

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

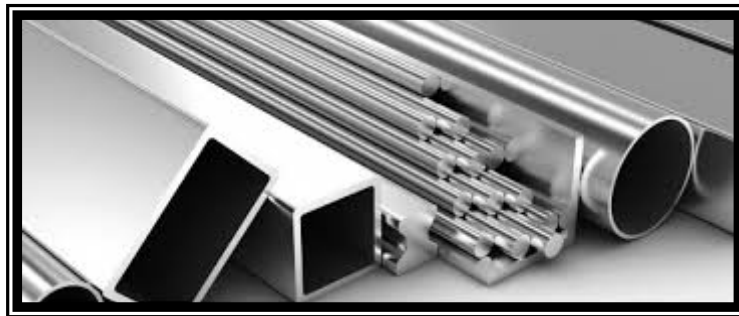
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΦΕΡΟΥΣΩΝ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ-ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ**

**#9**

**ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ANSYS**

---



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΕΣ:**

**ΔΕΡΖΙΩΤΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ**

**ΙΑΤΡΟΥ ΕΛΕΝΗ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ – ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΑΚΑΒΑΣ-ΠΑΠΑΝΙΑΡΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2019**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας που μας στήριξαν σε όλη την διάρκεια των σπουδών μας και συνεχίζουν να μας στηρίζουν με κάθε τρόπο .Επίσης ευχαριστούμε τον επιβλέπων καθηγητή μας Δρ. Π. Κακαβά- Παπανιάρο για την πολύτιμη βοήθεια που μας παρείχε ώστε να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το αλουμίνιο είναι ένα καθαρά ελληνικό προϊόν, πλήρες καθετοποιημένο και αποτελεί ένα από τα βασικά υλικά σε ποικίλους τομείς εφαρμογών όπως η δόμηση, η συσκευασία, οι μεταφορές κλπ. Στη χώρα μας άρχισε να χρησιμοποιείται έντονα από τις αρχές της δεκαετίας του 1970, αφού προηγήθηκε η κατασκευή του εργοστασίου παραγωγής πρωτόχυτου αλουμινίου της «Αλουμίνιον της Ελλάδος» που λειτούργησε το 1965 και με το οποίο αξιοποιήθηκε ο ελληνικός βωξίτης, η πρώτη ύλη για την παραγωγή του, τα κοιτάσματα του οποίου στη χώρα μας είναι από τα μεγαλύτερα στην Ευρώπη. Η ελληνική βιομηχανία αλουμινίου είναι σήμερα ένας από τους πλέον δυναμικούς κλάδους της ελληνικής οικονομίας και το 65% των προϊόντων της εξάγονται σε όλο τον κόσμο, κάνοντας αισθητή την παρουσία της σε ανεπτυγμένες αγορές και προσφέροντας τεχνογνωσία και προϊόντα υψηλής ποιότητας. Μάλιστα στα Βαλκάνια και σε πολλές χώρες της Ανατολικής Ευρώπης, το ελληνικό αλουμίνιο έχει κυρίαρχη παρουσία ιδίως σε οικοδομικές εφαρμογές.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για τα χαρακτηριστικά του αλουμινίου και τα κράματα χύτευσης, ενώ στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρουμε τις φυσικές ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά αντοχής του αλουμινίου. Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στην ανακύκλωση του αλουμινίου και το τέταρτο στις κατασκευές από αλουμίνιο. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά συγκριτικά στοιχεία αλουμινίου και χάλυβα. Το έβδομο κεφάλαιο μελετάει τις αρχές σχεδιασμού σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα #9. Στο τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται βασικές πληροφορίες για το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ANSYS και την εφαρμογή του σε δικτύωμα χάλυβα συγκρινόμενο με δικτύωμα αλουμινίου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Τεχνολογικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας. Κύριος στόχος της εργασίας αυτής είναι να αναλύσουμε το αλουμίνιο ξεκινώντας από την παράγωγή του ,τα κράματα ,τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του καθώς και τις πολυάριθμες χρήσεις που έχει σήμερα. Το καθαρό αλουμίνιο είναι μέταλλο ελαφρύ και πολύ όλκιμο. Οι μηχανικές του ιδιότητες δεν εξαρτώνται μόνο από την καθαρότητά του, αλλά και από το ποσοστό της εκτράχυνσης που έχει υποστεί κατά τη διάρκεια των μηχανικών του κατεργασιών. Η σημασία του για την κατασκευαστική βιομηχανία είναι πολύ μεγάλη διότι παρουσιάζει υψηλό ειδικό μέτρο ελαστικότητας (E/ρ) και υψηλή ειδική μηχανική αντοχή (σTS/ρ), σε σχέση με άλλα μέταλλα και κράματα. Επίσης, παρουσιάζει καλή αντοχή σε διάβρωση.

Αναφερόμαστε επίσης στην σημαντικότητα που έχει το γεγονός ότι είναι 100% ανακυκλώσιμο υλικό και στις πολυάριθμες κατασκευές από αλουμίνιο στην σύγχρονη ζωή. Η οικοδομή αποτελεί το σημαντικότερο τελικό καταναλωτή προϊόντων αλουμινίου στην χώρα μας όπου η χρήση του φθάνει περίπου στο 75% σε σύγκριση με άλλα ανταγωνιστικά υλικά (PVC, ξύλο). Τα τελευταία 30 χρόνια, η κατανάλωση αλουμινίου για εφαρμογές στην οικοδομική δραστηριότητα τόσο στη χώρα μας όσο και διεθνώς, παρουσιάζει μια σταθερή και συνεχή αύξηση, αφού το εύρος των διαφορετικών χρήσεων που αυτό βρίσκει εφαρμογές, έχει διευρυνθεί σημαντικά.

Ακολουθούν οι αρχές σχεδιασμού σύμφωνα με το Ευρωκώδικα #9, που εφαρμόζετε σε κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού στις οποίες ο φέρων οργανισμός αποτελείται από κράματα δομικού αλουμινίου και διάφορες πληροφορίες που τον αφορούν .

Τέλος ασχοληθήκαμε με τις διαφορές που έχει το αλουμίνιο και ο χάλυβας και με την επίλυση του ίδιου δικτύωματος αρχικά με χαλύβδινο πλαίσιο και ύστερα με πλαίσιο αλουμινίου. Για την επίλυση του δικτύωματος χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ANSYS.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1    ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ.....	11
1.2    ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ .....	11
1.2.1    ΒΩΞΙΤΗΣ .....	12
1.2.2    ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΒΩΞΙΤΗ, ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ.....	15
1.3    ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ.....	18
1.4    ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ- ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	19
1.5    ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΥΤΕΥΣΗΣ .....	21
1.6    ΧΡΗΣΗ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ .....	22
1.7    ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ .....	24
1.8    ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΥΤΩΝ.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ .....	29
2.1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ .....	29
2.2 ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΤΟ ΙΔΑΝΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.....	30
2.3. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΤΑ SHUTTER.....	31
2.4. Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΒΑΕΗΡΕ.....	32
2.5. Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΜΑΖΖΟΛΑΝΙ .....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΥΓΕΙΑ – ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ - ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ .....	32
3.1.ΤΟ «ΠΡΑΣΙΝΟ ΜΕΤΑΛΛΟ» ΠΟΥ ΣΕΒΕΤΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....	33
3.2. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.....	36
4.1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ .....	36

4.1.1. ΦΕΡΟΥΣΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ .....	36
4.1.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ .....	41
4.1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΤΗΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ .....	42
4.1.4. ΕΦΑΡΜΟΦΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΕ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ .....	44
4.1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΟΜΗΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ.....	44
4.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΕ ΕΡΓΑ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ .....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑΣ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ .....	48
5.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	48
5.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΑΛΥΒΑ.....	49
5.3. ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΑΛΥΒΑ.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΡΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΦΟΡΕΙΣ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ.....	51
6.1. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΦΟΡΕΩΝ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ.....	51
6.2. ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΦΟΡΕΩΝ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ .....	52
6.2.1. ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ.....	52
6.2.2. ΕΠΙΒΑΛΛΟΜΕΝΑ Ή ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 9.....	53
7.1. ΓΕΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 9 .....	53
7.2. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 9.....	56
7.3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ ΕΛΑΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ.....	57
7.4. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ .....	57
7.4.1. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ.....	57
7.4.2. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ( ΚΛΑΣΕΙΣ ) ΔΙΑΤΟΜΩΝ .....	58
7.5. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 9-ΜΕΡΟΣ 2 .....	59
7.5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ.....	59

7.5.2. ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΕΥΑΙΣΘΗΤΩΝ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ.....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ANSYS-ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ .....	64
8.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ANSYS.....	64
8.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΤΟ ANSYS .....	68
8.2.1 ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ.....	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	79
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	81

## ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1:Κοιτάσματα βωξίτη στη Μαλαισία. ....	12
Εικόνα 2:Το ορυκτό βωξίτης. ....	12
Εικόνα 3:Παραγωγή βωξίτη εντός ΕΕ. ....	14
Εικόνα 4: Καθαρό $Al_2O_3$ , αλουμίνα, προϊόν λαμβανόμενο από τον βωξίτη.....	15
Εικόνα 5:Παραγωγή - ανακύκλωση αλουμινίου. ....	18
Εικόνα 6:Χρήσεις αλουμινίου στην Ελληνική αγορά. ....	22
Εικόνα 7: Διάγραμμα φάσεων. ....	24
Εικόνα 8: Σκαρίφημα που δείχνει τις καμπύλες τάσης ( $\sigma_f$ ) – παραμόρφωσης ( $\epsilon$ ) για έναν κοινό δομικό χάλυβα, όπως έχει (δοκιμή I) και μετά από πλαστική παραμόρφωση (επιμήκυνση) περίπου 5% που έχει προκαλέσει ενδοτράχυνση (δοκιμή II). ....	26
Εικόνα 9:Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης. ....	31
Εικόνα 10: Ανακύκλωση. ....	33
Εικόνα 11: Οικονομικά αποδοτική, πεζοδρομημένη γέφυρα αλουμινίου χαμηλής συντήρησης. ....	37
Εικόνα 12: Υπεράκτια κατασκευή αλουμινίου με ελικοδρόμιο. ....	37
Εικόνα 13:Κατασκευή στήριξης φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	38
Εικόνα 14:Υψηλής αντοχής καλώδιο αγωγών αλουμινίου.....	39
Εικόνα 15:Έπιπλα κήπου αλουμινίου.....	40
Εικόνα 16: Αυτοκίνητο με κυρίαρχο μέταλλο το αλουμίνιο. ....	42
Εικόνα 17:Συσκευασίες αλουμινίου. ....	43
Εικόνα 18:Μέρη από αλουμίνιο σε κτήριο. ....	45
Εικόνα 19:Η πρώτη γέφυρα αλουμινίου για αυτοκίνητα , Arvida , Κεμπέκ , Καναδάς 1949.....	46
Εικόνα 20:Βέλγικη ναυτιλιακή εταιρία, Αμβέρσα, Βέλγιο 1957. ....	46
Εικόνα 21:Διεθνές Εκθεσιακό Κέντρο, Σάο Πάολο, Βραζιλία(1969) ....	47
Εικόνα 22:Κέντρο αλουμινίου, Houten, Ολλανδία , 2001.....	47
Εικόνα 23:Αλουμίνιο και χάλυβας. ....	48
Εικόνα 24:Προεπιλογές- Ansys. ....	70



Εικόνα 25:Στοιχεία δοκού - Ansys. ....	71
Εικόνα 26: Επιλογή μέτρου ελαστικότητας χάλυβα-Ansys .....	73
Εικόνα 27:Επιλογή διατομής - Ansys.....	74
Εικόνα 28:Επιλογή διατομής - Ansys.....	74
Εικόνα 29: Προεπεξεργαστής , εισαγωγή συντεταγμένων κόμβων -Ansys. ....	75
Εικόνα 30:Διαχωρισμός σε πεπερασμένα στοιχεία - Ansys. ....	75
Εικόνα 31:Εισαγωγή οριακών συνθηκών - Ansys.....	76
Εικόνα 32: Προβολή κόμβων - Ansys. ....	76
Εικόνα 33: Προβολή δικτύωματος με πεπερασμένα στοιχεία (αρίθμηση κόμβων και στοιχείων) - Ansys . ....	77
Εικόνα 34: Παραμορφώσεις σε όλους τους κόμβους (δικτύωμα από χάλυβα) - Ansys.....	77
Εικόνα 35: Παραμορφώσεις σε όλους τους κόμβους (δικτύωμα από αλουμίνιο) - Ansys.....	78

## ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1:Κράματα για μηχανική πλαστική διαμόρφωση.....	19
Πίνακας 2 :Κύριες προσθήκες κραμάτων αλουμινίου και η επίδρασή τους. ....	23
Πίνακας 3:Κράματα χυτών. ....	28
Πίνακας 4:Ιδιότητες καθαρού αλουμινίου.....	30
Πίνακας 5: Συμβολισμοί : Ευρωπαϊκό πρότυπο, A: Αλουμίνιο , B: Χελώνα , C : Κράμα για χυτά , M : Μητρικό κράμα.....	40
Πίνακας 6:Τιμές του μειωτικού συντελεστή $k_{0,2}$ του συμβατικού ορίου διαρροής 0,2% για τα κράματα αλουμινίου σε συνήθη θερμοκρασία και σε υψηλές θερμοκρασίες για έκθεση στην πυρκαγιά έως δύο ώρες.....	62
Πίνακας 7:Κατώτερο όριο για τον λόγο $k_{0,2}$ του συμβατικού ορίου διαρροής 0,2% για τα κράματα αλουμινίου στη συνήθη θερμοκρασία και σε υψηλή θερμοκρασία για έκθεση στην πυρκαγιά έως 2 ώρες. ....	62
Πίνακας 8:Μέτρο ελαστικότητας κραμάτων αλουμινίου σε υψηλές θερμοκρασίες για διάρκεια θερμικής έκθεσης $t= 2$ ωρών , $E_{0,2}$ . ....	63

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

Το αλουμίνιο ή αργίλιο, είναι το πιο άφθονο μέταλλο και το τρίτο κατά σειρά στοιχείο μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο που συναντάται στον φλοιό της γης. Κατά βάρος αποτελεί περίπου το 8% του στερεού φλοιού. Ωστόσο είναι πολύ δραστικό χημικά ώστε να βρίσκεται στη φύση ως ελεύθερο μέταλλο. Αντίθετα, βρίσκεται ενωμένο σε πάνω από 270 διαφορετικά ορυκτά. Η κύρια πηγή για τη βιομηχανική παραγωγή του μετάλλου είναι ο βωξίτης.

