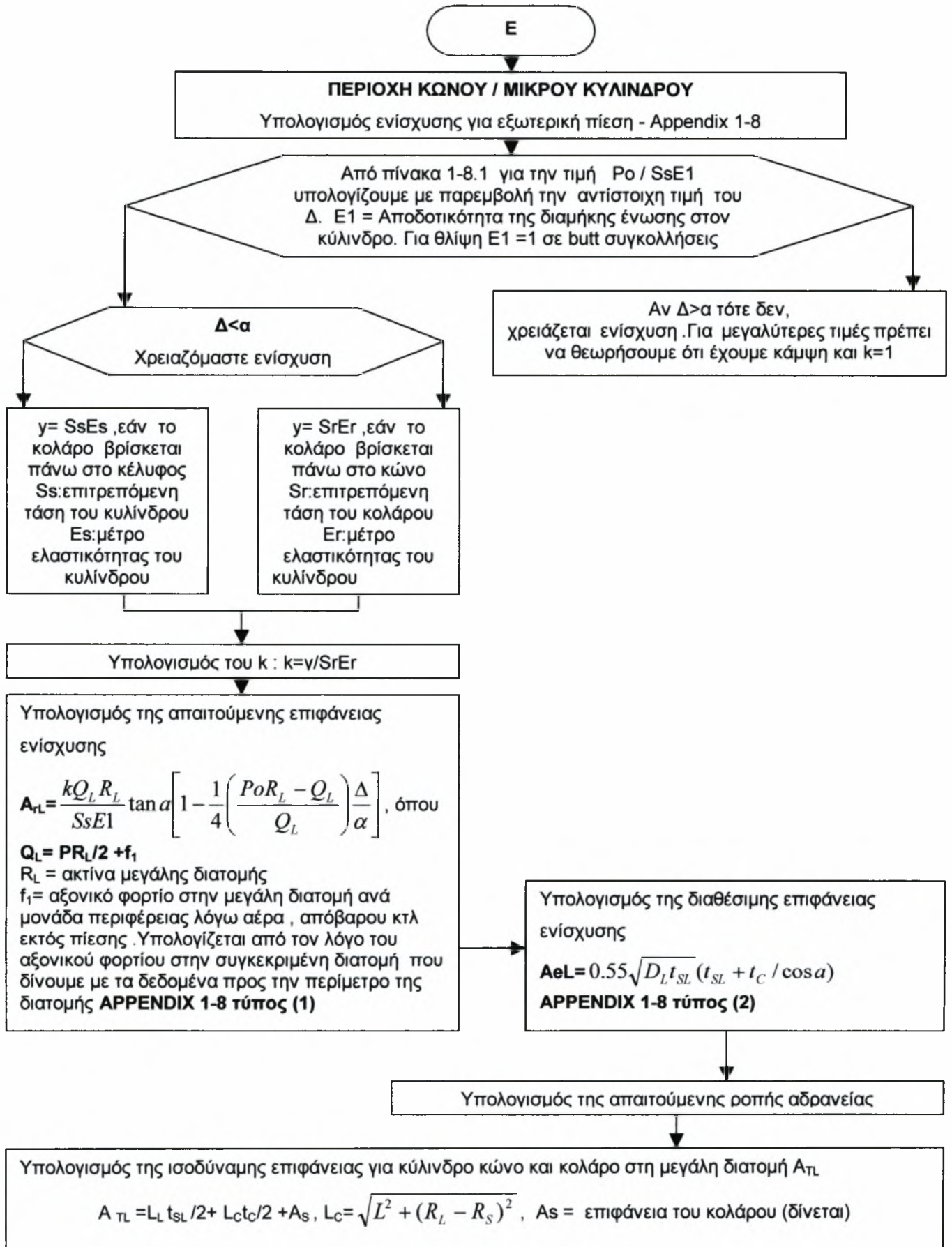
$y = SsEs$, εάν το κολάρο βρίσκεται πάνω στο κέλυφος
 Ss : επιτρεπόμενη τάση του κυλίνδρου
 Es : μέτρο ελαστικότητας του κυλίνδρου

$y = SrEr$, εάν το κολάρο βρίσκεται πάνω στο κώνο
 Sr : επιτρεπόμενη τάση του κολάρου
 Er : μέτρο ελαστικότητας του κυλίνδρου

