



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Υπολογισμός Πάχους Μηχανολογικών Κατασκευών Υπό Πίεση
με τους Κώδικες της ASME B31 και B&PV**

Calculation of Thickness of Mechanical Structures Under Pressure
with ASME B31 and B&PV Codes

Φοιτητής: ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΜΕΡΜΗΓΚΑΣ

Αριθμός Μητρώου: 00507

Επιβλέπων Καθηγητής: ΣΠΥΡΟΣ ΚΑΡΑΜΑΝΟΣ

Βόλος, Ιούνιος 2025

Περιεχόμενα

1.1 Εισαγωγή	6
1.2 Θεμελιώδεις Αρχές Μηχανικής Αντοχής.....	7
1.3 Εσωτερική Πίεση και Επίδραση στην Αντοχή	7
1.4 Υλικά Κατασκευής και Επιτρεπτές Τάσεις.....	7
1.5. Συντελεστές Ασφάλειας	7
1.6 Φθορά και Εξωτερικές Πιέσεις.....	8
1.7 Κανονισμοί και Πρότυπα.....	8
1.8 Αναφορά στον Τύπο του Barlow	9
Κεφάλαιο 2	12
2.1 Line Pipe και Pipeline: Ορισμοί και Τεχνικές Προσεγγίσεις	12
2.2 Κανονισμός ASME B31.8	17
2.3 Κανονισμός ASME B31.4	23
2.4 Κανονισμός EN 1594	27
2.5 Κανονισμός DNV-OS-F101	31
2.6 Κανονισμός API 1111.....	35
2.7 Κανονισμός EN 14161	38
2.8 Schedule σωλήνων	41
Σχέση Schedule και Fittings (Elbows, Tees κ.λπ.)	44
2.9 Κανονισμός ASME B31.3 – Process Piping	48
2.10 Κανονισμός EN 13480-3 – Βιομηχανικές Μεταλλικές Σωληνώσεις	53
2.11 ASME B31.1 – Power Piping	57
Κεφάλαιο 3	62
3.1 ASME BPVC Section VIII, Division 1 – UG-27 Thickness of Shells for Internal Pressure	62
3.2 Υπολογισμός Πάχους για Κυλινδρικό Κέλυφος	63
3.3 Υπολογισμός Πάχους κεφαλών (Heads)	63
3.4 Εξισώσεις Υπολογισμού για Κεφαλές Δοχείων Πίεσης – ASME UG-32.....	64
3.5 EN 13445-3 (Unfired Pressure Vessels)- Clause 6 – Design by Formulae	67
3.6 Υπολογισμός Πάχους για Κυλινδρικό Κέλυφος	67
Σύγκριση UG-27 vs EN 13445-3 και Υπολογισμός Πάχους Κεφαλών	69
Κεφάλαιο 4	70
4.1 Ατμοσφαιρικές Δεξαμενές Αποθήκευσης (Storage Tanks)	70
4.2 Τι είναι το “Course” στις Δεξαμενές.....	71
4.3 Κανονισμοί και Σχεδιασμός.....	72
4.3.1 API 650 – Shell Course Thickness	72

4.3.1.a Τύπος 1-Foot Method.....	72
4.3.2. b Variable Design-Point Method	72
4.4 API 620 – Πάχος Κελύφους Δεξαμενής Χαμηλής Πίεσης.....	73
4.5 EN 14015 – Υπολογισμός Πάχους Κελύφους Δεξαμενής.....	74
4.6 Πίνακας Υπολογισμών για Shell Courses Δεξαμενής	74
Κεφάλαιο 5	76
Σύγκριση Κανονισμών Υπολογισμού Πάχους Σωλήνων Υπό Πίεση	76
5.1 Κατάταξη Κανονισμών Κατασκευής Αγωγών σε Επίγειους και Υποθαλάσσιους	76
5.1.2 Εξισώσεις Υπολογισμού ανά Κανονισμό.....	76
5.1.3 Υπολογισμένα Πάχη – Ανά Κατηγορία Κανονισμού	77
5.1.4 Διάγραμμα Συγκριτικών Αποτελεσμάτων	77
5.1.5 Διάγραμμα Διαχωρισμού Κανονισμών	78
5.1.6 Σχόλια & Συμπεράσματα.....	78
5.2 Σύγκριση Κανονισμών ASME B31.1 – B31.3 – EN 13480-3	78
5.2.1 Εξισώσεις Υπολογισμού	78
5.2.2 Αποτελέσματα Υπολογισμών	79
5.2.3 Διάγραμμα Σύγκρισης	80
5.2.4 Πεδίο Εφαρμογής Κανονισμών	80
5.2.5 Συμπεράσματα	80
5.3 Σύγκριση UG-27 vs EN 13445-3 και Υπολογισμός Πάχους Κεφαλών.....	80
5.3.1 Εξισώσεις Υπολογισμού	81
5.3.2 Αποτελέσματα Υπολογισμών (Φ2000 mm, 30 bar)	81
5.3.4 Διάγραμμα Σύγκρισης Κυλινδρικού Κελύφους.....	81
5.3.5 Συμπεράσματα	82
5.3.6 Διάγραμμα Σύγκρισης Κελύφους και Κεφάλων.....	82
5.3.7 Συμπεράσματα:	83
5.3.8 Σύγκριση Κανονισμών: API 650 – API 620 – EN 14015	83
5.3.9 Συμπεράσματα για Βασικές Αρχές Σχεδιασμού Δεξαμενών Αποθήκευσης	87
Κεφάλαιο 6	89
6.1 Ομαδοποίηση Κανονισμών ανά Χρήση	89
6.1.1 Αγωγοί Μεταφοράς (Pipelines / Transmission)	89
6.1.2 Βιομηχανικές Σωληνώσεις (Process / Power / Plant Piping).....	89
6.1.3 Δοχεία Πίεσης (Pressure Vessels).....	89
6.1.4 Ατμοσφαιρικές Δεξαμενές Αποθήκευσης (Atmospheric Storage Tanks)	89
6.2 Ομοιότητες και Διαφορές Κανονισμών ανά Ομάδα	90

6.2.1 Αγωγοί Μεταφοράς	90
6.2.2 Βιομηχανικές Σωληνώσεις	90
6.2.3 Δοχεία Πίεσης.....	91
6.2.4 Ατμοσφαιρικές Δεξαμενές Αποθήκευσης	92
6.3 Παράγοντες που Επηρεάζουν τον Υπολογισμό του Πάχους ανά Κανονισμό	94
6.3.1 Αγωγοί Μεταφοράς.....	94
6.3.2 Βιομηχανικές Σωληνώσεις	95
6.3.3 Δοχεία Πίεσης.....	95
6.3.4 Ατμοσφαιρικές Δεξαμενές Αποθήκευσης	96
6.4 Συμπεράσματα Από τη Σύγκριση	97
Κεφάλαιο 7	98
Βιβλιογραφία.....	98
7.1 Κανονισμοί και Πρότυπα.....	98
7.2 Βιβλία και Τεχνικά Εγχειρίδια	99
7.3 Επιστημονικά Άρθρα και Δημοσιεύσεις.....	99
7.4 Ιστότοποι και Βάσεις Δεδομένων.....	100

Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή

Η σωστή μελέτη και ανάλυση της δομικής αντοχής μηχανολογικών κατασκευών υπό πίεση αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για την ασφάλεια και τη λειτουργικότητα βιομηχανικών εγκαταστάσεων, όπως αγωγοί, σωληνώσεις, και δοχεία πίεσης. Αυτές οι κατασκευές εκτίθενται σε υψηλές εσωτερικές πιέσεις κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές μηχανικές αποτυχίες αν δεν σχεδιαστούν κατάλληλα. Ο υπολογισμός του απαιτούμενου πάχους των τοιχωμάτων των σωληνώσεων και των δοχείων πίεσης είναι καθοριστικός για την αποφυγή αυτών των αποτυχιών και τη διασφάλιση της ασφάλειας της κατασκευής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, εξετάζονται οι βασικοί κανονισμοί που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αντοχής και του πάχους των σωληνώσεων και δοχείων πίεσης υπό εσωτερική πίεση. Σκοπός είναι η μελέτη των διαφόρων μεθόδων που παρέχουν οι διεθνείς κανονισμοί και η σύγκρισή τους με παραδείγματα εφαρμογής για να διαπιστωθούν οι διαφορές και οι ομοιότητες στους υπολογισμούς. Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώνεται σε πρότυπα όπως ο ASME B31.8, ο API 1111, ο EN 13445-3, και άλλοι σημαντικοί κανονισμοί που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή και τον υπολογισμό των σωληνώσεων και δοχείων πίεσης.

Η σημασία αυτής της μελέτης έγκειται στο γεγονός ότι η κατανόηση και η σωστή εφαρμογή των κανονισμών αυτών είναι καθοριστική για την αποφυγή αποτυχιών που μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφικά ατυχήματα. Η αξιόπιστη εκτίμηση του απαιτούμενου πάχους των σωληνών και των δοχείων πίεσης εξασφαλίζει την δομική ακεραιότητα της κατασκευής και μειώνει τον κίνδυνο υπερφόρτωσης ή ρήξης κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης. Ως εκ τούτου, η εφαρμογή αξιόπιστων μεθόδων και κανονισμών για τον υπολογισμό του πάχους των τοιχωμάτων είναι κρίσιμη για τη λειτουργία βιομηχανικών κατασκευών και συστημάτων.

Η παρούσα εργασία, λοιπόν, αποσκοπεί στη συστηματική μελέτη των υπολογιστικών μεθόδων και της συγκριτικής ανάλυσης των κανονισμών που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του πάχους των σωληνώσεων και δοχείων πίεσης, με στόχο τη βελτίωση της κατανόησης της διαδικασίας σχεδιασμού αυτών των ανωτέρω κρίσιμων βιομηχανικών κατασκευών και συστημάτων που λειτουργούν υπό συνθήκες υψηλής πίεσης.

Το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας αφορά την κατανόηση των βασικών αρχών που διέπουν τον υπολογισμό του πάχους και της αντοχής μηχανολογικών κατασκευών υπό πίεση, για παράδειγμα, σωληνών, αγωγών και δοχείων πίεσης. Αυτά αποτελούν συνήθεις εφαρμογές στη βιομηχανία. Ως εκ τούτου, η ασφάλειά τους απαιτεί εξαιρετικά λεπτομερή υπολογισμό και ανάλυση. Το θεωρητικό υπόβαθρο περιλαμβάνει βασικές έννοιες της μηχανικής αντοχής, τις αρχές σχεδιασμού και τους κανονισμούς που εφαρμόζονται για την εκτίμηση του πάχους και της αντοχής των κατασκευών και συστημάτων υπό πίεση.

1.2 Θεμελιώδεις Αρχές Μηχανικής Αντοχής

Οι μηχανολογικές κατασκευές υπό πίεση, όπως σωλήνες, αγωγοί και δοχεία πίεσης, υποβάλλονται σε εσωτερική πίεση, η οποία δημιουργεί τάσεις στα τοιχώματά τους. Ο υπολογισμός του πάχους τους αποσκοπεί στην αντοχή αυτών των τάσεων, προκειμένου να αποφευχθεί η θραύση ή η παραμόρφωση της κατασκευής.

Η βασική αρχή του υπολογισμού του πάχους είναι η εφαρμογή του νόμου της μηχανικής αντοχής, ο οποίος αναφέρεται στη σχέση μεταξύ της εσωτερικής πίεσης, των διαστάσεων του σωλήνα ή του δοχείου και της αντοχής του υλικού. Οι υπολογισμοί γίνονται συνήθως χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις που καθορίζονται από διάφορους διεθνείς κανονισμούς, οι οποίοι ενσωματώνουν παράγοντες ασφαλείας και λαμβάνουν υπόψη τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού, τη θερμοκρασία και άλλες συνθήκες λειτουργίας.

1.3 Εσωτερική Πίεση και Επίδραση στην Αντοχή

Η εσωτερική πίεση (P) είναι ο κυριότερος παράγοντας που προκαλεί τάσεις στα τοιχώματα των σωλήνων και των δοχείων. Καθώς η πίεση αυξάνεται, οι τάσεις αυξάνονται αναλογικά. Ο υπολογισμός του πάχους πρέπει να διασφαλίσει ότι το υλικό μπορεί να αντέξει τις τάσεις που προκύπτουν από την πίεση χωρίς να καταρρεύσει.

Η εσωτερική πίεση συνήθως υπολογίζεται σε μονάδες πίεσης, pascal (Pa) ή bar, και έχει άμεση σχέση με τη διάμετρο του σωλήνα ή του δοχείου. Υψηλότερη πίεση απαιτεί μεγαλύτερο πάχος τοιχώματος για την αποφυγή της υπερφόρτωσης του υλικού.

1.4 Υλικά Κατασκευής και Επιτρεπτές Τάσεις

Τα υλικά κατασκευής σωλήνων και δοχείων πίεσης έχουν άμεσο αντίκτυπο στον υπολογισμό του πάχους. Αυτό, με τη σειρά του, εξαρτάται από την επιτρεπόμενη τάση του υλικού, που σημαίνει πόση μηχανική αντοχή μπορεί να αντέξει υπό πίεση. Για παράδειγμα, οι χάλυβες έχουν διαφορετικές επιτρεπόμενες τάσεις σε σύγκριση μεταξύ τους (ανάλογα τη ποιότητα) ή ο χάλυβας με τα πλαστικά ή τα συνθετικά πολυμερή. Το πάχος υπολογίζεται από την επιτρεπόμενη τάση του υλικού. Αυτό μπορεί να διαφέρει από τη μια εφαρμογή στην άλλη και επίσης υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Όταν σωλήνες ή δοχεία χρησιμοποιούνται σε υπηρεσίες υψηλής θερμοκρασίας ή σε περιβάλλον που υπόκειται σε αυξημένη προσοχή, οι επιτρεπόμενες τάσεις πρέπει να μειώνονται.

1.5. Συντελεστές Ασφάλειας

Οι συντελεστές ασφάλειας χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των αβεβαιοτήτων και για την εξασφάλιση της ασφάλειας της κατασκευής κάτω από διάφορες συνθήκες λειτουργίας. Αυτοί οι συντελεστές εφαρμόζονται για να ληφθούν υπόψη οι απρόβλεπτες παράμετροι, όπως οι διακυμάνσεις της πίεσης, οι ατέλειες του υλικού, οι επιπτώσεις της διάβρωσης και άλλες δυνατές επιπτώσεις.

Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς, οι συντελεστές ασφάλειας κυμαίνονται συνήθως από 1.25 έως 3, ανάλογα με την κρισιμότητα της εφαρμογής και την επιθυμητή αβεβαιότητα. Υψηλότεροι συντελεστές ασφάλειας απαιτούν μεγαλύτερο πάχος τοιχώματος για την ίδια πίεση.

1.6 Φθορά και Εξωτερικές Πιέσεις

Οι εξωτερικές πιέσεις και η διάβρωση αποτελούν επίσης σημαντικούς παράγοντες στη σχεδίαση των σωληνώσεων και των δοχείων πίεσης. Εξωτερικές πιέσεις από το έδαφος ή άλλες πηγές μπορεί να επηρεάσουν τη δομική ακεραιότητα των σωλήνων. Ειδικά για υπόγειους αγωγούς και σωλήνες που εκτίθενται σε περιβάλλοντα με υψηλή διάβρωση, απαιτούνται πρόσθετα μέτρα προστασίας.

Η διάβρωση, η οποία προκαλεί φθορές στο υλικό του σωλήνα ή του δοχείου, μπορεί να μειώσει την αντοχή του υλικού και να απαιτήσει αύξηση του πάχους τοιχώματος για να αντισταθμιστούν οι φθορές. Τα μέτρα προστασίας περιλαμβάνουν την επιλογή ανθεκτικών υλικών, τη χρήση αντιδιαβρωτικών επικρισμάτων ή την εφαρμογή μεθόδων προστασίας μέσω εξωτερικών σωλήνων ή θωράκισης.

1.7 Κανονισμοί και Πρότυπα

Για την επίτευξη σωστών υπολογισμών και τη διασφάλιση της ασφάλειας, οι μηχανικοί χρησιμοποιούν διάφορους διεθνείς κανονισμούς και πρότυπα που καθορίζουν τις μεθόδους υπολογισμού του πάχους των σωληνώσεων και των δοχείων πίεσης. Κάποιοι από τους πιο διαδεδομένους κανονισμούς είναι :

- ASME B31.8: Κανονισμός για την κατασκευή και τον υπολογισμό σωληνώσεων μεταφοράς φυσικού αερίου.
- ASME B31.4: Κανονισμός για αγωγούς μεταφοράς υγρών υδρογονανθράκων (πετρέλαιο, προϊόντα πετρελαίου).
- API 1111: Κανονισμός για τη σχεδίαση αγωγών μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου, κυρίως offshore.
- API 650 : Κανονισμός για τη σχεδίαση ατμοσφαιρικών δεξαμενών αποθηκευτής
- EN 1594: Ευρωπαϊκός κανονισμός για συστήματα μεταφοράς φυσικού αερίου υψηλής πίεσης.
- DNV-OS-F101: Κανονισμός για υποθαλάσσιους αγωγούς πετρελαίου και φυσικού αερίου.
- EN 14161: Κανονισμός για σωληνώσεις μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου.

- ASME B31.1: Κανονισμός για βιομηχανικές και ενεργειακές σωληνώσεις υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας.
- ASME B31.3: Κανονισμός για σωληνώσεις χημικής βιομηχανίας και επεξεργασίας πετρελαίου/φυσικού αερίου.
- EN 13480-3: Ευρωπαϊκός κανονισμός για βιομηχανικές σωληνώσεις υπό πίεση.
- ASME BPVC Section VIII Division 1 – UG-27: Κανονισμός για κυλινδρικά δοχεία πίεσης με εσωτερική πίεση.
- EN 13445-3: Ευρωπαϊκός κανονισμός για τον υπολογισμό άνευ συγκόλλησης και συγκολλητών δοχείων πίεσης.

Οι κανονισμοί αυτοί περιλαμβάνουν εξισώσεις για τον υπολογισμό του πάχους, λαμβάνοντας υπόψη την εσωτερική πίεση, τις διαστάσεις του σωλήνα, τις επιτρεπτές τάσεις, τους συντελεστές ασφάλειας, και άλλα κρίσιμα χαρακτηριστικά της κατασκευής.

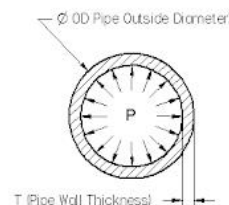
1.8 Αναφορά στον Τύπο του Barlow

Barlow's Formula

Barlow's Formula relates the internal pressure that a pipe or cylinder part can withstand to its dimensions and the strength of its material

$$P = \frac{2St}{D} \quad \text{or} \quad t = \frac{PD}{2SE}$$

- P = Internal Pressure
- S = Allowable Stress of the material
- t = Wall thickness
- D = Outside Diameter
- E = Safety Factor, i.e., Joint Efficiency in ASME Code



Credit: wikipedia, myoilpatch.com, www.engineersedge.com

Εικόνα 1: Barlow's Formula

Ο τύπος του Barlow αποτελεί απλοποιημένο αποτέλεσμα της θεωρίας λεπτότοιχων κυλινδρικών κατασκευών υπό πίεση. Πρόκειται για μία απλή εξίσωση ισορροπίας δυνάμεων, η οποία σχετίζει την εσωτερική πίεση με την αντοχή του υλικού και τις διαστάσεις του σωλήνα.

Τύπος Barlow: Πληκτρολογήστε την εξίσωση εδώ.

$$t = (P \cdot D) / (2 \cdot S \cdot F)$$

Όπου:

- t = απαιτούμενο πάχος τοιχώματος (mm)
- P = εσωτερική πίεση λειτουργίας (MPa ή bar)
- D = εξωτερική διάμετρος σωλήνα ή δοχείου (mm)
- S = επιτρεπόμενη τάση υλικού (MPa)
- F = παράγοντας σχεδίασης (design factor, ανάλογα με τον κανονισμό)

Εφαρμογή του Barlow σε Κανονισμούς

Ο τύπος του Barlow δεν χρησιμοποιείται αυτούσιος σε όλους τους κανονισμούς, αλλά πολλοί βασίζονται σε αυτόν και τον επεκτείνουν, προσθέτοντας:

- Συντελεστές ασφαλείας
- Παραμέτρους διάβρωσης (corrosion allowance)
- Συντελεστές ραφής (weld joint efficiency)
- Ανοχές και απαιτήσεις τυποποίησης σωλήνων

Παραδείγματα:

- ASME B31.3 – Process Piping:

$$t = (P \cdot D) / [2 \cdot (S \cdot E + P \cdot Y)]$$

όπου προστίθενται:

- E : συντελεστής συγκόλλησης (weld joint efficiency)
- Y : παράγοντας διαμόρφωσης (temperature & material dependent)
- ASME B31.8 – Gas Transmission & Distribution:

$$t = (P \cdot D) / (2 \cdot S \cdot F)$$

Η μορφή είναι σχεδόν ίδια με τον Barlow, με τον παράγοντα F να λαμβάνει τιμές 0.5 έως 0.72.

- EN 13445 – Unfired Pressure Vessels:

Ο τύπος διαφοροποιείται για thin-wall και thick-wall δοχεία, ενώ λαμβάνει υπόψη επιπλέον γεωμετρικά και μηχανικά κριτήρια. Παρότι δεν αναγράφεται ως «τύπος Barlow», η μηχανική βάση παραμένει ίδια.

Σχόλιο

Ο τύπος του Barlow αποτελεί θεμελιώδη αρχή για την ανάλυση των αγωγών και δοχείων υπό εσωτερική πίεση. Παρά τη σχετική του απλότητα, παραμένει:

- Χρήσιμος για πρώτους υπολογισμούς
- Απαραίτητος για επαλήθευση αποτελεσμάτων
- Ιστορικά και μηχανικά σημαντικό εργαλείο

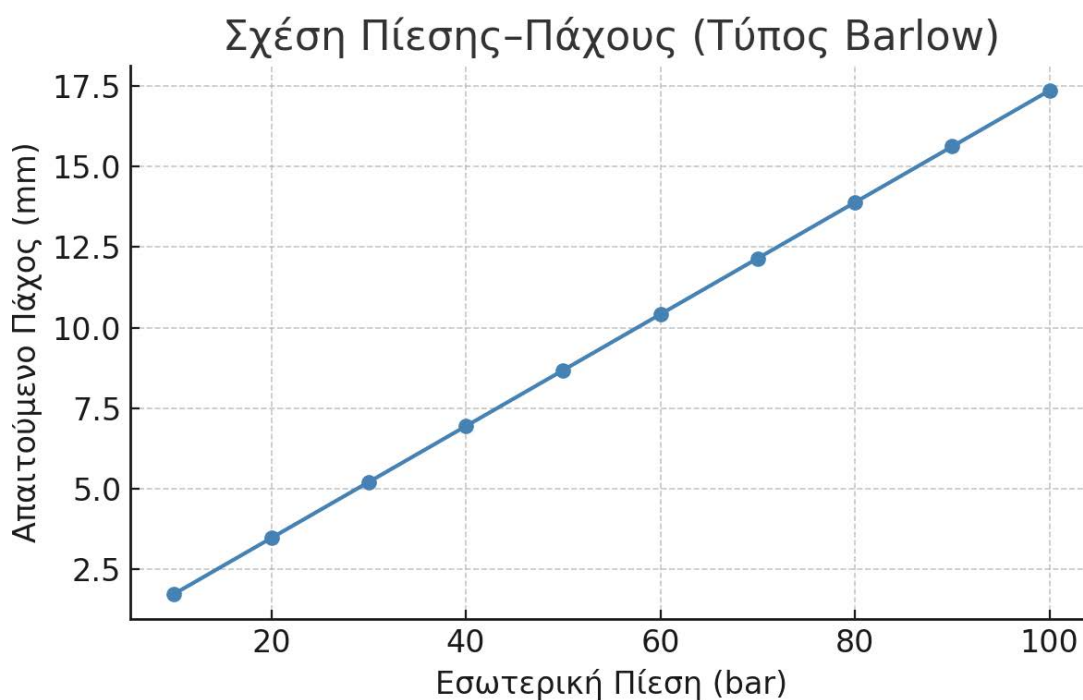
Οι σύγχρονοι κανονισμοί τον επεκτείνουν, ενσωματώνοντας πολυπαραμετρικά κριτήρια που αυξάνουν την ασφάλεια και την αξιοπιστία των υπολογισμών, ειδικά σε κρίσιμες βιομηχανικές εφαρμογές.

Πίνακας Σύγκρισης Κανονισμών – Εφαρμογή του Τύπου Barlow

Κανονισμός	Τύπος	Συντελεστές	Σχόλια
ASME B31.3	$t = P \cdot D / [2 \cdot (S \cdot E + P \cdot Y)]$	E, Y	Κατάλληλο για βιομηχανικές σωληνώσεις
ASME B31.8	$t = P \cdot D / (2 \cdot S \cdot F)$	F	Χρήση σε δίκτυα φυσικού αερίου
EN 13445	Σύνθετος – εξαρτάται από wall type	—	Λεπτομερής ανάλυση γεωμετρίας
API 1111	Παραλλαγή Barlow	F, E	Υποθαλάσσιοι αγωγοί πετρελαίου
DNV-OS-F101	Τροποποιημένος Barlow	αποδοτικότητα ραφής, ασφάλεια	Αυστηρό για offshore εφαρμογές

Γραφική Αναπαράσταση Τύπου Barlow

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει τη μεταβολή του απαιτούμενου πάχους τοιχώματος σε συνάρτηση με την εσωτερική πίεση, σύμφωνα με τον τύπο του Barlow.



