



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει σημαντική αύξηση στην χρησιμοποίηση πλαστικών σωλήνων για μεταφορά υγρών και αερίων. Αυτό οφείλεται κύρια στην γνώση και στην εμπειρία η οποία έχει επιτευχθεί στον τομέα των πλαστικών και γενικότερα στους σωλήνες μετά από την πολύχρονη παραγωγή τους (από το 1973).

Τα πλαστικά είναι παράγωγα του πετρελαίου. Περίπου το 4% της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου χρησιμοποιείται στην παραγωγή πλαστικών.

Το περισσότερο αναπτυσσόμενο υλικό είναι το πολυαιθυλένιο (PE) κυρίως για την ύδρευση και άρδευση με αύξηση περίπου 7% ετησίως, το πολυπροπυλένιο (PP) για ύδρευση, αποχέτευση και μεταφορά ζεστού νερού με 8% αύξηση ετησίως και το μη πλαστικοποιημένο πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC-U) κυρίως για αποχέτευση με αύξηση 2%.



Η χρονολογική σειρά παραγωγής των πλαστικών σωλήνων ανάλογα το υλικό δίνεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1.

Τύπος πλαστικού	Συντόμηση	Χρονολογική σειρά παραγωγής	Πυκνότητα (Kg/m <sup>3</sup> )	Περιφερειακή τάση σχεδιασμού στους 20 °C (Mpa)	Διάμετρος σωλήνα (mm)
Πολυβινυλοχλωρίδιο	PVC-U	1935	1,400	10.0-14.0	40-630
Πολυαιθυλένιο	LDPE	1945	930 - 940	2.5-3.2	16-160
Πολυαιθυλένιο	HDPE	1955	950 - 965	5.0-6.3	25-1,600
Πολυπροπυλένιο	PP	1955	910-925	5.0	25-1,200
Πολυβουτένιο	PB	1955	920	5.0	25-160
Πολυεστέρας	GRP	1955	1,700	100	200-2,400
Πολυαιθυλένιο	PEX	1968	930-965	5	25-160
Πολυαιθυλένιο	MDPE	1971	940-950	5.0-6.3	25-1,600
Πολυαιθυλένιο	LLDPE	1986	935-940	5.0	16-160
Πολυαιθυλένιο	HDPE100	1990	950-965	8.0	25-1,600

- Το LDPE θεωρείται το καλύτερο υλικό για διαμέτρους μέχρι 90 mm. Το γραμμικό πολυαιθυλένιο (LLDPE) αντικαθιστά σταδιακά από το 1986 το LDPE σε αυτήν την χρήση (για μικρές διαμέτρους).
- Το HDPE και το MDPE χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερες διαμέτρους από 90 - 1600 mm σε δίκτυα μεταφοράς νερού, χημικών ουσιών και φυσικού αερίου. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται και σε δίκτυα υπονόμων για την μεταφορά αποβλήτων.
- Το PB και το PEX χρησιμοποιούνται για μεταφορά ζεστού και κρύου νερού σε δίκτυα μέσα σε σπίτια σε μικρές διαμέτρους.
- Το PP χρησιμοποιείται σε μικρές διαμέτρους σε δίκτυα ζεστού και κρύου νερού μέσα σε κτίρια ενώ σε μεγάλες διαμέτρους μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα μεταφοράς νερού και σε δίκτυα υπονόμων.



- Το PVC-U χρησιμοποιείται σήμερα κυρίως σε δίκτυα υπονόμων και κτιριακής αποχέτευσης.

Το PE, το PP και το PB ανήκουν στην κατηγορία των πολυμερών που ονομάζονται θερμοπλαστικά.

Οι χημικοί τύποι των συνηθέστερων πολυμερών για την παραγωγή πλαστικών σωλήνων δίνονται στον πίνακα 2.

## 2.1 ΙΞΩΔΟΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Από θερμοδυναμική άποψη η ιξωδοελαστική συμπεριφορά εμφανίζεται σαν συνδυασμός της ελαστικής και της συμπεριφοράς ελαστομερούς. Στην ελαστική συμπεριφορά μια παραμόρφωση οδηγεί σε μεταβολή μόνο της εσωτερικής ενέργειας. Στην συμπεριφορά ελαστομερούς μια παραμόρφωση οδηγεί σε μεταβολή μόνο της εντροπίας. Στην ιξωδοελαστική συμπεριφορά παρατηρείται τόσο μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας όσο και της εντροπίας.

Από πλευράς δομής, ιξωδοελαστική συμπεριφορά παρουσιάζουν τα γραμμικά και διακλαδωμένα μόρια σε θερμοκρασίες πάνω από την θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως ( $T_g$ ).

Η ιξωδοελαστική συμπεριφορά είναι περισσότερο πολύπλοκη από τις άλλες μηχανικές συμπεριφορές και επιβάλλει την χρησιμοποίηση απλουστευμένων μοντέλων.

Η κατασκευή ιξωδοελαστικών προτύπων βασίζεται στον συνδυασμό μηχανικών στοιχείων που παρουσιάζουν ιδανικά ιξώδη (νευτωνική) ή ιδανικά ελαστική (Hookean) συμπεριφορά. Σαν μηχανικό στοιχείο με ιδανικά ιξώδη χρησιμοποιείται ένα υδραυλικό έμβολο. Σαν μηχανικό στοιχείο με ιδανικά ελαστική συμπεριφορά χρησιμοποιείται ένα ελατήριο.

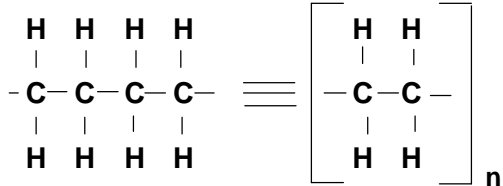
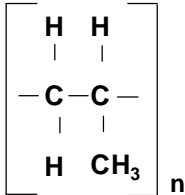
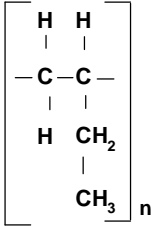
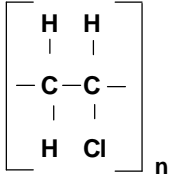
Ο συνδυασμός Maxwell - Voigt πλησιάζει περισσότερο στην ιξωδοελαστική συμπεριφορά. Σε ένα τέτοιο πρότυπο παρατηρείται κατά την εφαρμογή μιας σταθερής τάσεως μια αρχική παραμόρφωση που οφείλεται στο ελατήριο Maxwell, συνοδευόμενη από μια αντιστρεπτή ιξώδη ροή που οφείλεται στο έμβολο του προτύπου Maxwell και μια αντιστρεπτή αλλά επιβραδυνόμενη ελαστική παραμόρφωση (πρότυπο Voigt).

Η αντιστοιχία του προτύπου με μοριακούς μηχανισμούς γραμμικών πολυμερών έχει ως εξής:



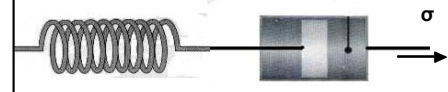
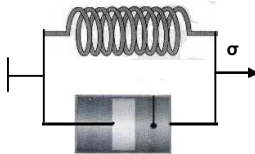
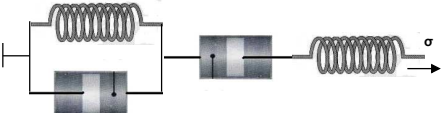
- Στιγμιαία ελαστική παραμόρφωση οφείλεται σε κάμψη και έκταση των χημικών δεσμών.
- Η μη αντιστρεπτή ιξώδης ροή οφείλεται σε ολίσθηση μεταξύ αλύσων ή τμημάτων τους.
- Η αντιστρεπτή αλλά επιβραδυνόμενη ελαστική παραμόρφωση οφείλεται στη μεταβολή των σχηματισμών των μορίων από σχηματισμούς ισορροπίας σε σχηματισμούς όπου ευνοείται επιμήκυνση και προσανατολισμός κατά την διεύθυνση της τάσεως.



Πίνακας 2

<p><b>Πολυαιθυλένιο (PE)</b>  <b>LDPE</b> : PE χαμηλής πυκνότητας  <b>MDPE</b> : PE μέσης πυκνότητας  <b>HDPE</b> : PE υψηλής πυκνότητας  <b>LLDPE</b> : PE γραμμικό χαμηλής πυκνότητας</p>	
<p><b>Πολυπροπυλένιο (PP)</b>  <b>Ομοπολυμερές PP-h</b> : Όταν επαναλαμβάνεται στην αλυσίδα η ρίζα A  <b>Συμπολυμερές block PP-c</b> : Όταν επαναλαμβάνεται η ρίζα A και B το μονομερές του αιθυλενίου σε κανονική διάταξη AAAA...BBBB...AAA...  <b>Συμπολυμερές random PP-r</b> : Όταν επαναλαμβάνεται η ρίζα A και B το μονομερές του αιθυλενίου σε τυχαία διάταξη AABABBAAB...</p>	
<p><b>Πολυβουτένιο (PB)</b></p>	
<p><b>Πολυβινυλοχλωρίδιο</b>  <b>PVC-U</b> : Σκληρό PVC χωρίς πλαστικοποιητές.  <b>PVC-S</b> : Μαλακό PVC με χρήση πλαστικοποιητών.</p>	

Πίνακας 3.

	Ελαστικό πρότυπο
	Ιξώδες πρότυπο
	Ρευστό Maxwell
	Στερεό Voigt
	Συνδυασμός Maxwell - Voigt



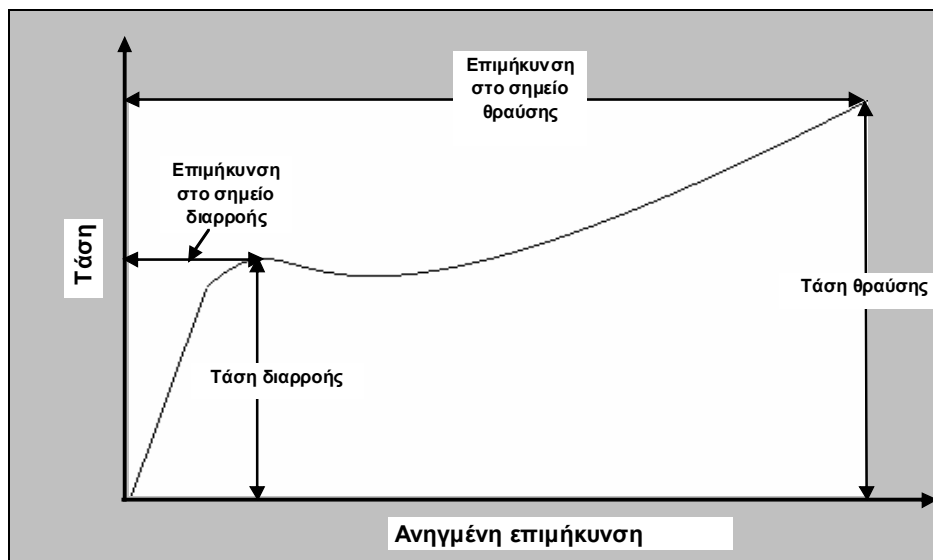
## 2.2. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

Η αντοχή στον εφελκυσμό προσδιορίζεται με δοκιμές εφελκυσμού που οδηγούνται μέχρι το σημείο θραύσεως. Στις περιπτώσεις αυτές καταγράφεται συνεχώς η δύναμη που εξασκείται σε ένα δοκίμιο, όταν αυτό επιμηκύνεται με σταθερό ρυθμό έκτασης.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε διαγράμματα τάσεων-ανηγμένων επιμηκύνσεων (σχήμα 1). Από τα διαγράμματα αυτά προσδιορίζονται και ορισμένα χαρακτηριστικά μεγέθη του πολυμερούς όπως:

- Μέτρο ελαστικότητας.
- Τάση ή όριο διαρροής.
- Τάση θραύσης.
- Ανηγμένη παραμόρφωση στο σημείο διαρροής.
- Ανηγμένη παραμόρφωση στο σημείο θραύσης.

Σχήμα 1.



Ανάλογα με τον τύπο της θραύσης τα υλικά κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

- Ψαθυρά
- Όλκιμα

Χαρακτηριστικό των ψαθυρών υλικών είναι η απουσία σημείου διαρροής. Αντίθετα στα όλκιμα υλικά, όπως το PE, χαρακτηριστικό τους είναι η ανάπτυξη μεγάλων επιμηκύνσεων πριν από τη θραύση.