Αν $\Delta > \alpha$ τότε δεν, χρειάζεται ενίσχυση. Για μεγαλύτερες τιμές πρέπει να θεωρήσουμε ότι έχουμε κάμψη και $k=1$







$$M = \frac{-R_L \tan a}{2} + \frac{L_L}{2} + \frac{R_L^2 - R_S^2}{3R_L \tan a} \text{ APPENDIX 1-8}$$

Υπολογισμός δύναμης ανά μονάδα μήκους στην ένωση : $F_L = \rho_0 M + f_1 \tan$ APPENDIX 1-8

Υπολογισμός παράγοντα B

$$B = \frac{3}{4} \left(\frac{F_L D_L}{A_{TL}} \right)$$

Τοποθετούμε την τιμή του B στο διάγραμμα CS SECTION II PART D
Κινούμαστε οριζόντια μέχρι την καμπύλη υλικού/ θερμοκρασίας

Η τιμή του B τέμνει την καμπύλη (παρεμβολή όπου χρειάζεται)

Η τιμή του B πέφτει πάνω από το δεξιό άκρο της καμπύλης υ/θ. Ο υπολογισμός γίνεται είτε σύμφωνα U-2 (g) είτε αλλάζοντας την διαμόρφωση του κώνου ή του κυλίνδρου είτε αλλάζοντας την θέση του κολάρου στο κέλυφος είτε μειώνοντας το αξονικό θλιπτικό φορτίο έτσι ώστε το B να πέσει πάνω ή κάτω από την καμπύλη υ/θ.

Η τιμή του B βρίσκεται κάτω από αριστερό άκρο της καμπύλης υ/θ. Τότε $A = 2B/E_x$
 $E_x = E_s, E_c, E_r$
 $E_c =$ μετρό ελαστικότητας κώνου
 $E_r =$ μετρό ελαστικότητας κολάρου

$E_s =$ μετρό ελαστικότητας κελύφους

Κινούμαστε κάθετα υπολογίζουμε τον παράγοντα A

Υπολογισμός απαιτούμενης ροπής αδρανείας

Υπολογισμός απαιτούμενης ροπής αδρανείας της διατομής του κολάρου γύρω από τον ουδέτερο άξονα παράλληλο στον άξονα του κελύφους.

$$I_s = \frac{AD_L^2 A_{TL}}{14.0}$$

Υπολογισμός διαθέσιμης ροπής αδρανείας της διατομής του κολάρου γύρω από τον ουδέτερο άξονα παράλληλο στον άξονα του κελύφους I

Πρέπει $I \geq I_s$ διαφορετικά επιλέγουμε μεγαλύτερη ροπή αδρανείας και να συνεχίσουμε την διαδικασία μέχρι να ισχύει η παραπάνω εξίσωση.

Υπολογισμός απαιτούμενης ροπής του συνδυασμού κελύφους-κώνου ή κολάρου -κώνου-κελύφους γύρω από τον ουδέτερο άξονα παράλληλο στον άξονα του κελύφους.

$$I'_s = \frac{AD_L^2 A_{TL}}{10.9}$$

Υπολογισμός διαθέσιμης ροπής αδρανείας του συνδυασμού κελύφους-κώνου ή κολάρου-κώνου-κελύφους γύρω από τον ουδέτερο άξονα παράλληλο στον άξονα του κελύφους. I'

Πρέπει $I' \geq I'_s$ διαφορετικά επιλέγουμε μεγαλύτερη ροπή αδρανείας και να συνεχίσουμε την διαδικασία μέχρι να ισχύει η παραπάνω εξίσωση.

ΣΤ

ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΩΝΟΥ / ΜΙΚΡΟΥ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ
Υπολογισμός ενίσχυσης για εξωτερική πίεση - Appendix 1-8

Υπολογισμός του k με την ίδια διαδικασία που χρησιμοποιείται για την περιοχή κώνου / μεγάλου κυλίνδρου

Υπολογισμός της απαιτούμενης επιφάνειας ενίσχυσης $A_{rs} = \frac{kQ_s R_s}{S_s E I} \tan a$, όπου $Q_s = PR_s/2 + f_2$

R_s = ακτίνα μεγάλης διατομής
 f_2 = αξονικό φορτίο στην μικρή διατομή ανά μονάδα περιφέρειας λόγω αέρα, απόβαρου κτλ εκτός πίεσης. Υπολογίζεται από τον λόγο του αξονικού φορτίου στην συγκεκριμένη διατομή που δίνουμε με τα δεδομένα προς την περίμετρο της διατομής **APPENDIX 1-8 τύπος (3)**