Το αλουμίνιο είναι ένα σχετικά νέο μέταλλο, αφού παρήχθη από τα ορυκτά του για πρώτη φορά το 1854. Παράγεται εμπορικά από το 1886, αρχικά σαν πολύτιμο μέταλλο, ενώ η βιομηχανική παραγωγή του για δομικές εφαρμογές ξεκίνησε δυναμικά μόλις τη δεκαετία του 1950. Πλέον χρησιμοποιείται σε πολυάριθμες εφαρμογές για κτήρια και άλλα κατασκευαστικά έργα και αποτελεί υλικό πρώτης επιλογής για υαλοπετάσματα, κουφώματα, επενδύσεις και άλλες κατασκευές στις οποίες χρησιμοποιούνται υαλοπίνακες. Χρησιμοποιείται ευρέως για την κατασκευή παντζουριών, θυρών, εξωτερικών επενδύσεων και οροφών, σε ψευδοροφές, πάνελ τοίχου και χωρίσματα, στον εξοπλισμό θέρμανσης και εξαερισμού, σε συστήματα σκίασης, ανακλαστήρες, καθώς και σε πλήρως προκατασκευασμένα κτήρια. Επίσης, από αλουμίνιο κατασκευάζονται συνήθως και οικίσκοι, ελικοδρόμια, κιγκλιδώματα, σκαλωσιές και φορητές σκάλες.

## 1.2 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Περισσότερο από το μισό αλουμίνιο που παράγεται σήμερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση προέρχεται από ανακυκλωμένες πρώτες ύλες. Δεδομένου ότι τα κτήρια και τα μεταφορικά μέσα για τα οποία χρησιμοποιείται αλουμίνιο στην κατασκευή τους, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, η διαθέσιμη ποσότητα παλαιού αλουμινίου (scrap) είναι περιορισμένη. Η ποσότητα αυτή δεν αρκεί για να ικανοποιήσει την τρέχουσα ζήτηση και η υπολειπόμενη ποσότητα καλύπτεται από τη βιομηχανία παραγωγής πρωτόχυτου αλουμινίου. Το αλουμίνιο προέρχεται από το ορυκτό βωξίτης που μετά από την εξόρυξή του μετατρέπεται σε αλουμίνα και στην συνέχεια με ηλεκτρόλυση μετατρέπεται σε μέταλλο αλουμίνιο. Ο βωξίτης προέρχεται κυρίως από την Αυστραλία, τη Βραζιλία, τη δυτική Αφρική και τις δυτικές Ινδίες, καθώς και από άλλες τροπικές και υποτροπικές περιοχές. Στην Ευρώπη τα μεγαλύτερα κοιτάσματα βρίσκονται στην Ελλάδα, όπου παρεμβάλλονται με μορφή φακών, κοιτών, θυλάκων ή και ακανόνιστων μαζών μέσα σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, κυρίως στην περιοχή της ζώνης Παρνασσού – Γκιώνας και σε μικρότερα κοιτάσματα στον Ελικώνα, τη Χαλκιδική, στα νησιά Αμοργό και Σκόπελο, στην περιοχή της Ελευσίνας και στην Εύβοια.



Εικόνα 1:Κοιτάσματα βοξίτη στη Μαλαισία.

### **1.2.1 ΒΩΞΙΤΗΣ**



Εικόνα 2:Το ορυκτό βοξίτης.

Οι βοξίτες είναι μια ομάδα πετρωμάτων που αποτελούνται από υδροξείδια αργιλίου, οξειδία/υδροξείδια σιδήρου, οξειδία τιτανίου και ίσως καολίνη και αλουσίτη. Έχουν χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα λόγω ύπαρξης αιματίτη. Μπορεί να έχουν κίτρινο λόγω γκαιτίτη ή γκριζωπό λόγω ελάχιστου σιδήρου ή λευκό λόγω απουσίας σιδήρου. Έχουν ειδικό βάρος 2.7-3.5 και είναι πετρώματα αδιάλυτα στο νερό. Ωστόσο, διαλύονται σε οξέα ή καυστικά αλκάλια και είναι ανθεκτικοί σε υψηλές θερμοκρασίες.

Ο βωξίτης είναι ένα πέτρωμα πολύ χρήσιμο καθώς αποτελεί την κυριότερη πηγή αργιλίου το οποίο έχει πολλές χρήσεις:

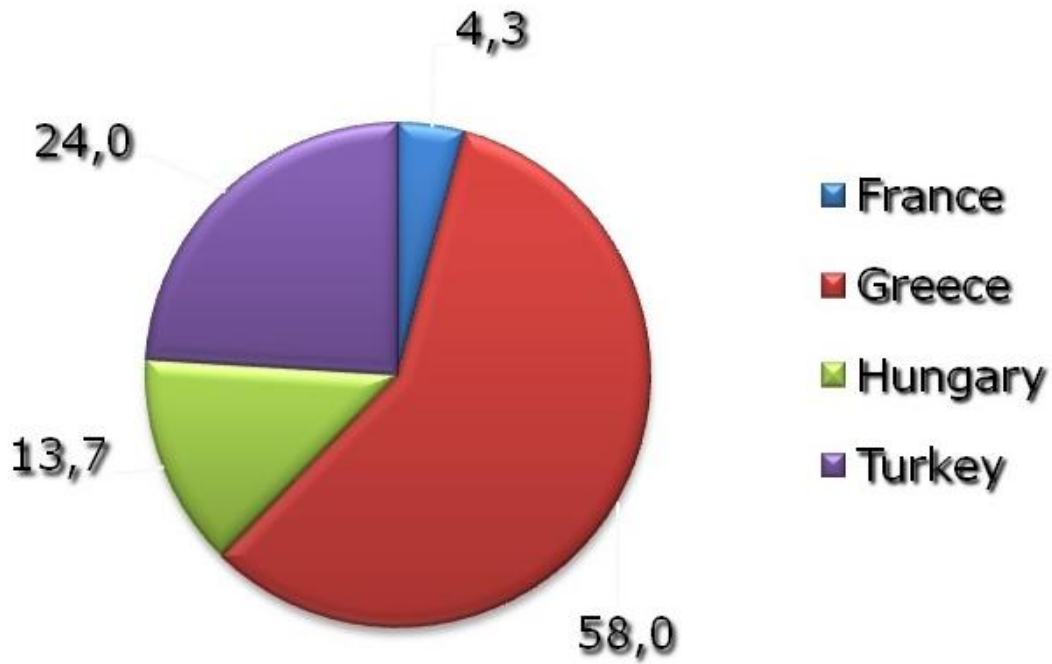
- Η κυριότερη χρήση του (περίπου το 85% του παραγόμενου βωξίτη χρησιμοποιείται για την παραγωγή αλουμινίου).
- Υλικό λείανσης σε υψηλές θερμοκρασίες: Όταν θερμανθεί ως την τήξη του, παίρνει κρυσταλλική μορφή, αποκτώντας υψηλή σκληρότητα, που του δίνει λειαντικές ιδιότητες.
- Κατασκευή πυρίμαχων υλικών.
- Κατασκευή τσιμέντου ταχείας πήξεως (διασπορικός βωξίτης).