Σχεδιάγραμμα 1: Εξάρτηση Πάχους Σωλήνα από την Εσωτερική Πίεση κατά Barlow

Κεφάλαιο 2

2.1 Line Pipe και Pipeline: Ορισμοί και Τεχνικές Προσεγγίσεις

Τι είναι Line Pipe και Pipeline;

- **Line Pipe:** Τα τμήματα σωλήνων που χρησιμοποιούνται για τη συναρμολόγηση αγωγών. Είναι ο σωλήνας σαν υλικό, συνήθως με συγκεκριμένες προδιαγραφές για μηχανικές και χημικές ιδιότητες.



Εικόνα 2: Line Pipe

- **Pipeline:** Ολόκληρο το σύστημα αγωγών, δηλαδή το εγκατεστημένο δίκτυο σωλήνων, συμπεριλαμβανομένων των εξαρτημάτων, υποστηρικτικών κατασκευών, και εγκαταστάσεων λειτουργίας.



Εικόνα 3: Pipeline

Διαφορές στην προσέγγιση των κανονισμών

Κανονισμός	Εφαρμογή σε	Προτεραιότητα Σχεδιασμού
API 5L (Line Pipe)	Προδιαγραφές σωλήνων	Υλικά, αντοχή, ποιότητα σωλήνων
ASME B31.8 (Pipeline)	Αγωγοί φυσικού αερίου	Ολικό σύστημα σωληνώσεων, ασφάλεια λειτουργίας, σχεδιασμός σε πίεση
ASME B31.4 (Pipeline)	Αγωγοί πετρελαίου	Ολοκληρωμένη λειτουργία αγωγού, συμπεριλαμβάνει line pipe και εγκαταστάσεις
DNV-OS-F101 (Pipeline)	Υποβρύχιοι αγωγοί	Ολοκληρωμένος σχεδιασμός offshore αγωγών

Υπολογισμός Πάχους

Για Line Pipe:

- Αφορά τις προδιαγραφές υλικού: ποιότητα χάλυβα, μηχανικές ιδιότητες, αντοχή σε εφελκυσμό, παραμόρφωση.
- Συνήθως αναφέρεται σε προδιαγραφές API 5L (όπου ορίζονται τάσεις, δοκιμές, μέγιστα πάχη).

Για Pipeline:

- Αφορά τον σχεδιασμό του σωληνωτού δικτύου υπό πίεση, δηλαδή το πάχος τοιχώματος που πρέπει να έχει ο line pipe για να αντέχει την πίεση λειτουργίας και τις συνθήκες περιβάλλοντος.
- Εδώ εφαρμόζονται κανονισμοί όπως ASME B31.8 ή ASME B31.4, που περιλαμβάνουν:

Συντελεστές ασφαλείας (design factors)

Αξιολόγηση συγκολλήσεων (weld joint factors)

Επιβάρυνση λόγω διάβρωσης

Θερμοκρασιακές συνθήκες

Παράδειγμα:

- Line pipe: Ένας σωλήνας API 5L X52 έχει μηχανικά χαρακτηριστικά και μέγιστο επιτρεπτό πάχος σχεδιασμένο να αντέχει πίεση μέχρι ένα όριο.
- Pipeline: Για να σχεδιαστεί ένας αγωγός που θα λειτουργεί στα 80 bar, με δεδομένο τον τύπο και τις προδιαγραφές του line pipe, εφαρμόζουμε τους κανονισμούς (π.χ. ASME B31.8) ώστε να βρούμε το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος τοιχώματος, προσθέτοντας allowances και safety factors.

Συνοπτικά:

Βήμα	Περιγραφή
Line Pipe	Προδιαγραφές υλικού και παραγωγής σωλήνα
Pipeline	Σχεδιασμός και υπολογισμός πάχους για ολόκληρο το δίκτυο αγωγών

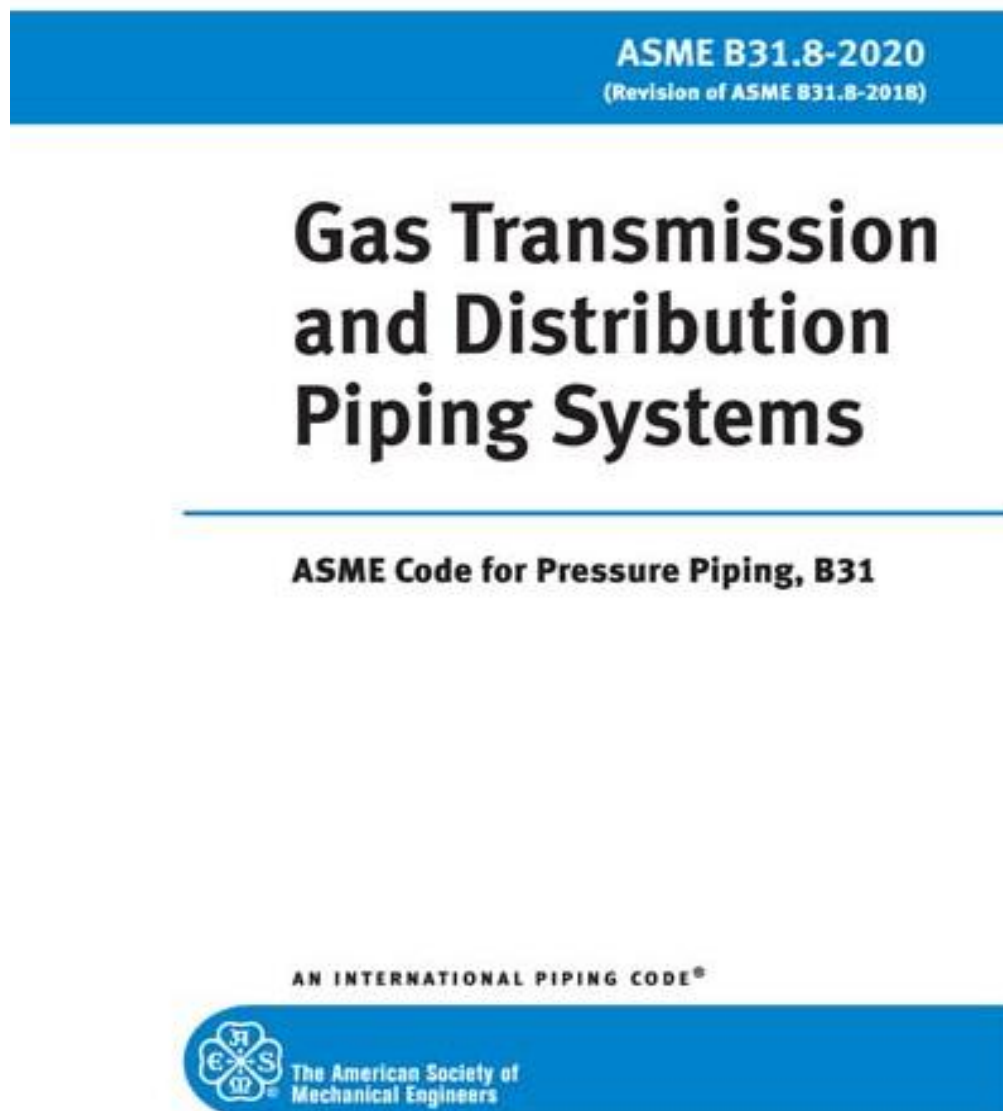
Line Pipe – Προδιαγραφές API 5L

Ο API 5L είναι ο βασικός κανονισμός που ορίζει τις προδιαγραφές για τους σωλήνες (line pipe) που χρησιμοποιούνται σε αγωγούς. Περιλαμβάνει:

- Μηχανικές ιδιότητες: Όπως η ελάχιστη αντοχή διαρροής (SMYS), αντοχή σε εφελκυσμό, επιμήκυνση, σκληρότητα.
- Διαστάσεις: Ονομαστική διάμετρος, πάχος τοιχώματος, αντοχή σε εσωτερική πίεση.

- Δοκιμές: Υδροστατικές, μη καταστρεπτικές, ελέγχους συγκολλήσεων.
- Κατηγορίες ποιότητας (X42, X52, X65 κτλ) ανάλογα με τις μηχανικές ιδιότητες.

2.2 Κανονισμός ASME B31.8



Εικόνα 4: Εξώφυλλο Κανονισμού ASME B31.8

Γενική περιγραφή

Ο ASME B31.8 αποτελεί μέρος της σειράς ASME B31 (Code for Pressure Piping) και καλύπτει συστήματα μεταφοράς και διανομής αερίων καυσίμων όπως φυσικό αέριο, υγραέριο (LPG), και άλλα βιομηχανικά αέρια.

Πεδίο εφαρμογής

Ο κανονισμός εφαρμόζεται σε αγωγούς μεγάλης απόστασης, δίκτυα διανομής, εγκαταστάσεις αποθήκευσης και σταθμούς συμπίεσης.

Θέματα που καλύπτει

- Υπολογισμός πάχους σωλήνων
- Συντελεστές σχεδιασμού (F, L, T)
- Φορτία σχεδιασμού (πίεση, θερμοκρασία, εξωτερικά φορτία)
- Υλικά και επιτρεπόμενες τάσεις
- Δοκιμές αντοχής (hydrostatic test)
- Λειτουργικές πιέσεις (MAOP)
- Υποθαλάσσιοι αγωγοί

Υπολογισμός Πάχους Τοιχώματος

Η βασική εξίσωση για τον υπολογισμό πάχους τοιχώματος λόγω εσωτερικής πίεσης είναι

$$t = (P \times D) / (2 \times S \times F \times E \times T + P)$$

Όπου:

t = απαιτούμενο πάχος τοιχώματος

P = εσωτερική πίεση

D = εξωτερική διάμετρος σωλήνα

S = επιτρεπόμενη τάση υλικού

F = συντελεστής σχεδιασμού

E = συντελεστής συγκόλλησης

T = συντελεστής θερμοκρασίας

Παράδειγμα Υπολογισμού

Δίνεται αγωγός με εξωτερική διάμετρο D = 600 mm και εσωτερική πίεση λειτουργίας

P = 80bar = 8 MPa.

Χρησιμοποιείται χάλυβας με επιτρεπόμενη τάση S = 300 MPa, F = 0.72, E = 1.0, T = 1.0

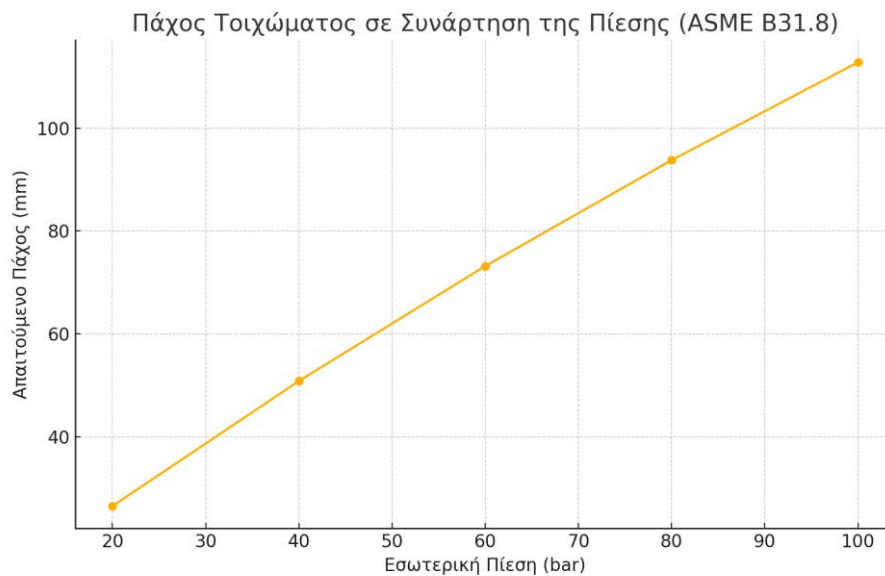
Υπολογισμός:

$$t = (8 \times 600) / (2 \times 300 \times 0.72 \times 1 \times 1 + 8) = 4800 / (432 + 8) = 4800 / 440 = 10.91 \text{ mm}$$

Άρα το ελάχιστο πάχος τοιχώματος είναι περίπου 11 mm.

Διάγραμμα: Πάχος Τοιχώματος σε Συνάρτηση της Πίεσης

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει τη μεταβολή του απαιτούμενου πάχους τοιχώματος σε συνάρτηση με την εσωτερική πίεση για εξωτερική διάμετρο 600 mm και χάλυβα με S=300MPa.



Σχεδιάγραμμα 2: Σχέση Εσωτερικής Πίεσης και Πάχους Τοιχώματος σύμφωνα με τον Κανονισμό ASME B31.8

Τυπικές Εφαρμογές

- Εθνικά δίκτυα φυσικού αερίου (ΤΑΡ, ΔΕΣΦΑ)
- Εγκαταστάσεις LNG
- Δίκτυα διανομής σε κατοικίες και βιομηχανίες
- Αγωγοί σε απομονωμένες περιοχές

Συντελεστές και μέθοδος σχεδιασμού

Ο ASME B31.8 βασίζεται σε συντηρητικούς συντελεστές ασφαλείας για να διασφαλίσει την ασφάλεια σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας. Ο βασικός τύπος σχεδιασμού ενσωματώνει:

- F (Design Factor): σχετίζεται με τη θέση του αγωγού. Για αγωγούς σε αραιοκατοικημένες περιοχές, ο F μπορεί να είναι 0.8 ή 0.72. Σε αστικές περιοχές, πέφτει στο 0.4 ή και χαμηλότερα.
- E (Longitudinal Joint Factor): εξαρτάται από τον τύπο συγκόλλησης. Για ERW ή SAW σωλήνες, $E=1.0$.
- T (Temperature Derating Factor): λαμβάνει υπόψη τις ιδιότητες του υλικού σε αυξημένες θερμοκρασίες.

Η φιλοσοφία του κανονισμού δεν βασίζεται μόνο σε θεωρητικά όρια αντοχής, αλλά και σε λειτουργικές και περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως:

- Καταστρεπτική επίδραση του περιβάλλοντος στα υλικά
- Βαθμός ελέγχου διαρροών
- Δυναμικά φορτία και σεισμικές επιδράσεις

Line Pipe και Pipeline στον ASME B31.8

Ο κανονισμός ASME B31.8 κάνει σαφή διάκριση μεταξύ των όρων 'line pipe' και 'pipeline'.

Ο όρος 'line pipe' αναφέρεται στον σωλήνα ως βιομηχανικό προϊόν, το οποίο κατασκευάζεται σύμφωνα με πρότυπα όπως ο κανονισμός API 5L και προορίζεται για χρήση σε αγωγούς φυσικού αερίου. Τα χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν:

- Μηχανικές ιδιότητες (όρια διαρροής, αντοχή, ολκιμότητα)
- Καθορισμένες διαμέτρους και πάχη
- Υψηλή ποιότητα συγκόλλησης και ελέγχου
- Συμμόρφωση με πρότυπα όπως API 5L Grade B, X42, X52, κ.λπ.

Ο όρος 'pipeline' αναφέρεται στο πλήρες σύστημα μεταφοράς φυσικού αερίου, το οποίο περιλαμβάνει:

- Τον ίδιο τον σωλήνα (line pipe)
- Εξαρτήματα και βαλβίδες
- Μόνωση, επένδυση, καθοδική προστασία
- Σταθμούς συμπίεσης και μέτρησης
- Δομές στήριξης και διατάξεις διαστολής
- Σχεδιασμό, τοποθέτηση, λειτουργία και συντήρηση

Η παρακάτω σύνοψη αποτυπώνει τη διαφορά:

- Line Pipe = Ο σωλήνας ως προϊόν κατασκευής
- Pipeline = Το πλήρες λειτουργικό σύστημα μεταφοράς

Υλικά και πρότυπα – API 5L

Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο πρότυπο κατασκευής σωλήνων (line pipe) στον ASME B31.8 είναι ο API 5L. Ο κανονισμός API 5L καθορίζει μηχανικές και χημικές ιδιότητες για χαλύβδινους σωλήνες που χρησιμοποιούνται σε αγωγούς μεταφοράς αερίου ή υγρών υδρογονανθράκων.

Κατηγορίες API 5L

Οι βασικές κατηγορίες του API 5L είναι:

- Grade B: Συμβατικός χάλυβας (ελάχιστο όριο διαρροής ≈ 241 MPa)
- X42 έως X70: Χάλυβες αυξανόμενης αντοχής (π.χ. X52 $\rightarrow 359$ MPa, X70 $\rightarrow 483$ MPa)

Η επιλογή βαθμίδας εξαρτάται από την απαιτούμενη πίεση λειτουργίας και τις συνθήκες εγκατάστασης.

Πίνακας: Ιδιότητες Βαθμίδων API 5L

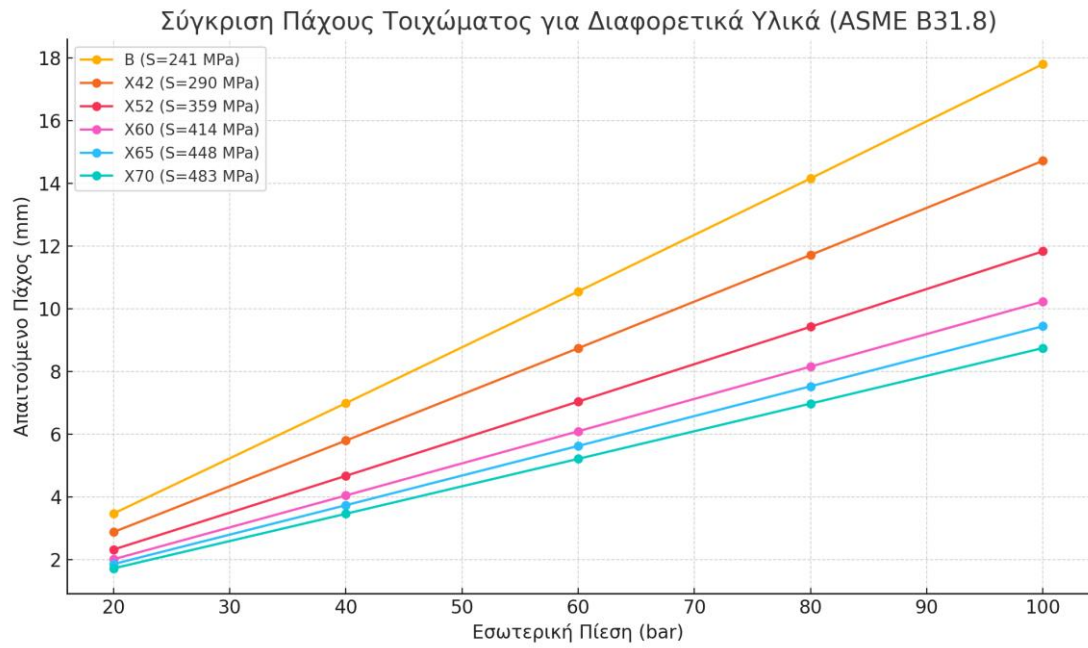
Βαθμίδα (Grade)	Ελάχιστο Όριο Διαρροής (MPa)	Ελάχιστη Αντοχή Εφελκυσμού (MPa)
B	241	415
X42	290	414
X52	359	455
X60	414	520
X65	448	531
X70	483	565

- Οι υψηλότερες βαθμίδες (X60, X65, X70) χρησιμοποιούνται σε μεγάλους διαμήκεις αγωγούς υψηλής πίεσης, όπου απαιτείται μειωμένο πάχος αλλά υψηλή μηχανική αντοχή. Ωστόσο, συνοδεύονται από αυξημένες απαιτήσεις στην ποιότητα συγκόλλησης και στους ελέγχους κατασκευής.

Διάγραμμα: Σύγκριση Υλικών – Πάχος Τοιχώματος

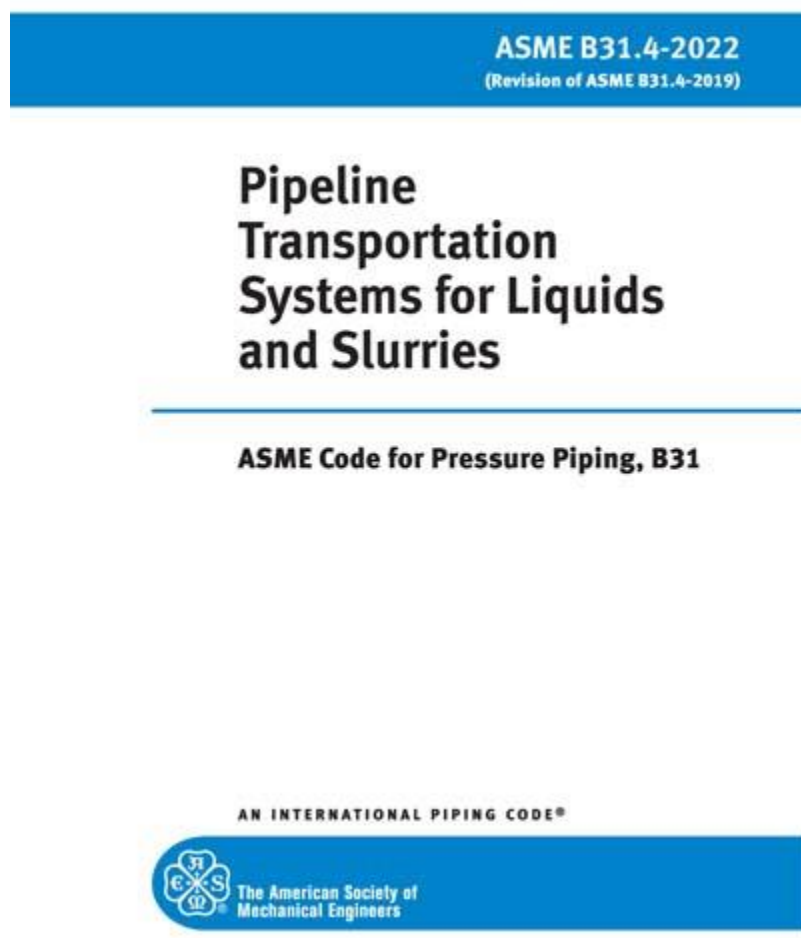
- Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε τη μεταβολή του απαιτούμενου πάχους τοιχώματος σε συνάρτηση με την εσωτερική πίεση λειτουργίας, για διαφορετικές βαθμίδες χάλυβα (Grades B, X42, X52, X60, X65, X70), σύμφωνα με τον κανονισμό ASME B31.8.

Η χρήση χάλυβα υψηλής αντοχής μειώνει αισθητά το απαιτούμενο πάχος για την ίδια πίεση, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μείωση κόστους και βάρους. (Υψηλότερη αντοχή υλικού (π.χ. X70) → μικρότερο απαιτούμενο πάχος.)



Σχεδιάγραμμα 3: Απαιτήση Πάχους Τοιχώματος για Διάφορες Ποιότητες Χάλυβα (Grade B έως X70) και Διάμετρο $D=600\text{mm}$

2.3 Κανονισμός ASME B31.4



Εικόνα 5: Εξώφυλλο Κανονισμού ASME B31.4

Γενική Περιγραφή

Ο ASME B31.4 αποτελεί μέρος του Code for Pressure Piping της ASME και αναφέρεται στα συστήματα σωληνώσεων για τη μεταφορά υγρών υδρογονανθράκων, πετρελαίου, παραγώγων πετρελαίου και άλλων μη-τοξικών ρευστών. Εφαρμόζεται σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων (pipeline systems), σε σταθμούς άντλησης, αποθήκευσης, και διανομής υγρών.

Πεδίο Εφαρμογής

Ο κανονισμός ASME B31.4 καλύπτει:

- Αγωγούς μεταφοράς υγρών πετρελαιοειδών
- Εγκαταστάσεις τελικής διανομής (terminals)
- Σταθμούς άντλησης και αποθήκευσης
- Εγκαταστάσεις καθαρισμού, διαχωρισμού, μετρητών
- Υπόγειες και υπέργειες σωληνώσεις, υποθαλάσσια τμήματα

Υπολογισμός Πάχους Τοιχώματος

Η βασική εξίσωση υπολογισμού πάχους τοιχώματος στον ASME B31.4 είναι:

$$t = (P \times D) / (2 \times S \times E \times F + P)$$

Όπου:

t = απαιτούμενο πάχος τοιχώματος

P = σχεδιαστική πίεση (design pressure)

D = εξωτερική διάμετρος σωλήνα

S = επιτρεπόμενη τάση υλικού

E = συντελεστής συγκόλλησης

F = συντελεστής σχεδιασμού (Design Factor)

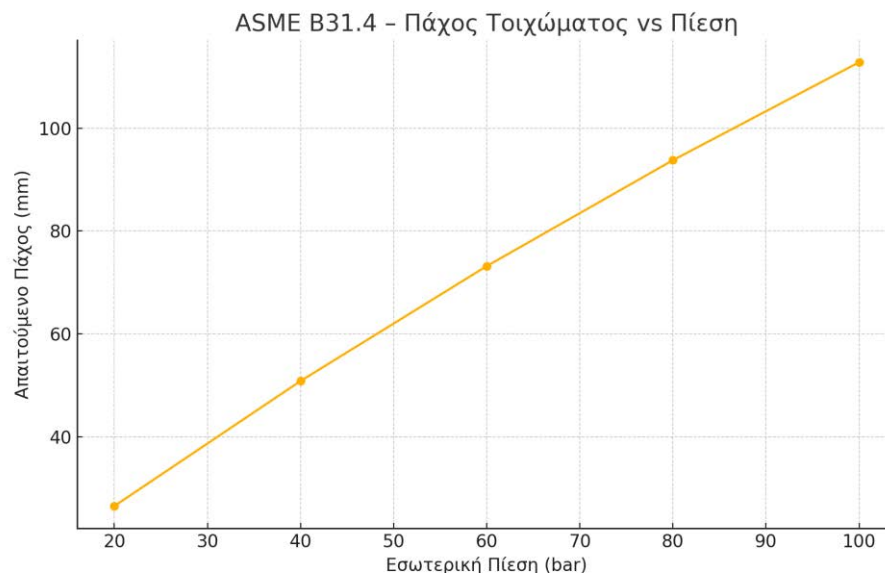
Δεν χρησιμοποιείται ο θερμικός συντελεστής T όπως στον B31.8

Παράδειγμα Υπολογισμού

Δίνεται αγωγός με D = 600 mm και P = 80 bar = 8 MPa. Υλικό: Χάλυβας με S = 300 MPa, E = 1.0, F = 0.72

$$t = (8 \times 600) / (2 \times 300 \times 1 \times 0.72 + 8) = 4800 / (432 + 8) = 4800 / 440 = 10.91 \text{ mm}$$

Διάγραμμα: Πάχος Τοιχώματος σε Συνάρτηση της Πίεσης



Σχεδιάγραμμα 4: Σχέση Πίεσης και Πάχους Τοιχώματος σύμφωνα με τον ASME B31.4

Line Pipe και Pipeline στον ASME B31.4

Στον ASME B31.4, ο όρος 'line pipe' αναφέρεται στον σωλήνα ως προϊόν κατασκευής (σύμφωνα με API 5L), ενώ 'pipeline' είναι το πλήρες σύστημα μεταφοράς, που περιλαμβάνει σωλήνες, εξαρτήματα, αντλίες, βαλβίδες, μέσα ελέγχου, βάσεις στήριξης, επενδύσεις κ.λπ.