Υπολογισμός της διαθέσιμης επιφάνειας ενίσχυσης $A_{es} = 0.55 \sqrt{D_s t_{ss}} [(t_{ss} - t) + (tc - tr) / \cos a]$
APPENDIX 1-8 τύπος (4)

Υπολογισμός της απαιτούμενης ροπής αδρανείας

Υπολογισμός της ισοδύναμης επιφάνειας για κύλινδρο κώνο και κολάρο στη μικρή διατομή A_{TS}

$A_{TS} = L_s t_{ss}/2 + L_c t_c/2 + A_s$, $L_c = \sqrt{L^2 + (R_L - R_s)^2}$, A_s = επιφάνεια του κολάρου (δίνεται)

$$N = \frac{-R_s \tan a}{2} + \frac{L_s}{2} + \frac{R_L^2 - R_s^2}{6R_s \tan a}$$

Υπολογισμός δύναμης ανά μονάδας μήκους στην ένωση : $F_s = P_o N + f_2 \tan a$

Προκύπτει $B = \frac{3}{4} \left(\frac{F_s D_s}{A_{TS}} \right)$ Τοποθετούμε την τιμή του B σε διάγραμμα CS SECTION

II PART D και με την ίδια διαδικασία υπολογίζουμε την τιμή για το παράγοντα A

Υπολογισμός απαιτούμενης ροπής αδρανείας

Υπολογισμός απαιτούμενης ροπής αδρανείας της διατομής του κολάρου γύρω από τον ουδέτερο άξονα παράλληλο στον άξονα του κελύφους.

$$I_s = \frac{A D_s^2 A_{TS}}{14.0}$$

Υπολογισμός διαθέσιμης ροπής αδρανείας της διατομής του κολάρου γύρω από τον ουδέτερο άξονα παράλληλο στον άξονα του κελύφους I

Πρέπει $I \geq I_s$ διαφορετικά επιλέγουμε μεγαλύτερη ροπή αδρανείας και να συνεχίσουμε την διαδικασία μέχρι να ισχύει η παραπάνω εξίσωση.

Υπολογισμός απ. ροπής του συνδυασμού κελύφους-κώνου ή κολάρου-κώνου-κελύφους γύρω από τον ουδέτερο άξονα παράλληλο στον άξονα του κελύφους.

$$I's = \frac{A D_s^2 A_{TS}}{10.9}$$

Υπολογισμός διαθέσιμης ροπής αδρανείας για τους παραπάνω συνδυασμούς I'

Πρέπει $I' \geq I's$ διαφορετικά επιλέγουμε μεγαλύτερη ροπή αδρανείας και να συνεχίσουμε την διαδικασία μέχρι να ισχύει η παραπάνω εξίσωση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ

Για τον έλεγχο αξιοπιστίας της μεθόδου Freese για την περίπτωση κατακόρυφων πύργων υπολογίστηκε η ιδιοπερίοδος μια απλής κατακόρυφης κυλινδρικής κατασκευής μεγάλου μήκους και μικρής διαμέτρου τα δεδομένα της οποίας δίδονται στον πίνακα 5.16. με 2 διαφορετικούς τρόπους. Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα PVElite και χρησιμοποιώντας την μαθηματική σχέση υπολογισμού της πρώτης ιδιοπεριόδου οριζόντιας πακτωμένης δοκού.

Διάμετρος	1 m	Επιφάνεια διατομής	0.0478m ²
Ύψος	20.3 m	Ροπή αδρανείας διατομής $I = \pi r_m^3 t$	0.0123m ⁴
Πάχος	0.03 m	Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα E	2 10 ¹¹ kg/msec ²
Μέση ακτίνα r_m	0.5075m	Μοναδιαίο βάρος χάλυβα \bar{m}	372.9 kg/m