Η μεταλλουργία του βωξίτη ακολουθεί δυο φάσεις:

- Μετατροπή σε υδροξείδιο του αργιλίου (μέθοδος Bayer): Ο βωξίτης λειοτριβείται και εισάγεται σε δοχεία μαζί με πυκνό διάλυμα καυστικού νατρίου υπό υψηλή πίεση και θερμοκρασία περίπου  $150^{\circ}\text{C}$ . Τα ορυκτά του αργιλίου διαλυτοποιούνται, ενώ απομακρύνονται και απορρίπτονται τα υπό μορφή ερυθράς λάσπης υδροξείδια του σιδήρου. Το διάλυμα στη συνέχεια ψύχεται και το καθαρό υδροξείδιο του αργιλίου καταβυθίζεται. Το στερεό υπόλειμμα θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία μετατρέπόμενο έτσι σε οξείδιο του αργιλίου (αλουμίνα).
- Εξαγωγή αργιλίου (μέθοδος Hall-Héroult): Η αλουμίνα εισάγεται σε μεγάλες λεκάνες. Αυτές είναι ορύγματα στο έδαφος επενδεδυμένα με υψηλής ανθεκτικότητας σε διάβρωση και υψηλές θερμοκρασίες μεταλλικές πλάκες. Εκεί θερμαίνεται μέχρι τήξεως. Επειδή η θερμοκρασία τήξεως είναι πολύ υψηλή (περίπου  $1100^{\circ}\text{C}$ ), προστίθεται περίπου 40% κρύολιθος ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ), για να καταβιβάσει το σημείο τήξεως περίπου στους  $850 - 900^{\circ}\text{C}$ . Το τήγμα υφίσταται ηλεκτρόλυση, με τα τοιχώματα της λεκάνης να αποτελούν την άνοδο και ηλεκτρόδιο από άνθρακα να αποτελεί την κάθοδο. Στο ηλεκτρόδιο αυτό αποτίθενται φθόριο και οξυγόνο, το οποίο καίοντας τον άνθρακα συμβάλλει στη διατήρηση της υψηλής θερμοκρασίας. Το φθόριο συλλέγεται από ειδικές σωληνώσεις στο κάλυμμα της λεκάνης και χρησιμοποιείται εκ νέου. Το παραγόμενο αργίλιο είναι σε ρευστή μορφή (τηγμένο), συλλέγεται από τη λεκάνη και υφίσταται εκ νέου εμπλουτισμό με νέα ηλεκτρόλυση, φθάνοντας σε καθαρότητα το 99%. Στη συνέχεια χύνεται σε ειδικά καλούπια και παίρνει μορφή κυλίνδρου ή "χελώνας", με τις οποίες διατίθεται στο εμπόριο.

### ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΩΞΙΤΗ ΕΝΤΟΣ ΕΕ

(source: USGS 2014)



- Η Ελλάδα κατατάσσεται:**
- 1η μεταξύ των EU27 με 85% της παραγωγής
  - 1η μεταξύ των EU33 με 58% της παραγωγής
  - 12η στον κόσμο με 1% της παραγωγής

Εικόνα 3: Παραγωγή βωξίτη εντός ΕΕ.

## 1.2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΒΩΞΙΤΗ, ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ

### Αλουμίνα

Η αλουμίνα είναι το βασικό ενδιάμεσο προϊόν της μεταλλουργίας του αλουμινίου. Για την παραγωγή 1 τόνου αλουμίνας απαιτούνται 2 τόνοι βωξίτη. Στην χώρα μας παραγωγή αλουμίνας γίνεται από την Αλουμίνιον της Ελλάδος, η μονάδα της οποίας έχει ετήσια δυναμικότητα 735.000 τόνων περίπου.



Εικόνα 4: Καθαρό  $Al_2O_3$ , αλουμίνα, προϊόν λαμβανόμενο από τον βωξίτη.

Για την πρωτογενή παραγωγή 1 κιλού αλουμινίου με ηλεκτρόλυση αλουμίνας από βωξίτη απαιτείται ενέργεια 14 kWh (κιλοβατώρες), η ανακύκλωση της ίδιας ποσότητας από scrap χρειάζεται μόνο 5% της ενέργειας ηλεκτρόλυσης. Η έντονη προσπάθεια που καταβάλλεται διεθνώς προς την κατεύθυνση αυτή, αποδεικνύεται με την υπεύθυνη διαχείριση των ορυχείων βωξίτη και με την χρήση υδροηλεκτρικής ενέργειας στην ηλεκτρόλυση. Σε πολλά ορυχεία βωξίτη που κλείνουν η επαναφορά του φυσικού τοπίου είναι καθιερωμένη, ενώ τα Ηνωμένα Έθνη έχουν βραβεύσει την αναδάσωση παλαιών ορυχείων μεγάλης εταιρίας στην Αυστραλία. Οι περισσότερες μονάδες ηλεκτρόλυσης (πάνω από 60% παγκοσμίως) τροφοδοτούνται πλέον από υδροηλεκτρικές πηγές που σημαίνει καθαρότερη ενέργεια χωρίς επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με αέριες εκπομπές. Ταυτόχρονα η προσπάθεια για οικονομικότερη διεργασία ηλεκτρολύσεως έχει ήδη διεθνώς αποδώσει, επιτυγχάνοντας μείωση ενέργειας 30% σε σχέση με εκείνη που χρειαζόταν προ 30ετίας.

Η διατήρηση της αξίας του μετάλλου, παράλληλα με την επ' άπειρον δυνατότητα ανακύκλωσης, αποτελούν εξαιρετικά ελκυστικά χαρακτηριστικά που ενισχύουν το προφίλ οικολογίας του αλουμινίου.

Υπενθυμίζεται ότι σε αντίθεση με άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται στην δόμηση, το αλουμίνιο διατηρεί ακέραια τα χαρακτηριστικά του μετά τη ανακύκλωση χωρίς ποιοτική υποβάθμιση.

## **Πρωτόχυτο Αλουμίνιο**

Για την παραγωγή 1 τόνου πρωτόχυτου αλουμινίου απαιτούνται 2 τόνοι αλουμίνας. Στην χώρα μας η παραγωγή πρωτόχυτου αλουμινίου γίνεται στο εργοστάσιο της Αλουμίνιον της Ελλάδος που η ετήσια παραγωγική του δυναμικότητα ξεπερνάει τους 160.000 τόνους. Τα 2/3 περίπου της παραγωγής διατίθενται στην εγχώρια αγορά ενώ το 1/3 εξάγεται κυρίως σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

## **Δευτερόχυτο Αλουμίνιο**

Η επεξεργασία του scrap αλουμινίου για την παραγωγή μετάλλου αλουμινίου, απαιτεί υψηλή τεχνολογία και τεχνογνωσία. Στην Ελλάδα, σήμερα, υπάρχουν σημαντικές μονάδες που είναι σε θέση να αξιοποιήσουν πλήρως το scrap αλουμινίου για την παραγωγή πρώτης ύλης αλουμινίου κατάλληλης για την παραγωγή νέων προϊόντων. Το δευτερόχυτο αλουμίνιο χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για τις ανάγκες της εγχώριας μεταποιητικής βιομηχανίας, ενώ οι εξαγωγές είναι λίγες.

## **Πρώτη Μεταποίηση**

Με τον όρο πρώτη μεταποίηση αλουμινίου εννοούμε τις βιομηχανικές μονάδες που επεξεργάζονται είτε πρωτόχυτο, είτε δευτερόχυτο αλουμίνιο (σε μορφή χελώνας, κολώνας, πλάκας), με σκοπό την παραγωγή ημιτελικών προϊόντων αλουμινίου. Η πρώτη μεταποίηση αποτελείται από 4 βασικούς υποκλάδους ανάλογα με την επεξεργασία που υπόκειται η πρώτη ύλη. Οι υποκλάδοι αυτοί είναι:

- η βιομηχανία της έλασης, η οποία παράγει πλατέα ημιπροϊόντα αλουμινίου όπως φύλλα και foil,
- η βιομηχανία της διέλασης που παράγει επιμήκη ημιπροϊόντα αλουμινίου όπως τα προφίλ που συνθέτουν ένα παράθυρο,
- η βιομηχανία καλωδίων και
- οι μονάδες παραγωγής χυτών προϊόντων αλουμινίου.