## 2.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Το πολυμερές του PE μπορεί να περιγραφεί με τρία βασικά χαρακτηριστικά τα οποία επιδρούν και στο τελικό προϊόν του σωλήνα:

- Πυκνότητα
- Μοριακό βάρος
- Κατανομή μοριακού βάρους



### 2.3.1. Πυκνότητα

Το PE παράγεται με την χρήση υψηλών πιέσεων. Ανάλογα με την πίεση που χρησιμοποιείται μπορούν να παραχθούν διαφορετικοί τύποι PE με διαφορετικές πυκνότητες:

**Τύπος 1:** PE χαμηλής πυκνότητας (LDPE) το οποίο παράγεται κυρίως με υψηλή πίεση. Επίσης σε αυτόν τον τύπο περιέχεται και το γραμμικό χαμηλής πυκνότητας PE (LLDPE) το οποίο αποτελεί την τελευταία εξέλιξη PE, χρησιμοποιώντας διεργασίες χαμηλών πιέσεων για την παραγωγή του.

**Τύπος 2:** PE χαμηλής πυκνότητας (MDPE) το οποίο παράγεται με χαμηλές ή υψηλές πιέσεις.

**Τύπος 3:** PE υψηλής πυκνότητας (HDPE) το οποίο παράγεται με την προσθήκη μικρού ποσοστού από διαφορετικό είδος μονομερούς (βουτενίου και εξανίου), για τον έλεγχο της αλυσίδας του πολυμερούς.

**Τύπος 4:** PE υψηλής πυκνότητας (HDPE) το οποίο χρησιμοποιεί ομοπολυμερές μόνο από αιθυλένιο

Βάσει του ανωτέρω χαρακτηρισμού στον πίνακα 4. δίνονται οι πυκνότητες για κάθε τύπο PE.

**Πίνακας 4.**

Τύπος	Πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	PE
1	0.910 - 0.925	LDPE
2	0.926 - 0.940	MDPE
3	0.941 - 0.959	HDPE
4	0.960 και πάνω	HDPE - ομοπολυμερές

### 2.3.2 Μοριακό βάρος

Το μέγεθος του μορίου του πολυμερούς χαρακτηρίζεται από το μοριακό του βάρος το οποίο είναι το σύνολο των ατομικών βαρών όλων των ατόμων που απαρτίζουν το πολυμερές. Το μοριακό βάρος έχει μεγάλη επιρροή στην επεξεργασιμότητα και τις τελικές ιδιότητες του πολυμερούς (φυσικές και μηχανικές). Το θερμοπλαστικό PE για την παραγωγή σωλήνων έχει υψηλό μοριακό βάρος, πάνω από 100.000, και δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα όριο, για να μην εμποδίζεται η μορφοποίηση του κατά την παραγωγή ή οι μεταγενέστερες διαδικασίες θερμικής συγκόλλησης.

Το μοριακό βάρος είναι ο κύριος παράγοντας που προσδιορίζει την διάρκεια των ιδιοτήτων του πολυμερούς. Η τάση μακράς διάρκειας, σκληρότητα, ολκιμότητα και κόπωση βελτιώνονται όσο μεγαλώνει το μοριακό βάρος.

Το μοριακό βάρος επηρεάζει το ιξώδες του υλικού και κατ'επέκταση την δυνατότητα ροής στο τήγμα του πολυμερούς. Το μέτρο της ροής στο PE δίνεται με τον δείκτη ροής τήγματος - ΔPT (melt flow index - MFI). Το MFI μετρείται σε συσκευή που μετράει το σύνολο του υλικού το οποίο περνάει από ειδικό μέγεθος οπών σε μια δεδομένη χρονική περίοδος όταν εξελάσσεται σε προκαθορισμένη θερμοκρασία και σε ένα καθορισμένο βάρος. Το MFI υπολογίζεται από το σύνολο των υλικών που πέρασαν από τις οπές σε 10 min και περιγράφεται σαν 190/2.16 δηλαδή 190 °C και 2.16 kg PE.



Το MFI είναι οδηγός για το μοριακό βάρος και την επεξεργασιμότητα του πολυμερούς. PE με μεγάλο μοριακό βάρος έχουν χαμηλό δείκτη ροής και είναι πολύ δύσκολο να μετρηθεί με τις κοινές μεθόδους. Ωστόσο χρησιμοποιούνται 21.6 kg PE. Αυτή η μέτρηση αναφέρεται σαν Υψηλός δείκτης ροής τήγματος. Σύγχρονες αναλυτικές μέθοδοι δοκιμών έχουν αναπτυχθεί και υπολογίζουν τον MFI πολύ γρήγορα (Gel permeation Chromatography).

### 2.3.3. Κατανομή μοριακού βάρους (KMB) - Molecular Weight Distribution (MWD)

Το πλήθος των διαφορετικών μεγεθών των μορίων στο PE ακολουθούν την στατιστική καμπύλη του Gauss.

Το PE το οποίο έχει διευρυμένο πλήθος από μήκη αλυσίδων στο μόριο από μικρότερο σε μεγαλύτερο, καλείται ότι έχει διευρυμένη KMB. Αυτός ο τύπος PE έχει καλή συμπεριφορά στην περιβαλλοντική καταπόνηση (ESCR).

Επίσης PE με δύο κορυφές στην κατανομή του μοριακού βάρους, το οποίο περιέχει και μεγάλου και μικρού μοριακού βάρους αλυσίδες έχει εξαιρετικές φυσικές ιδιότητες.

Η επιρροή της πυκνότητας, του μοριακού βάρους και της κατανομής του μοριακού βάρους στο PE δίνονται στον πίνακα 5.

**Πίνακας 5.**

Ιδιότητα	Αύξηση της πυκνότητας	Αύξηση του Δείκτη ροής τήγματος	Διεύρυνση της κατανομής μοριακού βάρους
Αντοχή στον εφελκυσμό στο όριο διαρροής	Αύξηση	Μείωση	
Ακαμψία	Αύξηση	Μικρή μείωση	Μικρή μείωση
Αντοχή στην κρούση	Μείωση	Μείωση	Μείωση
Ψαθυρότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες	Αύξηση	Αύξηση	Μείωση
Αντοχή στην τριβή	Αύξηση	Ελάττωση	
Σκληρότητα	Αύξηση	Μικρή μείωση	
Σημείο μαλακώσεως	Αύξηση		Αύξηση
Διαπερατότητα		Μικρή αύξηση	
Χημική αντοχή	Αύξηση	Μείωση	
Ομαλή επιφάνεια	Αύξηση	Αύξηση	Μείωση
Αντοχή τήγματος		Μείωση	Αύξηση
Συρρίκνωση	Μείωση	Μείωση	Αύξηση



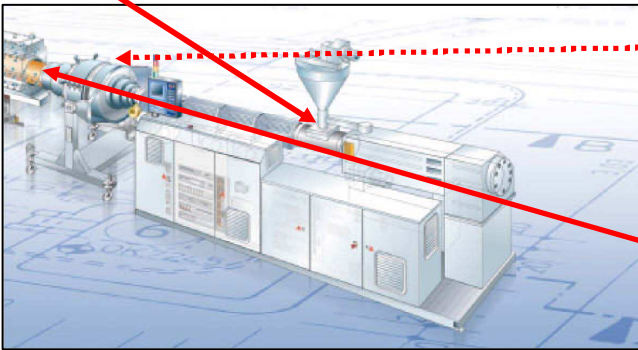
## 2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ

Το πολυαιθυλένιο (PE) ανακαλύφθηκε στην Αγγλία από την Imperial Chemical Company (ICC) το 1933. Η εταιρία δεν εμπορεύθηκε την παραγωγή του PE, παρά το 1939 όταν χρησιμοποιήθηκε για μόνωση τηλεφωνικών καλωδίων και ομοαξονικών καλωδίων και σαν κύριο συστατικό στην ανάπτυξη των ραντάρ στην διάρκεια το δεύτερου παγκοσμίου πολέμου. Οι πρόσφατες διεργασίες πολυμερισμού χρησιμοποιούν υψηλές πιέσεις (950 bar έως 3000 bar) και θερμοκρασίες (93 έως 316 °C).

Η αρχική διεργασία ήταν επικίνδυνη και ακριβή. Ωστόσο αναπτύχθηκαν ασφαλέστερες και φτηνότερες διεργασίες παραγωγής PE.

## 3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΩΛΗΝΩΝ PE

- Η παραγωγή του PE γίνεται με εξέλαση της πρώτης ύλης μέσω του εξελαστήρα (extruder).



- Τα διαστατικά των σωλήνων διαμορφώνονται στο σύστημα κεφαλής μήτρας.

- Η αρχική ψύξη σωλήνα PE γίνεται στο μπάνιο κενού όπου διαμορφώνεται και η εξωτερική διάμετρος του.

## 5. ΓΕΝΙΚΑ



Οι σωλήνες πολυαιθυλενίου χρησιμοποιούνται σαν λύση χαμηλού κόστους σε ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών σωλήνων:

- Μεταφορά πόσιμου νερού.
- Περισυλλογή ακαθάρτων.
- Περισυλλογή επικίνδυνων αποβλήτων.
- Μεταφορά χημικών ουσιών.
- Μεταφορά φυσικού αερίου.

- Προστασία καλωδίων.
- Μεταφορά τροφίμων.
- Μεταφορά και διανομή νερού σε αρδευτικά έργα.
- Άρδευση καλλιεργειών.

Τα δίκτυα τους μπορεί να είναι επιφανειακά, υπόγεια και υποθαλάσσια.



## 6. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Οι σωλήνες PE παράγονται σύμφωνα με όλες τις διεθνείς προδιαγραφές (ISO - EN) και εθνικές προδιαγραφές (ΕΛΟΤ - DIN κ.α.).



## 7. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΩΛΗΝΩΝ ΑΠΟ HDPE

### ➤ Μηδενικές διαρροές

Οι σωλήνες από PE ενώνονται μεταξύ τους κύρια με αυτογενή συγκόλληση και ηλεκτροσυγκόλληση. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγονται οι διαρροές προς το περιβάλλον.

### ➤ Χημική - μικροβιακή αντοχή, αντοχή στην διάβρωση, την τριβή και την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία

Οι σωλήνες PE

- Έχουν μεγάλη αντοχή στην τριβή σε σχέση με άλλους σωλήνες μεγάλου κόστους και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μεταφοράς υλικών (ορυχεία κ.α.) που δημιουργούν μεγάλες τριβές.
- Δεν χρειάζονται ακριβές εγκαταστάσεις και συντήρηση για καθοδική προστασία.
- Παρέχουν μεγάλη αντοχή στην μεταφορά πλήθους χημικών (Παράρτημα 2.) οξέων, βάσεων και αλάτων.
- Δεν επηρεάζονται από τα βακτήρια και τους μύκητες.
- Έχουν καλή αντοχή σε πολλές οργανικές ουσίες καθώς και σε καύσιμα υλικά.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε επιφανειακά δίκτυα σε μαύρο χρώμα με χρήση ειδικών προσθέτων για αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV).

### ➤ Εξαιρετικά χαρακτηριστικά ροής

Το PE είναι πιο λείο από υλικά όπως το ασφάλι, ο χυτοσίδηρος, ο ελατός χυτοσίδηρος, το τσιμέντο. Επειδή ο συντελεστής τριβής (κ) είναι πολύ μικρότερος από τα παραπάνω υλικά έχουν ισοδύναμη παροχή με μικρότερη διάμετρο.

Το PE έχει μεγάλη χημική αντοχή και δεν έχουμε επικάλυψη αλάτων στην επιφάνεια του με αποτέλεσμα την μείωση του συντελεστή τριβής με τον χρόνο.

### ➤ Μικρό βάρος και ευκαμψία

Οι σωλήνες πολυαιθυλενίου (PE):

- Παράγονται σε ρόλους (μέχρι 140 m) και σε ευθύγραμμα τμήματα των 6 και 12 m. Το ειδικό βάρος του PE είναι περίπου 8 φορές μικρότερο από το ασφάλι και για την μεταφορά και την εγκατάσταση των σωλήνων δεν χρειάζεται η χρησιμοποίηση βαρέως ανυψωτικού εξοπλισμού.
- Λόγω της ευκαμψίας τους και του τρόπου συγκόλλησης τους έχουν μεγάλη αντοχή και χρησιμοποιούνται σε σεισογενείς περιοχές.
- Επιτρέπουν μικρή καμπυλότητα χωρίς τη χρήση υπερβολικού αριθμού εξαρτημάτων.
- Έχουν μεγάλη αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Έχουν εύκολη συντήρηση και επισκευές χωρίς τη διακοπή της παροχής γειτονικών δικτύων με την χρήση της μεθόδου squeeze-off.
- Το υλικό τους δεν είναι ψαθυρό (εύθρυπτο) και μπορεί να εγκατασταθεί σε περιοχές με ανώμαλο έδαφος.

### ➤ Μεγάλη ποικιλία διαμέτρων

Παράγονται σε διαμέτρους από 16 mm μέχρι και 1600 mm σε μεγάλη ποικιλία διαμέτρων και αντοχών σε πίεση, με υποστήριξη όλων των εξαρτημάτων.