Υλικά και Πρότυπα – API 5L

Τα περισσότερα line pipes στον ASME B31.4 κατασκευάζονται με βάση το πρότυπο API 5L, το οποίο καθορίζει τις μηχανικές ιδιότητες σωλήνων για τη μεταφορά πετρελαίου και προϊόντων του.

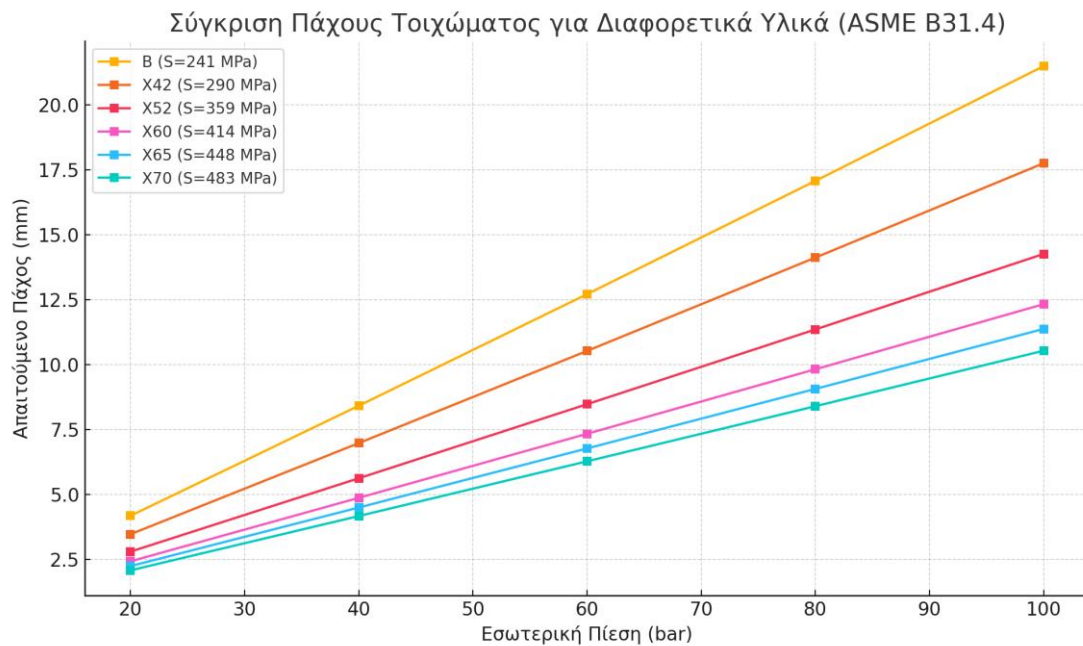
Πίνακας: Ιδιότητες Βαθμίδων API 5L

Βαθμίδα (Grade)	Ελάχιστο Όριο Διαρροής (MPa)	Ελάχιστη Αντοχή Εφελκυσμού (MPa)
B	241	415
X42	290	414
X52	359	455
X60	414	520
X65	448	531
X70	483	565

Οι σωλήνες API 5L είναι κατάλληλοι για pipelines υψηλής πίεσης και μεγάλης απόστασης, όπου απαιτείται βελτιστοποίηση πάχους, βάρους και κόστους.

Διάγραμμα: Σύγκριση Υλικών – Πάχος Τοιχώματος

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την απαίτηση σε πάχος τοιχώματος για διάφορες ποιότητες χάλυβα (Grade B έως X70), σε σχέση με την εσωτερική πίεση λειτουργίας, σύμφωνα με τον κανονισμό ASME B31.4 και διάμετρο $D = 600 \text{ mm}$. Χρησιμοποιήθηκε συντελεστής σχεδιασμού $F = 0.60$.



Σχεδιάγραμμα 5: Απαίτηση Πάχους Τοιχώματος για Διάφορες Ποιότητες Χάλυβα (Grade B έως X70) και Διάμετρο $D=600\text{mm}$

2.4 Κανονισμός EN 1594



Spanish standard
UNE EN 1594:2024
December 2007

Gas infrastructure - Pipelines for
maximum operating pressure over 16
bar - Functional requirements



Εικόνα 6: Εξώφυλλο Κανονισμού EN 1594

Γενική Περιγραφή

Ο ευρωπαϊκός κανονισμός EN 1594 αφορά τη μεταφορά φυσικού αερίου μέσω αγωγών υψηλής πίεσης με μέγιστη πίεση λειτουργίας άνω των 16 bar. Αποτελεί μέρος του ευρύτερου πλαισίου ασφάλειας και σχεδιασμού που καλύπτει την υποδομή φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Εφαρμόζεται σε συστήματα μεταφοράς, όχι σε δίκτυα διανομής.

Πεδίο Εφαρμογής

Ο κανονισμός EN 1594 καλύπτει τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τη δοκιμή, την αποδοχή και τη λειτουργία αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου, συμπεριλαμβανομένων υπόγειων και υπέργειων τμημάτων, σταθμών μέτρησης, συμπίεσης, βαλβίδων και εγκαταστάσεων απομόνωσης. Δεν καλύπτει δίκτυα διανομής (< 16 bar).

Υπολογισμός Πάχους Τοιχώματος

Η βασική εξίσωση υπολογισμού πάχους τοιχώματος σύμφωνα με τον EN 1594 είναι:

$$t = (P \times D) / (2 \times f \times e + P)$$

Όπου:

t = πάχος τοιχώματος

P = εσωτερική πίεση σχεδιασμού

D = εξωτερική διάμετρος σωλήνα

f

= επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας (συνήθως συνάρτηση της ελάχιστης αντοχής διαρροής)

e = συντελεστής σχεδιασμού (συντά 0.72 για περιοχές χαμηλού κινδύνου)

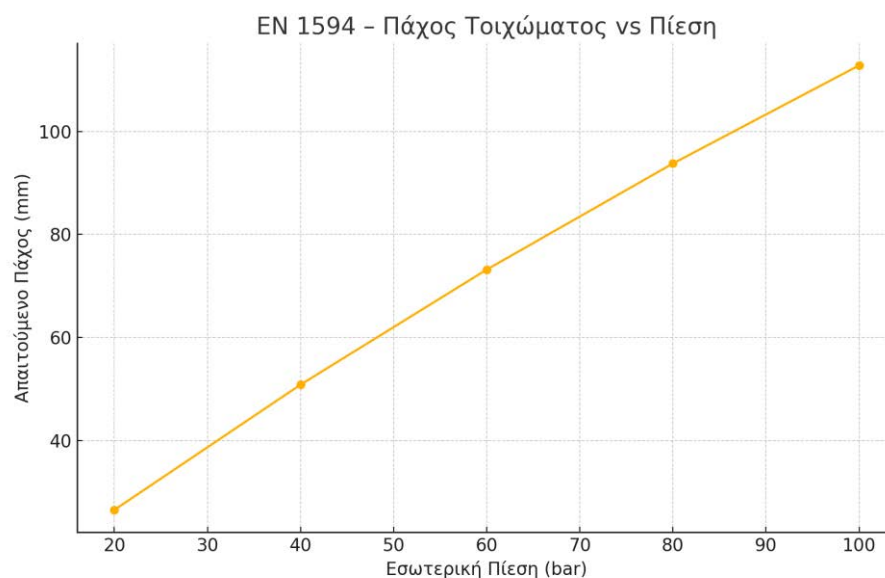
Η εξίσωση έχει παρόμοια δομή με τον ASME, αλλά διατυπώνεται με όρους ελάχιστης εγγυημένης αντοχής υλικού.

Παράδειγμα Υπολογισμού

Δίνεται: D = 600 mm, P = 80 bar = 8 MPa, f = 300 MPa, e = 0.72

$$t = (8 \times 600) / (2 \times 300 \times 0.72 + 8) = 4800 / (432 + 8) = 4800 / 440 = 10.91 \text{ mm}$$

Διάγραμμα: Πάχος Τοιχώματος σε Συνάρτηση Πίεσης (EN 1594)



Σχεδιάγραμμα 6: Πάχος Τοιχώματος ως Συνάρτηση της Εσωτερικής Πίεσης κατά EN 1594

Line Pipe και Pipeline στον EN 1594

Όπως και στους άλλους κανονισμούς, ο κανονισμός EN 1594 αναφέρεται στους σωλήνες μεταφοράς φυσικού αερίου και διακρίνει έμμεσα τον όρο 'line pipe' ως το προϊόν σωλήνα (συνήθως σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 3183), και 'pipeline' ως το ολοκληρωμένο σύστημα μεταφοράς που περιλαμβάνει σωλήνες, εξαρτήματα, συγκολλήσεις, προστασία, βάσεις στήριξης και σταθμούς.

Πρότυπο EN ISO 3183 – Υλικά και Κατηγορίες Χάλυβα

Το EN ISO 3183 είναι το πρότυπο που καθορίζει τις απαιτήσεις για χαλύβδινους σωλήνες που χρησιμοποιούνται σε αγωγούς πετρελαίου και φυσικού αερίου στον EN 1594. Οι κυριότερες κατηγορίες είναι οι L245 έως L555. Η επιλογή εξαρτάται από τις απαιτήσεις πίεσης και τις συνθήκες λειτουργίας.

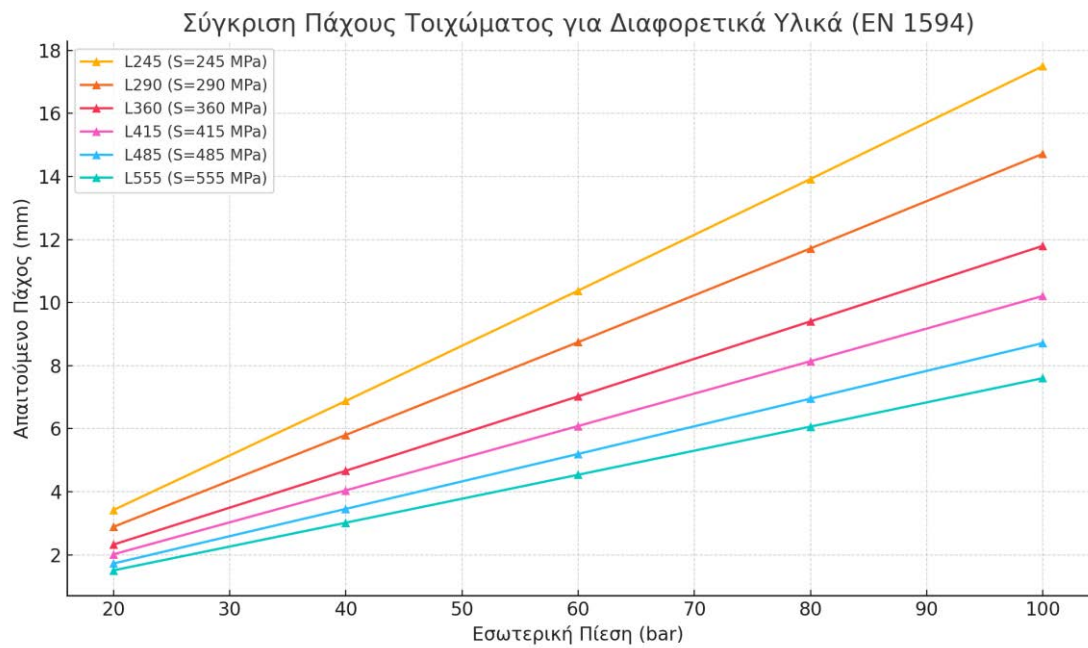
Πίνακας: Χαρακτηριστικά Υλικών κατά EN ISO 3183

Κατηγορία Χάλυβα	Min Όριο Διαρροής (MPa)	Min Αντοχή Εφελκυσμού (MPa)
L245	245	415
L290	290	415
L360	360	460
L415	415	520
L485	485	600
L555	555	625

Οι κατηγορίες χάλυβα με υψηλότερη αντοχή (L415–L555) χρησιμοποιούνται σε αγωγούς μεγάλων διαμέτρων και υψηλών πιέσεων, ενώ οι L245–L360 είναι κατάλληλες για πιο ήπιες εφαρμογές.

Διάγραμμα: Σύγκριση Υλικών – Πάχος Τοιχώματος

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε την απαίτηση σε πάχος τοιχώματος για διάφορες ποιότητες χάλυβα (Grade L245 έως L555), σε σχέση με την εσωτερική πίεση λειτουργίας, σύμφωνα με τον κανονισμό EN 1594 και διάμετρο $D = 600 \text{ mm}$. Χρησιμοποιήθηκε συντελεστής σχεδιασμού $C = 0.72$



Σχεδιάγραμμα 7: Σύγκριση Υπολογισμού Πάχους Τοιχώματος για Διαφορετικά Υλικά κατά EN 1594

2.5 Κανονισμός DNV-OS-F101



Εικόνα 7: Εξώφυλλο Κανονισμού DNV-OS_F101

Γενική Περιγραφή

Ο κανονισμός DNV-OS-F101 εκδίδεται από τον οργανισμό Det Norske Veritas (DNV) και αποτελεί διεθνές πρότυπο για τον σχεδιασμό, κατασκευή και λειτουργία υποθαλάσσιων και υπόγειων αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου. Εστιάζει κυρίως σε offshore εγκαταστάσεις, αλλά εφαρμόζεται και σε onshore συστήματα όταν απαιτείται υψηλό επίπεδο ασφάλειας.

Πεδίο Εφαρμογής

Καλύπτει:

- Σχεδιασμό υποθαλάσσιων και υπόγειων αγωγών μεταφοράς
- Υλικά, συγκολλήσεις, διαβρωτική προστασία
- Δοκιμές αντοχής και αξιολόγηση κινδύνου
- Ανάλυση αστοχίας και integrity management

Υπολογισμός Πάχους Τοιχώματος

Ο κανονισμός DNV-OS-F101 παρέχει εξίσωση για το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος τοιχώματος με βάση την εσωτερική πίεση, την εξωτερική διάμετρο και την επιτρεπόμενη τάση σχεδιασμού (design stress):

$$t = (P \times D) / (2 \times \alpha \times \sigma_d + P)$$

Όπου:

t = πάχος τοιχώματος

P = εσωτερική πίεση σχεδιασμού

D = εξωτερική διάμετρος σωλήνα

σ_d = επιτρεπόμενη τάση σχεδιασμού (συνήθως ποσοστό της SMYS)

α = safety class resistance factor (π.χ. 0.96 για safety class medium)

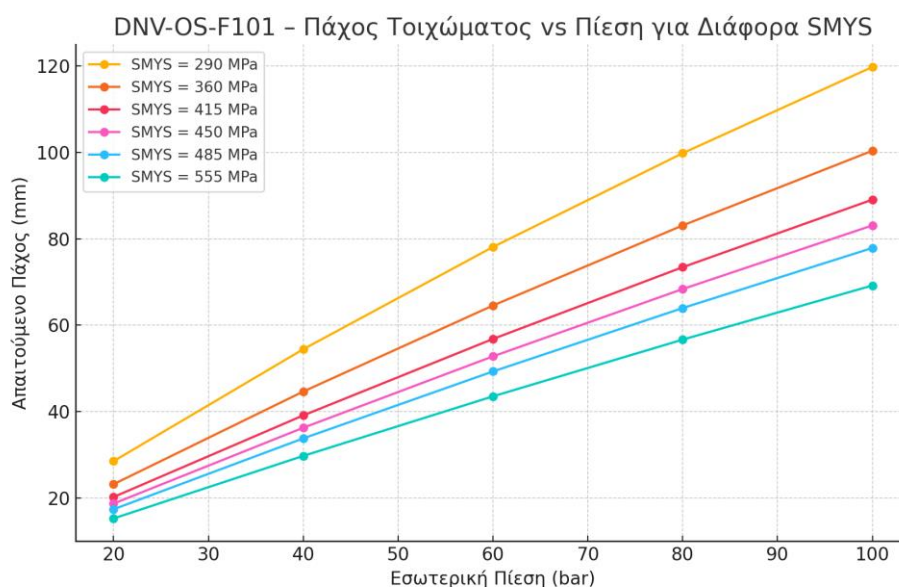
Παράδειγμα Υπολογισμού

Δίνεται: D = 600 mm, P = 8 MPa, SMYS = 450 MPa, $\sigma_d = 0.72 \times 450 = 324$ MPa, $\alpha = 0.96$

$$t = (8 \times 600) / (2 \times 0.96 \times 324 + 8) = 4800 / (622.08 + 8) = 4800 / 630.08 \approx 7.62 \text{ mm}$$

Η χρήση χαλύβων με υψηλότερο SMYS επιτρέπει μικρότερο απαιτούμενο πάχος για δεδομένη πίεση.

Διάγραμμα: Πάχος Τοιχώματος για Διάφορα SMYS (Specified Minimum Yield Strength)



Σχεδιάγραμμα 8: Επίδραση της SMYS στο Πάχος Τοιχώματος για Διάφορες Πιέσεις Λειτουργίας

Πίνακας Υλικών σύμφωνα με DNV-OS-F101 (DNV-ST-F101)

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει χαρακτηριστικές ποιότητες χάλυβα (Linerpipe Grades) σύμφωνα με το πρότυπο DNV-OS-F101 (νυν DNV-ST-F101), με αντιστοίχιση σε πρότυπα API 5L και τις ελάχιστες μηχανικές τους ιδιότητες.

Κατηγορία Χάλυβα (DNV Grade)	Αντιστοιχία API 5L	Ελάχιστο Όριο Διαρροής (SMYS) [MPa]	Ελάχιστη Αντοχή Εφελκυσμού (TS) [MPa]
415	X60	≥ 415	≥ 520
450	X65	≥ 450	≥ 535
485	X70	≥ 485	≥ 570
555	X80	≥ 555	≥ 625
625	—	≥ 625	≥ 690

Οι παραπάνω κατηγορίες χρησιμοποιούνται σε έργα μεταφοράς υδρογονανθράκων μέσω υποθαλάσσιων αγωγών και υπόκεινται σε επιπλέον απαιτήσεις αντοχής, σκληρότητας και ανθεκτικότητας σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπως ορίζεται στα Παραρτήματα του DNV-OS-F101.

Οι βαθμίδες μπορεί να αναφέρονται με το όνομα του standard π.χ. API 5L X65, αλλά πρέπει να πληρούν και τα κριτήρια του DNV

Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει παραδείγματα κατηγοριών χάλυβα σύμφωνα με το πρότυπο DNV-OS-F101, με αντιστοιχία σε πρότυπα API 5L και ενδεικτικές περιοχές εφαρμογής.

Κατηγορία	Αντιστοιχία API 5L	SMYS (MPa)	Εφαρμογή
450	X65	448–450	offshore transmission
485	X70	483–485	deep water pipeline
555	X80	552–555	ultra-deep/high pressure

2.6 Κανονισμός API 1111

Design, Construction, Operation, and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines (Limit State Design)

API RECOMMENDED PRACTICE 1111
FIFTH EDITION, SEPTEMBER 2015

REAFFIRMED, JANUARY 2021



Εικόνα 8: Εξώφυλλο Κανονισμού API 1111

Γενική Περιγραφή

Ο κανονισμός API 1111 εκδίδεται από το American Petroleum Institute και αφορά τον σχεδιασμό, την κατασκευή και την εγκατάσταση θαλάσσιων και υπόγειων αγωγών μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου. Εστιάζει κυρίως σε offshore συστήματα, αλλά εφαρμόζεται και σε υποθαλάσσια ή παράκτια δίκτυα.

Πεδίο Εφαρμογής

Ο API 1111 καλύπτει:

- Σχεδιασμό offshore αγωγών μεταφοράς υγρών ή αερίων υδρογονανθράκων
- Επιλογή υλικών, μηχανικές ιδιότητες και όρια λειτουργίας
- Εξωτερική πίεση (υδροστατική), ovality, buckling
- Δοκιμές πίεσης, προδιαγραφές εγκατάστασης και integrity management

Υπολογισμός Πάχους Τοιχώματος

Η βασική εξίσωση για τον υπολογισμό πάχους τοιχώματος λόγω εσωτερικής πίεσης στο API 1111 είναι:

$$t = (P \times D) / (2 \times S \times F + P)$$

Όπου:

t = πάχος τοιχώματος

P = σχεδιαστική πίεση

D = εξωτερική διάμετρος σωλήνα

S = επιτρεπόμενη τάση υλικού (SMYS)

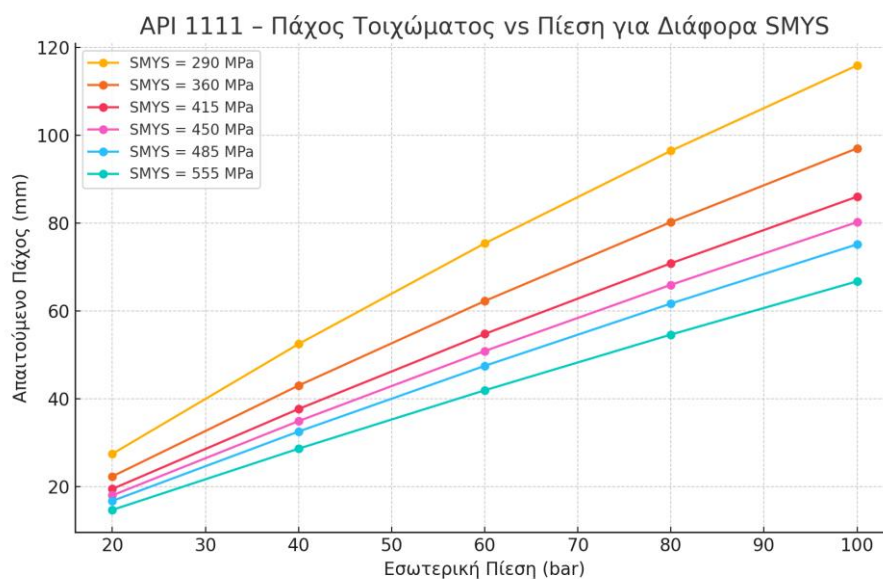
F = συντελεστής σχεδιασμού (Design factor)

Παράδειγμα Υπολογισμού

Δίνεται: D = 600 mm, P = 8 MPa, S = 450 MPa, F = 0.72

$$t = (8 \times 600) / (2 \times 450 \times 0.72 + 8) = 4800 / (648 + 8) = 4800 / 656 = 7.32 \text{ mm}$$

Διάγραμμα: Πάχος Τοιχώματος για Διάφορα SMYS



Σχεδιάγραμμα 9: Επίδραση της SMYS στο Πάχος Τοιχώματος για Διαφορετικές Πιέσεις κατά API 1111

Πίεση Λειτουργίας και Δοκιμών

Σύμφωνα με τον API 1111, κάθε αγωγός πρέπει να σχεδιάζεται με βάση μια μέγιστη πίεση λειτουργίας (MAOP) και να δοκιμάζεται με υψηλότερη πίεση για να επιβεβαιωθεί η αντοχή του

Οι βασικές πιέσεις που καθορίζονται είναι:

- Operating Pressure (OP): Κανονική πίεση λειτουργίας του αγωγού
- Maximum Allowable Operating Pressure (MAOP): Η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση συνεχούς λειτουργίας
- Test Pressure (PT): Πίεση υδροστατικής δοκιμής
- Design Pressure (PD): Πίεση σχεδιασμού για υπολογισμό πάχους

Ο API 1111 απαιτεί η δοκιμή πίεσης να είναι τουλάχιστον:

$$PT = 1.25 \times MAOP \text{ (για hydrotest)}$$

και η MAOP να περιορίζεται ώστε να διασφαλίζεται επάρκεια σχεδιασμού:

$$MAOP \leq (2 \times S \times F \times t) / (D - t)$$

όπου S είναι η SMYS, F ο design factor, t το πάχος και D η εξωτερική διάμετρος.

Πίνακας Ιδιοτήτων Υλικών – API 5L

Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται υπό τον κανονισμό API 1111 συνήθως συμμορφώνονται με το πρότυπο API 5L. Ακολουθεί πίνακας με βασικά grades και τις ελάχιστες μηχανικές τους ιδιότητες:

Grade	Min SMYS (MPa)	Min TS (MPa)
X42	290	414
X52	359	455
X60	414	520
X65	448	531
X70	483	565
X80	552	621

Line Pipe και Pipeline στον API 1111

Ο όρος 'line pipe' στο API 1111 αναφέρεται στον σωλήνα ως υλικό, κατασκευασμένο σύμφωνα με API 5L, με συγκεκριμένες μηχανικές και γεωμετρικές προδιαγραφές. Ο όρος 'pipeline' περιλαμβάνει το πλήρες σύστημα μεταφοράς, που εκτός από τους σωλήνες περιλαμβάνει βαλβίδες, φλάντζες, συγκολλήσεις, καθοδική προστασία και συστήματα μέτρησης/λειτουργίας.