Στην χώρα μας πάνω από 30 εταιρείες δραστηριοποιούνται σε αυτό το στάδιο, ενώ οι βιομηχανίες της έλασης και της διέλασης υπολογίζεται ότι καλύπτουν το 96% της παραγωγής ημιπροϊόντων αλουμινίου.



## **Επιφανειακή Επεξεργασία**

Πρόκειται για ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ πρώτης και δεύτερης μεταποίησης του μετάλλου. Αφορά την επικάλυψη της εξωτερικής επιφάνειας των προϊόντων για λόγους προστασίας και διακόσμησης με δύο τεχνολογίες:

- Την ανοδίωση, που είναι η διαδικασία δημιουργίας ενός στρώματος οξειδίου του αλουμινίου στην επιφάνεια του μετάλλου, τόσο για την προστασία του όσο και για λόγους εμφάνισης. Στην χώρα μας πάνω από 6 επιχειρήσεις ασχολούνται με την ανοδίωση αλουμινίου κυρίως σε διατομές, με εγκατεστημένη δυναμικότητα 170.000 Amperes.
- Την ηλεκτροστατική βαφή, που είναι η διαδικασία της επιφανειακής επικάλυψης με πούδρα βαφής, κυρίως προϊόντων αλουμινίου που προορίζονται για αρχιτεκτονικές εφαρμογές, τόσο για λόγους προστασίας όσο και για λόγους εμφάνισης.

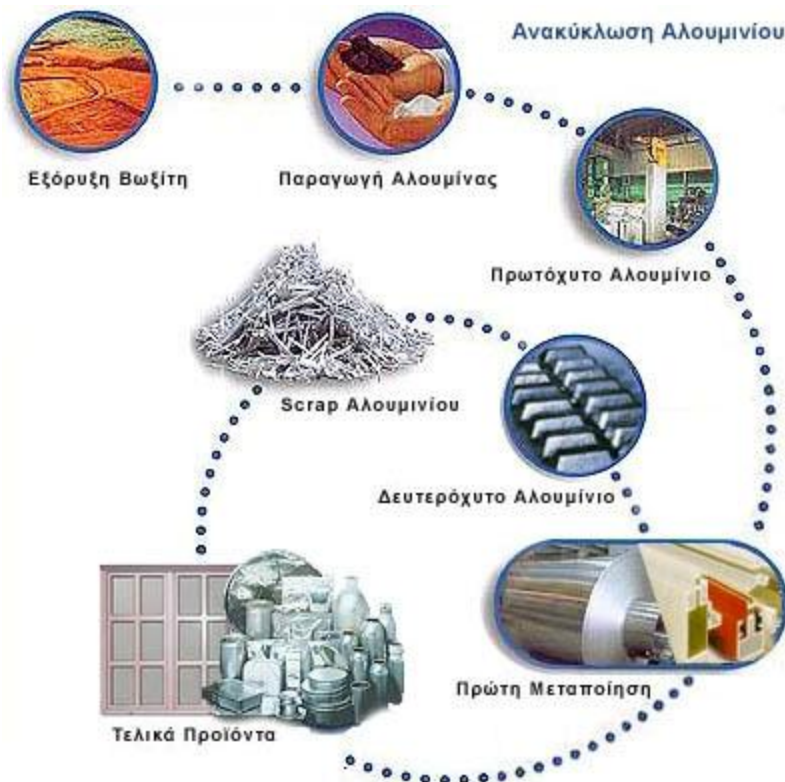
Στην Ελλάδα πάνω από 30 επιχειρήσεις ασχολούνται με την ηλεκτροστατική βαφή αλουμινίου, με δυναμικότητα που εκτιμάται κοντά στους 120.000 τόνους.

## **Δεύτερη Μεταποίηση**

Στη δεύτερη μεταποίηση δραστηριοποιούνται οι επιχειρήσεις που ασχολούνται με την παραγωγή τελικών προϊόντων για διάφορες χρήσεις όπως κατασκευές κτιρίων σε μορφή δομικού υλικού και εξωτερικών επικαλύψεων, συσκευασίες τροφίμων και ποτών, κατασκευή μεταφορικών μέσων, κατασκευή οικιακού εξοπλισμού κλπ. Εκτιμάται ότι πάνω από 8.000 επιχειρήσεις, από μεγάλες βιομηχανίες μέχρι οικογενειακές βιοτεχνίες, δραστηριοποιούνται στον τομέα αυτόν.

Είναι αξιοσημείωτο ότι ο κύκλος εργασιών των επιχειρήσεων της δεύτερης μεταποίησης αντιπροσωπεύει το 50% περίπου του συνόλου του κλάδου, λόγω της μεγάλης προστιθέμενης αξίας που προσλαμβάνει το αλουμίνιο σε κάθε φάση της επεξεργασίας του και ειδικότερα στην τελική.

Αναλυτικά η παραγωγή του αλουμινίου ακολουθεί μια συγκεκριμένη διαδικασία η οποία είναι:



Εικόνα 5: Παραγωγή - ανακύκλωση αλουμινίου.

### 1.3 ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ

Το αλουμίνιο έχει την δυνατότητα, με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων χημικών στοιχείων, να δημιουργεί συνθέσεις (κράματα) με διαφορετικές ιδιότητες. Η δυνατότητα αυτή, καθιστά το αλουμίνιο και τα κράματά του ως την πλέον κατάλληλη πρώτη ύλη για την παραγωγή τελικών προϊόντων με ξεχωριστές ιδιότητες και ειδικές απαιτήσεις.

Η δυνατότητα που έχει το αλουμίνιο, να επιτυγχάνει διαφορετικές ιδιότητες προκειμένου να καλύψει τις ειδικές απαιτήσεις κάθε προϊόντος, οφείλεται στο γεγονός της εύκολης κραματοποίησής του. Με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων κραματοποιών (χημικών) στοιχείων (π.χ. χαλκός, μαγνήσιο, πυρίτιο, μαγγάνιο, ψευδάργυρος κλπ), μπορούμε να επιτύχουμε πρώτη ύλη αλουμινίου με τις επιθυμητές και κατάλληλες ιδιότητες για κάθε τύπο προϊόντος. Οι τελικές ιδιότητες κάθε προϊόντος που θα παραχθεί από αλουμίνιο, επιτυγχάνονται με την επιλογή του κατάλληλου κράματος αλουμινίου, την μέθοδο επεξεργασίας του (μηχανική πλαστική διαμόρφωση ή χύτευση) και τις θερμικές κατεργασίες (βαφή, τεχνητή γήρανση, ανόπτηση κλπ) που θα υποστεί.

Στα παρακάτω αναφέρονται περιληπτικά οι κατηγορίες και οι συμβολισμοί για τα διάφορα κράματα αλουμινίου, οι θερμικές επεξεργασίες που συνήθως υποβάλλονται, καθώς και η επίδραση των διαφόρων κραματοποιών στοιχείων στις ιδιότητες.