### ➤ Σκληρότητα και πλαστικότητα

Οι σωλήνες PE λόγω του υλικού κατασκευής τους έχουν αντοχή

- Σε υπερκείμενα φορτία
- Σε απότομη αύξηση της πίεσης. Η συμπεριφορά τους σε υδραυλικό πλήγμα είναι καλύτερη σε σύγκριση με άλλα συμβατικά υλικά (χάλυβας, χυτοσίδηρος κ.α.).
- Σε χαμηλές θερμοκρασίες.

## 8. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΑ

### ➤ Ονομαστική διάμετρος DN/OD

Η ονομαστική διάμετρος των πλαστικών σωλήνων πίεσεως αναφέρεται στην εξωτερική διάμετρο τους.

Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση των σωλήνων υπονόμων, εκτός από την περίπτωση ορισμένων σωλήνων δομημένου τοιχώματος για τους οποίους η ονομαστική τους διάμετρος αντιστοιχεί στην εσωτερική τους.

### ➤ Ονομαστική εξωτερική διάμετρος ( $d_n$ )

Η εξωτερική διάμετρος όπως καθορίζεται από τις προδιαγραφές.

### ➤ Εξωτερική διάμετρος ( $d_e$ )

Η διάμετρος που μετράμε στην εξωτερική επιφάνεια του σωλήνα στρογγυλοποιημένη στην πάνω τιμή του 0.1 mm.

### ➤ Ονομαστικό πάχος τοιχώματος ( $e_n$ )

Το πάχος τοιχώματος που καθορίζεται από τις προδιαγραφές ανάλογα το υλικό, την διάμετρο του σωλήνα και την πίεση λειτουργίας του σωλήνα.

### ➤ Πάχος τοιχώματος ( $e$ )

Το πάχος τοιχώματος που μετράμε σε οποιοδήποτε σημείο του σωλήνα

### ➤ Οβαλιτέ

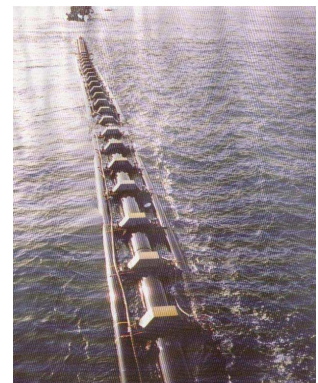
Η διαφορά μεταξύ της μετρημένης μέγιστης και ελάχιστης τιμής της εξωτερικής διαμέτρου του σωλήνα.

### ➤ Πρότυπος λόγος διάστασης (SDR)

Ο λόγος που προκύπτει από την διαίρεση της εξωτερικής διαμέτρου ( $d_n$ ) με το ονομαστικό πάχος τοιχώματος ( $e_n$ )

### ➤ Σειρά σωλήνα (S)

Αριθμός για τον χαρακτηρισμό του σωλήνα σύμφωνα με το ISO 4065:1996.



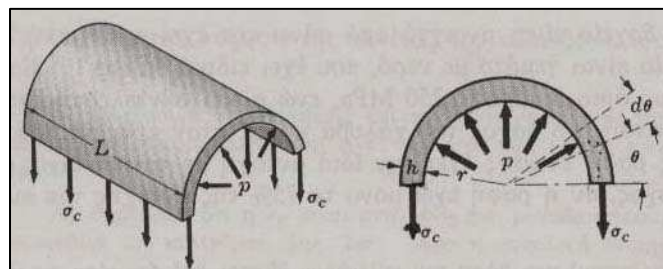


➤ Ονομαστική πίεση (PN)

Είναι η μέγιστη πίεση σε bar την οποία μπορεί να αντέξει ο σωλήνας σε συνεχή χρήση με νερό 20 °C.

### 9. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΩΛΗΝΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΓΡΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΙΩΝ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ

Η βασική παράμετρος σχεδιασμού των πλαστικών σωλήνων πίεσεως είναι η περιφερειακή τάση του υλικού (τάση σχεδιασμού), από το οποίο θα παραχθεί ο σωλήνας. Για να υπολογίσουμε την πίεση λειτουργίας ενός σωλήνα θεωρούμε ένα τμήμα σωλήνα μήκους L (σχ.2α) το οποίο και έχει διαχωριστεί από το σύνολο του σωλήνα. Η ανάλυση των δυνάμεων που επιδρούν δίνονται στην τομή (σχ.2β). Οι οριζόντιες δυνάμεις εξουδετερώνονται λόγω της συμμετρίας ως προς την κεντρική κατακόρυφο. Η εξίσωση ισορροπίας στην κατακόρυφη διεύθυνση δίνεται από την εξίσωση:



Σχήμα 2α

Σχήμα 2β

$$\sum F = -2 \cdot \sigma \cdot h \cdot L + \int_0^\pi p \cdot R_m \cdot (d\theta) \cdot (\eta\mu\theta) \cdot L$$

$$2 \cdot \sigma \cdot h \cdot L = -p \cdot R_m \cdot L \cdot [\sigma\upsilon\nu\theta]_0^\pi$$

επομένως η πίεση λειτουργίας είναι (h=e) :

$$PN = p = \frac{e \cdot \sigma}{R_m}$$

και με αντικατάσταση  $R_m = (d_n - e)/2$ , έχουμε τον τελικό τύπο (τύπος του Barlow)

$$PN = \frac{2 \cdot e \cdot \sigma}{d_n - s}$$



Επειδή όμως αντικειμενικός σκοπός είναι ο υπολογισμός του πάχους τοιχώματος με δεδομένη την πίεση έχουμε:

$$e = \frac{PN \cdot d_n}{20 \cdot \sigma + PN} \quad (1)$$

e : το ελάχιστο πάχος τοιχώματος του σωλήνα (mm).

(Οι ανοχές στο πάχος τοιχώματος υπολογίζονται από τον τύπο  $0.1 \cdot e + 0.1$  στρογγυλοποιημένο στο πάνω 0.1).

$d_n$  : Ονομαστική εξωτερική διάμετρος (mm).

PN: Ονομαστική πίεση του σωλήνα (bar).

$\sigma$  : Περιφερειακή τάση του PE (Mpa).

Από την παραπάνω εξίσωση βλέπουμε ότι αντικειμενικός σκοπός είναι ο υπολογισμός της τάσης σχεδιασμού, με την προϋπόθεση ότι ο σωλήνας πρέπει να διατηρεί τις χαρακτηριστικές μηχανικές τους ιδιότητες για 50 χρόνια σε θερμοκρασία λειτουργίας 20 °C.

Για αυτό τον λόγο ο τρόπος υπολογισμού έχει σχεδιαστεί για την εκτίμηση και των δύο απαιτήσεων.

Η βασική απαίτηση είναι να υπολογίζεται η τιμή σχεδιασμού παρά η τομή αστοχίας. Γι' αυτό τον λόγο έχει οριστεί ένας συντελεστής ασφαλείας ( C ) που εξαρτάται από το υλικό και την εφαρμογή που προορίζεται (πιν. 6).

**Πίνακας 6.**

Υλικό	C (ελάχιστο)
ABS	1.6
PB	1.25
PE (όλοι οι τύποι)	1.25
PE για μεταφορά φυσικού αερίου	2
PE-X	1.25
PP copolymer	1.25
PP homopolymer	1.6
PVC-C	1.6
PVC-U	2.5
PVDF copolymer	1.4
PVDF homopolymer	1.6

Η μέθοδος που έχει αναπτυχθεί για τον υπολογισμό της περιφερειακής τάσης σχεδιασμού γίνεται με στατιστικές μεθόδους (standard extrapolation method) και προσαρμόζει τα δεδομένα των δοκιμών σε διάφορα γραμμικά μοντέλα με διαφορετικούς βαθμούς ελευθερίας και διαφορετικούς αριθμούς μεταβλητών.



## 9.1. ΟΡΙΣΜΟΙ

- Υδροστατική τάση εξαρτώμενη από τον χρόνο και την θερμοκρασία ( $\sigma_{TTHS}$ ):

Ένα μέγεθος με μονάδα τάσης που μπορεί να θεωρηθεί ως ιδιότητα του υπό θεώρηση υλικού:

$$\sigma_{TTHS} = \sigma(T, \log t, \alpha)$$

όπου

T : θερμοκρασία σε βαθμούς KELVIN

t : χρόνος σε h

$\alpha$  : Συντελεστής σχετικός με την πιθανότητα ότι ο σωλήνας παραγόμενος από το υπό μελέτη υλικό θα αντέξει υπό τάση  $\sigma$  χωρίς αστοχίες για ένα χρονικό διάστημα t, υπό σταθερή θερμοκρασία.

- Υδροστατική τάση μεγάλης διάρκειας για 50 χρόνια σε 20 °C ( $\sigma_{LTHS}$ ):

Χαρακτηριστική τάση του υλικού που αντιπροσωπεύει το 50% του κατώτερου ορίου εμπιστοσύνης (LCL) της υδροστατικής πίεσης μεγάλης διάρκειας και η οποία είναι ίση με την μέση τάση ή την προβλεπόμενη τάση σε θερμοκρασία T και χρόνο t. Ο συντελεστής  $\alpha$  έχει την τιμή 0.5.

$$\sigma_{LTHS} = \sigma(T, \log t, 0.5)$$

- Υδροστατική τάση μεγάλης διάρκειας στο κατώτερο όριο εμπιστοσύνης για 50 χρόνια σε 20 °C ( $\sigma_{LCL}$ ):

Ένα μέγεθος με μονάδες τάσης που μπορεί να θεωρηθεί σαν ιδιότητα του υλικού που αντιπροσωπεύει το 97.5 % του κατώτερου ορίου εμπιστοσύνης (LCL) της τάσης μεγάλης διάρκειας και η οποία είναι ίση με την μέση τάση ή την προβλεπόμενη μέση τάση σε θερμοκρασία T και χρόνο t. Ο συντελεστής  $\alpha$  έχει την τιμή 0.975.

$$\sigma_{LCL} = \sigma(T, \log t, 0.975)$$

- Ελάχιστη απαιτούμενη τάση (MRS):

Η τιμή του  $\sigma_{LCL}$  στρογγυλοποιημένη (πίνακας 7) στην επόμενη μικρότερη τιμή της σειράς R10 (όταν το  $\sigma_{LCL}$  είναι μικρότερο των 10 Mpa) ή της σειράς R20 (όταν το  $\sigma_{LCL}$  είναι μεγαλύτερο των 10 Mpa). Οι σειρές R10 και R20 είναι οι πρότυποι αριθμοί RENARD. Η χρησιμοποίησή τους καθώς και η επιλογή τους καθορίζονται από το ISO 3 και 497.

**Πίνακας 7**

Περιοχή $\sigma_{LCL}$ (Mpa)	Ελάχιστη απαιτούμενη τάση (Mpa)	Υλικά
$6.3 \leq \sigma_{LCL} \leq 7.99$	6.3	PE 1 <sup>ης</sup> γενιάς
$8 \leq \sigma_{LCL} \leq 9.99$	8	PE 2 <sup>ης</sup> γενιάς
$10 \leq \sigma_{LCL} \leq 11.19$	10	PE 3 <sup>ης</sup> γενιάς
$25 \leq \sigma_{LCL} \leq 27.99$	25	PVC-U



Βάσει των παραπάνω, με συντελεστή ασφαλείας για μεταφορά νερού 1.25 και αέριο 2 υπολογίζονται οι τάσεις σχεδιασμού βάσει των υλικών (πίνακας 8).

**Πίνακας 8**

Υλικό	Χρήση	Τάση σχεδιασμού (Κρα)
PE 1 <sup>ης</sup> γενιάς	Μεταφορά νερού	5
PE 2 <sup>ης</sup> γενιάς	Μεταφορά νερού	6,3
PE 3 <sup>ης</sup> γενιάς	Μεταφορά νερού	8
PE 2 <sup>ης</sup> γενιάς	Μεταφορά φυσικού αερίου	4
PE 3 <sup>ης</sup> γενιάς	Μεταφορά φυσικού αερίου	5

Ανάλογα με την γενιά του PE που θα χρησιμοποιηθεί μπορεί να παραχθεί μια μεγάλη γκάμα σωλήνων σε διαφορετικές διαμέτρους και πιέσεις (Παράρτημα 1).