2.7 Κανονισμός EN 14161



ÖNORM
EN 14161

Edition: 2011-09-01

Petroleum and natural gas industries — Pipeline transportation systems

(ISO 13623:2009 modified)

Erdöl- und Erdgasindustrie — Rohrleitungstransportsysteme
(ISO 13623:2009 modifiziert)

Industries du pétrole et du gaz naturel — Systèmes de transport par conduites
(ISO 13623:2009 modifiée)

Publisher and printing
Austrian Standards Institute/
Österreichisches Normungsinstitut (ON)
HeimstraÙe 38, 1020 Wien

Copyright © Austrian Standards Institute 2011.
All rights reserved. No part of this publication may be
reproduced or utilized in any form or by any means –
electronic, mechanical and photocopying or any other
data carrier – without prior permission!
E-Mail: publishing@as-plus.at
Internet: www.as-plus.at/nutzungsrechte

**Sale and distribution of national and foreign
standards and technical regulations via**
Austrian Standards plus GmbH
HeimstraÙe 38, 1020 Wien
E-Mail: sales@as-plus.at
Internet: www.as-plus.at
Webshop: www.as-plus.at/shop
Tel: +43 1 213 90-444
Fax: +43 1 213 90-818

ICS	75.200
Not equivalent (NEQ) Identical (IDT) with	ISO 13623:2009-08 EN 14161:2011-07
Supersedes responsible	ÖNORM EN 14161:2004-05 Committee DGT Pressure equipment

Εικόνα 9: Εξώφυλλο Κανονισμού EN 14161

Γενική Περιγραφή

Ο κανονισμός EN 14161 καθορίζει απαιτήσεις για τον σχεδιασμό, κατασκευή, εγκατάσταση και λειτουργία αγωγών μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου. Εφαρμόζεται σε συστήματα pipeline μεγάλης απόστασης, που λειτουργούν υπό πίεση, και καλύπτει τόσο χερσαίες όσο και υποθαλάσσιες εγκαταστάσεις.

Πεδίο Εφαρμογής

Ο EN 14161 εφαρμόζεται:

- Σε αγωγούς μεταφοράς υδρογονανθράκων υψηλής πίεσης
- Σε αγωγούς offshore ή onshore
- Σε εγκαταστάσεις μεταφόρτωσης, μέτρησης, συμπίεσης και αντλιών
- Σε συστήματα με πίεση λειτουργίας > 16 bar

Υπολογισμός Πάχους Τοιχώματος

Ο EN 14161 βασίζεται σε αρχές των EN 1594 και ISO 13623 και χρησιμοποιεί την εξίσωση:

$$t = (P \times D) / (2 \times f \times e + P)$$

Όπου:

t = απαιτούμενο πάχος τοιχώματος

P = σχεδιαστική πίεση (π.χ. 80 bar = 8 MPa)

D = εξωτερική διάμετρος σωλήνα

f = επιτρεπόμενη τάση υλικού (συνάρτηση SMYS)

e = συντελεστής σχεδιασμού (π.χ. 0.72 για χαμηλού κινδύνου περιοχές)

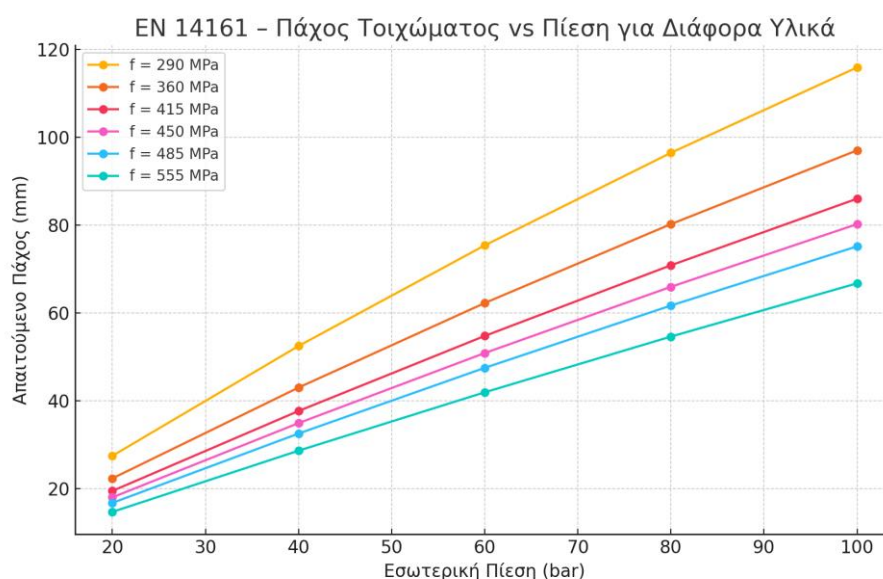
Παράδειγμα Υπολογισμού

Δίνεται: D = 600 mm, P = 8 MPa, f = 300 MPa, e = 0.72

$$t = (8 \times 600) / (2 \times 300 \times 0.72 + 8) = 4800 / 440 = 10.91 \text{ mm}$$

Διάγραμμα: Πάχος Τοιχώματος για Διάφορα Υλικά

Η αύξηση της αντοχής του υλικού μειώνει το απαιτούμενο πάχος για δεδομένη πίεση.



Σχεδιάγραμμα 10: Επίδραση της Επιτρεπόμενης Τάσης Υλικού σε Συνάρτηση με την Πίεση κατά EN 14161

Πίνακας Ιδιοτήτων Υλικών – EN ISO 3183

Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται σύμφωνα με τον κανονισμό EN 14161 πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις του ευρωπαϊκού προτύπου EN ISO 3183. Παρακάτω παρατίθενται χαρακτηριστικές ιδιότητες για τις βασικές βαθμίδες χάλυβα που χρησιμοποιούνται σε αγωγούς πετρελαίου και φυσικού αερίου:

Κατηγορία Χάλυβα	Ελάχιστο Όριο Διαρροής (SMYS) [MPa]	Ελάχιστη Αντοχή Εφελκυσμού (TS) [MPa]
L245	245	415
L290	290	415
L360	360	460
L415	415	520
L485	485	600
L555	555	625

Οι ανθεκτικότερες βαθμίδες (L415 έως L555) χρησιμοποιούνται σε υψηλής πίεσης αγωγούς μεγάλων διαμέτρων, ενώ οι βαθμίδες L245 και L290 είναι κατάλληλες για χαμηλότερες πιέσεις ή εσωτερικά δίκτυα.

Line Pipe και Pipeline στον EN 14161

Στον κανονισμό EN 14161, ο όρος 'line pipe' αναφέρεται στον χαλύβδινο σωλήνα ως βιομηχανικό προϊόν που κατασκευάζεται με βάση το πρότυπο EN ISO 3183 και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά υδρογονανθράκων.

Ο όρος 'pipeline' αναφέρεται στο πλήρες σύστημα αγωγού, το οποίο περιλαμβάνει:

Τους σωλήνες (line pipes)

Τα εξαρτήματα (φλάντζες, καμπύλες, μειωτήρες)

Συστήματα συγκόλλησης, καθοδικής προστασίας, μονώσεων

Σταθμούς ελέγχου, συμπίεσης, απομόνωσης

Στοιχεία εγκατάστασης, υποστήριξης και μέτρησης

2.8 Schedule σωλήνων

Τι είναι το Schedule;

Το Schedule (σχέδιο ή πρόγραμμα πάχους τοιχώματος σωλήνα) είναι ένας διεθνώς αναγνωρισμένο μέτρο-κριτήριο που καθορίζει το πάχος τοιχώματος ενός σωλήνα για μια συγκεκριμένη ονομαστική διάμετρο (Nominal Pipe Size - NPS).

- Ουσιαστικά, το Schedule εκφράζει το πάχος του σωλήνα με αριθμητική τιμή.
- Όσο μεγαλύτερο το Schedule, τόσο παχύτερο το τοίχωμα του σωλήνα.

Συχνά χρησιμοποιούμενα Schedule

Schedule	Περιγραφή	Χρήση
SCH 5S	Πολύ λεπτό τοίχωμα	Ελαφριές εφαρμογές
SCH 10S	Λεπτό τοίχωμα	Χημικές εφαρμογές
SCH 20	Λεπτό τοίχωμα	Ελαφριές βιομηχανικές
SCH 40	Κανονικό πάχος (Standard)	Πολύ διαδεδομένο
SCH 80	Ενισχυμένο πάχος	Υψηλές πιέσεις
SCH 120	Πολύ ενισχυμένο	Ειδικές εφαρμογές
SCH 160	Πάρα πολύ ενισχυμένο	Πολύ υψηλές πιέσεις

Πώς σχετίζεται το Schedule με το πάχος τοιχώματος;

Για κάθε ονομαστική διάμετρο σωλήνα (NPS), το πάχος τοιχώματος αυξάνεται όσο αυξάνεται το Schedule.

Αριθμητικά Παραδείγματα Επιλογή Schedule

Παράδειγμα 1: Σωλήνας 8" υπό 50 bar

Δεδομένα:

- Ονομαστική διάμετρος: 8 inch = 203.2 mm — NPS 8
- Εξωτερική διάμετρος D_o : 219.1 mm = 0.2191 m — Τυπική για Schedule 40
- Εσωτερική διάμετρος D_i : 203.2 mm = 0.2032 m — $D_i = D_o - 2 \times t$ (θα υπολογιστεί)
- Πίεση λειτουργίας P : 50 bar = 5,000,000 Pa —
- Επιτρεπτή τάση S / f : 415 MPa = 415,000,000 Pa — Υλικό X52
- Παράγοντας συγκόλλησης E / η : 0.85 —
- Παράγοντας μείωσης τάσης Y : 0.4 — Από ASME B31.3

Υπολογισμένο πάχος:

- ASME B31.3: ~1.54 mm
- EN 13480-3: ~1.44 mm

Τυπικά πάχη Schedule για NPS 8 (8 inch):

Schedule	Πάχος (mm)
Sch 10	3.73
Sch 20	5.16
Sch 40	8.18
Sch 80	11.13

Συμπέρασμα:

- Το υπολογισμένο πάχος (~1.5 mm) είναι πολύ μικρότερο από το Schedule 10 (3.73 mm).
- Άρα το ελάχιστο πρακτικό Schedule είναι Sch 10 ή μεγαλύτερο.
- Για ασφάλεια, συνήθως επιλέγεται Sch 40 (8.18 mm) ή ακόμα και Sch 80, ανάλογα με τις απαιτήσεις.

Παράδειγμα 2: Σωλήνας 4" υπό 80 bar

Δεδομένα:

- Ονομαστική διάμετρος: 4 inch = 101.6 mm — NPS 4
- Εξωτερική διάμετρος D_o : 114.3 mm = 0.1143 m — Τυπική για Schedule 40
- Εσωτερική διάμετρος D_i : 101.6 mm = 0.1016 m — $D_i = D_o - 2 \times t$ (θα υπολογιστεί)
- Πίεση λειτουργίας P : 80 bar = 8,000,000 Pa —
- Επιτρεπτή τάση S / f : 415 MPa = 415,000,000 Pa — Υλικό X52
- Παράγοντας συγκόλλησης E / η : 0.85 —
- Παράγοντας μείωσης τάσης Y : 0.4 — Από ASME B31.3

Υπολογισμένο πάχος:

- ASME B31.3: ~1.28 mm
- EN 13480-3: ~1.14 mm

Τυπικά πάχη Schedule για NPS 4:

Schedule	Πάχος (mm)
Sch 10	2.77
Sch 20	3.38
Sch 40	6.35
Sch 80	8.74

Συμπέρασμα:

- Το υπολογισμένο πάχος (~1.2 mm) είναι πολύ μικρότερο από το Sch 10 (2.77 mm).
- Άρα το ελάχιστο πρακτικό Schedule είναι Sch 10 ή μεγαλύτερο.
- Για ασφαλέστερη λειτουργία, επιλέγεται τουλάχιστον Sch 40 (6.35 mm).

Γενικά

- Οι υπολογισμοί δίνουν το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος για τη δομική αντοχή υπό πίεση.
- Στην πράξη, επιλέγουμε τύπους Schedule με μεγαλύτερο πάχος που καλύπτουν και άλλες ανάγκες (διάβρωση, μηχανική καταπόνηση, κ.ά.).
- Τα πάχη Schedule βρίσκονται σε επίσημες πίνακες (ASME B36.10M ή άλλα πρότυπα).
- Τα elbows, tees, reducers και γενικά τα σωληνοειδή εξαρτήματα (pipe fittings), όπως προβλέπονται στους κανονισμούς (ASME, EN κ.λπ.), σχεδιάζονται ώστε να είναι συμβατά με το Schedule του σωλήνα στον οποίο θα συγκολληθούν ή συναρμολογηθούν.

Σχέση Schedule και Fittings (Elbows, Tees κ.λπ.)



Εικόνα 10: Διαφορα Fittings

Τα εξαρτήματα κατασκευάζονται σε standard wall thicknesses, που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα Schedules σύμφωνα με τον ASME B16.9 (Wrought Fittings), έτσι ώστε το πάχος του τοιχώματός τους στο σημείο συγκόλλησης (butt weld), να ταιριάζει με το πάχος του σωλήνα.

- 1. Elbows 90° ή 45°:

Κατασκευάζονται με ακτίνα short radius (SR) ή long radius (LR).

Το Schedule επηρεάζει το πάχος και τη μάζα του εξαρτήματος.

- 2. Tees:

Κανονικά tees έχουν το ίδιο Schedule με τον σωλήνα.

Αν χρειάζεται ενίσχυση στον κλάδο, επιλέγεται reinforced ή unequal tee.

- 3. Reducers:

Συμβατοί με δύο διαμέτρους διαφορετικών Schedules.

Π.χ. Sch 40 x Sch 80.

Πρακτικά:

- Ταιριάζουν σε διάμετρο (NPS).
- Ταιριάζουν σε Schedule (ίδιο πάχος στα άκρα με τον σωλήνα).
- Αν έχεις σωλήνα NPS 4, Sch 80 → θα πάρεις NPS 4, Sch 80 Elbow.

butt-weld-joint-configuration-single-v-groove-will-be-preparation-bevel-end-angle



Εικόνα 11: Ευθυγράμμιση Σωλήνων Πριν την Κοληση

Διαστάσεις και Βάρη Elbows (90° Long Radius)

Elbow Bent Steeply Curved Shutterstock



Εικόνα 12: Elbows 90*

NPS	OD (mm)	Sch 40 (mm)	Sch 80 (mm)	Sch 160 (mm)	Βάρος (kg)
1/2	21.3	2.77	3.73	4.78	0.08
3/4	26.7	3.38	4.55	5.56	0.10
1	33.4	4.55	5.56	6.35	0.13
1 1/4	42.2	5.16	6.35	7.14	0.18
1 1/2	48.3	5.79	7.14	8.13	0.22
2	60.3	6.35	8.18	9.53	0.27
2 1/2	73.0	7.62	9.53	11.13	0.35
3	88.9	9.53	11.13	12.70	0.45
4	114.3	11.13	13.49	15.24	0.68
5	141.3	13.49	16.13	18.13	0.90
6	168.3	15.24	18.13	20.32	1.13
8	219.1	19.05	22.23	25.40	1.80
10	273.1	22.23	25.40	28.58	2.70
12	323.9	25.40	28.58	31.75	3.60

Πηγή: Rajdhan Metal

Διαστάσεις και Βάρη Tees (Straight Equal)

Tees (Straight Equal) Shutterstock

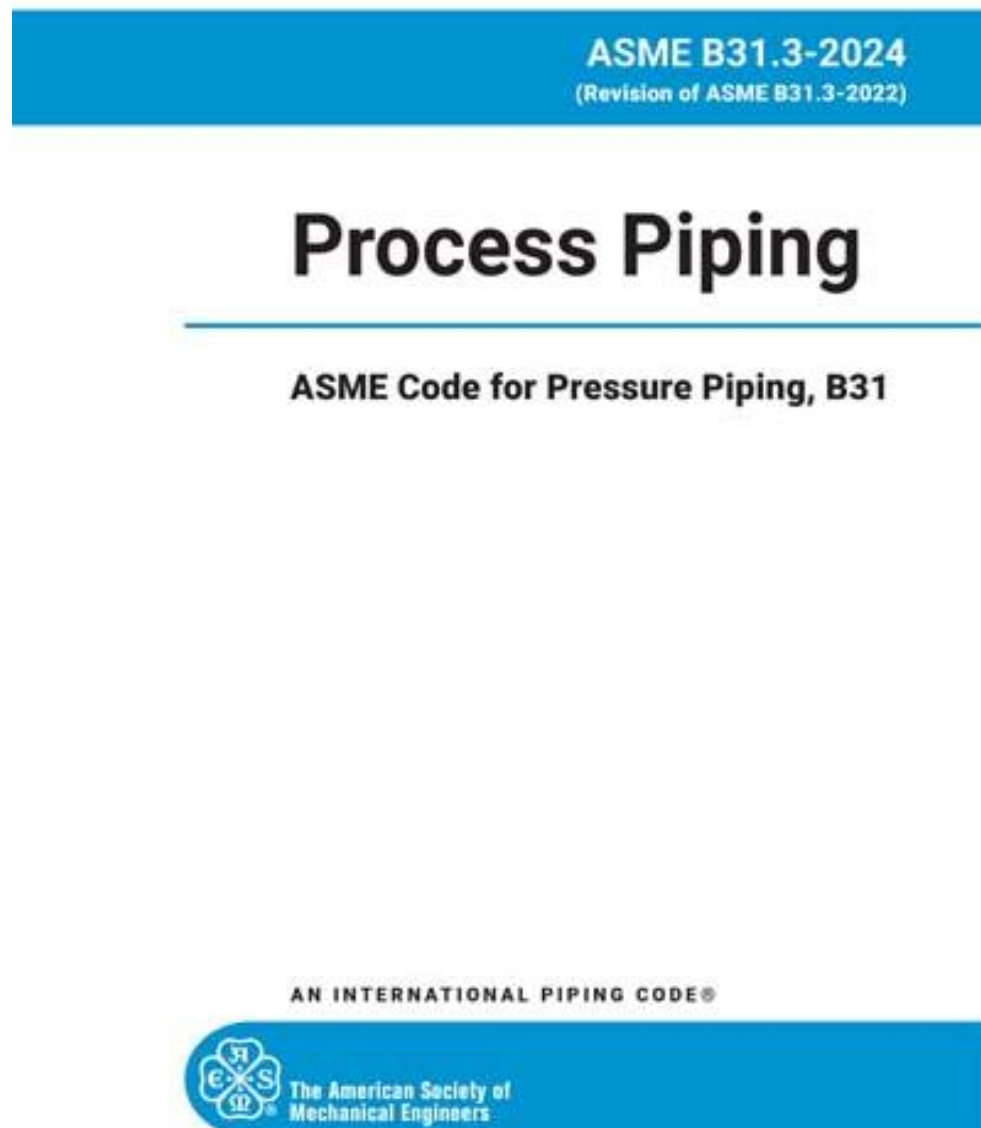


Εικόνα 13: Tees

NPS	OD (mm)	Sch 40 (mm)	Sch 80 (mm)	Sch 160 (mm)	Βάρος (kg)
1/2	21.3	2.77	3.73	4.78	0.08
3/4	26.7	3.38	4.55	5.56	0.10
1	33.4	4.55	5.56	6.35	0.13
1 1/4	42.2	5.16	6.35	7.14	0.18
1 1/2	48.3	5.79	7.14	8.13	0.22
2	60.3	6.35	8.18	9.53	0.27
2 1/2	73.0	7.62	9.53	11.13	0.35
3	88.9	9.53	11.13	12.70	0.45
4	114.3	11.13	13.49	15.24	0.68
5	141.3	13.49	16.13	18.13	0.90
6	168.3	15.24	18.13	20.32	1.13
8	219.1	19.05	22.23	25.40	1.80
10	273.1	22.23	25.40	28.58	2.70
12	323.9	25.40	28.58	31.75	3.60

Πηγή: Emirerristeel

2.9 Κανονισμός ASME B31.3 – Process Piping



Εικόνα 14: Εξώφυλλο Κανονισμού ASME B31.3

Γενική Περιγραφή

Ο κανονισμός ASME B31.3 εφαρμόζεται στον σχεδιασμό, κατασκευή και επιθεώρηση βιομηχανικών σωληνώσεων που χρησιμοποιούνται σε χημικά εργοστάσια, διυλιστήρια, μονάδες επεξεργασίας φυσικού αερίου και φαρμακοβιομηχανίες. Προβλέπει υψηλότερα επίπεδα μηχανικής ευκαμψίας και ελέγχου κόπωσης.

Υπολογισμός Πάχους Λόγω Πίεσης

Η εξίσωση υπολογισμού πάχους τοιχώματος είναι:

$$t = (P \times D) / (2 \times S \times E + P \times Y)$$

Όπου:

t = πάχος τοιχώματος

P = σχεδιαστική πίεση

D = εξωτερική διάμετρος

S = επιτρεπόμενη τάση υλικού

E = συντελεστής ποιότητας συγκόλλησης (0.85 – 1.0)

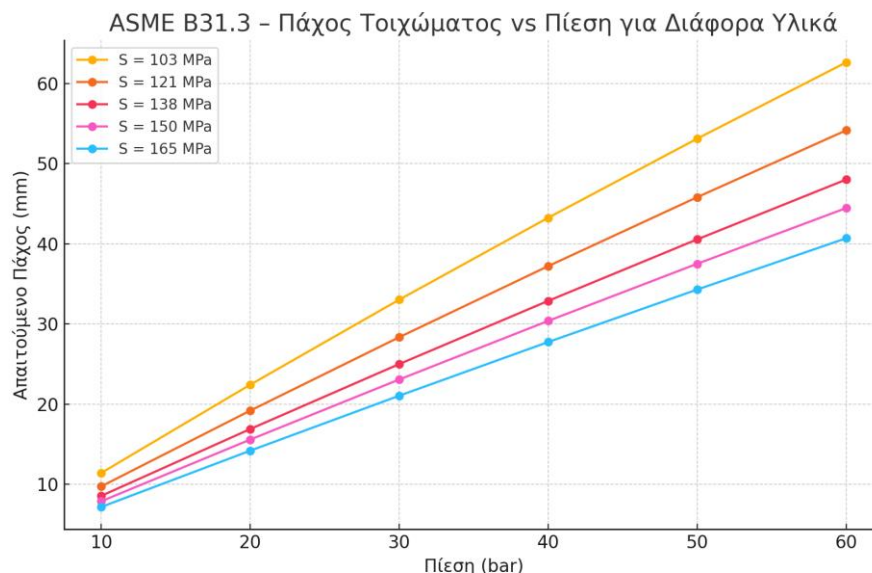
Y = συντελεστής (0.4 για λεπτά τοιχώματα)

Παράδειγμα Υπολογισμού (Φ240 mm, 50 bar)

Δεδομένα:

- D = 240 mm
- P = 50 bar = 5 MPa
- S = 138 MPa (SA-106 Gr. B στους 300°C)
- E = 1.0
- Y = 0.4

$$t = (5 \times 240) / (2 \times 138 \times 1.0 + 5 \times 0.4) = 1200 / (276 + 2) = 1200 / 278 = 4.32 \text{ mm}$$



Σχεδιάγραμμα 11: Επίδραση της Επιτρεπόμενης Τάσης στην Απαιτήση Πάχους Τοιχώματος σε Σχέση με την Πίεση κατά ASME B31.3

Πίνακας Ιδιοτήτων Υλικών – ASME Section II

Ακολουθούν χαρακτηριστικές επιτρεπόμενες τάσεις (S) για υλικά σύμφωνα με ASME Section II, Part D, σε θερμοκρασία 300°C:

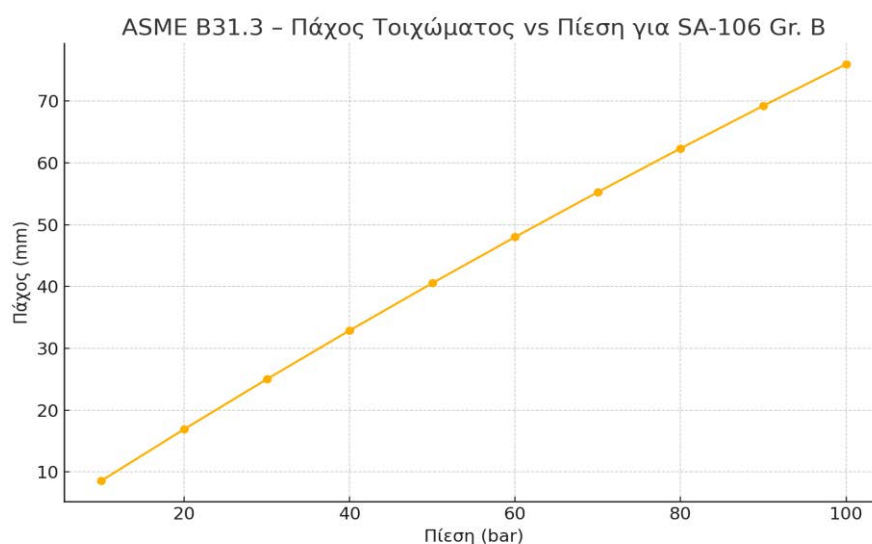
Υλικό	Επιτρεπόμενη Τάση (S) [MPa]	Θερμοκρασία Αναφοράς [°C]
SA-106 Gr. B	138	300
SA-106 Gr. C	150	300
SA-335 P11	121	300
SA-335 P22	138	300
TP304 (Inox)	103	300
TP316 (Inox)	103	300

Σε θερμοκρασία 30°C:

Υλικό	Επιτρεπόμενη Τάση (S) [MPa]	Θερμοκρασία Αναφοράς [°C]
SA-106 Gr. B	160	30
SA-106 Gr. C	170	30
SA-335 P11	138	30
SA-335 P22	151	30
TP304 (Inox)	138	30
TP316 (Inox)	138	30

Διάγραμμα Πίεσης – Πάχους (SA-106 Gr. B)

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει πώς μεταβάλλεται το απαιτούμενο πάχος σε συνάρτηση με την πίεση για $S = 138$ MPa:



Σχεδιάγραμμα 12: Σχέση Πάχους Τοιχώματος και Πίεσης για Υλικό SA-106 Gr. B κατά ASME B31.3

ASME B31.3: Σχέση Πάχους Τοιχώματος και Πίεσης για Υλικό SA-106 Gr. B

Αναφορά στα Schedule (SCH)

Όπως και στον ASME B31.1, ο ASME B31.3 επιτρέπει τη χρήση τυποποιημένων πάχους σωλήνων σύμφωνα με τα Schedule που ορίζονται στο πρότυπο ASME B36.10M. Τα Schedule αφορούν τη συσχέτιση ονομαστικής διαμέτρου και πάχους τοιχώματος.

Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες είναι:

- SCH 40 (Standard)
- SCH 80 (Extra Strong)
- SCH 160 (Heavy Wall)

Για παράδειγμα, για σωλήνα NPS 10 (εξωτερική διάμετρος ≈ 273 mm):

- SCH 40: 7.11 mm
- SCH 80: 11.13 mm
- SCH 160: 20.24 mm

Κύριοι Μηχανισμοί Αστοχίας

Οι βιομηχανικές σωληνώσεις σύμφωνα με ASME B31.3 μπορούν να υποστούν τις εξής αστοχίες:

Ρήξη λόγω πίεσης (Burst): Εάν το πάχος είναι ανεπαρκές για την πίεση λειτουργίας.

Κόπωση από παλμούς πίεσης (Pressure cycling): Επαναλαμβανόμενη φόρτιση προκαλεί μικρορωγμές.

Ερπυσμός (Creep): Λόγω παρατεταμένης έκθεσης σε υψηλή θερμοκρασία.

Δονήσεις και λύγισμα (Vibration, Buckling): Από ανεπαρκή στήριξη ή παλμικές φορτίσεις.

Αστοχίες συγκολλήσεων: Αστοχίες σε περιοχές θερμικής επηρεασμένης ζώνης (HAZ).



Εικόνα 15: Pipe Rupture



Εικόνα 16:Cracking in Heat Affected Zone (HAZ) Are

2.10 Κανονισμός EN 13480-3 – Βιομηχανικές Μεταλλικές Σωληνώσεις

BS EN 13480-3:2017+A4:2021



Metallic industrial piping

Part 3: Design and calculation



Εικόνα 17: Εξώφυλλο Κανονισμού EN 13480-3

Γενική Περιγραφή

Ο κανονισμός EN 13480-3 αποτελεί μέρος της ευρωπαϊκής οδηγίας για τις βιομηχανικές σωληνώσεις υπό πίεση (Pressure Equipment Directive – PED). Καθορίζει τις απαιτήσεις του σχεδιασμού για μεταλλικές σωληνώσεις που λειτουργούν σε πίεση, περιλαμβάνοντας κριτήρια θερμοκρασίας, αντοχής και διαστάσεις κατασκευής.

Υπολογισμός Πάχους Τοιχώματος

Η εξίσωση για ευθύγραμμες σωληνώσεις κυκλικής διατομής υπό εσωτερική πίεση (EN 13480-3, Παράγραφος 8.2) είναι:

$$e = (P \times D) / (2 \times f \times c + P)$$

Όπου:

e = υπολογιστικό πάχος τοιχώματος

P = πίεση σχεδιασμού

D = εξωτερική διάμετρος σωλήνα

f = επιτρεπόμενη τάση υλικού (σύμφωνα με Annex G)

c = συντελεστής συγκόλλησης (συνήθως 1.0 για πλήρεις διεισδύσεις)

Παράδειγμα Υπολογισμού για Φ240 mm, 50 bar

Δεδομένα:

- D = 240 mm

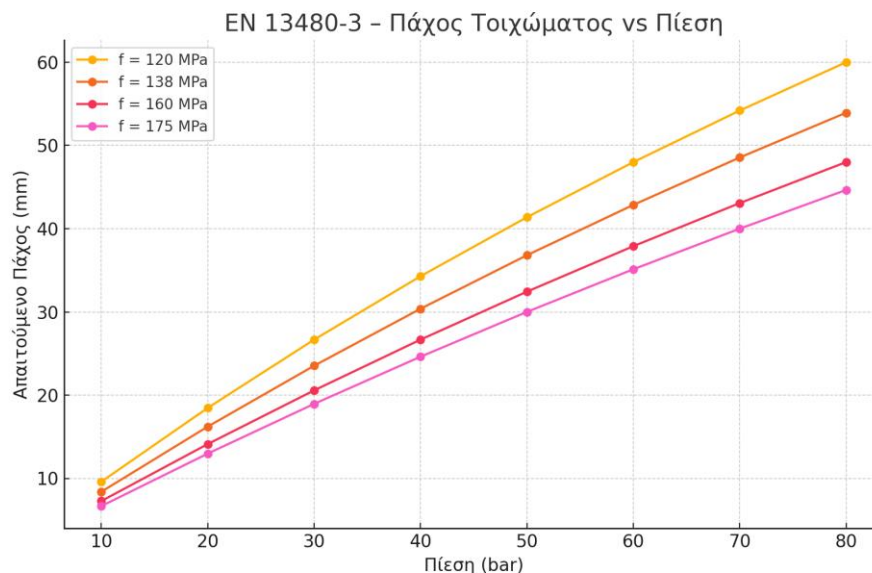
- P = 50 bar = 5 MPa

- f = 138 MPa (π.χ. P235GH)

- c = 1.0

$$e = (5 \times 240) / (2 \times 138 \times 1.0 + 5) = 1200 / (276 + 5) = 1200 / 281 = 4.27 \text{ mm}$$

Διάγραμμα Πίεσης – Πάχους



Σχεδιάγραμμα 13: Σχέση Πάχους Τοιχώματος και Πίεσης για Διάφορες Επιτρεπόμενες Τάσεις

κατά EN 13480-3

Πίνακας Ιδιοτήτων Υλικών – Annex G EN 13480-3

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές επιτρεπόμενης τάσης σχεδιασμού (f) για κοινά χρησιμοποιούμενα υλικά σύμφωνα με το Annex G του EN 13480-3, για θερμοκρασία 300°C:

Υλικό	Επιτρεπόμενη Τάση (f) [MPa]	Θερμοκρασία Αναφοράς [°C]
P235GH	138	300
16Mo3	150	300
13CrMo4-5	160	300
X10CrMoVNb9-1	175	300
X5CrNi18-10 (304)	110	300
X2CrNiMo17-12-2 (316L)	115	300

Και για θερμοκρασία 30°C

Υλικό	Επιτρεπόμενη Τάση (f) [MPa]	Θερμοκρασία Αναφοράς [°C]
P235GH	195	30
16Mo3	228	30
13CrMo4-5	235	30
X10CrMoVNb9-1	240	30
X5CrNi18-10 (304)	175	30
X2CrNiMo17-12-2 (316L)	185	30

Τυποποιημένα Πάχη – Schedule και EN Διαστάσεις

Ο κανονισμός EN 13480-3 επιτρέπει τη χρήση προκαθορισμένων διατομών σωλήνων σύμφωνα με πρότυπα διαστάσεων όπως το EN 10220. Αντί των Schedule που χρησιμοποιούνται στο ASME (π.χ. SCH 40, 80, 160), στην Ευρώπη χρησιμοποιούνται σειρές με:

- Ονομαστική Διάμετρο (DN)
- Εξωτερική Διάμετρο (OD)
- Πάχος Τοιχώματος (e)

Οι πίνακες στο EN 10220 παρέχουν συνδυασμούς OD και e για κάθε DN. Ωστόσο, για διεθνή έργα ή διαλειτουργικότητα με ASME, χρησιμοποιούνται συχνά και SCH διατομές.

Παράδειγμα για σωλήνα DN 250 (OD = 273 mm):

- Πάχος EN: 5.6 mm, 8.0 mm, 10.0 mm, 12.5 mm (κ.ά.)
- SCH 40 (ASME): 7.11 mm
- SCH 80: 11.13 mm
- SCH 160: 20.24 mm

Συνεπώς, η επιλογή της διατομής μπορεί να γίνει είτε:

- Με βάση το υπολογισμένο πάχος e
- Από EN 10220 πίνακες (EN pipes)
- Ή με αντιστοίχιση σε ASME Schedules εάν απαιτείται

Μηχανισμοί Αστοχίας σε Συστήματα EN 13480-3

Οι πιο συχνοί μηχανισμοί αστοχίας για σωληνώσεις σχεδιασμένες με βάση τον EN 13480-3 περιλαμβάνουν:

Ρήξη λόγω Υπέρβασης Πίεσης (Burst): Συμβαίνει όταν η πίεση λειτουργίας υπερβεί το όριο σχεδιασμού και η αντοχή του τοιχώματος είναι ανεπαρκής.

Κόπωση (Fatigue): Προκαλείται από εναλλασσόμενες φορτίσεις ή θερμοκρασιακές μεταβολές που οδηγούν σε μικρορωγμές και εν τέλει σε αστοχία.

Ερπυσμός (Creep): Συμβαίνει σε υψηλές θερμοκρασίες και διαρκή φόρτιση, οδηγώντας σε σταδιακή παραμόρφωση.

Λύγισμα και Σύνθλιψη (Buckling / Collapse): Εμφανίζεται συνήθως σε λεπτότοιχες σωληνώσεις με εξωτερική πίεση ή ανεπαρκή στήριξη.

Αστοχία Συγκόλλησης: Περιλαμβάνει ρωγμές, πόρους ή αποκόλληση στις συγκολλημένες ενώσεις, ειδικά σε θέσεις θερμικά επηρεασμένες (HAZ).

Η πρόληψη αυτών των φαινομένων επιτυγχάνεται μέσω:

- Ορθής επιλογής υλικού και πάχους

- Σωστής τεχνικής συγκόλλησης

- Επιθεώρησης (NDT)

- Εφαρμογής κατάλληλων διαστολικών και στηρίξεων

- Ελέγχου πίεσης λειτουργίας και θερμοκρασίας

Τρόποι Αντιμετώπισης Μηχανισμών Αστοχίας

Για την αποφυγή των πιο συχνών μορφών αστοχίας σε βιομηχανικές σωληνώσεις υπό πίεση, προτείνονται τα εξής μέτρα:

Έλεγχος πίεσης λειτουργίας: Διαστασιολόγηση με συντελεστές ασφαλείας και χρήση βαλβίδων ανακούφισης.

Χρήση κατάλληλου υλικού: Επιλογή υλικών με επαρκή επιτρεπόμενη τάση (f), αντοχή σε ερπυσμό και κόπωση.

Επαρκές πάχος σωλήνα: Βασισμένο στον υπολογισμό σύμφωνα με EN 13480-3 και λαμβάνοντας υπόψη διάβρωση.

Καλή συγκόλληση και έλεγχος (WPS/PQR/NDT): Διασφάλιση ποιότητας μέσω διαδικασιών συγκόλλησης και ανιχνευτικών ελέγχων (π.χ. RT, UT).

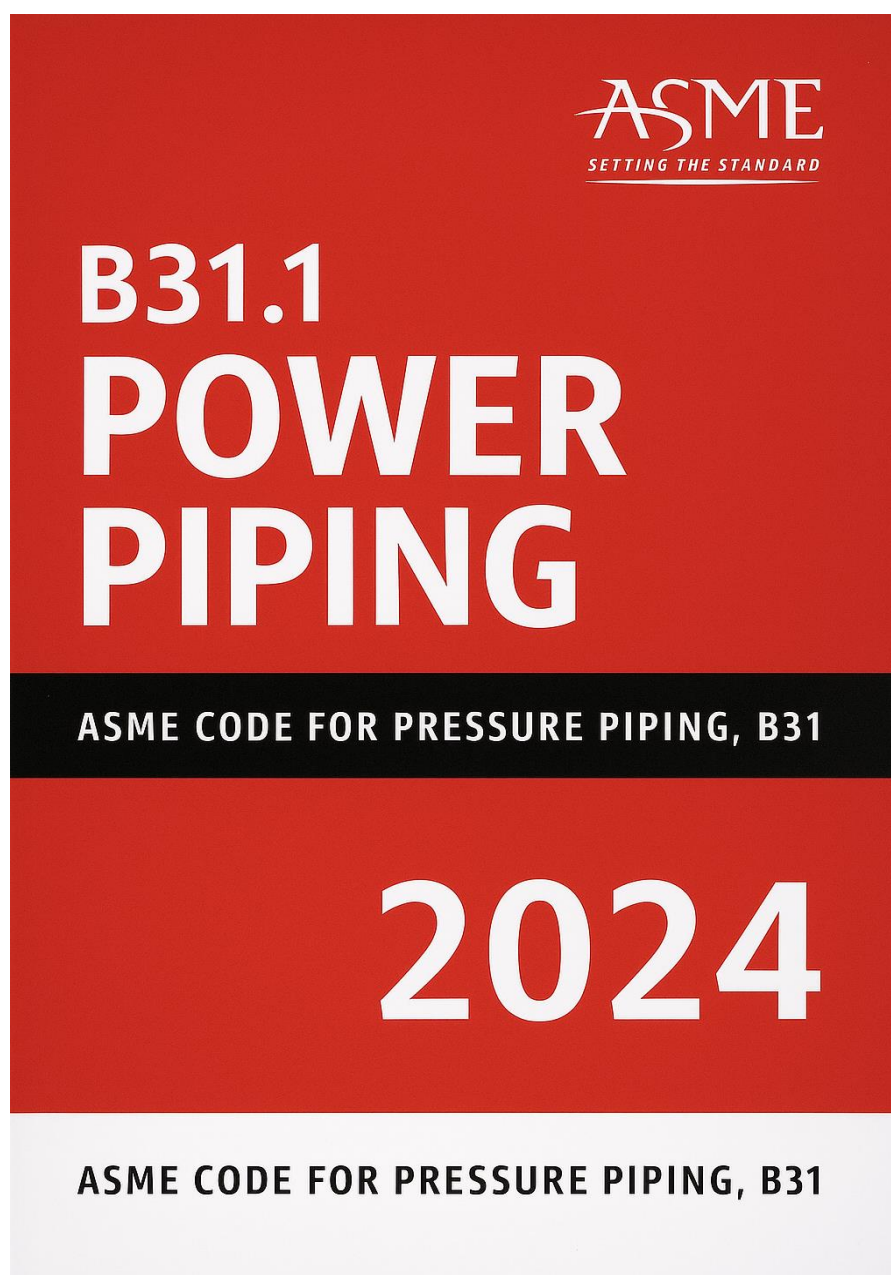
Υπολογισμός ευκαμψίας και στηρίξεων: Αποφυγή λυγισμού μέσω ευκαμψίας συστήματος και επαρκών στηριγμάτων.

Κατάλληλη θερμομονωτική προστασία: Για σταθεροποίηση θερμοκρασίας και μείωση θερμικών καταπονήσεων.

Σχεδιασμός για θερμική διαστολή: Χρήση εύκαμπτων συνδέσεων, διαστολικών και αγκυρώσεων.

Η εφαρμογή αυτών των μέτρων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του EN 13480-3 και της Οδηγίας PED, συμβάλλει σημαντικά στην ασφάλεια και μακροχρόνια ανθεκτικότητα του συστήματος σωληνώσεων

2.11 ASME B31.1 – Power Piping



Εικόνα 18: Εξώφυλλο Κανονισμού ASME B31

Γενική Περιγραφή

Ο κανονισμός ASME B31.1 – Power Piping αποτελεί μέρος της οικογένειας ASME B31 και καλύπτει τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τις δοκιμές, την επιθεώρηση και τη συντήρηση σωληνώσεων ισχύος. Εφαρμόζεται κυρίως σε συστήματα που χρησιμοποιούνται σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, μονάδες θέρμανσης και ψύξης, και άλλες ενεργειακές υποδομές.

Η πιο πρόσφατη έκδοση του κανονισμού είναι η ASME B31.1-2024 και περιλαμβάνει σημαντικές τροποποιήσεις και επικαιροποιήσεις, όπως:

- Εισαγωγή νέων ορισμών και παραμέτρων σχεδιασμού
- Αναθεώρηση μεθόδων υπολογισμού φορτίων (σεισμικών, θερμικών, εξωτερικών)
- Ενημέρωση στα παραρτήματα (Appendix Q & R)
- Διευκρινίσεις για δοκιμές πίεσης και ελέγχους

Ο κανονισμός αυτός είναι πιο συντηρητικός σε σχέση με τον ASME B31.3 (Process Piping), δίνοντας έμφαση στην ασφάλεια και την αξιοπιστία σε περιβάλλοντα με υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες.

Οι βασικές αρχές περιλαμβάνουν:

- Επιλογή κατάλληλων υλικών με βάση την πίεση και θερμοκρασία λειτουργίας
- Καθορισμό επιτρεπόμενων τάσεων και πάχους τοιχώματος με βάση συντελεστές ασφαλείας
- Κατευθυντήριες γραμμές για συγκολλήσεις, στηρίγματα και διαστολικές κινήσεις
- Αναγκαίους ελέγχους (NDT), υδραυλικές ή πνευματικές δοκιμές και επιθεώρηση

Ο ASME B31.1 παραμένει κρίσιμος κανονισμός για την ασφάλεια και τη συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα σε βιομηχανικές και ενεργειακές εφαρμογές.

Πεδίο Εφαρμογής

Ο κανονισμός ASME B31.1 – Power Piping εφαρμόζεται σε σωληνώσεις που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ατμού, νερού, λαδιού, αερίων και άλλων ρευστών σε ενεργειακές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Το πεδίο εφαρμογής του περιλαμβάνει:

- Σωληνώσεις υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. σταθμούς ατμοηλεκτρικούς, υδροηλεκτρικούς, πυρηνικούς).
- Συστήματα σωληνώσεων ατμού και θερμού νερού σε βιομηχανικά συγκροτήματα, εγκαταστάσεις θέρμανσης ή μονάδες ψύξης.
- Συστήματα που συνδέονται με λέβητες (boilers) και εξοπλισμό υψηλών θερμοκρασιών. Δίκτυα σωληνώσεων για εσωτερική ή εξωτερική διανομή ατμού, συμπυκνωμάτων, καυσίμων ή άλλων λειτουργικών ρευστών.
- Συστήματα συμπιεσμένων αερίων που λειτουργούν υπό υψηλή πίεση.
- Σωληνώσεις που σχετίζονται με τουρμπίνες, αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας και άλλο κρίσιμο εξοπλισμό μονάδων ισχύος.

Εξαιρούνται από την εφαρμογή του B31.1 οι σωληνώσεις διεργασιών (που υπάγονται στον B31.3), οι σωληνώσεις οικιακής χρήσης και μικρής κλίμακας, καθώς και σωληνώσεις ειδικών εγκαταστάσεων που υπάγονται σε άλλους κώδικες (π.χ. ASME B31.4 ή B31.8).

Θέματα που Καλύπτει

Ο κανονισμός ASME B31.1 καλύπτει ένα ευρύ φάσμα θεμάτων που σχετίζονται με την ασφάλεια, το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία σωληνώσεων ισχύος. Τα βασικά θέματα που περιλαμβάνονται στον κανονισμό είναι

1. Σχεδιασμός σωληνώσεων:

- Υπολογισμός πάχους τοιχώματος λόγω εσωτερικής πίεσης.
 - Θερμικές διαστολές και συστολές.
 - Φορτία λόγω βαρύτητας, στήριξης, σεισμικών δράσεων και πίεσης.
2. Υλικά κατασκευής:
- Επιλογή και χαρακτηριστικά υλικών (με βάση θερμοκρασία και πίεση).
 - Επιτρεπόμενες τάσεις λειτουργίας.
 - Αντοχή σε διάβρωση και κόπωση.
3. Συγκολλήσεις και ενώσεις:
- Τύποι συγκολλήσεων και πρότυπα εφαρμογής.
 - Καταλληλότητα μεθόδων συγκόλλησης και διαδικασίες επιβεβαίωσης.
4. Κατασκευή και εγκατάσταση:
- Προδιαγραφές για στηρίγματα, αγκυρώσεις και διαστολικές συνδέσεις.
 - Τοποθέτηση σωληνώσεων και καμπυλών (elbows, bends, offsets).
5. Έλεγχος ποιότητας και δοκιμές:
- Υδραυλικές και πνευματικές δοκιμές πίεσης.
 - Επιθεώρηση συγκολλήσεων (NDT – μη καταστροφικός έλεγχος).
 - Καταγραφή δεδομένων και τεκμηρίωση.
6. Συντήρηση και τροποποιήσεις:
- Διαδικασίες επισκευής και αντικατάστασης.
 - Διαχείριση αλλαγών σε λειτουργία (MOC – Management of Change).
7. Απαιτήσεις τεκμηρίωσης και συμμόρφωσης:
- Σήμανση και πιστοποιήσεις.
 - Τεχνικά σχέδια, πρότυπα και εγχειρίδια εγκατάστασης.

Ο ASME B31.1 διασφαλίζει ότι όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός συστήματος σωληνώσεων – από τη μελέτη έως τη λειτουργία – συμμορφώνονται με αυστηρές τεχνικές και ποιοτικές απαιτήσεις.

Υπολογισμός Πάχους Τοιχώματος

Ο υπολογισμός του ελάχιστου απαιτούμενου πάχους τοιχώματος σωληνώσεων σύμφωνα με τον ASME B31.1 βασίζεται στον τροποποιημένο τύπο του Barlow, ο οποίος έχει την εξής μορφή:

$$t = (P \times D) / [2 \times (S \times E + P \times Y)]$$

Όπου:

- t = ελάχιστο απαιτούμενο πάχος τοιχώματος (mm)
- P = εσωτερική πίεση σχεδιασμού (bar ή MPa)
- D = εξωτερική διάμετρος σωλήνα (mm)
- S = επιτρεπόμενη τάση του υλικού (MPa)
- E = συντελεστής συγκόλλησης (weld joint efficiency)

- Y = συντελεστής απόδοσης (συνήθως 0.4 για θερμοκρασία έως 480°C)

Ο τύπος αυτός εξασφαλίζει ότι το πάχος είναι επαρκές για την αντοχή του σωλήνα υπό εσωτερική πίεση, λα

Παράδειγμα Υπολογισμού:

Δίνονται:

- Εσωτερική πίεση: $P = 40$ bar
- Εξωτερική διάμετρος σωλήνα: $D = 219.1$ mm (NPS 8")
- Υλικό: A106 Gr. B, $S = 137.9$ MPa (σε θερμοκρασία λειτουργίας)
- $E = 1$ (πλήρης διείδυση συγκόλλησης)
- $Y = 0.4$

Υπολογισμός:

$$t = (40 \times 219.1) / [2 \times (137.9 \times 1 + 40 \times 0.4)]$$

$$t = 8764 / [2 \times (137.9 + 16)]$$

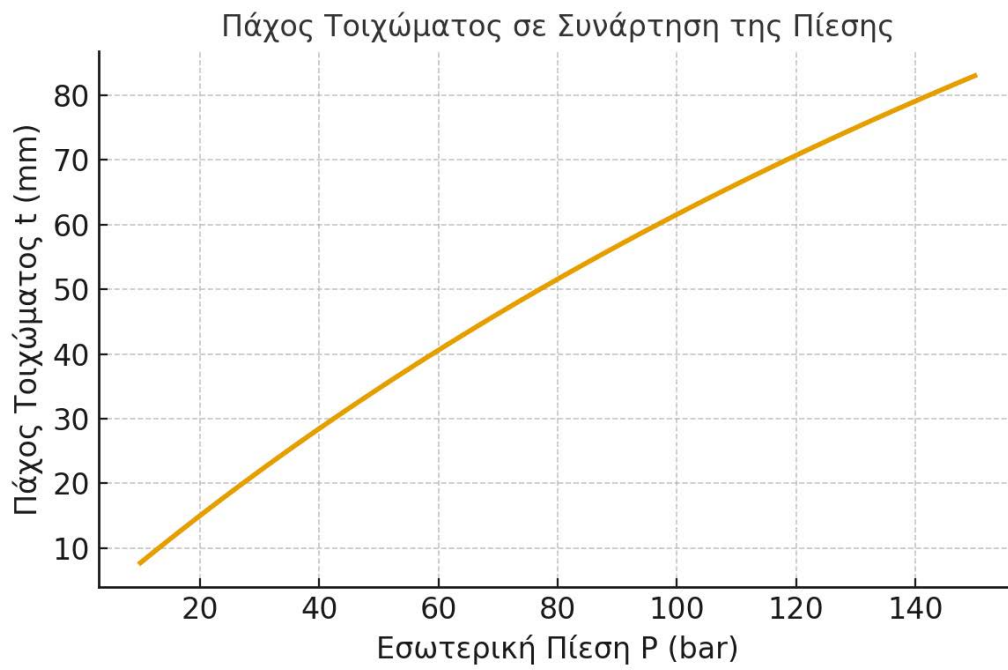
$$t = 8764 / 307.8 \approx 28.47 \text{ mm}$$

Άρα, το απαιτούμενο πάχος είναι περίπου 28.5 mm.

Προστίθεται συνήθως πάχος για διάβρωση, π.χ. 1-3 mm, ανάλογα με τη διάρκεια ζωής και τις συνθήκες λειτουργίας.