Πίνακας 5.16: Δεδομένα για την κατακόρυφη κυλινδρική διάταξη

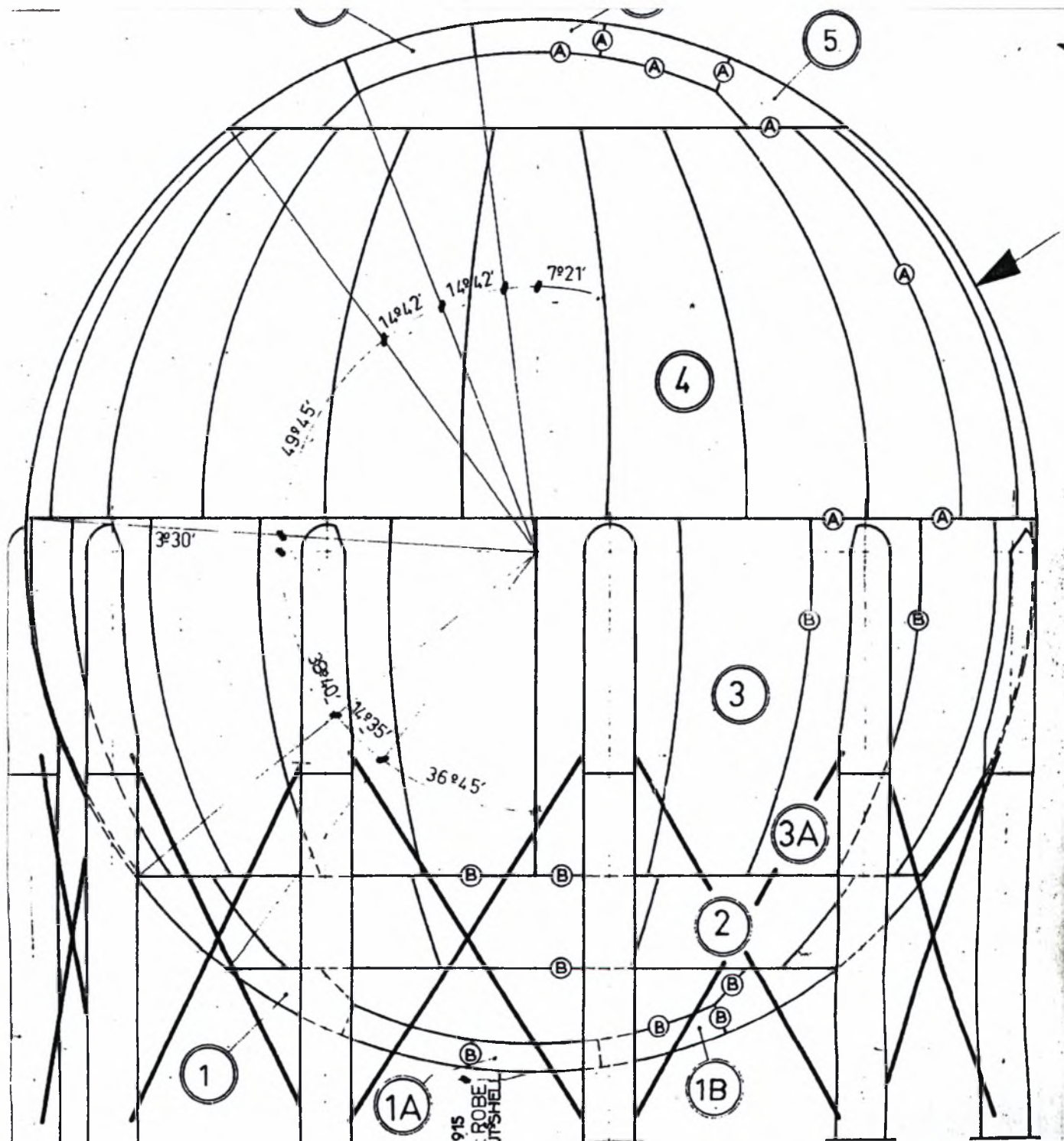
Η μαθηματική σχέση που χρησιμοποιήθηκε είναι:

$$\omega = (1.875)^2 \sqrt{\frac{EI}{mL^4}} \Rightarrow 21.9 \text{sec}^{-1} \Rightarrow \nu = 3.4 \text{sec}^{-1},$$