## 9.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ

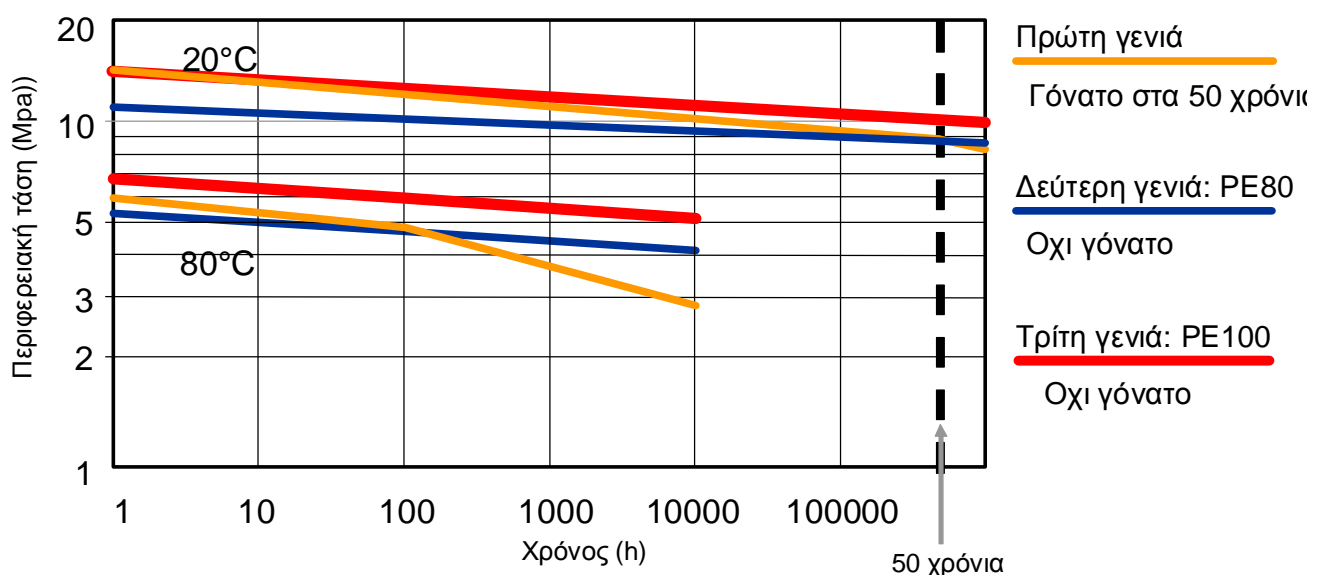
Ο κατασκευαστής των πλαστικών πρώτων υλών πρέπει να διαθέτει πειραματικά δεδομένα από πλήθος θερμοκρασιών και χρονικών διαστημάτων δοκιμών για τον υπολογισμό της υδροστατικής τάσης μεγάλης διάρκειας.

Σαν ελάχιστα απαιτούμενα για την θερμοκρασία είναι 3 τιμές οι οποίες πρέπει να έχουν τιμές τουλάχιστον 10 βαθμούς Kelvin διαφορά.

Οι αστοχίες πρέπει να είναι

- 8 μεταξύ 10 h - 100 h.
- 7 μεταξύ 100 h - 1000 h.
- 9 πάνω από 1000 (4 πάνω από 7.000 h και 1 πάνω από 9.000 h).

Το παρακάτω διάγραμμα δίνει το MRS για διαφορετικές γενιές PE.





## 10. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας βγαίνει από την παρακάτω εξίσωση:

$$PFA = f_T \cdot f_A \cdot PN \quad (2)$$

όπου:

$f_T$  : Συντελεστής που εξαρτάται από την θερμοκρασία και δίνεται στον πίνακα 8.

$f_A$  : Συντελεστής που εξαρτάται από την εφαρμογή (για μεταφορά νερού =1).

$PN$  : Η ονομαστική πίεση λειτουργίας (bar).

Στην περίπτωση χρήσης Η/Υ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμοκρασίες 20 °C έως 40 °C η εξίσωση

$$PFA = -0,013 \cdot T + 1,26 \quad (3)$$

T : η θερμοκρασία σε °C.

**Πίνακας 8.**

Θερμοκρασία (°C)	Συντελεστής μείωσης
20	1,00
21	0,99
22	0,97
23	0,96
24	0,95
25	0,94
26	0,92
27	0,91
28	0,90
29	0,88
30	0,87
31	0,86
32	0,84
33	0,83
34	0,82
35	0,81
36	0,79
37	0,78
38	0,77
39	0,75
40	0,74



## 11. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΩΛΗΝΩΝ ΓΙΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΝΟΜΩΝ

Η βασική παράμετρος σχεδιασμού για τους πλαστικούς σωλήνες σε δίκτυα υπονόμων είναι το μέτρο ελαστικότητας του υλικού (E). Οι πλαστικοί σωλήνες με την εγκατάστασή τους υπόκεινται σε φορτία από το έδαφος και σε αρκετές περιπτώσεις και από κινητά φορτία. Εκείνο που πρέπει να τονίσουμε είναι ότι οι πλαστικοί σωλήνες υπό την επίδραση φορτίων παραμορφώνονται και δεν σπάνε. Η χειρότερη περίπτωση είναι η επίδραση της υδροστατικής τάσης στην περίπτωση υδροφόρου ορίζοντα. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να υπολογίζεται η αντοχή σε ρήξη του σωλήνα (Buckling strength).

Η αντίσταση των πλαστικών σωλήνων στα φορτία ονομάζεται ακαμψία δακτυλίου (Ring Stiffness) και υπολογίζεται από τον τύπο (κατά ΕΛΟΤ 1169)

όπου:

$$SN = \frac{E \cdot I}{D_m^3} \quad (4)$$

**SN** : Ακαμψία δακτυλίου του σωλήνα (kN/m<sup>2</sup>)

**I** : Ροπή αδρανείας του τοιχώματος του σωλήνα (mm<sup>4</sup>/mm)

**D<sub>m</sub>** : Μέση διάμετρος του σωλήνα (mm)

Η ροπή αδρανείας για σωλήνες με συμπαγές πάχος τοιχώματος υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I = \frac{e^3}{12} \quad (5)$$

Βάσει των παραπάνω έχουν καθοριστεί από τα παρακάτω πρότυπα (πίνακας 9) οι σειρές 2, 4 και 8 kN/m<sup>2</sup> όπως αυτές υπολογίζονται από τον τύπο 4.

**Πίνακας 9.**

Υλικό	Πρότυπο
Plastic piping system for non-pressure underground drainage and sewerage - polyethylene (PE) - Part 1: Specification for pipes, fittings and the systems	
Plastic piping system for non-pressure underground drainage and sewerage - polypropylene (PP) - Part 1: Specification for pipes, fittings and the systems	
Plastic piping system for non-pressure underground drainage and sewerage -Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U) - Part 1: Specification for pipes, fittings and the systems	EN 1401-1 1998
Plastic piping system for non-pressure underground drainage and sewerage - Structured-wall piping systems of unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) - Part 1: Specifications for pipes, fittings and the system	prEN 13476 September 2002



## 12. ΜΕΤΑΦΟΡΑ, ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ, ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΩΛΗΝΩΝ ΡΕ

Η μεταφορά, η αποθήκευση και η τοποθέτηση των σωλήνων ΡΕ γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο prENV 1046. Οι κανόνες που ακολουθούνται πρέπει να δίνουν την απαραίτητη ασφάλεια για την εφαρμογή που προορίζεται ο σωλήνας και ειδικότερα σε εφαρμογές μεταφοράς φυσικού αερίου.

### 12.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ

- Οι σωλήνες πρέπει να προστατεύονται αποτελεσματικά πριν την μεταφορά τους. Κάθε σημείο υποστήριξης πρέπει να είναι επίπεδο χωρίς αιχμηρές προεξοχές.
- Η καρότσα του φορτηγού που μεταφέρει τους σωλήνες πρέπει να είναι επίπεδη χωρίς αιχμηρές προεξοχές και εξογκώματα.
- Οι μεγαλύτερες διαμέτροι πρέπει να είναι στο κάτω μέρος του φορτίου.
- Δεν επιτρέπεται η στίβασια σωλήνων σε ύψος μεγαλύτερο από 5 φορές την ονομαστική διάμετρο και όχι παραπάνω από 2 m για μικρότερες διαμέτρους. Αυτό δεν ισχύει όταν οι σωλήνες είναι συσκευασμένοι σε δεμάτια.
- Γενικά όταν οι σωλήνες χρειάζονται ειδικές πρακτικές μεταφοράς, αυτές συμφωνούνται κοινού μεταξύ πελάτη και κατασκευαστή.

### 12.2 ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ

- Κατά την διακίνηση των σωλήνων πρέπει να αποφεύγεται κάθε φθορά.
- Δεν πρέπει να πετάγονται από το φορτηγό ή να σύρονται σε ανώμαλο έδαφος.
- Οι πλαστικοί σωλήνες μπορεί να πάθουν ζημιά όταν έρχονται σε επαφή με αιχμηρά αντικείμενα.
- Οι μάντες που χρησιμοποιούνται στην φορτοεκφόρτωση είναι προτιμότερο να είναι από συνθετικό υλικό και να αποφεύγονται άγκιστρα ή αλυσίδες. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται κλαρκ, τα πιρούνια του πρέπει να είναι λεία.
- Επειδή η αντοχή σε κρούση μειώνεται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, πρέπει σε αυτές τις συνθήκες να υπάρχει μεγαλύτερη προσοχή.

### 12.3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

- Αν και οι πλαστικοί σωλήνες είναι ανθεκτικοί και ελαστικοί, πρέπει να υπάρχουν λογικές προφυλάξεις στην αποθήκευσή τους.
- Οι σωλήνες πρέπει να αποθηκεύονται σε επιφάνειες χωρίς αιχμηρά αντικείμενα, πέτρες και εξοχές.
- Όταν οι σωλήνες είναι σε κουλούρες μπορούν να αποθηκευτούν κάθετα ή οριζόντια στοιβαγμένες. Πρέπει να προστατεύονται από ακραίες θερμοκρασίες
- Όταν οι ευθύγραμμοι σωλήνες αποθηκεύονται σε στοίβες πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη υποστήριξη για την αποφυγή μόνιμων παραμορφώσεων ή τη δημιουργία οβαλιτέ.
- Πρέπει να αποφεύγεται η αποθήκευση των πλαστικών σωλήνων κοντά σε καύσιμα, λάδια, χρώματα, λιπαντικά και εστίες φωτιάς.
- Οι σωλήνες που αποθηκεύονται για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε εξωτερικό χώρο πρέπει να περιέχουν σταθεροποιητές για την ηλιακή ακτινοβολία (UV).

### 12.4. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

- Το ελάχιστο βάθος τοποθέτησης των πλαστικών σωλήνων στην περίπτωση που υπάρχουν κινητά φορτία πρέπει να είναι τουλάχιστον :





$$H \geq 500 + d_n \quad (\text{mm})$$

- Το πλάτος της τάφρου μπορεί να είναι τόσο όσο χρειάζεται για τις εργασίες σύνδεσης, αν και μπορούν να γίνουν και εκτός τάφρου.
- Το υλικό επίστρωσης της τάφρου και της κάλυψης του σωλήνα δεν πρέπει να έχουν πέτρες και αιχμηρά αντικείμενα που μπορεί να πληγώσουν τον σωλήνα και συνήθως μπορεί να είναι άμμος, χωρίς να αποκλείονται τα υλικά της εκσκαφής απαλλαγμένα από πέτρες.
- Το υλικό επίστρωσης γύρω από τον σωλήνα δεν συμπιέζεται, αλλά τοποθετείται με φτυάρι και στρώνεται με απλά χτυπήματα του ποδιού.
- Το υλικό επίστρωσης πάνω από τον αγωγό μπορεί να συμπιεστεί εκατέρωθεν του σωλήνα και συνήθως χρησιμοποιείται 3A.
- Η τελική επίχωση μπορεί να γίνει από τα υλικά εκσκαφής τα οποία συμπιέζονται ανά στρώμα μέχρι την πλήρη κάλυψη στην επιφάνεια του εδάφους.



## 13. ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

Οι τρόποι σύνδεσης του PE είναι:

- Θερμική συγκόλληση
- Θερμική - μηχανική σύνδεση
- Μηχανική σύνδεση

### 13.1. ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΓΚΟΛΗΣΗ

#### 13.1.1 Αυτογενής συγκόλληση (Butt fusion welding)



Βήματα για την αυτογενή συγκόλληση:



- Ευθυγράμμιση των σωλήνων ή εξαρτημάτων στις ειδικές σιαγόνες του μηχανήματος αυτογενούς συγκόλλησης.
- Τοποθέτηση εξαρτήματος πλαναρίσματος για την ευθυγράμμιση των άκρων των σωλήνων ή εξαρτημάτων.
- Νέα ευθυγράμμιση των σωλήνων ή εξαρτημάτων.
- Καθαρισμός των άκρων του σωλήνα με ασετόν για απομάκρυνση της σκόνης ή άλλων ξένων ουσιών.
- Τοποθέτηση θερμαντικής πλάκας ενδιάμεσα των σωλήνων. Η πλάκα πρέπει να έχει θερμοκρασία

220 °C για HDPE και 210 °C για MDPE.