Διάγραμμα: Πάχος Τοιχώματος σε Συνάρτηση της Πίεσης

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει τη μεταβολή του απαιτούμενου πάχους τοιχώματος σωλήνα συναρτήσει της εσωτερικής πίεσης, σύμφωνα με τον τύπο του ASME B31.1. Όσο αυξάνεται η πίεση, τόσο αυξάνεται και το απαιτούμενο πάχος για να διασφαλιστεί η αντοχή της σωλήνωσης.

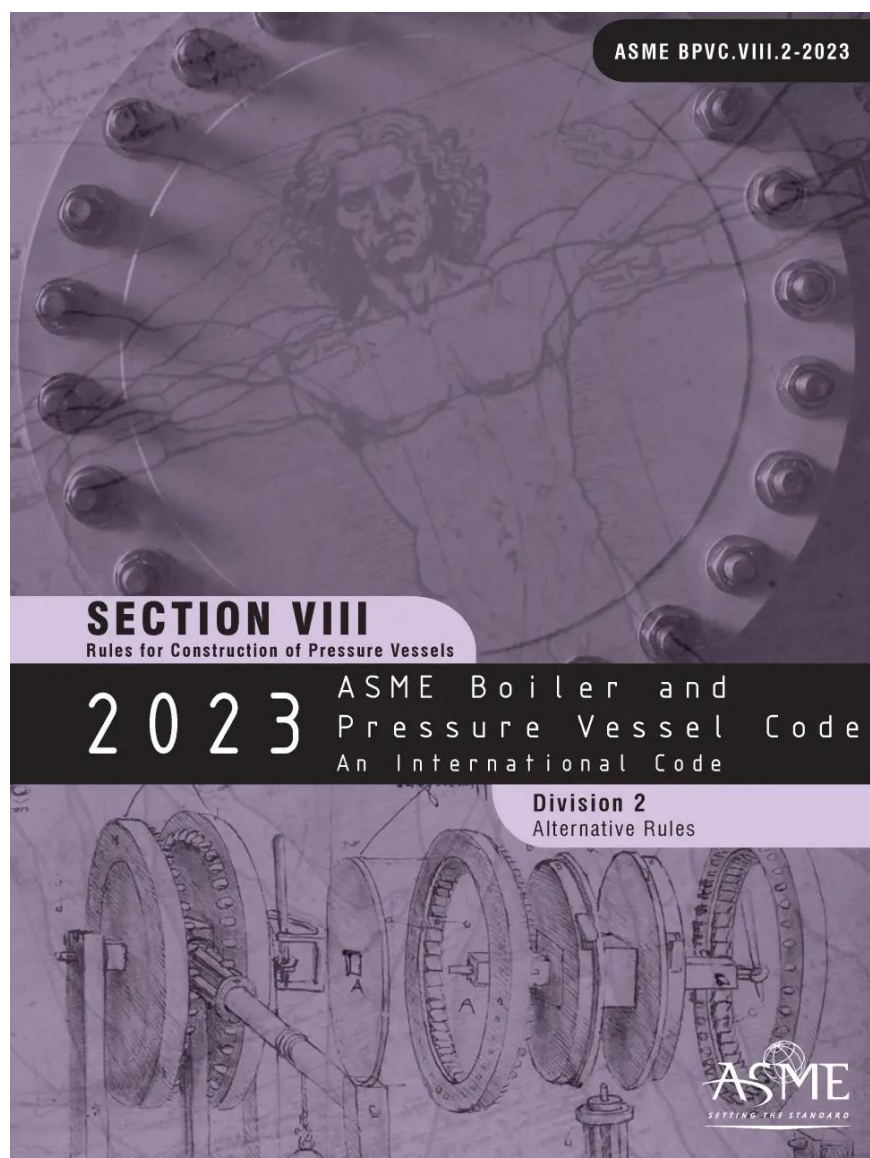


Σχεδιάγραμμα 14: Απαιτούμενο Πάχος Τοιχώματος σε Σχέση με την Εσωτερική Πίεση Κατά ASME B31.1

Κεφάλαιο 3

Κανονισμοί Υπολογισμού Πάχους Δοχείων Πίεσης

3.1 ASME BPVC Section VIII, Division 1 – UG-27 Thickness of Shells for Internal Pressure



Εικόνα 19: Εξώφυλλο ASME BPVC. Section VIII

Γενική Περιγραφή

Ο UG-27 του ASME Boiler and Pressure Vessel Code (Section VIII, Division 1) καθορίζει τον υπολογισμό του ελάχιστου απαιτούμενου πάχους τοιχώματος δοχείων υπό εσωτερική πίεση. Ο υπολογισμός διαφέρει ανάλογα με το αν το δοχείο είναι κυλινδρικό ή σφαιρικό, και

αν είναι χωρίς συγκόλληση (seamless) ή με συγκόλληση . Ο UG-27 καθορίζει τη μεθοδολογία υπολογισμού ελάχιστου πάχους τοιχώματος για:

- Κυλινδρικά κελύφη (cylindrical shells)
- Σφαιρικές και επίπεδες κεφαλές (heads)

3.2 Υπολογισμός Πάχους για Κυλινδρικό Κέλυφος

Για κυλινδρικά κελύφη υπό εσωτερική πίεση, η εξίσωση είναι:

$$t = (P \times R) / (S \times E - 0.6 \times P)$$

Όπου:

t = ελάχιστο απαιτούμενο πάχος (mm)

P = εσωτερική πίεση (MPa)

R = εσωτερική ακτίνα (mm)

S = επιτρεπόμενη τάση υλικού (MPa)

E =

συντελεστής απόδοσης συγκόλλησης (π.χ. 1.0 για seamless, 0.85 για συγκολλητό με RT)
Συντελεστές ασφαλείας:

- Ορίζεται τιμή για S από τα allowable stress tables (ASME Section II, Part D).
- Συντελεστής ασφαλείας περίπου 3.5 (ιστορικά).

Τα κυλινδρικά δοχεία πίεσης μπορούν να τοποθετηθούν είτε κάθετα είτε οριζόντια, ανάλογα με τη χρήση και την υποστήριξη.

3.3 Υπολογισμός Πάχους κεφαλών (Heads)

Ο ASME Section VIII αναφέρει τους παρακάτω τύπους κεφαλών ως κατάλληλους για χρήση σε δοχεία πίεσης:

- Flat heads (επίπεδες): Οικονομικές αλλά απαιτούν μεγαλύτερο πάχος για να αντισταθούν στην πίεση.
- Ellipsoidal heads (2:1): Η πιο κοινή επιλογή, προσφέρουν καλή κατανομή τάσεων και μειωμένο πάχος.
- Hemispherical heads: Υψηλής αντοχής αλλά πιο ακριβές και δύσκολες στην κατασκευή.

Η επιλογή μεταξύ κάθετου και οριζόντιου προσανατολισμού επηρεάζει:

- Τις φορτίσεις από το ίδιο το βάρος του δοχείου και του υγρού
- Την ανάγκη για βάσεις στήριξης
- Την τοποθέτηση ακροφυσίων και διατάξεων αποστράγγισης

3.4 Εξισώσεις Υπολογισμού για Κεφαλές Δοχείων Πίεσης – ASME UG-32

α. Σφαιρική Κεφαλή (Hemispherical) – UG-32(c)

pl112771288-stainless_steel_dome_hemispherical_head_diameter_1200mm_1400mm_think_6mm



Εικόνα 20: Σφαιρική Κεφαλή

Εξίσωση:

$$t = (P \times R) / (2SE - 0.2P)$$

Όπου:

- t: πάχος (mm)
- P: πίεση (MPa)
- R: εσωτερική ακτίνα κεφαλής (mm)
- S: επιτρεπόμενη τάση (MPa)
- E: συντελεστής συγκόλλησης

Είναι η πιο αποδοτική μορφή κεφαλής (το μικρότερο απαιτούμενο πάχος).

β. Ελλειψοειδής Κεφαλή (2:1 Elliptical) – UG-32(d)

Horizontal-ASME-PED-Forged-Dished-Head-Pressure-Tank-Dish-End-2-1-Elliptical-Heads



Εικόνα 21: Ελλειψοειδής Κεφαλή

Εξίσωση:

$$t = (0.5 \times P \times D) / (SE - 0.1P)$$

Όπου:

- D: εσωτερική διάμετρος κεφαλής (mm)

Είναι η πιο διαδεδομένη λόγω καλής ισορροπίας κόστους/απόδοσης.

γ. Επίπεδη Κεφαλή (Flat Head) – UG-34



Flat Face (FF) Blind Flange

Εικόνα 22: Επίπεδη Κεφαλή (Τυφλή Φλάντζα)

Εξίσωση:

$$t = K \times D \times \sqrt{(P / S)}$$

Όπου:

- Το K εξαρτάται από τη στήριξη της κεφαλής (π.χ. ενισχυμένη, bolted, welded).

Απαιτεί πολύ μεγαλύτερο πάχος — σπάνια επιλέγεται για υψηλή πίεση.

Πίνακας Ιδιοτήτων Υλικών – ASME Section II

Ακολουθούν χαρακτηριστικές τιμές επιτρεπόμενων τάσεων (S) για κοινά υλικά πίεσης σύμφωνα με τον ASME Section II – Part D, για θερμοκρασία 300°C:

Υλικό	Επιτρεπόμενη Τάση (S) [MPa]	Θερμοκρασία Αναφοράς [°C]
SA-516 Gr. 70	138	300
SA-285 Gr. C	103	300
SA-387 Gr. 11 Cl. 2	121	300
SA-387 Gr. 22 Cl. 2	138	300
TP304	103	300
TP316L	103	300

3.5 EN 13445-3 (Unfired Pressure Vessels)- Clause 6 – Design by Formulae

Γενική Περιγραφή

Ο EN 13445-3 αποτελεί το ευρωπαϊκό πρότυπο για τον υπολογισμό των μηχανολογικών δοχείων πίεσης χωρίς συγκολλήσεις και χωρίς φλόγα (unfired pressure vessels). Καθορίζει τις απαιτήσεις για τον μηχανικό σχεδιασμό τους, προσδιορίζει μεθόδους υπολογισμού πάχους για κυλινδρικά και σφαιρικά δοχεία, καθώς και για διάφορους τύπους κεφαλών όπως ημισφαιρικές, ελλειψοειδείς και επίπεδες.

3.6 Υπολογισμός Πάχους για Κυλινδρικό Κέλυφος

Η γενική εξίσωση (EN 13445-3, Παράγραφος 9.3.2) για κυλινδρικό κέλυφος υπό εσωτερική πίεση είναι:

Εξίσωση για Κυλινδρικά κελύφη:

$$e = (P \times D) / (2 \times f \times \phi + P)$$

Όπου:

e = υπολογιστικό πάχος τοιχώματος (mm)

P = πίεση σχεδιασμού (MPa)

D = εξωτερική διάμετρος (mm)

f = επιτρεπόμενη τάση σχεδιασμού (MPa)

φ = συντελεστής συγκόλλησης (φ = 1.0 για seamless ή RT 100%).

Τύποι Κεφαλών, Υπολογισμός Πάχους – EN 13445-3

Ο κανονισμός EN 13445-3 προβλέπει υπολογισμούς για τις παρακάτω γεωμετρίες κεφαλών:

- Ημισφαιρικές (Hemispherical): Μικρότερο απαιτούμενο πάχος, υψηλότερο κόστος.
- Ελλειψοειδείς (Ellipsoidal – 2:1): Ο συνηθέστερος τύπος. Καλή κατανομή τάσεων.
- Επίπεδες (Flat): Οικονομικές, απαιτούν σημαντικά μεγαλύτερο πάχος.

EN 13445-3 – Clause 6.8

Σφαιρική κεφαλή (6.8.2):

$$e = (P \times D) / (4f\eta + P)$$

Ελλειψοειδής κεφαλή (6.8.3):

$$e = (P \times D) / (2f\eta + 0.2P)$$

- Οι τύποι της EN δίνουν μικρότερα πάχη σε σχέση με ASME, λόγω μικρότερων συντελεστών ασφαλείας.

Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά:

- Ο EN 13445 επιτρέπει χαμηλότερα πάχη λόγω βελτιωμένων θεωρητικών παραδοχών.
- Περιλαμβάνει καμπύλες διαρροής και διορθωτικούς όρους για χαμηλές θερμοκρασίες ή κόπωση.

Πίνακας Επιτρεπόμενων Τάσεων – EN 13445-3

Οι παρακάτω τιμές αντιστοιχούν σε επιτρεπόμενες τάσεις σχεδιασμού (f) για κοινά υλικά δοχείων πίεσης σύμφωνα με το EN 13445-3 και το Annex C, για θερμοκρασία 300°C:

Υλικό	f (MPa)	Θερμοκρασία (°C)
P265GH	120	300
P295GH	138	300
P355NL1	150	300
16Mo3	160	300
X10CrMoVNb9-1	165	300

Πίνακας Ιδιοτήτων Υλικών – EN 13445-3 (30°C)

Υλικό	Επιτρεπόμενη Τάση (f) [MPa]	Θερμοκρασία Αναφοράς [°C]
P235GH	195	30
16Mo3	228	30
13CrMo4-5	235	30
X10CrMoVNb9-1	240	30
X5CrNi18-10 (304)	175	30
X2CrNiMo17-12-2 (316L)	185	30

Σύγκριση UG-27 vs EN 13445-3 και Υπολογισμός Πάχους Κεφαλών

Σύγκριση UG-27 και EN 13445-3

Χαρακτηριστικό	ASME UG-27	EN 13445-3
Προσέγγιση	Συντηρητική, εμπειρική	Θεωρητική, πιο σύγχρονη
Πάχος	Συνήθως μεγαλύτερο	Μικρότερο λόγω αυστηρής θεωρίας
Παράγοντας συγκόλλησης (E)	Από 0.7 έως 1.0	Τυπικά 1.0 για πλήρη διεύθυνση
Εφαρμογή σε Ευρώπη/Αμερική	Βιομηχανία ΗΠΑ / διεθνώς	ΕΕ – PED
Υπολογιστικά περιθώρια	Περιλαμβάνει εμπειρικά περιθώρια	Βασίζεται σε κριτήρια τάσης/κόπωσης

Η σύγκριση αφορά τον υπολογισμό πάχους για κυλινδρικά δοχεία πίεσης και τις κεφαλές τους σύμφωνα με τους κανονισμούς ASME BPVC Section VIII, Division 1 – UG-27 και EN 13445-3. Οι υπολογισμοί έγιναν για δοχείο διαμέτρου 2000 mm, πίεσης 30 bar, και υλικό API 5L X52 (S = 290 MPa).

1. Εξισώσεις Υπολογισμού

- Κυλινδρικό Κέλυφος:

$$\text{UG-27: } t = (P \times D) / (2 \times S \times E + P \times Y), \text{ με } Y = 0.4$$

$$\text{EN 13445-3: } t = (P \times D) / (2 \times S \times \phi + P), \text{ με } \phi = 1.0$$

- Ημισφαιρική Κεφαλή:

$$t = (P \times D) / (4 \times S \times E + 2 \times P)$$

- Ελλειψοειδής Κεφαλή (2:1):

$$t = (P \times D) / (4 \times S \times E \times 0.9 + 2 \times P)$$

- Επίπεδη Κεφαλή:

$$t = C \times D \times \sqrt{P / S}, \text{ με } C \approx 0.885$$

2. Αποτελέσματα Υπολογισμών (Φ2000 mm, 30 bar)

Μέρος	ASME UG-27 (mm)	EN 13445-3 (mm)
Κυλινδρικό Κέλυφος	10.32	10.29
Κεφαλή Ημισφαιρική	5.15	5.15
Κεφαλή Ελλειψοειδής (2:1)	5.71	5.71
Κεφαλή Επίπεδη	180.03	180.03

Κεφάλαιο 4

4.1 Ατμοσφαιρικές Δεξαμενές Αποθήκευσης (Storage Tanks)

Ορισμός

Οι δεξαμενές αποθήκευσης είναι κατασκευές που προορίζονται για τη φύλαξη υγρών ή αερίων σε ατμοσφαιρικές ή χαμηλές πιέσεις. Χρησιμοποιούνται σε πετροχημικές εγκαταστάσεις, βιομηχανίες τροφίμων, χημικά εργοστάσια, κ.ά. Ανάλογα με τις πιέσεις, εφαρμόζονται πρότυπα όπως API 650, API 620, ASME BPVC, EN 13445. Ο κατάλληλος σχεδιασμός εξασφαλίζει ασφάλεια, λειτουργικότητα και αντοχή. Οι ατμοσφαιρικές Δεξαμενές (Atmospheric Storage Tanks): Δε λειτουργούν υπό σημαντική πίεση, σχεδιάζονται για ατμοσφαιρική πίεση και μικρές μεταβολές πίεσης.



Εικόνα 23: Ατμοσφαιρικές Δεξαμενές (Atmospheric Storage Tanks)

4.2 Τι είναι το “Course” στις Δεξαμενές

Στον σχεδιασμό κυλινδρικών δεξαμενών (όπως αυτές που καλύπτει το API 650 ή API 620):

- Το τοίχωμα της δεξαμενής δεν είναι ενιαίο, αλλά αποτελείται από οριζόντιες λωρίδες ή δακτυλίους ελασμάτων.
- Κάθε τέτοια λωρίδα (ή "δακτύλιος") ονομάζεται shell course.
- Η δεξαμενή έχει πολλαπλά courses, από τη βάση έως την κορυφή.

Γιατί υπολογίζουμε ανά course;

Η πίεση που ασκείται στον πυθμένα (βάση) της δεξαμενής είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή στην κορυφή, λόγω της υδροστατικής πίεσης (βάρους υγρού).

Κατά συνέπεια, το κάθε course χρειάζεται διαφορετικό πάχος τοιχώματος.

Π.χ. Το κάτω course θα είναι πιο παχύ από το πάνω.

Οι εξισώσεις όπως η:

$$t = [(SG \times H + P) \times 0.5 \times D] / S + CA$$

χρησιμοποιούνται ξεχωριστά για κάθε course, με:

- κατάλληλο ύψος H (ύψος του υγρού πάνω από το κέντρο του course)
- κοινή διάμετρο D
- κοινό G (ειδικό βάρος) • EN 14015: Ευρωπαϊκό πρότυπο για ατμοσφαιρικές και χαμηλής πίεσης δεξαμενές.

4.3 Κανονισμοί και Σχεδιασμός

4.3.1 API 650 – Shell Course Thickness

4.3.1.a Τύπος 1-Foot Method

Από τον κανονισμό API 650 (Section 5.6), η μέθοδος 1-Foot χρησιμοποιεί την πίεση σε ύψος 1 πόδι από τη βάση για τον υπολογισμό πάχους.

Τύποι:

$$t_d = (2.6 \times D \times (H - 1) \times G) / S_d + CA$$

$$t_t = (2.6 \times D \times (H - 1) \times G) / S_t + CA$$

Όπου:

- t_d = πάχος για σχεδιασμό
- t_t = πάχος για υδροστατική δοκιμή
- D = ονομαστική διάμετρος δεξαμενής (ft)
- H = ύψος πλήρωσης (ft)
- G = ειδικό βάρος υγρού
- S_d, S_t = επιτρεπόμενες τάσεις για σχεδιασμό και δοκιμή αντίστοιχα
- CA = allowance για διάβρωση

Από τα υπολογιζόμενα t_d και t_t , επιλέγεται το μεγαλύτερο. Συγκρίνεται επίσης με:

- Την ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή (minimum thickness)
- Τιμή override αν απαιτείται

4.3.2. b Variable Design-Point Method

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί σημεία σχεδίασης εντός κάθε shell course (όχι απαραίτητα 1 ft από τη βάση) για ακριβέστερη προσαρμογή των φορτίων και πάχους.

Η εξίσωση έχει τη μορφή:

$$t = (2.6 \times D \times H_{eff} \times G) / S + CA$$

Όπου:

- H_{eff} = αποδοτικό ύψος υγρού πάνω από το εξεταζόμενο σημείο
- Οι υπόλοιπες μεταβλητές είναι όπως παραπάνω.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε δεξαμενές με μεγάλο ύψος και πολλά shell courses, προσφέροντας βελτιστοποίηση πάχους ανά ύψος.

4.4 API 620 – Πάχος Κελύφους Δεξαμενής Χαμηλής Πίεσης

Ο κανονισμός API 620 αφορά δεξαμενές χαμηλής πίεσης και περιλαμβάνει πιο σύνθετους υπολογισμούς πάχους, καθώς λαμβάνει υπόψη και φορτία εξωτερικής πίεσης (vacuum), υδροστατικά φορτία και αντίστροφα φορτία.

Βασική Φόρμουλα Πάχους Κελύφους

Γενική εξίσωση:

$$t = \max(T_o, T_t, T_{min})$$

Όπου:

- $T_o = [(SG \times H_D / 10^6 + P) \times 0.5 \times D] / S_d + CA$
- $T_t = [(SG \times H_T / 10^6 + 1.25 \times P) \times 0.5 \times D] / S_t + CA$
- T_{min} = ελάχιστο επιτρεπόμενο πάχος

Παράμετροι:

- SG = Ειδικό βάρος του υγρού
- H_D, H_T = Ύψος πλήρωσης για σχεδιασμό / δοκιμή (mm)
- D = Διάμετρος δεξαμενής (mm)
- P = Εσωτερική πίεση σχεδιασμού (MPa)
- S_d, S_t = Επιτρεπόμενες τάσεις για σχεδιασμό και δοκιμή (MPa)
- CA = Διάβρωση (Corrosion Allowance) (mm)

Σημειώσεις:

- Επιλέγεται το μέγιστο από T_o, T_t ή T_{min} .
- Οι εξισώσεις εφαρμόζονται ανά course.
- Ο κανονισμός περιλαμβάνει επίσης τύπους για την οροφή (roof), τον λαιμό (knuckle) και τα σημεία μετάβασης.

4.5 EN 14015 – Υπολογισμός Πάχους Κελύφους Δεξαμενής

Ο κανονισμός EN 14015 είναι η ευρωπαϊκή εκδοχή σχεδιασμού ατμοσφαιρικών δεξαμενών, παρόμοιος με τον API 650. Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του πάχους των shell courses έχει παρόμοια μορφή και περιλαμβάνει τις παρακάτω παραμέτρους:

$$t = [2.6 \times D \times (H - offset) \times G] / S_{efficiency} + c$$

Όπου:

- t: το απαιτούμενο πάχος κελύφους (mm)
- D: διάμετρος δεξαμενής (m ή ft ανάλογα με τη μονάδα)
- H: ύψος υγρού πάνω από το κέντρο του course
- offset: αντιστάθμιση (συνήθως 1 ft ή άλλο καθορισμένο μήκος)
- G: ειδικό βάρος υγρού (specific gravity)
- S_efficiency: επιτρεπόμενη τάση λαμβάνοντας υπόψη το joint efficiency (αντοχή συγκόλλησης)
- c: corrosion allowance (επιπλέον πάχος για φθορά)

Ο τύπος αυτός εφαρμόζεται ανά course, δηλαδή κάθε οριζόντια ζώνη του κυλινδρικού κελύφους υπολογίζεται ξεχωριστά ανάλογα με την πίεση που δέχεται στο αντίστοιχο ύψος. Η φιλοσοφία είναι κοινή με αυτή του API 650, αλλά με παραμέτρους και σύμβολα προσαρμοσμένα στα ευρωπαϊκά πρότυπα.

4.6 Πίνακας Υπολογισμών για Shell Courses Δεξαμενής

Ο παρακάτω πίνακας περιέχει υποθετικά δεδομένα για τον υπολογισμό του πάχους τοιχώματος ανά shell course σε κυλινδρική δεξαμενή, βάσει υδροστατικής πίεσης και ύψους.

Course	Ύψος από βάση (m)	Ύψος υγρού πάνω από course (m)	Πίεση υγρού (bar)	Πάχος (mm)
D (Top)	1	9.5	0.95	8
C	4	6.5	0.65	10
B	7	3.5	0.35	12
A (Bottom)	10	0.5	0.05	14

Σημείωση: Η πίεση αυξάνεται όσο κατεβαίνουμε προς τη βάση της δεξαμενής. Κατά συνέπεια, τα χαμηλότερα courses χρειάζονται μεγαλύτερο πάχος τοιχώματος.

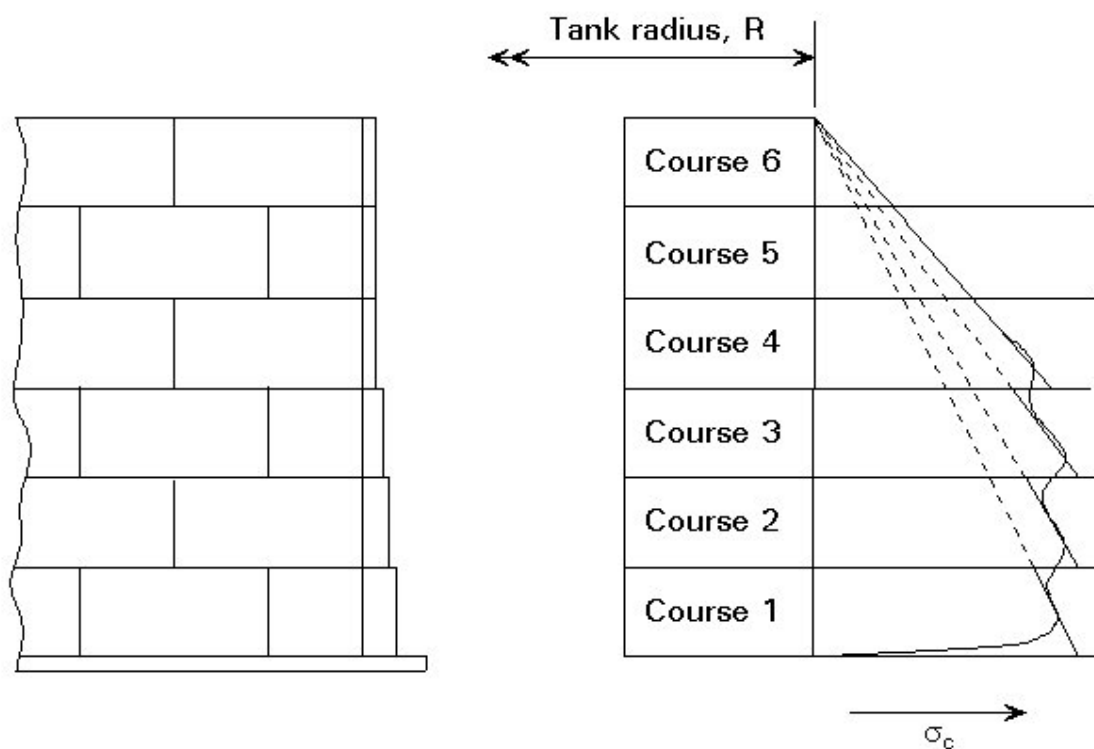


Figure 6 Diagrammatic variation of stress in shell wall.