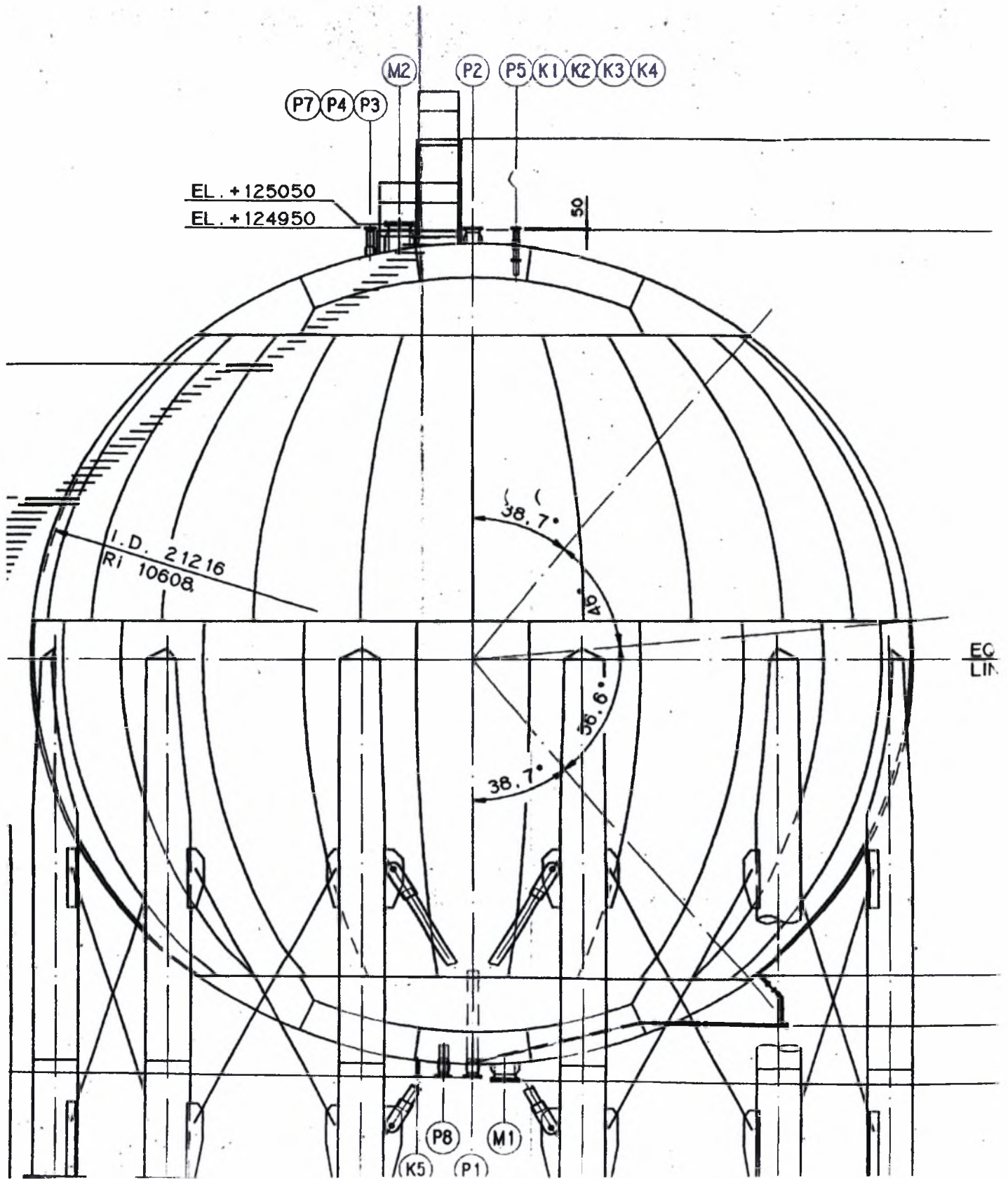
Όπου ν η ιδιοσυχνότητα της κατασκευής.

Το PVElite για την ίδια περίπτωση έδωσε συχνότητα $\nu = 3.34 \text{sec}^{-1}$. Συνεπώς το συγκεκριμένο πρόγραμμα θεωρείται αρκετά αξιόπιστο κατά τον υπολογισμό ιδιοπεριόδων σε ψηλούς πύργους και σε άλλες παρόμοιες κατασκευές, εν αντιθέσει με αρκετά διαφοροποιημένες γεωμετρίες όπως αυτήν της σφαίρας παρόλο που και στις 2 περιπτώσεις έχουμε κατακόρυφα δοχεία πίεσης.