- Εφαρμογή πίεσης  $P_1$  για χρονική διάρκεια  $t_1$  μέχρι να σχηματιστεί χείλος (s) στα άκρα των σωλήνων.

$$s = 0.5 + 0.1 \cdot e$$

όπου  $e$  το πάχος τοιχώματος του σωλήνα σε mm.

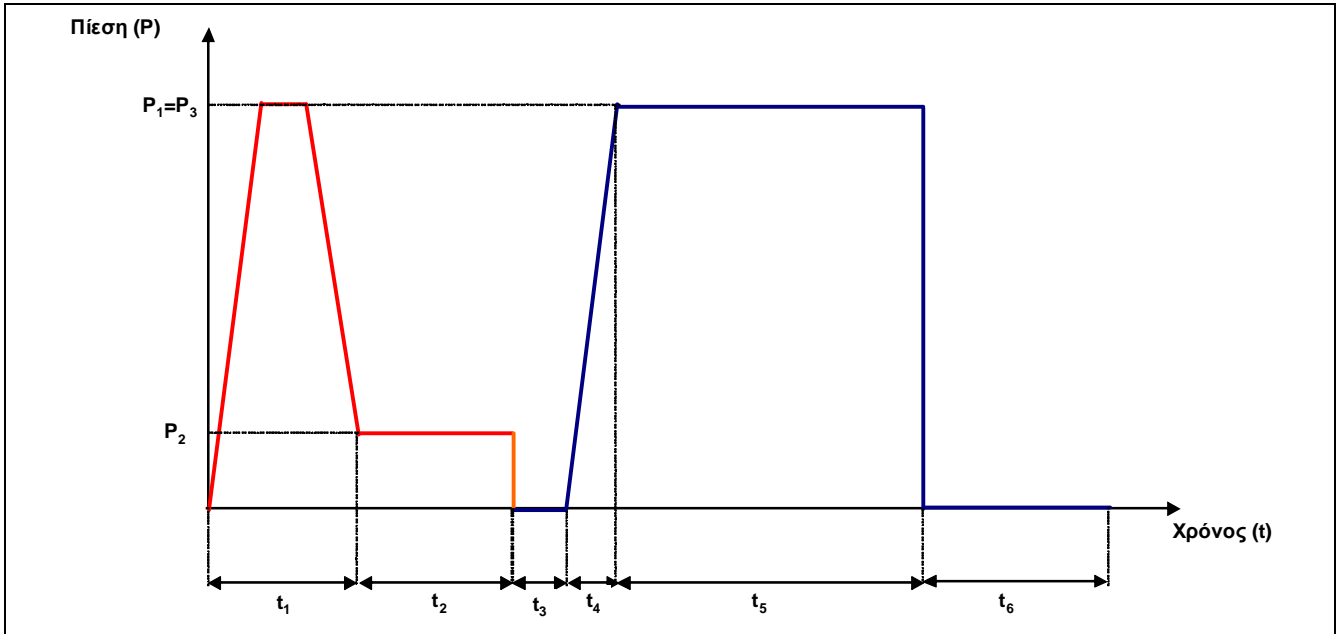
- Μείωση της εφαρμοζόμενης πίεσης σε  $P_2$  για χρονική διάρκεια  $t_2$ .
- Απομάκρυνση της πλάκας θέρμανσης σε χρόνο  $t_3$  ( ο χρόνος αυτός πρέπει να είναι ο συντομότερος δυνατός και εξαρτάται από τη διάμετρο και το πάχος του σωλήνα και δίνεται από τον κατασκευαστή της μηχανής).
- Εφαρμογή πίεσης  $P_3=P_1$  σε χρονική διάρκεια  $t_4$ . Ο χρόνος εφαρμογής της πίεσης πρέπει να είναι σταδιακός και σύμφωνα με το χρόνο που δίνει ο κατασκευαστής της μηχανής.





- Ψύξη του σωλήνα με εφαρμογή πίεσης  $P_3$  για χρονική διάρκεια  $t_5$ .
- Ψύξη του σωλήνα εκτός της μηχανής  $t_6$ .

### Διάγραμμα 1.



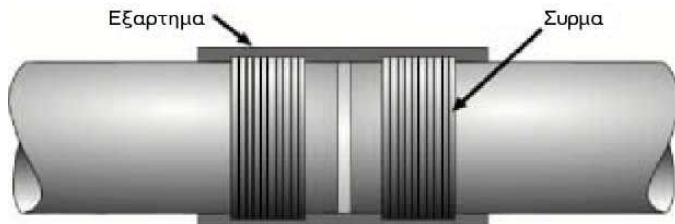
Στον πίνακα 10 δίνονται οι παράμετροι αυτογενούς συγκόλλησης. Βασικός παράγων για τον υπολογισμό των παραμέτρων είναι η επιφάνεια του κυλίνδρου της μηχανής.

### Πίνακας 10. Σύνδεση σωλήνων PE με αυτογενή συγκόλληση

Διάμετρος=	125	<p>Οι πληροφορίες είναι καθαρά υπολογιστικές και δίνουν τις πιέσεις και τους χρόνους αυτογενούς συγκόλλησης σε σωλήνες PE. Σαν βασική εισαγωγή πρέπει να δίνεται η επιφάνεια κυλίνδρου της μηχανής Ο Τεχνικός που θα εγκαταστήσει τους σωλήνες πρέπει να συμβουλευτεί το φυλλάδιο της μηχανής</p>	
MRS =	10		
Πίεση =	32		
Υλικό =	HDPE		
Πάχος Τοιχώματος =	20,9		
<b>Επιφάνεια κυλίνδρου μηχανής =</b>	<b>7</b>		
Επιφάνεια Σωλήνα =	68,4		
Θερμοκρασία πλάκας	220		
Εφαρμογή πίεσης $P_1$	180		
$P_1$ (bar) =	<b>17,6</b>		
Χείλος =	<b>2,6</b>	Χρόνος $t_1$ (s) =	<b>125,4</b>
Εφαρμογή πίεσης $P_2$ (bar)	<b>2,3</b>	Χρόνος $t_2$ (s) =	<b>251</b>
		Χρόνος απομάκρυνσης πλάκας $t_3$ (s) =	<b>11</b>
		Χρόνος για την εφαρμογή πίεσης συγκόλλησης $t_4$ (s) =	<b>13</b>
εφαρμογή πίεσης για την συγκόλληση $P_5$ (bar) =	<b>17,6</b>	Χρόνος συγκόλλησης και ψύξης με εφαρμογή πίεσης $t_5$ (min) =	<b>25</b>
		Χρόνος ψύξης μετά την απομάκρυνση της μηχανής $t_6$ (min) =	<b>32</b>
		Συνολικός Χρόνος κόλλησης (min) =	<b>64</b>



### 13.1.2. Ηλεκτροσυγκόλληση (Electrofusion welding)



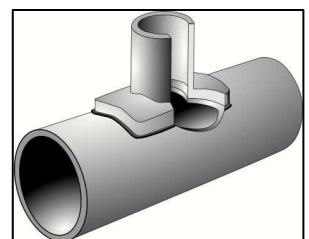
#### ➤ Βήματα για την ηλεκτροσυγκόλληση

- Κόβουμε κάθετα τα άκρα των σωλήνων ή των εξαρτημάτων.
- Μαρκάρουμε το μήκος που ορίζει κάθε φορά το εξάρτημα από τα άκρα κάθε σωλήνα.
- Αφαιρούμε την επιφανειακή οξειδωση σε όλο το μήκος που θα τοποθετηθεί το εξάρτημα με ειδικό όργανο απόξεσης ή ξύστρα. Ο καθαρισμός πρέπει να είναι ομοιόμορφος και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται λίμα, γυαλόχαρτο και τροχός λείανσης.
- Οι επιφάνειες που έχουν ξυστεί πρέπει να καθαριστούν με ασετόν και μαλακό χαρτί ή ύφασμα που δεν αφήνει χνούδι.
- Καθαρίζουμε την εσωτερική επιφάνεια του εξαρτήματος με ασετόν.
- Τοποθετούμε το εξάρτημα στα άκρα των σωλήνων μέχρι το σημείο που έχουμε μαρκάρει.



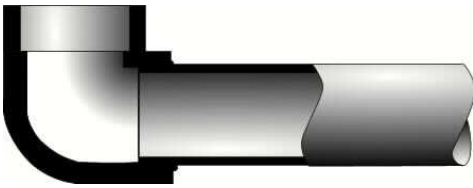
- Φροντίζουμε ώστε όλο το σύστημα σωλήνων-εξαρτήματος να είναι ευθυγραμμισμένα και σταθερά όση χρονική διάρκεια γίνεται η συγκόλληση.
- Εφαρμόζουμε στους ακροδέκτες του εξαρτήματος τα βύσματα της μηχανής ηλεκτροσυγκόλλησης.
- Διαβάζουμε με την ακίδα της μηχανής το bar code του εξαρτήματος. Αυτόματα δίνεται ο χρόνος ηλεκτροσυγκόλλησης.
- Η μηχανή συνήθως προειδοποιεί μετά το τέλος του χρόνου, οπότε και αφαιρούμε τα βύσματα από το εξάρτημα.
- Δεν μετακινούμε το σύστημα σωλήνων-εξαρτήματος μέχρι τον χρόνο που ορίζει ο κατασκευαστής της μηχανής.

Για ηλεκτροσέλα εφαρμόζουμε τα ίδια βήματα σε ένα τμήμα του σωλήνα, φροντίζοντας το σφίξιμο πάνω στον σωλήνα να μην δημιουργεί οβαλιτέ.





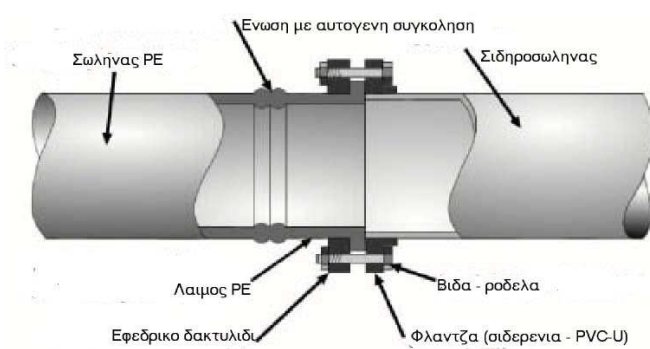
### 13.1.3. Αυτογενής συγκόλληση εξαρτημάτων



Η τεχνική αυτή στηρίζεται στην συνεχή θέρμανση της εξωτερικής επιφάνειας του σωλήνα και της εσωτερικής του εξαρτήματος μέχρι το υλικό να έλθει στην θερμοκρασία συγκόλλησης. Κατόπιν πιέζουμε το εξάρτημα στον σωλήνα και το διατηρούμε σταθερό μέχρι να κρυώσει.