ΚΡΑΜΑΤΑ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ					
	Κωδικός κράματος	Κύριο κραματοποιό στοιχείο	Σκλήρυνση με μηχανική επεξεργασία	Σκλήρυνση με θερμική επεξεργασία	
EN AW-	1XXX	Κανένα (min.99,00% Al)	X		Μη θερμο-σκλυνόμενα
	3XXX	Mn	X		
	4XXX	Si	X		
	5XXX	Mg	X		
	2XXX	Cu	(X)	Xs	Θερμο-σκλυνόμενα
	6XXX	Mg+Si	(X)	X	
	7XXX	Zn	(X)	X	
	8XXX	Άλλο	(X)	X	

Συμβολισμοί: *EN*: Ευρωπαϊκό πρότυπο, *A*: Αλουμίνιο, *W*: Μηχανική πλαστική διαμόρφωση

Πίνακας 1:Κράματα για μηχανική πλαστική διαμόρφωση.

#### 1.4 ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ-ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ

Το αλουμίνιο και τα κράματά του - είτε πρωτόχυτο είτε δευτερόχυτο - διαιρούνται σε δύο κύριες κατηγορίες, ως αλουμίνιο ή κράματα αλουμινίου για μηχανική πλαστική διαμόρφωση (παραγωγή προϊόντων έλασης, διέλασης, ολκής, κλπ) και ως αλουμίνιο ή κράματα αλουμινίου για χρήση σε χυτήρια (παραγωγή χυτών αντικειμένων).

Το αλουμίνιο και τα κράματά του που προορίζονται για μηχανική πλαστική διαμόρφωση προσδιορίζονται από τη χημική τους σύσταση βάσει ενός διεθνώς αποδεκτού συστήματος που χρησιμοποιεί τέσσερις αριθμούς. Το πρώτο από τα τέσσερα ψηφία δείχνει την ομάδα κράματος σύμφωνα με το, σε μεγαλύτερη αναλογία ευρισκόμενο, κραματοποιό στοιχείο.

- **Σειρά 1000: Καθαρό αλουμίνιο με 99,00% ελάχιστη καθαρότητα.**

Το καθαρό αλουμίνιο υποδιαιρείται σε κατηγορίες ανάλογα με την περιεκτικότητα σε αλουμίνιο. Το καθαρό αλουμίνιο χαρακτηρίζεται από την υψηλή αντίσταση στη διάβρωση, υψηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και την εύκολη μορφοποίηση. Οι μηχανικές αντοχές είναι σχετικά χαμηλές.

- **Σειρά 2000: κράματα αλουμινίου – χαλκού.**

Τα κράματα της σειράς αυτής αποκτούν μηχανικές αντοχές υψηλότερες από αυτές του μέσου χάλυβα. Χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις κατασκευών με απαίτηση υψηλές μηχανικές αντοχές.

- **Σειρά 3000: κράματα αλουμινίου – μαγγανίου.**

Τα χαρακτηριστικά των κραμάτων της σειράς αυτής είναι: η εύκολη μορφοποίηση, η καλή αντοχή στην ατμοσφαιρική διάβρωση, η ευκολία συγκόλλησης με τις συνήθεις μεθόδους. Χαρακτηριστικά κράματα το 3003 και 3004.

- **Σειρά 4000: κράματα αλουμινίου – πυριτίου.**

Η παρουσία του πυριτίου ελαττώνει το σημείο τήξης των κραμάτων της κατηγορίας αυτής. Το γεγονός αυτό, καθιστά αυτά τα κράματα κατάλληλα για χρήση ως ηλεκτρόδια πλήρωσης σε εργασίες συγκόλλησης κομματιών αλουμινίου.

- **Σειρά 5000: κράματα αλουμινίου – μαγνησίου.**

Τα χαρακτηριστικά των κραμάτων αυτών είναι: πολύ καλή συγκολλητικότητα, πολύ καλή συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες (κρυογενικά συστήματα), πολύ καλή αντιδιαβρωτική συμπεριφορά στο θαλάσσιο περιβάλλον, μέσες μηχανικές αντοχές. Χρησιμοποιείται ευρέως στη ναυπηγική, στη χημική βιομηχανία, στις οικοδομές, στα μεταφορικά μέσα, κλπ. Χαρακτηριστικά κράματα: 5005, 5052, 5754, 5083, 5086, 5182.

- **Σειρά 6000: κράματα αλουμινίου - πυριτίου – μαγνησίου.**

Αποτελούν τα κράματα που κατά βάση χρησιμοποιούνται στην διέλαση για την παραγωγή προφίλ. Χαρακτηριστικά κράματα: 6005, 6061, 6082. 6060,6063.

- **Σειρά 7000: κράματα αλουμινίου – ψευδαργύρου.**

Ο ψευδάργυρος με το μαγνήσιο είναι τα κύρια κραματοποιά στοιχεία. Τα κράματα αυτά επιτυγχάνουν τις υψηλότερες μηχανικές ιδιότητες από όλα τα κράματα αλουμινίου. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην αεροναυπηγική και αεροδιαστημική βιομηχανία.

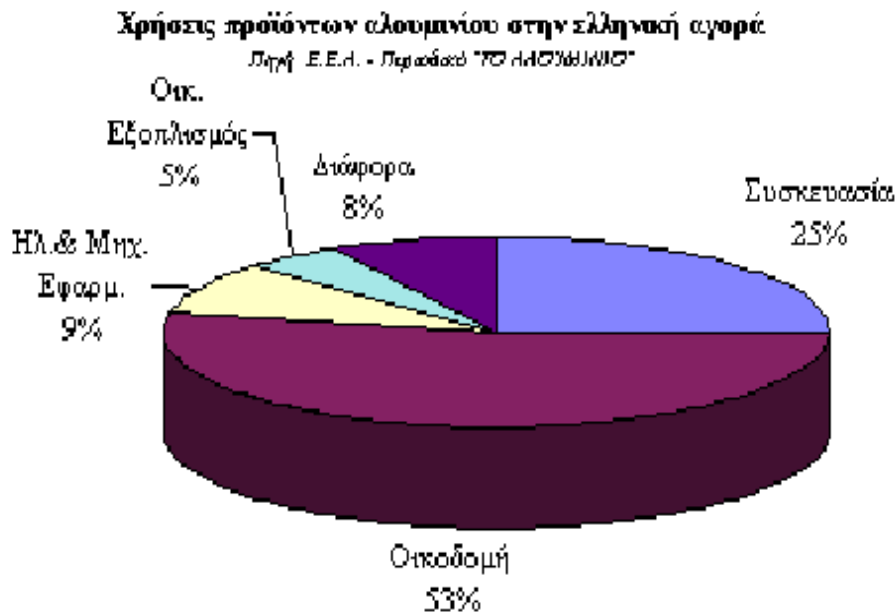
## 1.5 ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΥΤΕΥΣΗΣ

Σε αντίθεση με τα κατεργάσιμα κράματα, τα κράματα χύτευσης περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες κραματικών στοιχείων όπως πυριτίου και χαλκού. Αυτό προκαλεί μια μεγάλη ετερογενή δομή π.χ. μια σημαντική ποσότητα δευτέρας φάσης. Αυτή η δεύτερη φάση απαιτεί πολύ προσεκτική μελέτη, διότι κάθε άγριο, κοφτερό και εύθραυστο συστατικό μπορεί να δημιουργήσει εσωτερικές εγκοπές και να ξεκινήσει ρωγμές όταν το χυτό τοποθετηθεί αργότερα σε συνθήκες φορτίου. Οι μεγάλες ετερογενείς δομές δεν έχουν καλές αντοχές σε κόπωση. Καλές μεταλλουργικές και χυτευτικές τεχνικές μπορούν να προλάβουν τέτοια σφάλματα. Η επιμήκυνση και η αντοχή, ειδικά στην κόπωση, των περισσότερων χυτών είναι σχετικά χαμηλότερες από αυτές των κατεργάσιμων προϊόντων. Αυτό οφείλεται στο ότι οι τεχνικές χύτευσης ακόμη δεν μπορούν να προλάβουν τα χυτευτικά σφάλματα. 2xx.x Κράματα Al-Cu Υφίστανται θερμική κατεργασία και χυτεύονται σε «κοχύλι» (μεταλλικό καλούπι) και στο «χώμα». Υψηλές αντοχές σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος και σε υψηλές θερμοκρασίες. Μερικά παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε κάμψη. Εφαρμογές για αεροσκάφη, αυτοκίνητα και μηχανές. Αντιπροσωπευτικά κράματα: 201.0, 203.0 Εύρος αντοχής σε εφελκυσμό: 131-450 Μpa Το περισσότερο ανθεκτικό κράμα είναι το 201.0/AlCu4Ti (Ντουραλουμίνιο) που επιδέχεται θερμική κατεργασία.