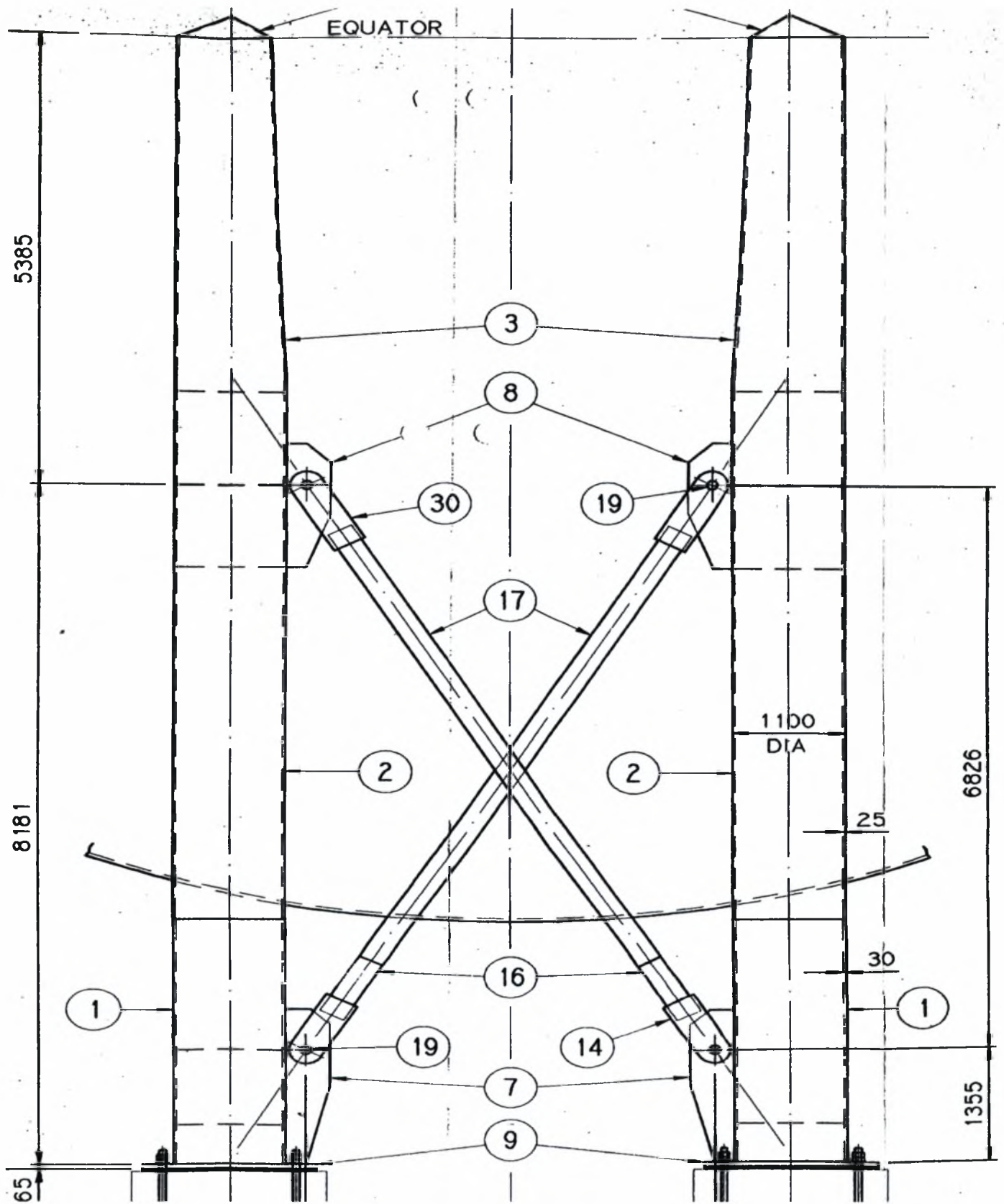
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η