### 13.2. ΘΕΡΜΙΚΗ - ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος μηχανικής σύνδεσης είναι με λαιμό PE

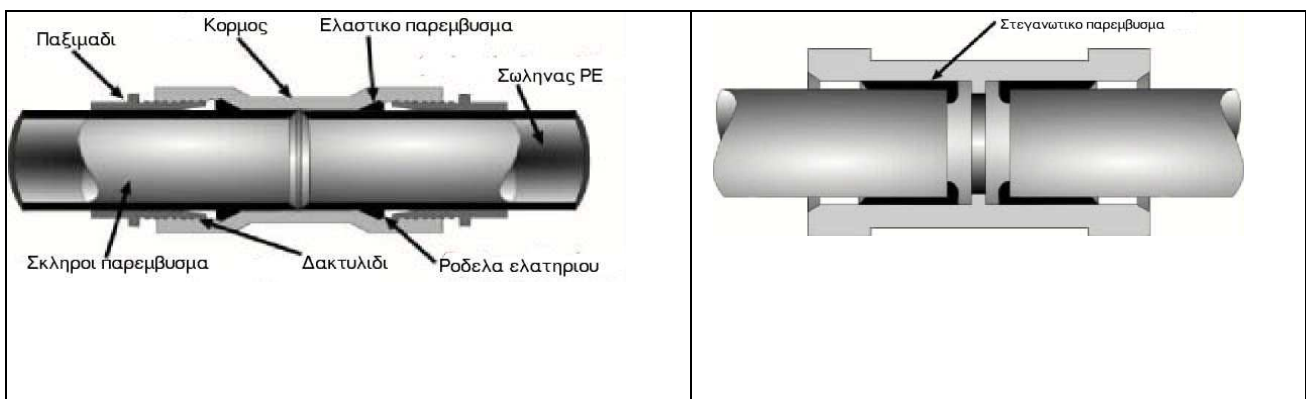


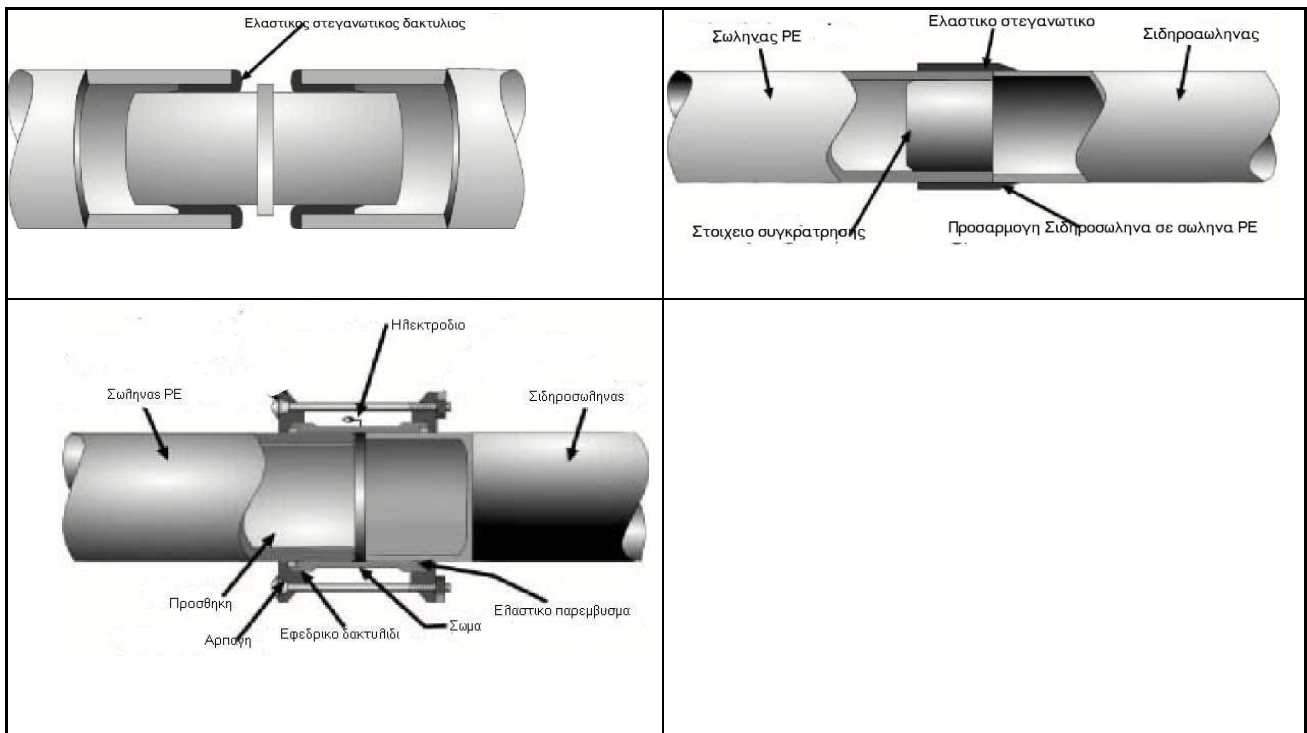
- Αρχικά γίνεται η συγκόλληση του λαιμού PE στον σωλήνα PE με αυτογενή συγκόλληση.
- Με την χρησιμοποίηση φλαντζών από σίδηρο ή από PVC-U και ελαστικές φλάντζες μπορούμε να ενώσουμε σωλήνες PE σε PE, PE σε PVC-U, PE σε σιδηροσωλήνες.

### 13.3. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ

Στις επόμενες εικόνες δίνουμε διάφορους τρόπους μηχανικής σύνδεσης μεταξύ:

- σωλήνων PE
- σωλήνων PE με PVC-U
- σωλήνων PE με σιδηροσωλήνες







## 14. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΝΟΜΩΝ

Για τον υπολογισμό της παραμόρφωσης και την αντοχή σε ρήξη ακολουθούμε τη θεωρία του Gaube και του Γερμανικού πρότυπου ATV A 127/Δεκέμβριος 1988.

Η χαρακτηριστική ιδιότητα των πλαστικών σωλήνων υπό την επίδραση φορτίων είναι η παραμόρφωση σε αντίθεση με τους άκαμπτους που μικρή παραμόρφωση τους δημιουργεί και σπάσιμο του σωλήνα.

Τα φορτία που επιδρούν κατά την τοποθέτηση των σωλήνων σε υπόγεια δίκτυα είναι:

- Τα στατικά φορτία εδάφους.
- Τα κινητά φορτία από οχήματα.

### 14.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

Τα στατικά φορτία υπολογίζονται από την εξίσωση

$$P_s = \kappa \cdot \varepsilon \cdot H \quad (6)$$

όπου

$H$  : Το ύψος επιχώσεως του εδάφους πάνω από τον σωλήνα (m)

$P_s$  : Το φορτίο που εξασκείται από το έδαφος ( $N/mm^2$ )

$\varepsilon$  : Ειδικό βάρος επιχώσεως ( $kN/m^3$ )

$\kappa$  : Συντελεστής φορτίου του εδάφους

Ο συντελεστής  $\kappa$  υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\kappa = \frac{1 - e^{-2 \cdot T \cdot \varepsilon \phi(\delta) \cdot \left(\frac{H}{B}\right)}}{2 \cdot T \cdot \varepsilon \phi(\delta) \cdot \left(\frac{H}{B}\right)} \quad (7)$$

Οι συντελεστές  $T$  και  $\delta$  είναι συνάρτηση της μορφής του σκάμματος (πίνακας 11) και του υλικού επιχώσεως (πίνακας 12).



**Πίνακας 11.**

Περίπτωση	Είδος Σκάμματος
1	Δεν έχουμε πλευρικά τοιχώματα ή η απόσταση των τοιχωμάτων του σκάμματος από τα τοιχώματα του σωλήνα είναι μεγαλύτερη από 2.5 φορές την διάμετρο του σωλήνα. Στην περίπτωση αυτή ο λόγος H/B τείνει στο μηδέν και το <b><u>κ παίρνει την τιμή 1.</u></b> Αυτή η περίπτωση είναι η δυσμενέστερη.
2	Έχουμε πλευρικά τοιχώματα, το υλικό συμπιέζεται αλλά δεν γνωρίζουμε το μέγεθος της συμπίεσης τότε <b><u>T=0.5 και δ=2.ρ/3</u></b> όπου ρ είναι η γωνία εσωτερικής τριβής του υλικού πληρώσεως (πίνακας 12).
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Έχουμε κάθετα κατασκευασμένα τοιχώματα για την υποστήριξη του εδάφους</li> <li>• Έχουμε πλευρικά τοιχώματα αλλά το υλικό δεν συμπιέζεται επαρκώς</li> <li>• Υπάρχει υδάτινος οριζοντας πάνω από τον αγωγό.</li> </ul> <p style="text-align: center;">Τότε <b><u>T=0.5 και δ=ρ</u></b></p>
4	Έχουμε πλευρικά τοιχώματα και η συμπίεση του υλικού είναι επαρκής <ul style="list-style-type: none"> <li>• Για μη συνεκτικά εδάφη <math>D_p &gt; 97\%</math></li> <li>• Για συνεκτικά εδάφη <math>D_p &gt; 95\%</math></li> </ul> <p style="text-align: center;">Τότε <b><u>T=0.7 και δ=ρ</u></b></p>

Το ρ δίνεται από τον πίνακα 12.

**Πίνακας 12.**

Τύπος επίχωσης	Είδος επίχωσης	Ειδικό βάρος επίχωσης (ε) (kN/m <sup>3</sup> )	Γωνία εσωτερικής τριβής (ρ)
1	Μη συνεκτικά χονδρόκοκκα (χαλίκι)	20	35°
2	Μη συνεκτικά ψιλόκοκκα (άμμος)	20	30°
3	Συνεκτικά μικτά (άμμος και χαλίκι)	20	25°
4	Συνεκτικά εδάφη (άργιλλος, πηλός)	20	20°

#### 14.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

Τα κινητά φορτία  $p_k$  εξαρτώνται από την κυκλοφορία πάνω από το σκάμμα τοποθέτησης του αγωγού. Διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

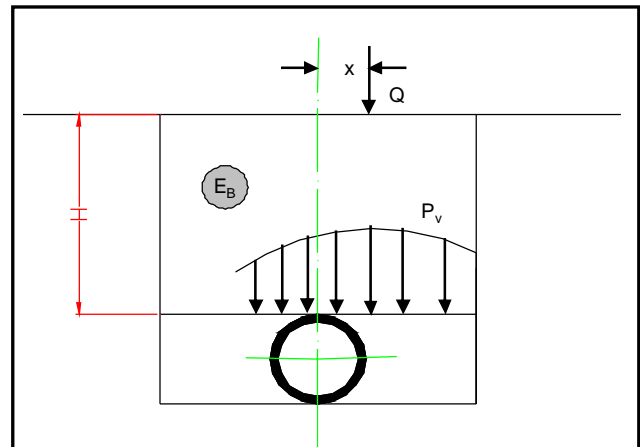
- **Αραιή κυκλοφορία (LKW12)** : Δύο τροχοί με βάρος 3.000 Kg ο καθένας.
- **Κανονική κυκλοφορία (SLW30)** : Δύο τροχοί με βάρος 7.300 Kg ο καθένας.
- **Βαριά κυκλοφορία (SLW60)** : Οκτώ τροχοί με βάρος 9.100 Kg ο καθένας.

Τα κινητά φορτία υπολογίζονται από την σχέση.





Σχήμα 3.



$$p_k = a_F \cdot p_F \quad (8)$$

όπου

$$p_F = \frac{F_A}{r_A^2 \cdot \pi} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{1}{1 + \left( \frac{r_A}{h} \right)^2} \right)^{\frac{3}{2}} \right] + \frac{3 \cdot F_E}{2 \cdot \pi \cdot h^2} \left( \frac{1}{1 + \left( \frac{r_E}{h} \right)^2} \right)^{\frac{5}{2}} \quad (9)$$

και

$$a_F = 1 - \frac{0,9}{0,9 + \frac{4 \cdot h^2 + h^6}{1,1 \cdot D_m^3}} \quad (10)$$

Οι συντελεστές  $F_A$ ,  $F_E$ ,  $r_A$  και  $r_E$  δίνονται στον πίνακα 13.

**Πίνακας 13.**

Κυκλοφορία	$F_A$ (kN)	$F_E$ (kN)	$r_A$ (m)	$r_E$ (m)
SLW60	100	500	0,25	1,82
SLW30	50	250	0,18	1,82
LKW12	40	80	0,15	2,26

Ο υπολογισμός ισχύει για ύψος επιχώσεως μεγαλύτερο ή ίσο από 0,5 m.

Τα τελικά κινητά φορτία είναι τα φορτία όπως υπολογίζονται με την εξίσωση 8 επί τον συντελεστή κρούσης  $\psi$  (πίνακας 14) που εξαρτάται από το είδος της κυκλοφορίας.



Πίνακας 14.

Κυκλοφορία	Φ
SLW60	1,2
SLW30	1,4
LKW12	1,5

Στην περίπτωση που έχουμε ασφαλτοτάπητα (σχήμα 4) πάνω από την επίχωση του σωλήνα τότε σύμφωνα με την θεωρία των πολλαπλών στρώσεων έχουμε μία αύξηση του βάθους που υπολογίζονται τα κινητά φορτία κατά ένα μέγεθος  $d_e$  και δίνεται από την εξίσωση:

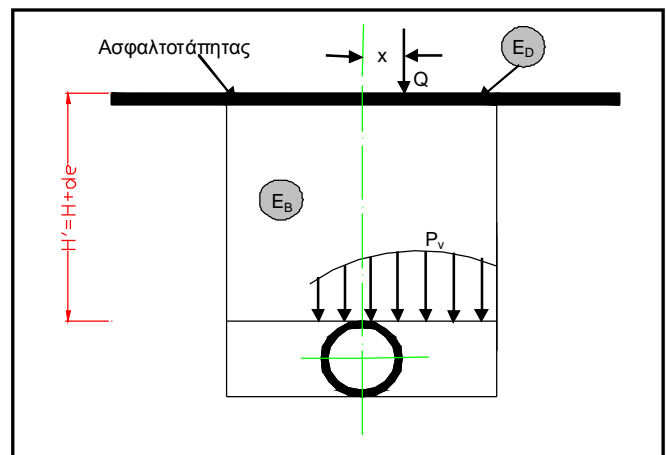
$$d_e = d \cdot \left[ \sqrt[3]{\frac{E_D}{E_B} - 1} \right] \quad (11)$$

όπου

$d$  : Το πάχος του ασφαλτοτάπητα (cm)

$E_D$  : Το μέτρο ελαστικότητας του ασφαλτοτάπητα ( $N/mm^2$ )

$E_B$  : Το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους ( $N/mm^2$ )



Σχήμα 4.