Εικόνα 24: Διάγραμμα Μεταβολής των Τάσεων στα Τοιχώματα της Δεξαμενής

Κεφάλαιο 5

Σύγκριση Κανονισμών Υπολογισμού Πάχους Σωλήνων Υπό Πίεση

5.1 Κατάταξη Κανονισμών Κατασκευής Αγωγών σε Επίγειους και Υποθαλάσσιους

Οι κανονισμοί που εξετάστηκαν διαχωρίζονται με βάση το πεδίο εφαρμογής τους:

□ Επίγειοι Αγωγοί (Onshore Pipelines):

- ASME B31.4 (υγρά πετρελαίου)
- ASME B31.8 (φυσικό αέριο)
- EN 1594 (υψηλής πίεσης φυσικού αερίου)
- EN 14161 (υδρογονάνθρακες και παράγωγα)

● Υποθαλάσσιοι Αγωγοί (Subsea Pipelines):

- DNV-OS-F101 (κατάλληλος για αγωγούς σε θαλάσσιο περιβάλλον, λαμβάνει υπόψη και εξωτερική πίεση)
- API 1111 (χρήση σε offshore pipelines πετρελαίου & αερίου)

Αντικείμενο της ανάλυσης είναι η σύγκριση των μεθοδολογιών υπολογισμού πάχους σωλήνων λόγω εσωτερικής πίεσης με βάση έξι πρότυπα: ASME B31.8, ASME B31.4, EN 1594, DNV-OS-F101, API 1111 και EN 14161. Οι υπολογισμοί έγιναν για σωλήνα με διάμετρο $D = 600$ mm, πίεση λειτουργίας $P = 80$ bar (8 MPa) και υλικό API 5L X52 ($S = 290$ MPa).

5.1.2 Εξισώσεις Υπολογισμού ανά Κανονισμό

ASME B31.8:

$$t = (P \times D) / (2 \times S \times F \times E + P) \text{ με } F = 0.72, E = 1.0$$

ASME B31.4:

$$t = (P \times D) / (2 \times S \times F \times E + P) \text{ με } E = 1.0$$

EN 1594 & EN 14161:

$$t = (P \times D) / (2 \times S \times \varphi + P) \text{ με } \varphi = 1.0$$

DNV-OS-F101:

$$t = (P \times D) / (2 \times \sigma_{design} + P) \text{ με } \sigma_{design} = S / \gamma_m \text{ και } \gamma_m = 1.15$$

API 1111:

$$t = (P \times D) / (2 \times S \times C) \text{ με } C = 0.875$$

5.1.3 Υπολογισμένα Πάχη – Ανά Κατηγορία Κανονισμού

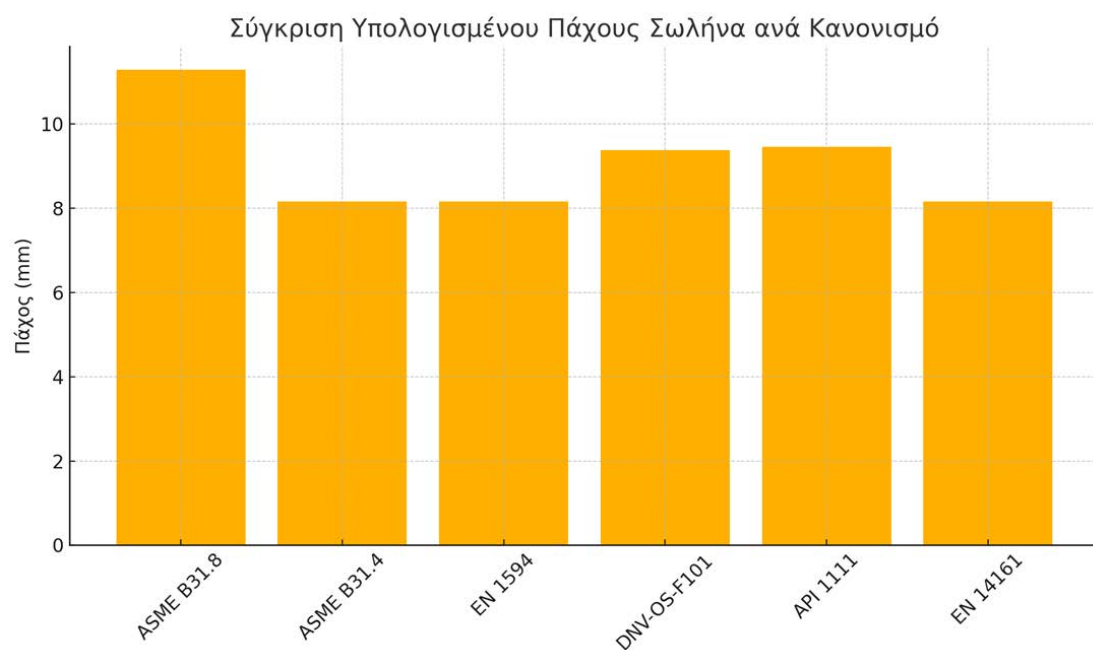
□ Επίγειοι Κανονισμοί:

Κανονισμός	Πάχος (mm)
ASME B31.8	11.28
ASME B31.4	8.16
EN 1594	8.16
EN 14161	8.16

● Υποθαλάσσιοι Κανονισμοί:

Κανονισμός	Πάχος (mm)
DNV-OS-F101	9.37
API 1111	9.46

5.1.4 Διάγραμμα Συγκριτικών Αποτελεσμάτων



Σχεδιάγραμμα 15: Σύγκριση Υπολογισμένου Πάχους Σωλήνα ανά Κανονισμό

5.1.5 Διάγραμμα Διαχωρισμού Κανονισμών



Σχεδιάγραμμα 16: Οι Υποθαλάσσιες Εφαρμογές (DNV-OS-F101, API 1111) Απαιτούν Συνήθως Μεγαλύτερα Πάχη Λόγω Αυξημένων Εξωτερικών Φορτίσεων

5.1.6 Σχόλια & Συμπεράσματα

Παρατηρείται ότι οι κανονισμοί ASME B31.4, EN 1594 και EN 14161 δίνουν παρόμοια πάχη, γύρω στα 8.16 mm, λόγω παρόμοιας εξίσωσης. Ο κανονισμός DNV-OS-F101 οδηγεί σε ελαφρώς αυξημένο πάχος λόγω επιπλέον συντελεστή ασφαλείας. Ο ASME B31.8 είναι πιο συντηρητικός εξαιτίας του συντελεστή σχεδιασμού $F = 0.72$. Το API 1111 δίνει ενδιάμεσο αποτέλεσμα.

Η επιλογή κανονισμού επηρεάζει σημαντικά το τελικό πάχος, με αντίκτυπο σε βάρος, κόστος και ασφάλεια.

5.2 Σύγκριση Κανονισμών ASME B31.1 – B31.3 – EN 13480-3

Η παρούσα μελέτη συγκρίνει τους κανονισμούς ASME B31.1, ASME B31.3 και EN 13480-3 ως προς τη μεθοδολογία υπολογισμού πάχους σωλήνων υπό εσωτερική πίεση. Χρησιμοποιήθηκαν κοινές παράμετροι: $D = 240 \text{ mm}$, $P = 50 \text{ bar}$ (5 MPa), και υλικό API 5L X52 με επιτρεπόμενη τάση $S = 290 \text{ MPa}$.

5.2.1 Εξισώσεις Υπολογισμού

- ASME B31.1:

$$t = (P \times D) / (2 \times S \times E + P), \text{ με } E = 1.0$$

$$t = (5 \times 240) / (2 \times 290 + 5) = 1200 / 585 = 2.05 \text{ mm}$$

- ASME B31.3:

$$t = (P \times D) / (2 \times S \times E + P \times Y), \mu\epsilon E = 1.0, Y = 0.4$$

$$t = (5 \times 240) / (2 \times 290 + 5 \times 0.4) = 1200 / (580 + 2) = 1200 / 582 = 2.06 \text{ mm}$$

- EN 13480 - 3:

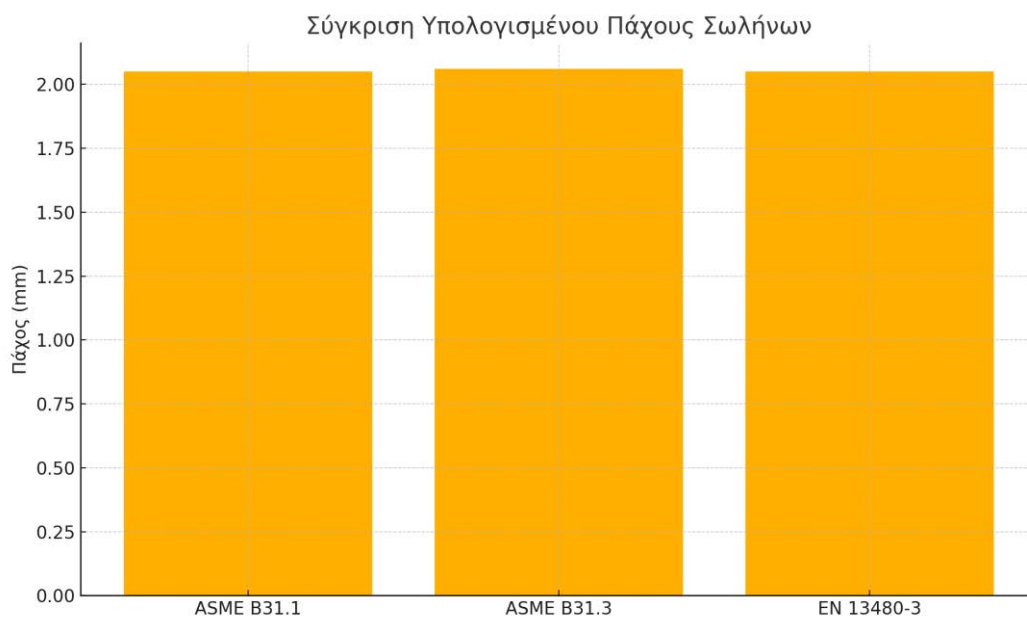
$$t = (P \times D) / (2 \times S \times \varphi + P), \mu\epsilon \varphi = 1.0$$

$$t = (5 \times 240) / (2 \times 290 + 5) = 1200 / 585 = 2.05 \text{ mm}$$

5.2.2 Αποτελέσματα Υπολογισμών

Κανονισμός	Υπολογισμένο Πάχος (mm)
ASME B31.1	2.05
ASME B31.3	2.06
EN 13480-3	2.05

5.2.3 Διάγραμμα Σύγκρισης



Σχεδιάγραμμα 17: Παρουσιάζεται Πολύ Μικρή Διαφορά στο Υπολογισμένο Ελάχιστο Πάχος που Προκύπτει από τους Κανονισμούς ASME B31.1, ASME B31.3 και EN 13480-3 για τις Ιδίες Συνθήκες Πίεσης

5.2.4 Πεδίο Εφαρμογής Κανονισμών

ASME B31.1 Ενεργειακά συστήματα, ατμολέβητες, πυρηνικές εγκαταστάσεις

ASME B31.3 Χημική, φαρμακευτική, πετροχημική βιομηχανία

EN 13480-3 Ευρωπαϊκές βιομηχανικές εγκαταστάσεις, γενική μηχανολογία

5.2.5 Συμπεράσματα

Οι ASME B31.1 και EN 13480-3 δίνουν σχεδόν το ίδιο πάχος για τις παραμέτρους του παραδείγματος. Ο ASME B31.3 εμφανίζει οριακά μεγαλύτερο πάχος λόγω του συντελεστή γ . Όλοι οι κανονισμοί θεωρούν υψηλό συντελεστή απόδοσης συγκόλλησης ($E = 1.0$), αλλά διαφέρουν ελαφρώς στη διατύπωση και τις συντηρητικές παραδοχές.

5.3 Σύγκριση UG-27 vs EN 13445-3 και Υπολογισμός Πάχους Κεφαλών

Σύγκριση UG-27 και EN 13445-3

Χαρακτηριστικό	ASME UG-27	EN 13445-3
Προσέγγιση	Συντηρητική, εμπειρική	Θεωρητική, πιο σύγχρονη
Πάχος	Συνήθως μεγαλύτερο	Μικρότερο λόγω αυστηρής θεωρίας
Παράγοντας συγκόλλησης (E)	Από 0.7 έως 1.0	Τυπικά 1.0 για πλήρη διείδυση
Εφαρμογή σε Ευρώπη/Αμερική	Βιομηχανία ΗΠΑ / διεθνώς	ΕΕ – PED
Υπολογιστικά περιθώρια	Περιλαμβάνει εμπειρικά περιθώρια	Βασίζεται σε κριτήρια τάσης/κόπωσης

Η σύγκριση αφορά τον υπολογισμό πάχους για κυλινδρικά δοχεία πίεσης και τις κεφαλές τους σύμφωνα με τους κανονισμούς ASME BPVC Section VIII, Division 1 – UG-27 και EN 13445-3. Οι υπολογισμοί έγιναν για δοχείο διαμέτρου 2000 mm, πίεσης 30 bar, και υλικό API 5L X52 (S = 290 MPa).

5.3.1 Εξισώσεις Υπολογισμού

- Κυλινδρικό Κέλυφος:

$$UG-27: t = (P \times D) / (2 \times S \times E + P \times Y), \text{ με } Y = 0.4$$

$$EN 13445-3: t = (P \times D) / (2 \times S \times \varphi + P), \text{ με } \varphi = 1.0$$

- Ημισφαιρική Κεφαλή:

$$t = (P \times D) / (4 \times S \times E + 2 \times P)$$

- Ελλειψοειδής Κεφαλή (2:1):

$$t = (P \times D) / (4 \times S \times E \times 0.9 + 2 \times P)$$

- Επίπεδη Κεφαλή:

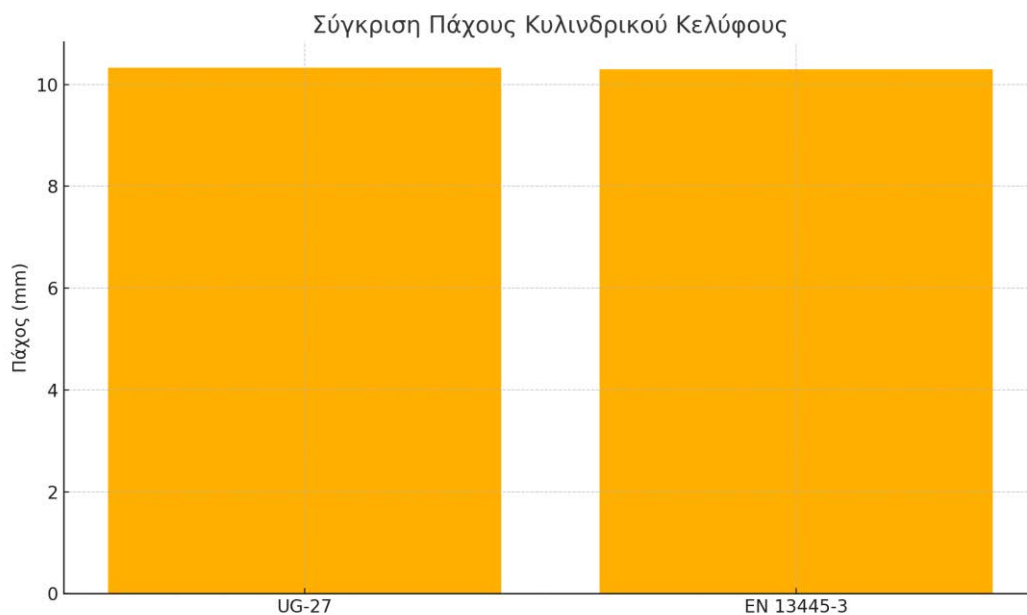
$$t = C \times D \times \sqrt{(P / S)}, \text{ με } C \approx 0.885$$

5.3.2 Αποτελέσματα Υπολογισμών (Φ2000 mm, 30 bar)

Μέρος	ASME UG-27 (mm)	EN 13445-3 (mm)
Κυλινδρικό Κέλυφος	10.32	10.29
Κεφαλή Ημισφαιρική	5.15	5.15
Κεφαλή Ελλειψοειδής (2:1)	5.71	5.71
Κεφαλή Επίπεδη	180.03	180.03

5.3.4 Διάγραμμα Σύγκρισης Κυλινδρικού Κελύφους

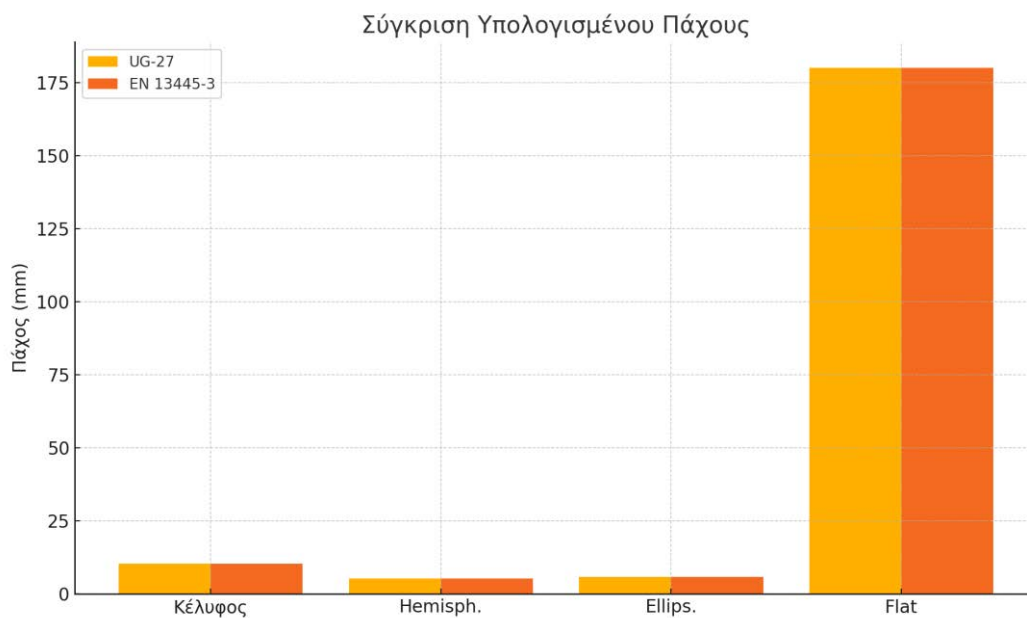
Το ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζει το υπολογισμένο πάχος για το κυλινδρικό κέλυφος από τους δύο κανονισμούς:



5.3.5 Συμπεράσματα

Οι δύο κανονισμοί παρουσιάζουν εξαιρετικά συγκρίσιμα αποτελέσματα για το ίδιο υλικό και τις ίδιες παραμέτρους. Οι διαφορές είναι αμελητέες και οφείλονται σε ελαφρώς διαφορετική διατύπωση των εξισώσεων. Και οι δύο κανονισμοί είναι κατάλληλοι για δοχεία πίεσης, με τον EN 13445-3 να χρησιμοποιείται κυρίως στην Ευρώπη και τον UG-27 σε ΗΠΑ.

5.3.6 Διάγραμμα Σύγκρισης Κελύφους και Κεφάλων



Σχεδιάγραμμα 18: Υπολογισμένο Πάχος Κελύφους και Κεφάλων (Hemispherical, Elliptical, Flat) κατά

UG27 EN 13445-3

Η επίπεδη κεφαλή παρουσιάζει εξαιρετικά μεγάλο απαιτούμενο πάχος σε μεγάλα μεγέθη (π.χ. 180 mm για Φ2000 mm), γεγονός που την καθιστά ανεφάρμοστη από πλευράς βάρους και κόστους.

Συνεπώς, η χρήση της περιορίζεται σε μικρά δοχεία ή κάλυπτρα μικρών διαμέτρων (έως ~400 mm), όπου οι καταπονήσεις είναι χαμηλότερες και η κατασκευή παραμένει εφικτή.

Τάπες σωλήνων ή περιπτώσεις όπου υπάρχει μηχανική υποστήριξη (π.χ. ενίσχυση με νευρώσεις ή δακτυλίους)

5.3.7 Συμπεράσματα:

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζουν διακυμάνσεις έως και 30% μεταξύ κανονισμών για τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας.

Ο τύπος (δηλαδή η γεωμετρία) κεφαλής (flat, ellipsoidal, hemispherical) παίζει καθοριστικό ρόλο στο πάχος, με τις hemispherical να είναι πιο αποδοτικές αλλά ακριβότερες.

5.3.8 Σύγκριση Κανονισμών: API 650 – API 620 – EN 14015

Χαρακτηριστικά / Παράμετρος	API 650	API 620	EN 14015
Σκοπός / Εφαρμογή	Δεξαμενές συγκολλητές με	Δεξαμενές χαμηλής πίεσης, με	Ευρωπαϊκό πρότυπο για

	σχεδιασμό για ατμοσφαιρική ή πολύ χαμηλή πίεση	μεγαλύτερες πιέσεις εσωτερικές	δεξαμενές πάνω από το έδαφος, κοντά στην ατμοσφαιρική πίεση
Μέγιστη πίεση σχεδιασμού	~2,5 psi (≈ 0,18 bar)	Έως ~15 psi (≈ 1,03 bar)	Περίπου έως ~0,5 bar (500 mbar)
Θερμοκρασιακά όρια	Από -40 °F έως ~500 °F	Πιο ευρύ πεδίο, συμπεριλαμβάνεται χρήση για υγρά με χαμηλές θερμοκρασίες	Δεν ορίζει τόσο αυστηρά όρια — προορίζεται για υγρά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος
Υλικά & Συγκολλήσεις	Χάλυβας άνθρακος, έλεγχοι συγκολλήσεων	Μεγαλύτερη ευελιξία σε υλικά και ειδικές συγκολλήσεις	Προδιαγραφές υλικών και πιστοποίησης στα ευρωπαϊκά πρότυπα
Μέθοδοι σχεδιασμού πάχους	1-Foot Method, Variable Design-Point Method	$t = \max(T_o, T_t, T_{min})$ με επιπλέον φόρτιση	$t = [2.6 \cdot D \cdot (H - \text{offset}) \cdot G] / S_{\text{efficiency}} + c$
Αντιμετώπιση φορτίων	Υδροστατική πίεση, άνεμος, σεισμός	Επιπλέον φορτία εξωτερικής πίεσης, vacuum	Ανάλογα με περιβαλλοντικά φορτία (άνεμος, σεισμός)
Έλεγχοι / Επιθεώρηση	Δοκιμές διαρροής, ακτινογραφίες, έλεγχοι συγκολλήσεων	Πιο αυστηρές δοκιμές, έλεγχοι υλικών	Πιστοποιήσεις, έλεγχοι ποιότητας στα πλαίσια EN & PED
Πλεονεκτήματα / Περιορισμοί	Απλός, αποδεκτός διεθνώς	Κατάλληλος για υψηλότερες πιέσεις και πιο απαιτητικές συνθήκες	Εναρμονισμένος στην Ευρώπη, αυστηρότερος σε έλεγχο & πιστοποίηση
Συνήθης χρήση	Δεξαμενές καυσίμων, αποθήκευση πετρελαϊκών προϊόντων	Δεξαμενές μικρής πίεσης, εφαρμογές με θερμοκρασιακές μεταβολές	Εγκαταστάσεις στην ΕΕ, υγρά κοντά στην ατμοσφαιρική πίεση

Παράδειγμα Υπολογισμού Πάχους Courses – Δεξαμενή 20 m πλάτος × 10 m ύψος

Υποθέσεις

Δεξαμενή: διάμετρος $D = 20$ m, ύψος $H = 10$ m

Υγρό: νερό ($SG = 1000 \text{ kg/m}^3$)

Επιτρεπόμενη τάση (design) $S_e = 150 \text{ MPa}$

Corrosion allowance $CA = 3 \text{ mm}$

Joint efficiency = 1.0

Courses: ύψος ~2m (5 courses)

Υπολογισμοί για API 650 (ενδεικτικά)

Υπολογίζουμε για το κάτω course (Course 1) με $H_{eff} = H - 1 = 10 - 1 = 9 \text{ m}$:

$$t = (2.6 * 20 * 9 * 1000 / 150\,000) + 3 = 468\,000 / 150\,000 + 3 = 3.12 + 3 = 6.12 \text{ mm}$$

Αυτή η τιμή είναι πολύ μικρή — ως αποτέλεσμα, συνήθως επιλέγεται μεγαλύτερη τιμή βάσει ελάχιστου επιτρεπόμενου ορίου ή ασφάλειας.