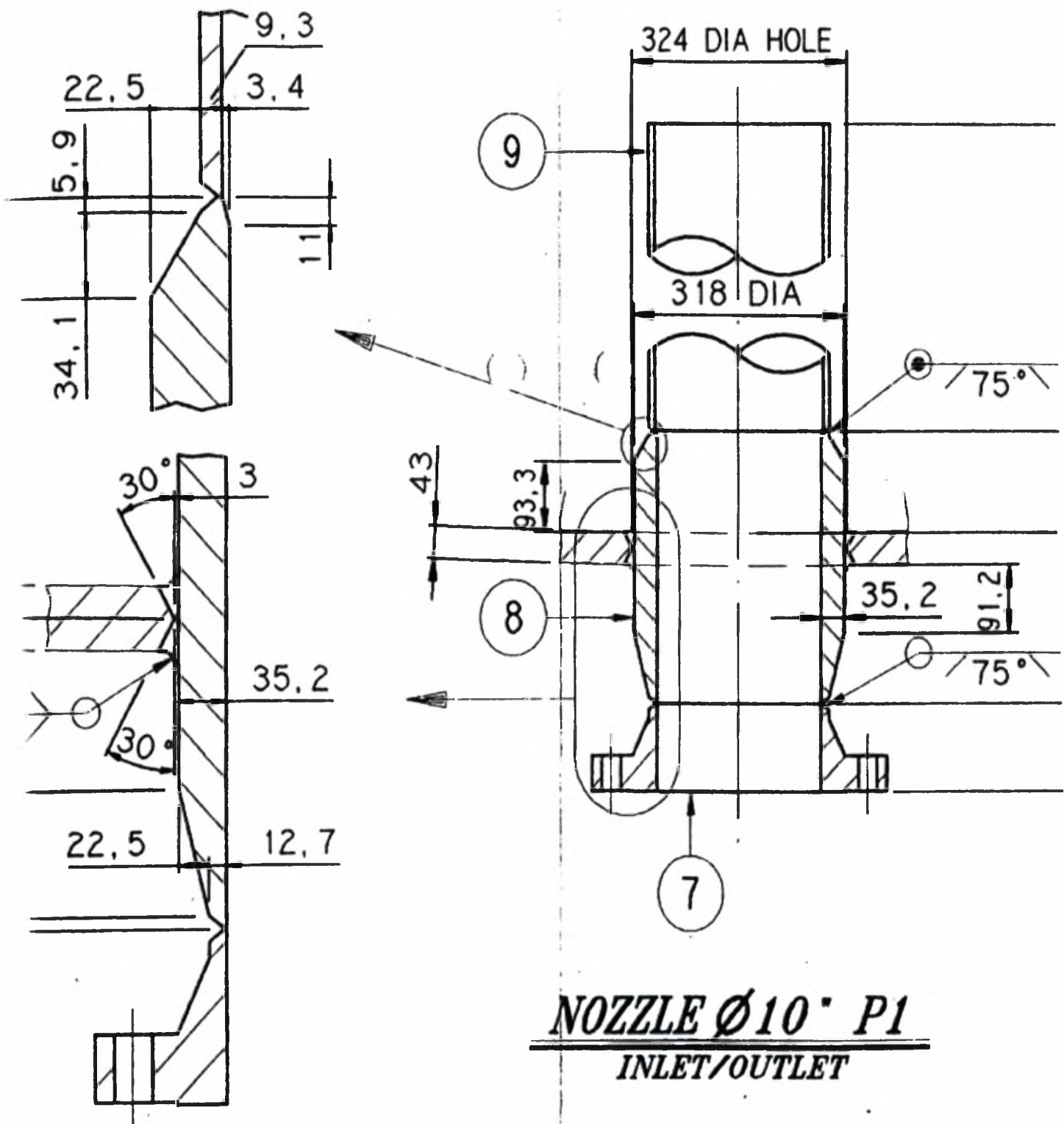
Σφαίρα VCM



Σφαίρα προπυλενίου



Στηρίξεις (διακρίνονται 2 πόδια – legs και 2 σύνδεσμοι – braces).



Στόμιο από την σφαίρα προπυλενίου

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1, 1995 Edition, American Society of Mechanical Engineers.
2. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 2, 1995 Edition, American Society of Mechanical Engineers.
3. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section II, PART D, "Materials and Properties", 1995 Edition, American Society of Mechanical Engineers.
4. BS 5500, " Specification For Unfired Fusion Welded Pressure Vessels ", 1997 Edition, British Standards Institution
5. COADE Engineering Software, PVElite Reference Manual, 2000 Version 3.6
6. COADE Engineering Software, CODECALC Reference Manual, 2000 Version 6.2
7. Dennis R. Moss, Pressure Vessel Design Manual, 1987 Edition
8. Eugene F. Megyesy, Pressure Vessel Handbook, Fourth Edition October 1977
9. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, Ε.Α.Κ. –2000
10. AISC, Manual of STEEL CONSTRUCTION, Seventh Edition
12. Ray W. Clough – Joseph Penzien " DYNAMICS OF STRUCTURES ", 1986 Edition
11. Ν. Αραβάς, " Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Αντοχής Υλικών ", Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