### 14.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Η παραμόρφωση των πλαστικών σωλήνων, υπό την επίδραση φορτίων, προσδιορίζεται από το μέγεθος  $R_{sl}$  που είναι ο λόγος ακαμψίας (stiffness ratio) και δίνεται από την εξίσωση:

$$R_{sl} = \frac{E_B}{E_R \cdot \frac{I}{D_m^3}} \quad (12)$$

όπου:

$R_{sl}$  : Λόγος ακαμψίας

$E_B$  : Μέτρο ελαστικότητας του εδάφους ( $N/mm^2$ ) - πίνακας 15

$E_R$  : Μέτρο ελαστικότητας του σωλήνα ( $N/mm^2$ ) - πίνακας 16

$I$  : Ροπή αδρανείας του τοιχώματος του σωλήνα ανά μονάδα μήκους ( $mm^4/mm$ )

$D_m$  : Μέση διάμετρος του σωλήνα (mm)



Πίνακας 15.

ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ G	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (kN/m <sup>3</sup> )	E <sub>B</sub> (N/mm <sup>2</sup> )					
		D <sub>p</sub> =85%	D <sub>p</sub> =90%	D <sub>p</sub> =92%	D <sub>p</sub> =95%	D <sub>p</sub> =97%	D <sub>p</sub> =100 %
1	20	2	6	9	16	23	40
2	20	1,2	3	4	8	11	20
3	20	0,8	2	3	5	8	13
4	20	0,6	1,5	2	4	6	10

Για την χρήση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση

$$E_B = \frac{2,74 \cdot 10^{-7}}{G} \cdot e^{0,188 \cdot D_p} \quad (13)$$

όπου G = 1,2,3,4 ανάλογα με το είδος της επίχωσης.

Η παράσταση

$$\frac{E_R \cdot I}{D_m^3} \quad (14)$$

ονομάζεται ακαμψία του σωλήνα και συμβολίζεται με S και σύμφωνα με το ISO 9971 παριστά την αντίσταση του σωλήνα στην παραμόρφωση υπό την επίδραση φορτίου.

Πίνακας 16.

E <sub>R</sub>	HDPE (N/mm <sup>2</sup> )
E <sub>1min</sub>	800
E <sub>24h</sub>	380
E <sub>50</sub>	150

όπου :

E<sub>1min</sub> : Μέτρο ελαστικότητας για 1 λεπτό (N/mm<sup>2</sup>)  
 E<sub>24h</sub> : Μέτρο ελαστικότητας για 24 ώρες (N/mm<sup>2</sup>)  
 E<sub>50</sub> : Μέτρο ελαστικότητας για 50 χρόνια (N/mm<sup>2</sup>)



Η μεταβολή του λόγου της κάθετης παραμόρφωσης  $\delta_v$  του σωλήνα προς την κάθετη παραμόρφωση του εδάφους  $\varepsilon_B$  σχετικά με τον λόγο ακαμψίας δίνεται από την εξίσωση

$$\frac{\delta_v}{\varepsilon_B} = \frac{R_{sl}}{A \cdot R_{sl} + B} \quad (15)$$

όπου :

$\delta_v$  : Η μεταβολή της κάθετης παραμόρφωσης του σωλήνα % ( $\delta_v = \Delta_\psi/D_m$ )

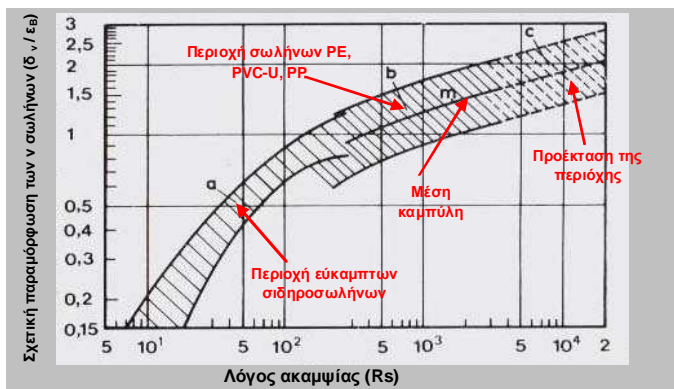
$\varepsilon_B$  : Η κάθετη παραμόρφωση του εδάφους

$R_{sl}$  : Ο λόγος ακαμψίας του εδάφους

$A, B$  : Εμπειρικές σταθερές

Η γραφική παράσταση της εξίσωσης 15 δίνεται στο σχήμα 5:

Σχήμα 5.



Η εξίσωση 15 μπορεί να αντικατασταθεί στην περιοχή των πλαστικών σωλήνων από την προσομοιωμένη εξίσωση :

$$\delta_v/\varepsilon = 0.234 \cdot \text{LOG}(R_s) - 0.321$$

LOG: ο νεπέριος λογάριθμος.

Η κάθετη παραμόρφωση του εδάφους δίνεται από την εξίσωση:

$$\varepsilon_B = \frac{P}{E_B} \quad (16)$$

όπου P τα συνολικά φορτία (κινητά και στατικά)

Η παραμόρφωση των σωλήνων δίνεται από την εξίσωση:

$$\delta_v = \frac{\Delta_\psi}{D_m} = \left( \frac{\delta_v}{\varepsilon_B} \right) \cdot \varepsilon_B \quad (17)$$



#### 14.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΞΗ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (BUCKLING STRENGTH)

Στην περίπτωση των σωλήνων HDPE το κριτήριο για τον υπολογισμό της αντοχής σε ρήξη είναι η υδροστατική πίεση που εξασκείται από υψηλό υδάτινο ορίζοντα. Το ύψος της στήλης του εδάφους που δεν περιέχει υδροφόρο ορίζοντα και μπορεί να προκαλέσει ρήξη του σωλήνα είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το βάθος που συνήθως τοποθετούνται οι αγωγοί μεταφοράς (συνήθως πάνω από 10 m).

Η αντοχή σε ρήξη των πλαστικών σωλήνων εξετάζεται στην περίπτωση τοποθέτησης τους σε εδάφη με υψηλό υδάτινο ορίζοντα.

Η αντοχή σε ρήξη σε κυκλικό δακτύλιο υπό την επίδραση εξωτερικής πίεσης ή εσωτερικού κενού δίνεται από τον Timoshenko από την εξίσωση:

$$P_o = \frac{3 \cdot E \cdot I}{R_m^3} \quad (18)$$

Σε δίκτυα μεγάλους μήκους το μέτρο ελαστικότητας  $E$  αντικαθίσταται με  $E/(1-\mu^2)$  και η εξίσωση 18 με αντικατάσταση του  $R_m = D_m/2$  δίνει την παρακάτω εξίσωση:

$$P_o = \frac{24 \cdot E_{LT} \cdot I}{(1 - \mu^2) \cdot D_m^3} \quad (19)$$

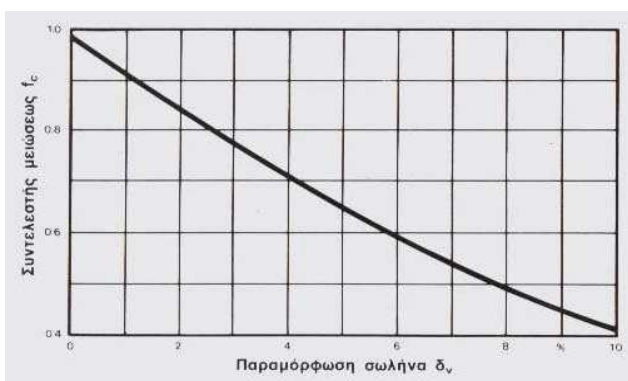
όπου:

- $P_o$  : Αντοχή σε ρήξη ( $N/mm^2$ )
- $E_{LT}$  : Μέτρο ελαστικότητας του σωλήνα για 50 χρόνια ( $150 N/mm^2$ )
- $D_m$  : Μέση ακτίνα (mm)
- $I$  : Ροπή αδρανείας ( $mm^4/mm$ )
- $\mu$  : Λόγος του Poisson που στην περίπτωση του HDPE είναι 0,4

Λόγω της παραμόρφωσης του σωλήνα και από εξωτερικά φορτία, η αντοχή σε ρήξη μειώνεται κατά ένα συντελεστή  $f_s$  που δίνεται από την εξίσωση :

$$f_s = \left( \frac{1 - \delta_v}{(1 + \delta_v)^2} \right)^3 \quad (20)$$

Η γραφική επίλυση της εξίσωσης δίνεται στο σχήμα 6:



Σχήμα 6

Και χρησιμοποιώντας συντελεστή ασφαλείας 2 (για χρήσης μεταφοράς νερού) καταλήγουμε στην εξίσωση:

$$P_{ko} = \frac{P_o \cdot f_s}{2} \quad (21)$$

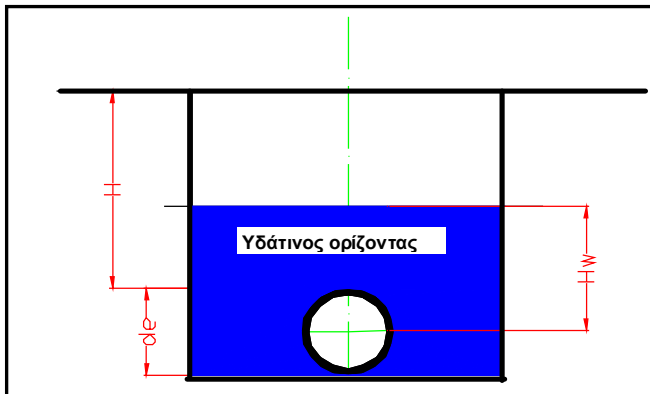


Η επίχωση αυξάνει την αντοχή σε ρήξη σύμφωνα με την εξίσωση:

$$P_{cr} = 1.15 \cdot \sqrt{P_{ko} \cdot E_B} \quad (22)$$

Εάν τώρα  $H_w$  είναι το ύψος του υδάτινου οριζοντα από το μέσο του αγωγού ( σχήμα 7) τότε η υδροστατική πίεση είναι :

Σχήμα 7



$$P_w = H_w \cdot \varepsilon_w \quad (23)$$

όπου:

$\varepsilon_w$  : ειδικό βάρος του νερού ( $\text{kN/m}^3$ ).

Άρα το μέγιστο ύψος του υδροφόρου οριζοντα δίνεται από την εξίσωση:

$$H_w = \frac{P_{cr}}{\varepsilon_w} \quad (24)$$

## 15. ΡΟΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ

Σε κάθε δίκτυο πρέπει να υπολογίζουμε τις απώλειες πίεσεως για να μπορούμε να επιλέξουμε την κατάλληλη διάμετρο για την καλή λειτουργία του δικτύου. Οι απώλειες πίεσεως σε δίκτυα υπό πίεση υπολογίζονται από την εξίσωση των Darchy - Weisbach:

$$J = \frac{\Delta h}{L} = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (25)$$

$V$  : Η ταχύτητα του υγρού στον αγωγό ( $\text{m/s}$ ).

$g$  : Η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $\text{m/s}^2$ ).

$D$  : Η εσωτερική διάμετρος του αγωγού ( $\text{m}$ ).

$L$  : Μήκος του αγωγού ( $\text{m}$ ).

$\Delta h$  : Απώλειες πίεσεως ( $\text{m/m}$ ).

$\lambda$  : Συντελεστής που υπολογίζεται από την εξίσωση των White - Colebrook.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log_{10} \left( \frac{\kappa}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} \right) \quad (26)$$

$\kappa$  : Η τραχύτητα του εσωτερικού τοιχώματος του αγωγού ( $\text{mm}$ )

Για αγωγούς μέχρι και 200 mm η τραχύτητα είναι 0,01 και για μεγαλύτερες διαμέτρους 0,05.



Re : Ο αριθμός του Reynolds που καθορίζει εάν η ροή είναι στρωτή ή τυρβώδης και υπολογίζεται από την εξίσωση

$$\text{Re} = \frac{v \cdot D}{\eta} \quad (27)$$

$\eta$  : Το κινηματικό ιξώδες του νερού σε 20 °C (m<sup>2</sup>/s).