Η χυτευσιμότητα του περιορίζεται λόγω της τάσης σχηματισμού μικροπορώδους και «θερμών σταγόνων» (hottears) έτσι καλύτερα ταιριάζει στις μεθόδους επενδυμένων κελυφών. Η μεγάλη του αντοχή σε κάμψη το κάνει ιδιαίτερα κατάλληλο για εξαρτήματα υψηλής καταπόνησης σε εργαλειομηχανές, σε εφαρμογές ηλεκτρολογικού υλικού και στη κατασκευή αεροσκαφών. Εκτός από τα κανονικά κράματα χύτευσης, υπάρχουν ειδικά κράματα για ιδιαίτερα εξαρτήματα π.χ. κεφαλές μηχανής, σώματα μηχανής ή κουζινέτα. Για τέτοιες εφαρμογές το επιλεγμένο κράμα απαιτεί καλή αντοχή στη φθορά και χαμηλό συντελεστή τριβής, όπως επίσης κατάλληλη αντοχή σε συνθήκες λειτουργίας υψηλών θερμοκρασιών.

Ένα καλό παράδειγμα είναι το κράμα 203.0/AlCu5NiCo που σήμερα είναι το κράμα χύτευσης με την μεγαλύτερη αντοχή στους 200ο C. Φτερά προσγείωσης (landing flaps) και άλλα εξαρτήματα αεροσκαφών κατασκευάζονται από 201.0 η A356.0 κράματα.

## 1.6 ΧΡΗΣΗ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ



Εικόνα 6:Χρήσεις αλουμινίου στην Ελληνική αγορά.

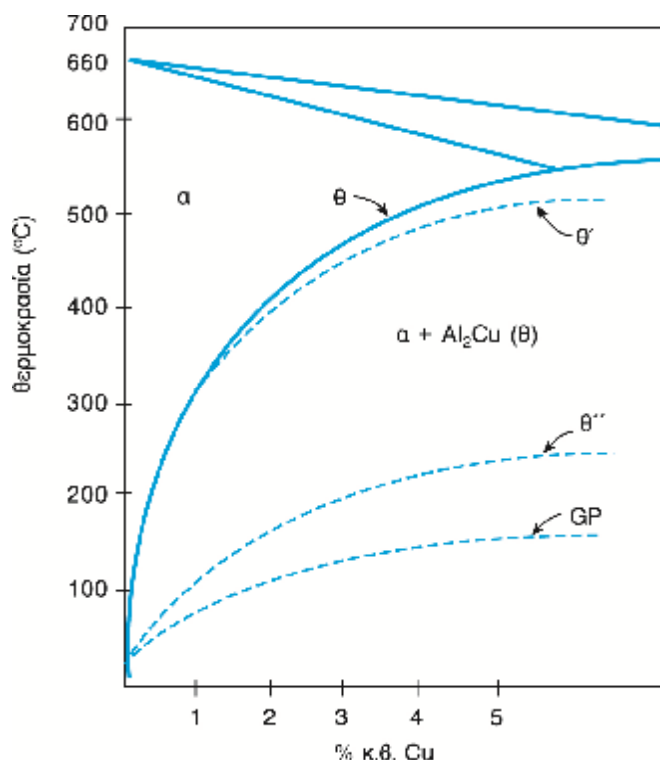
Το αλουμίνιο χαίρει ιδιαίτερης εκτίμησης από τον κατασκευαστικό κλάδο για την πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής του, τις περιορισμένες απαιτήσεις συντήρησης και τη συνεισφορά του στην ενεργειακή αποδοτικότητα των κτηρίων. Η χρήση προϊόντων από αλουμίνιο έχει σημαντική θετική οικολογική επίπτωση λόγω της σημαντικής εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνει. Στην δόμηση η προσθήκη ενός εξωτερικού μανδύα από αλουμίνιο σε νέα ή υπάρχοντα κτίρια βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Επιστημονικές μελέτες που έγιναν έχουν δείξει εξοικονόμηση ενέργειας που πλησιάζει το 50% το χειμώνα (ενέργεια θέρμανσης) και το 25% το καλοκαίρι (ενέργεια ψύξης). Ταυτόχρονα το αλουμίνιο αποτελεί ιδανικό υλικό για συστήματα σκιασμού κτιρίων και στήριξης φωτοβολταϊκών στοιχείων. Εάν λάβουμε υπόψη ότι ο οικιστικός και τριτογενής τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% της ενέργειας που καταναλώνεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση, είναι προφανές ότι η συνεισφορά του αλουμινίου στην επίτευξη των στόχων του Κιότο είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Η διάρκεια ζωής των κατασκευών από αλουμίνιο είναι σημαντικά μεγαλύτερη εκείνων από χάλυβα, για λόγους αντοχής στη διάβρωση, ενώ το κόστος συντήρησής τους είναι ελάχιστο. Η τεχνολογία των κραμάτων σε συνδυασμό με την ευκολία υποβιβασμού του πάχους με την έλαση, δίνει νέα διάσταση σε δυνατότητα οικονομίας μετάλλου στις κατασκευές (σκληρότερα κράματα - χαμηλότερο πάχος) διάβρωσης. Το μειωμένο έως μηδενικό κόστος συντηρήσεως σε συνδυασμό με το χαμηλό ειδικό βάρος επηρεάζουν θετικά την επιλογή του αλουμινίου. Επιπλέον, χρησιμοποιείται σε πυρηνικούς αντιδραστήρες σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας (εξαιτίας του γεγονότος ότι απορροφά σχετικά λίγα νετρόνια) και σε κρυογονικές θερμοκρασίες επειδή διατηρεί την αντοχή του και αυξάνει τη σκληρότητα του όσο μειώνεται η θερμοκρασία. Τα κράματα του αλουμινίου διακρίνονται σε κράματα διαμόρφωσης και σε κράματα χύτευσης.

Τα κράματα των δύο αυτών κατηγοριών υποδιαιρούνται σε κράματα που μπορούν να υποστούν θερμική κατεργασία και σε κράματα των οποίων η θερμική κατεργασία είναι αδύνατη. Οι ιδιότητες των πρώτων εξαρτώνται από την ακολουθούμενη θερμική κατεργασία, ενώ οι ιδιότητες των δεύτερων εξαρτώνται από το ποσοστό ενδοτράχυνσης που έχουν υποστεί. Όπως το καθαρό αλουμίνιο, έτσι και τα κράματά του έχουν χαμηλή πυκνότητα, καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και υψηλή αντοχή σε διάβρωση.