Πίνακας με τελικές τιμές πάχους για τα 5 courses

Course	Ύψος από βάση (m)	Υδροστατική πίεση	Πάχος API 650 (mm)
1 (κάτω)	~1	~0.90 bar	10 mm
2	~3	~0.69 bar	8 mm
3	~5	~0.49 bar	7 mm
4	~7	~0.29 bar	6 mm
5 (πάνω)	~9	~0.10 bar	6 mm (ή ελάχιστο 5 mm)

Εκτίμηση για API 620 & EN 14015

Για API 620, λόγω πιο συντηρητικής προσέγγισης, μπορούμε να προσθέσουμε ~10-20 % στα πάχη:

Course 1 → ~11 mm

Course 2 → ~9 mm

Course 3 → ~8 mm

Course 4 → ~7 mm

Course 5 → ~7 mm

Για EN 14015, οι τιμές θα είναι περίπου ενδιάμεσες μεταξύ API 650 και API 620:

Course 1 → ~10 mm

Course 2 → ~8 mm

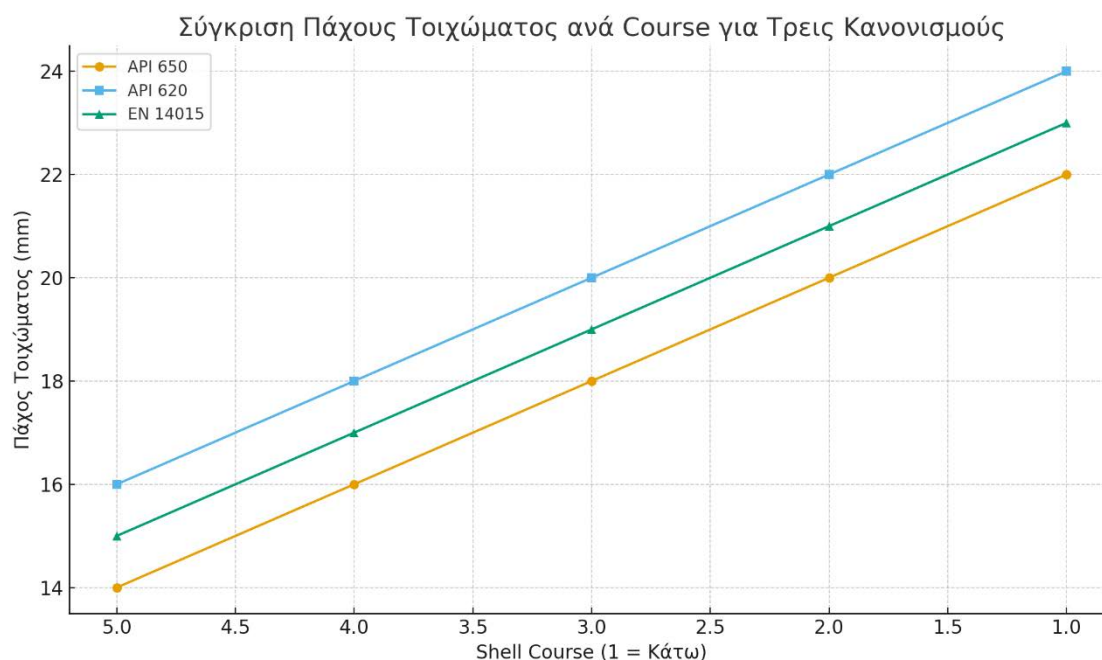
Course 3 → ~7 mm

Course 4 → ~6 mm

Course 5 → ~6 mm

Πίνακας Σύγκρισης API 650, API 620 & EN 14015

Course	Πάχος (API 650) mm	Πάχος (API 620) mm	Πάχος (EN 14015) mm
1	10	~11	~10
2	8	~9	~8
3	7	~8	~7
4	6	~7	~6
5	6	~7	~6



Σχεδιάγραμμα : 1 Σύγκριση Πάχους Τοιχώματος ανά Course για τους API 650, API 620 & EN14015

5.3.9 Συμπεράσματα για Βασικές Αρχές Σχεδιασμού Δεξαμενών Αποθήκευσης

- Υπολογισμός Πάχους τοιχωμάτων:

Για ατμοσφαιρικές δεξαμενές, το πάχος εξαρτάται κυρίως από:

Την πίεση από το υγρό (υδροστατική πίεση).

Την αντοχή του υλικού.

Η κατανομή του πάχους μειώνεται σταδιακά από τη βάση προς την κορυφή, γεγονός που αντανάκλα την υδροστατική επιβάρυνση: τα κατώτερα courses υφίστανται μεγαλύτερη πίεση και απαιτούν μεγαλύτερο πάχος.

Συντελεστές ασφαλείας και ανοχές κατασκευής.

Βασική εξίσωση (API 650):

$$t = (P \times R) / (\sigma_{allow} \times E - 0.6 P)$$

Ο API 620 αποδίδει διαρκώς υψηλότερα πάχη από τον API 650, υποδεικνύοντας αυστηρότερες παραδοχές ασφαλείας και επιβάρυνση λόγω πρόσθετων φορτίων (π.χ. vacuum, εξωτερική πίεση).

Ο EN 14015 προσφέρει πάχη παρόμοια με αυτά του API 650, αλλά σε ορισμένα courses είναι ελαφρώς υψηλότερα λόγω των ευρωπαϊκών παραμέτρων σχεδιασμού και των απαιτήσεων για πιστοποίηση και αξιοπιστία.

Διαστάσεις: Καθορίζονται από τον επιθυμητό όγκο και χαρακτηριστικά του υγρού.

Ασφάλεια: Σημαντική για αποφυγή καταστροφών.

Διάβρωση & Συντήρηση: Προβλέπονται επικαλύψεις και προστασίες.

Έλεγχος Στεγανότητας: Κρίσιμος για την πρόληψη διαρροών και επιπτώσεων στο περιβάλλον.

Κεφάλαιο 6

6.1 Ομαδοποίηση Κανονισμών ανά Χρήση

6.1.1 Αγωγοί Μεταφοράς (Pipelines / Transmission)

- ASME B31.8 – Φυσικό αέριο
- ASME B31.4 – Υγρά προϊόντα / καύσιμα
- API 1111 – Offshore / Onshore pipelines υψηλής πίεσης
- EN 1594 – Φυσικό αέριο υψηλής πίεσης
- EN 14161 – Υγρά υδρογονάνθρακες
- DNV-OS-F101 – Υποθαλάσσιες σωληνώσεις

6.1.2 Βιομηχανικές Σωληνώσεις (Process / Power / Plant Piping)

- ASME B31.1 – Συστήματα ισχύος (Power Piping)
- ASME B31.3 – Διεργασιακά / χημικά / βιομηχανικά δίκτυα
- EN 13480-3 – Ευρωπαϊκό πρότυπο μεταλλικών βιομηχανικών σωληνώσεων

6.1.3 Δοχεία Πίεσης (Pressure Vessels)

- ASME BPVC Section VIII Div.1 – UG-27 (για κυλινδρικά κελύφη) & UG-32 (κεφαλές)
- EN 13445-3 – Σχεδιασμός δοχείων πίεσης (μη θερμαινόμενα)

6.1.4 Ατμοσφαιρικές Δεξαμενές Αποθήκευσης (Atmospheric Storage Tanks)

- API 650 – Πρότυπο για συγκολλητές δεξαμενές αποθήκευσης σε ατμοσφαιρική πίεση
- API 620 – Δεξαμενές χαμηλής πίεσης (για περιπτώσεις μικρής πίεσης πάνω από την ατμοσφαιρική)
- EN 14015 – Ευρωπαϊκό πρότυπο αντίστοιχο του API 650 για δεξαμενές πάνω από το έδαφος

6.2 Ομοιότητες και Διαφορές Κανονισμών ανά Ομάδα

6.2.1 Αγωγοί Μεταφοράς

Ομοιότητες:

Όλοι χρησιμοποιούν παραλλαγές του τύπου Barlow, με διορθωτικούς συντελεστές (design factor, weld efficiency, corrosion allowance).

Διαφορές:

Ευρωπαϊκοί κανονισμοί (EN 1594, EN 14161) χρησιμοποιούν αυστηρότερους συντελεστές ασφαλείας. Το DNV-OS-F101 υιοθετεί limit state design (αντί allowable stress).

6.2.2 Βιομηχανικές Σωληνώσεις

Ομοιότητες:

Ενσωμάτωση επιρροών θερμοκρασίας, συγκολλήσεων, παραμέτρων σχεδιασμού με Y-factor.

Διαφορές:

Το EN 13480 έχει λεπτομερή παράρτημα για επιλογές υλικών, διαβρωτικά περιβάλλοντα και υποστηρίζει επιλογές για thin/thick wall υπολογισμούς. ASME B31.3 πιο ευέλικτο, ASME B31.1 πιο συντηρητικό.

6.2.3 Δοχεία Πίεσης

Ομοιότητες: Σχεδιασμός για εσωτερική πίεση

Και οι δύο καθορίζουν τύπους για τον υπολογισμό του πάχους τοιχώματος υπό εσωτερική πίεση.

Χρήση corrosion allowance

Και οι δύο επιτρέπουν να προστίθεται ένα πάχος για διάβρωση (CA) στη βασική τιμή.

Απαιτήσεις υλικών και ποιότητας

Και οι δύο απαιτούν τήρηση προτύπων υλικών, έλεγχο συγκολλήσεων, επιθεωρήσεις.

Αντιμετώπιση άλλων φορτίων

Και οι δύο λαμβάνουν υπόψη (ή επιτρέπουν να ληφθούν υπόψη) πρόσθετα φορτία πέραν της πίεσης — π.χ. φορτία από μονώσεις, δομικά φορτία, φορτία ανομοιομορφίας.

Διαφορές:

Ο UG-27/ASME είναι κατά κανόνα πιο συντηρητικός ως προς τις παραδοχές ασφαλείας, με χαμηλότερους συντελεστές συγκολλήσεων και αυστηρότερες απαιτήσεις όταν δεν πραγματοποιούνται πλήρεις έλεγχοι.

Ο EN 13445 επιτρέπει πιο “βελτιστοποιημένο” σχεδιασμό όταν υπάρχει υψηλή ποιότητα κατασκευής και τεκμηρίωση, δίνοντας μεγαλύτερη ευελιξία στους συντελεστές απόδοσης συγκολλήσεων.

6.2.4 Ατμοσφαιρικές Δεξαμενές Αποθήκευσης

Ομοιότητες:

Βασική φιλοσοφία ασφάλειας. Όλοι οι κανονισμοί επιδιώκουν ότι η κατασκευή θα λειτουργεί μέσα σε ασφαλή όρια τάσεων και φορτίων, λαμβάνοντας υπόψη περιθώρια ασφαλείας, επιθεώρηση και εφεδρικότητα.

Χρήση υδροστατικών / φορτικών εξισώσεων

Σε όλες τις περιπτώσεις, ο υπολογισμός πάχους λαμβάνει υπόψη την πίεση (εσωτερική ή υδροστατική), τη διάμετρο, την επιτρεπόμενη τάση υλικού και έναν παράγοντα διάβρωσης (corrosion allowance).

Απαιτήσεις για συγκολλήσεις και ποιότητα ελέγχων

Όλοι οι κανονισμοί ορίζουν απαιτήσεις για ποιότητα συγκολλήσεων, ελέγχους (NDT, υπερήχους, ακτινογραφίες), επιθεώρηση και διαδικασίες πιστοποίησης.

Δυνατότητα σχεδιασμού ανά τμήματα (courses / shell plates)

Σε πολλές περιπτώσεις, το κέλυφος της δεξαμενής χωρίζεται σε οριζόντια τμήματα ("courses") και ο υπολογισμός πάχους εφαρμόζεται ξεχωριστά για κάθε τμήμα.

Ελάχιστα πάχη

Όλοι οι κανονισμοί θέτουν ελάχιστα επιτρεπόμενα πάχη ή όρια κάτω των οποίων δεν μπορεί να πέσει ο σχεδιασμός, ανεξάρτητα από τα φορτία.

Εξωτερικά / πρόσθετα φορτία

Όλοι περιλαμβάνουν φορτία πέραν της πίεσης — π.χ. άνεμος, σεισμός — και λαμβάνουν υπόψη τις επιπτώσεις τους στο πάχος και τη δομική ακεραιότητα.

Διαφορές:

Ένταση / Φιλοσοφία σχεδιασμού

Ορισμένοι κανονισμοί (π.χ. API 620) είναι πιο "συντηρητικοί" — απαιτούν μεγαλύτερα πάχη — ειδικά για περιβάλλοντα υψηλής πίεσης ή φορτίων.

Ο EN 14015 από την άλλη έχει ευρωπαϊκές απαιτήσεις και ενσωματώνει χαρακτηριστικά του ευρωπαϊκού σχεδιασμού (π.χ. φορτία Eurocode).

Υπολογισμοί ειδικών φορτίων (vacuum, εξωτερική πίεση, buckling)

Ορισμένοι κανονισμοί δίνουν έμφαση σε πρόσθετες δυσμενείς συνθήκες πιο αυστηρά απ' ό,τι άλλοι.

Συμβατότητα υλικών και πιστοποιήσεις

Οι κανονισμοί EN έχουν συχνά αυστηρότερες απαιτήσεις για υλικά που πληρούν ευρωπαϊκά πρότυπα και πιστοποιήσεις, καθώς και διαδικασίες έγκρισης (Notified Bodies).

Αυστηρότητα σε ελέγχους, δοκιμές, πιστοποίηση

Τα ευρωπαϊκά πρότυπα συχνά περιλαμβάνουν αυστηρότερα πρωτόκολλα επιθεώρησης, μεγαλύτερους χρόνους κράτησης δοκιμών, απαιτήσεις για CE marking κ.ά.

Διαφορές στις παραδοχές τύπων

Π.χ. ο τύπος υπολογισμού πάχους μπορεί να έχει διαφορετικό offset (όπως “H – 1 ft” στον API 650) ή διαφορετική διατύπωση στον EN 14015.

Διαφορετικό επίπεδο ευελιξίας

Κάποιοι κανονισμοί προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία στη χρήση μη τυποποιημένων υλικών ή μεθόδων, υπό προϋποθέσεις, ενώ άλλοι είναι πιο περιοριστικοί.

6.3 Παράγοντες που Επηρεάζουν τον Υπολογισμό του Πάχους ανά Κανονισμό

6.3.1 Αγωγοί Μεταφοράς

ASME B31.8 / B31.4 / API 1111

- Εσωτερική Πίεση (P)
- Διάμετρος Σωλήνα (D)
- Επιτρεπόμενη Τάση Υλικού (S) → Από SMYS (Specified Minimum Yield Strength)
- Design Factor (F) → 0.6 ή 0.72 (ανάλογα με την τοποθεσία και κατηγορία αγωγού)
- Weld Joint Efficiency (E) → 1.0 για seamless, <1 για welded
- Corrosion Allowance (c)
- Class Location → Επηρεάζει τον Design Factor

EN 1594 / EN 14161

- Εσωτερική Πίεση (P)
- Διάμετρος (D)
- Επιτρεπόμενη Τάση (σ) → Από χαρακτηριστικές τιμές υλικού (f_{yk} , f_{uk})
- Φιλοσοφία ασφαλείας με συντελεστές: ϕ (material factor), η (design factor)
- Corrosion Allowance (c)
- Διαχωρισμός περιοχών ασφαλείας (Zone classification)

DNV-OS-F101

- Limit State Design Philosophy
- Internal Overpressure (P)
- Characteristic Material Strength (SMYS)
- Partial Safety Factors (γ_m , γ_F)
- System Collapse Checks (bursting, buckling, local buckling)
- Water Depth / External Pressure για offshore περιβάλλον
- Corrosion/Manufacturing Tolerance (Δt)

6.3.2 Βιομηχανικές Σωληνώσεις

ASME B31.1 / B31.3

- Εσωτερική Πίεση (P)
- Εξωτερική Διάμετρος (D_o)
- Επιτρεπόμενη Τάση (S) → Από ASME Section II
- Joint Efficiency (E)
- Y Factor → Λαμβάνει υπόψη παραμόρφωση (σε υψηλές πιέσεις)
- Corrosion Allowance (c)
- Συνθήκες λειτουργίας (θερμοκρασία, υγρασία)

EN 13480-3

- P, D, f (stress at design temp), ϕ (material factor)
- Επιλογή Thin/Thick Wall Theory
- Category of Piping
- Joint type / Efficiency
- Corrosion Allowance
- External Loads / Pressure (αν ληφθούν υπόψη)

6.3.3 Δοχεία Πίεσης

ASME BPVC UG-27 / UG-32

- Εσωτερική Πίεση (P)
- Ακτίνα R ή διάμετρος D
- Επιτρεπόμενη Τάση S
- Joint Efficiency E
- Corrosion Allowance (c)
- Μορφολογία κεφαλής (flat, ellipsoidal, hemispherical)
- Συνθήκες θερμοκρασίας

EN 13445-3

- Design Pressure (P)
- Nominal Diameter (D)
- Design Stress (f) → Από Annex C και G
- Partial Factors (γ_m , η) → Material & design
- Fatigue Check (αν απαιτείται)
- Geometric Factors (για κάθε head type: torispherical, hemispherical, etc.)
- Weld Type and Quality Category
- Corrosion / Manufacturing Allowances

Η σωστή επιλογή κανονισμού επηρεάζει το κόστος κατασκευής, την απαιτούμενη ποιότητα συγκόλλησης και τη διάρκεια ζωής της κατασκευής.

6.3.4 Ατμοσφαιρικές Δεξαμενές Αποθήκευσης

- Υδροστατική πίεση / Ύψος υγρού

Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος του υγρού, τόσο μεγαλύτερη πίεση ασκείται στο κάτω μέρος του κελύφους, άρα απαιτείται μεγαλύτερο πάχος.

- Διάμετρος δεξαμενής (R / D)

Μεγαλύτερη διάμετρος δημιουργεί μεγαλύτερες καμπτικές τάσεις, επομένως χρειάζεται αυξημένο πάχος για να αντισταθεί σε αυτά.

- Επιτρεπόμενη τάση υλικού (ή design stress)

Η δυνατότητα του υλικού (ανάλογα με κατηγορία χάλυβα, θερμοκρασία, κατάσταση κόπωσης) καθορίζει το πόσο μπορεί να “δουλέψει” το τοίχωμα. Όσο πιο υψηλή η επιτρεπόμενη τάση, τόσο μικρότερη μπορεί να είναι η απαίτηση πάχους.

- Corrosion Allowance (διάβρωση / απώλειες υλικού με το χρόνο)

Πρόσθετο πάχος για να αντιμετωπιστεί η διάβρωση ή φθορά κατά τη διάρκεια ζωής της δεξαμενής.

- Joint / Weld Efficiency

Η ποιότητα των ραφών — εάν είναι πλήρως ελεγχόμενες (π.χ. ραδιογραφικά) ή όχι — επηρεάζει τον συντελεστή απόδοσης και, κατά συνέπεια, απαιτεί περισσότερο πάχος αν η αποδοτικότητα είναι μικρότερη.

- Επιρροές Περιβάλλοντος / Φορτία Έξωθεν

Φορτία ανέμου, σεισμού, φορτία από χιόνι ή πάγο, θερμικές διαστολές/συστολές κ.ά. μπορούν να απαιτήσουν παχύτερο τοίχωμα για να διασφαλιστεί η ακεραιότητα υπό αυτές τις συνθήκες.

- Θερμοκρασία λειτουργίας / Μείωση αντοχών

Σε υψηλές θερμοκρασίες, η αντοχή του υλικού μειώνεται — άρα πρέπει να προστεθεί “πλεονάζον πάχος” για να καλυφθεί η μείωση.

- Φορτία υπερπίεσης / Δοκιμών (Hydrotest)

Η δεξαμενή πρέπει να αντέχει δοκιμαστικές πιέσεις πάνω από τη σχεδιαστική πίεση — αυτό συνήθως οδηγεί σε αυξημένο απαιτούμενο πάχος.

- Ελάχιστα επιτρεπόμενα πάχη στον κανονισμό

Όμως και αν υπολογιστικά προκύψει μικρότερο πάχος, οι κανονισμοί θέτουν κάτω όρια πάχους που δεν μπορούν να υπερβούν προς τα κάτω.

- Εφαρμοζόμενες μέθοδοι (Formulas, Design Point, Variable Point, Analysis)

Διαφορετικοί κανονισμοί προσφέρουν διαφορετικές μεθοδολογίες — π.χ. API 650 έχει “1-Foot Method” ή “Variable Design-Point Method”, ενώ EN 14015 υιοθετεί παρόμοιο τύπο με προσαρμογές.

- Ποιότητα κατασκευής / έλεγχοι

Όταν απαιτείται υψηλή πιστοποίηση, πιο αυστηροί έλεγχοι (π.χ. υπερήχους, ραδιογραφία) απαιτούν μεγαλύτερη ασφάλεια, άρα ενδεχομένως μεγαλύτερο πάχος.

- Κανονιστικές απαιτήσεις / πιστοποιήσεις (όπως PED στην Ευρώπη)

Στην Ευρώπη, η συμμόρφωση με την Οδηγία Εξοπλισμού Πίεσης (PED) ενδέχεται να απαιτεί

επιπλέον περιοχές ασφαλείας ή διαδικασίες που θα αυξήσουν το πάχος σχεδιασμού — κάτι που ο EN 14015 ενσωματώνει πιο άμεσα.

6.4 Συμπεράσματα Από τη Σύγκριση

Η συγκριτική μελέτη των διεθνών κανονισμών υπολογισμού πάχους μηχανολογικών κατασκευών υπό πίεση ανέδειξε σημαντικές ομοιότητες και διαφορές ως προς τις μεθοδολογίες, τις παραδοχές σχεδιασμού και τα αποτελέσματα:

Ομοιότητες:

Οι περισσότεροι κανονισμοί βασίζονται σε παραλλαγές της εξίσωσης του Barlow για την εκτίμηση των τάσεων σε κυλινδρικό δοχείο λόγω εσωτερικής πίεσης.

Όλοι οι κανονισμοί ενσωματώνουν συντελεστές ασφαλείας, διορθώσεις λόγω συγκόλλησης, καθώς και προσαυξήσεις πάχους για διάβρωση.

Υπάρχει κοινή λογική ως προς την κατηγοριοποίηση των εφαρμογών: αγωγοί μεταφοράς, βιομηχανικές σωληνώσεις, δοχεία πίεσης.

Διαφορές:

Οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί (EN 13445, EN 13480, EN 1594) υιοθετούν limit state design και συνήθως παρέχουν μικρότερα απαιτούμενα πάχη, σε σχέση με τους ASME/ANSI κανονισμούς, λόγω διαφορετικής φιλοσοφίας ασφαλείας.

Οι κανονισμοί όπως ο DNV-OS-F101 είναι προσανατολισμένοι σε offshore εφαρμογές και περιλαμβάνουν λεπτομερείς αξιολογήσεις κινδύνου.

Ο ASME B31.3 προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία σε βιομηχανικά δίκτυα, ενώ Ο ASME B31.1 είναι πιο συντηρητικός λόγω εφαρμογών υψηλής θερμοκρασίας και ισχύος.

Κεφάλαιο 7

Βιβλιογραφία

Η ακόλουθη βιβλιογραφία περιλαμβάνει πρότυπα, κανονισμούς, τεχνικά εγχειρίδια και επιστημονικά συγγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνταξη της παρούσας μελέτης σχετικά με τον υπολογισμό του πάχους μηχανολογικών κατασκευών υπό πίεση:

7.1 Κανονισμοί και Πρότυπα

ASME B31.1 – Power Piping, American Society of Mechanical Engineers, New York.

ASME B31.3 – Process Piping, American Society of Mechanical Engineers, New York.

ASME B31.4 – Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries, ASME.

ASME B31.8 – Gas Transmission and Distribution Piping Systems, ASME.

ASME Boiler & Pressure Vessel Code (BPVC), Section VIII, Division 1 – Rules for Construction of Pressure Vessels, ASME.

API 1111 – Design, Construction, Operation, and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines (Limit State Design), American Petroleum Institute.

EN 13445-3 – Unfired Pressure Vessels – Part 3: Design, European Committee for Standardization (CEN).

EN 13480-3 – Metallic Industrial Piping – Part 3: Design and Calculation, CEN.

EN 1594 – Gas infrastructure – Pipelines for maximum operating pressure over 16 bar – Functional requirements.

EN ISO 14161 – Petroleum and natural gas industries – Pipeline transportation systems – Pipeline integrity management.

DNV-ST-F101 – Submarine Pipeline Systems, Det Norske Veritas (DNV), Norway.

7.2 Βιβλία και Τεχνικά Εγχειρίδια

Megyesy, E. F. (2017). Pressure Vessel Handbook, 14th Edition, Pressure Vessel Publishing.

Moss, D. R. & Basic, M. (2013). Pressure Vessel Design Manual, 4th Edition, Gulf Professional Publishing.

Kanninen, M. F., Popelar, C. H. (1985). Advanced Fracture Mechanics, Oxford University Press.

McAllister, E. W. (2009). Pipeline Rules of Thumb Handbook, 7th Edition, Elsevier.

Hodge, B. K. (2004). Analysis and Design of Energy Systems, 3rd Edition, Pearson.

7.3 Επιστημονικά Άρθρα και Δημοσιεύσεις

Chattopadhyay, S. (2001). "Design-by-Analysis in ASME Section VIII, Division 2," Journal of Pressure Vessel Technology, ASME.

Mousselli, A. H. et al. (2010). "Thickness Calculation for Pressure Vessels and Piping Using ASME Codes", International Journal of Pressure Vessels and Piping.

Zahavi, E. (2003). "Modern Approaches in Pressure Vessel Design", Mechanical Engineering Review, Vol. 120(4).

Sadeghi, H. et al. (2017). "Comparative Study of Piping Design Standards: ASME B31.3 vs EN 13480", Journal of Mechanical Engineering Research and Developments, Vol. 40(3), pp. 295-303.

7.4 Ιστότοποι και Βάσεις Δεδομένων

ASME Official Website – <https://www.asme.org>

API Standards Online – <https://www.api.org>

European Committee for Standardization (CEN) – <https://www.cen.eu>

Det Norske Veritas (DNV) – <https://www.dnv.com>

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ –
https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/1324/Destouni_14021.pdf?sequence=1&isAllowed=y