Επειδή το κινηματικό ιξώδες μεταβάλλεται σε κάθε θερμοκρασία χρησιμοποιούμε τον τύπο του Poiseuille για τον υπολογισμό του σε διάφορες θερμοκρασίες στις οποίες επιτρέπεται η χρησιμοποίηση των πλαστικών σωλήνων.

$$\eta = \frac{0,0178}{100 \cdot (1 + 0,0337 \cdot T + 0,000221 \cdot T^2)} \quad (28)$$

Η παροχή ενός αγωγού υπολογίζεται από την σχέση:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot V \quad (29)$$

## 16. ΡΟΗ ΜΕ ΒΑΡΥΤΗΤΑ

### 16.1. ΠΛΗΡΗΣ ΡΟΗ

Η ταχύτητα σε αγωγούς με ελεύθερη ροή του νερού (ροής δια βαρύτητας) υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$V = R_H^{\frac{2}{3}} \cdot s^{\frac{1}{2}} \cdot K_{str.} \quad (30)$$

όπου:

$V$  : Η ταχύτητα του νερού (m/s)

$s$  : Η κλίση του αγωγού

$K_{str}$  : Η σταθερά του Strickler που για σωλήνες PE έχει την τιμή 110

$R_H$  : Υδραυλική ακτίνα (m) που υπολογίζεται από τον τύπο

$$R_H = \frac{\text{Υγρή} \cdot \text{Διατομή}}{\text{Μήκος} \cdot \text{Περιβρεχόμενης} \cdot \text{Περιμέτρου}}$$

Στην περίπτωση πλήρους ροής

$$R_o = \frac{\pi \cdot R^2}{2 \cdot \pi \cdot R} = \frac{R}{2} = \frac{(d_n - 2 \cdot e)}{4} \quad (31)$$

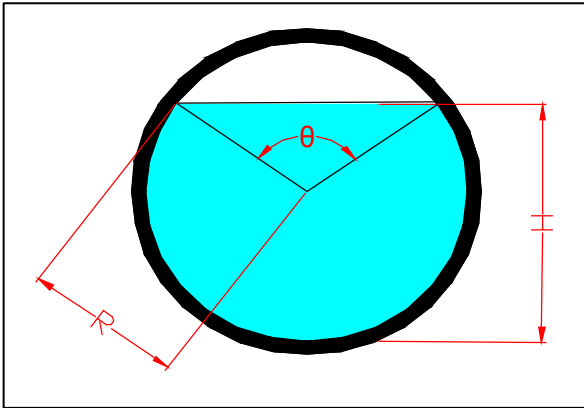
όπου  $d_n$  : Η ονομαστική διάμετρος του σωλήνα (m).



## 16.2. ΜΕΡΙΚΗ ΡΟΗ

Μερική ροή έχουμε όταν ο αγωγός δεν είναι πλήρης με νερό. Στην περίπτωση αυτή ισχύει η εξίσωση 30 και η υδραυλική ακτίνα υπολογίζεται από τις σχέσεις:

### 1. Όταν $H > R$ - σχήμα 8



$$\hat{\vartheta} = 2 \cdot \sigma \nu \nu^{-1} \left( \frac{H - R}{R} \right) \quad (32)$$

Η υγρή διατομή ( $A_{υγρ}$ ) υπολογίζεται από την εξίσωση:

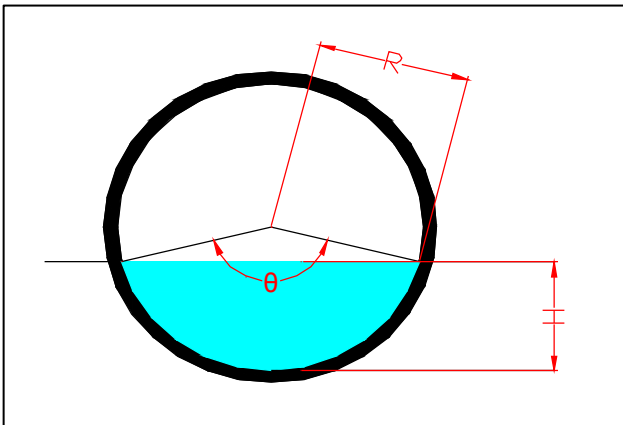
$$A_{υγρ} = \pi \cdot R^2 - \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot \left( \hat{\vartheta} - \eta \mu \left( \hat{\vartheta} \right) \right) \quad (33)$$

Η γωνία  $\theta$  σε ακτίνια

Το μήκος της περιβρεχόμενης επιφάνειας υπολογίζεται από τον τύπο

$$S = 2 \cdot \pi \cdot R - R \cdot \hat{\vartheta} \quad (34)$$

### 2. Όταν $H < R$ - σχήμα 9



$$\hat{\vartheta} = 2 \cdot \sigma \nu \nu^{-1} \left( \frac{R - H}{R} \right) \quad (35)$$

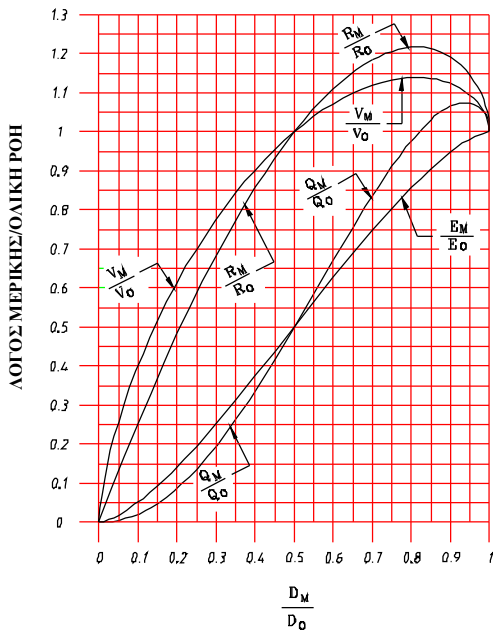
$$S = R \cdot \hat{\vartheta} \quad (36)$$

$$A_{υγρ} = \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot \left( \hat{\vartheta} - \eta \mu \left( \hat{\vartheta} \right) \right) \quad (37)$$





Για ευκολία στους υπολογισμούς χρησιμοποιούμε το διάγραμμα 2 που δίνει ανάλογα το ποσοστό πλήρωσης του αγωγού απ'ευθείας όλα τα μεγέθη της μερικής ροής.



Διάγραμμα 2.

## 17. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΠΛΗΓΜΑ

Κάθε απότομη μεταβολή της ταχύτητας του νερού σε ένα δίκτυο η οποία μπορεί να δημιουργηθεί από απότομη διακοπή της αντλίας του δικτύου ή απότομο κλείσιμο μίας δικλείδας (χειροκίνητης, πνευματικής) δημιουργεί αλλαγή στην εσωτερική πίεση του δικτύου και δεν ισχύει πλέον η εξίσωση Bernoulli.

Η απότομη αλλαγή της εσωτερικής πίεσης ονομάζεται υδραυλικό πλήγμα ή πλήγμα κριού λόγω της σφοδρότητας του φαινομένου.

Έστω ένας αγωγός στον οποίο η ροή ελέγχεται από μια βάνα σε απόσταση (L) από την αντλία. Η υπερπίεση η οποία δημιουργείται από το απότομο κλείσιμο εξαρτάται από την σχέση του χρόνου του χειρισμού της βάνας (T) προς τον χρόνο πορείας και επιστροφής (u) στη θέση της βάνας μετά την σύγκρουση με την δεξαμενή.

Ο χρόνος αυτός δίνεται από την εξίσωση:

$$u = \frac{2 \cdot L}{\alpha} \quad (38)$$

$\alpha$  : είναι η ταχύτητα μετάδοσης του κύματος μέσα σε γεμάτο αγωγό και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\alpha = \sqrt{\frac{g}{\varepsilon \cdot \left( \frac{1}{E_w} + \frac{1}{E} \cdot \frac{D}{s} \cdot f \right)}} \quad (39)$$



- D : Εσωτερική διάμετρος του σωλήνα (m).  
s : Πάχος τοιχώματος του σωλήνα (m).  
γ : Η επιτάχυνση της βαρύτητας = 9,81 m/s<sup>2</sup>.  
ε : Ειδικό βάρος του νερού = 1000 Kg/m<sup>3</sup>.  
E : Μέτρο ελαστικότητας του υλικού του σωλήνα για PE = 0,8x10<sup>8</sup> Kgf/m<sup>2</sup>.  
E<sub>w</sub> : Μέτρο ελαστικότητας του νερού = 2,1x10<sup>8</sup> Kgf/m<sup>2</sup>.

Το  $f = 1$  όταν ο σωλήνας είναι αγκυρωμένος διαφορετικά υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$f = 1,25 - \mu \quad (40)$$

όπου  $\mu$  ο λόγος του Poisson που στην περίπτωση του PE είναι = 0,4.

Όταν  $T < u$ , η υπερπίεση στον αγωγό υπολογίζεται από την εξίσωση Joukowski:

$$\Delta P = \frac{\alpha \cdot \Delta v}{g} \quad (41)$$

$$\Delta v = v - v_{\tau} \quad (42)$$

$\underline{v}$  η ταχύτητα του νερού και  $\underline{v}_{\tau}$  η τελική ταχύτητα μετά το κλείσιμο της βάνας. Όταν έχουμε πλήρες κλείσιμο της βάνας, τότε το  $\Delta v$  είναι ίσο με την ταχύτητα του νερού στο δίκτυο.

Στην περίπτωση αυτή η υπερπίεση που δημιουργείται εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του αγωγού, όπως η διάμετρος, το πάχος τοιχώματος και κυρίως από το υλικό. Ειδικά στην περίπτωση του PE είναι από τα υλικά που έχουν την καλύτερη συμπεριφορά ως προς το υδραυλικό πλήγμα.

#### Όταν $T > u$

Τότε η μέγιστη υπερπίεση δίνεται από την εξίσωση των Micheaud - Marchetti :

$$\Delta P = \frac{2 \cdot L}{g} \cdot \frac{\Delta V}{T} \quad (43)$$

Η εξίσωση ισχύει στην περίπτωση γραμμικής μεταβολής της ταχύτητας.

Στην περίπτωση αυτή, η δημιουργημένη υπερπίεση εξαρτάται μόνο από το μήκος της απόστασης της βάνας από το σημείο επιστροφής του κύματος.

Για την αντιμετώπιση του υδραυλικού πλήγματος φροντίζουμε:

- Το κλείσιμο στις χειροκίνητες βάνες να γίνεται σταδιακά.
- Το κλείσιμο στις πνευματικές να γίνεται με μικρή παροχή αέρα έτσι ώστε να εξασφαλίζεται σταδιακό κλείσιμο της βάνας.

Επειδή η διακοπή στην λειτουργία της αντλίας μπορεί να συμβεί για την προστασία της φροντίζουμε για την εγκατάσταση ανεπίστροφης βαλβίδας.



## 18. ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ PE

Οι σωλήνες PE κατά την εγκατάσταση λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας υφίστανται αλλαγές στο μήκος τους (διαστολή ή συστολή). Η μεταβολή του μήκους δίνεται από την εξίσωση:

$$\Delta l = \alpha_L \cdot L \cdot \Delta T \quad (44)$$

όπου:

$\Delta l$  : Μεταβολή του μήκους (mm)

$L$  : Αρχικό μήκος του σωλήνα (m)

$\Delta T$  : Διαφορά της θερμοκρασίας ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\alpha_L$  : Συντελεστής θερμικής διαστολής για PE = 0.09 mm/(m  $^{\circ}\text{C}$ )

Στην περίπτωση επιφανειακών κυρίως δικτύων, όπου οι μεταβολές της θερμοκρασίας μπορεί να είναι πολύ μεγάλες, πρέπει κατά το σχεδιασμό και την εγκατάσταση του δικτύου να προβλεφθούν εξαρτήματα ή κατασκευές που εξομαλύνουν τη διαστολή ή συστολή του δικτύου (τύπου Π ή Ω).

Στην περίπτωση αυτή η δύναμη  $F_T$  (N/mm<sup>2</sup>) που εξασκείται στο σταθερό σημείο της κατασκευής είναι:

$$F_T = \pi \cdot d_e \cdot e \cdot E_x \cdot \alpha_L \cdot \Delta T \quad (45)$$

όπου:

$d_e$  : Εξωτερική διάμετρο του σωλήνα (mm)

$e$  : Πάχος τοιχώματος του σωλήνα (mm)

$E_x$  : Μέτρο ελαστικότητας του σωλήνα στην αξονική διεύθυνση (N/mm<sup>2</sup>)

## 19. ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΑ ΚΑΜΨΗΣ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ PE

Ο παρακάτω προσεγγιστικός τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ακτίνας κάμψης

$$R_{tot} = \frac{(d_n - e)^2}{1.12 \cdot e} + \frac{d_n}{2 \cdot \epsilon} \quad (46)$$

$d_n$  : Ονομαστική εξωτερική διάμετρος (mm)

$e$  : Πάχος τοιχώματος του σωλήνα (mm)

$\epsilon$  : Επιτρεπόμενη επιμήκυνση 3-4 %