<b>Προσθήκη</b>	<b>Επίδραση στις Ιδιότητες του Αλουμινίου</b>
Χαλκός	Σε ποσοστό έως 12% προκαλεί βελτίωση της μηχανικής αντοχής και της κατεργασιμότητας. Η σκλήρυνση επιτυγχάνεται με κατακρήμνιση.
Σίδηρος	Σε μικρά ποσοστά βελτιώνει την αντοχή και τη σκληρότητα και, ταυτόχρονα, μειώνει τις πιθανότητες θερμής ρωγμάτωσης κατά τη χύτευση.
Μαγγάνιο	Βελτιώνει την ολκιμότητα και, σε συνδυασμό με τον σίδηρο, τη χυτευσιμότητα.
Μαγνήσιο	Βελτιώνει τη μηχανική αντοχή και την αντοχή σε διάβρωση. Σε ποσοστό μεγαλύτερο του 6% προκαλεί σκλήρυνση με κατακρήμνιση.
Πυρίτιο	Βελτιώνει, κατά πολύ, τη χυτευσιμότητα και την αντοχή σε διάβρωση.
Ψευδάργυρος	Μειώνει τη χυτευσιμότητα αλλά, σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία προσθήκης, βελτιώνει τη μηχανική αντοχή.

Πίνακας 2 :Κύριες προσθήκες κραμάτων αλουμινίου και η επίδρασή τους.



Εικόνα 7: Διάγραμμα φάσεων.

## 1.7 ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Τα προϊόντα κραμάτων αλουμινίου υποβάλλονται σε θερμομηχανικές επεξεργασίες προκειμένου να επιτευχθούν επιθυμητές ιδιότητες σε αυτά. Οι βασικές αυτές κατεργασίες παρουσιάζονται ακολούθως. Κάθε κατεργασία μεταβάλλει διαφορετικές ιδιότητες του κράματος και σε διαφορετικό βαθμό.

**Ανόπτηση** ονομάζεται στη μεταλλουργία η θερμική κατεργασία στην οποία υποβάλλεται ένα μέταλλο ή κράμα, που έχει υποστεί κάποια κατεργασία π.χ. σφυρηλάτηση ή ενδοτράχυνση, προκειμένου στη συνέχεια υποβαλλόμενο σε ψύξη να βελτιωθεί η ευκαμψία του και να γίνει λιγότερο εύθρυπτο. Η εφαρμογή της είναι πολύ κοινή σε διαδικασίες παραγωγής οι οποίες απαιτούν εκτεταμένη πλαστική παραμόρφωση, για να επιτρέψει μια παράταση της παραμόρφωσης, χωρίς να επέλθει θραύση ή να χρειαστεί υπερβολική κατανάλωση ενέργειας. Κατά τη διάρκεια αυτής της κατεργασίας είναι δυνατό να συμβούν αποκατάσταση και ανακρυστάλλωση.

Συνήθως είναι επιθυμητή η απόκτηση λεπτοκρυσταλλικής δομής και συνεπώς η θερμική διεργασία τερματίζεται εγκαίρως, πριν επέλθει σημαντική ανάπτυξη του μεγέθους των κόκκων. Η επιφανειακή οξείδωση αποφεύγεται ή ελαχιστοποιείται εάν η θερμοκρασία της ανόπτησης παραμείνει σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, (υψηλότερα όμως της θερμοκρασίας ανακρυστάλλωσης), ή εάν η διεργασία πραγματοποιηθεί σε μη οξειδωτική ατμόσφαιρα.



Κατά την ανόπτηση το υλικό θερμαίνεται μέσα σε ειδικό κλίβανο, ("κλίβανος ανόπτησης"), σε υψηλή θερμοκρασία (500–850°C) για κάποιο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια ψύχεται αργά για αρκετές ώρες, σε θερμοκρασία δωματίου έτσι ώστε να εξαλειφθούν οι υπολειπόμενες εσωτερικές τάσεις (καταπονήσεις) που προκάλεσε η ενδοτράχυνση. Συνηθέστερα ανόπτηση γίνεται σε υλικά αλουμινίου, προϊόντα και παραγωγή γυαλιού και ειδικότερα στη χαλυβουργία.

Η ανόπτηση γίνεται συνήθως σε μέταλλα ή κράματα που έχουν υποστεί ψυχρή έλαση και περιλαμβάνει τρία στάδια:

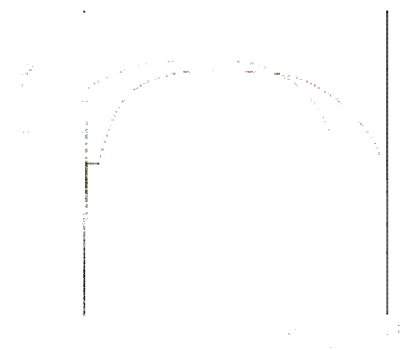
1. Αποκατάσταση — Κατά το στάδιο αυτό, το υλικό θερμαίνεται σε θερμοκρασία περίπου ίση με  $0,3T_m$ , όπου  $T_m$  η θερμοκρασία τήξης του υλικού. Με την θέρμανση του υλικού, επιτυγχάνεται αναδιοργάνωση και αποδέσμευση των κρυσταλλικών διαταραχών (ατελειών) που προκάλεσε η ενδοτράχυνση. Η πυκνότητα των διαταραχών μειώνεται λίγο με συνέπεια την μικρή μείωση της σκληρότητας και την μικρή βελτίωση της ολκιμότητας του υλικού.
2. Ανακρυστάλλωση — Κατά την ανακρυστάλλωση, το υλικό θερμαίνεται σε θερμοκρασία υψηλότερη από  $0,4T_m$ . Η υψηλότερη θέρμανση επιτρέπει τον σχηματισμό νέων κόκκων (κρυστάλλων) που έχουν πολύ λίγες διαταραχές και η μικροδομή του υλικού γίνεται πιο σφαιρική. Επίσης, η πυκνότητα των διαταραχών μειώνεται δραστικά (π.χ. από  $10^{15}/m^2$  στις  $10^{10}/m^2$ ).
3. Ανάπτυξη των κρυστάλλων — Η αύξηση του μεγέθους των κόκκων (κρυστάλλων) επιτυγχάνεται με διατήρηση του υλικού στην θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης για μεγάλο χρόνο. Οι κόκκοι που δημιουργούνται στο στάδιο της ανακρυστάλλωσης αρχίζουν να μεγαλώνουν, καθώς σ' αυτούς ενσωματώνονται οι μικροί κόκκοι που τους περιβάλλουν. Έτσι, μειώνεται σημαντικά η σκληρότητα του υλικού, αλλά και η αντοχή του.

Η ανόπτηση γίνεται συνήθως σε ατμόσφαιρα αναγωγικού αερίου ( $H_2$ , CO, κ.ά.) για να μην οξειδωθεί η επιφάνεια του μεταλλικού υλικού. Μεγάλο ρόλο στην ανόπτηση παίζει η διάχυση των ατόμων στην στερεά κατάσταση. Με την ανόπτηση ένα μεταλλικό υλικό χάνει μεγάλο μέρος της σκληρότητας που απέκτησε με την ενδοτράχυνση και γίνεται πιο αγωγίμο στον ηλεκτρισμό. Επίσης, με την εξάλειψη κρυσταλλικών ατελειών, η πυκνότητα του υλικού αυξάνεται.

Η ενδοτράχυνση ή είναι μέθοδος αύξησης της αντοχής και της σκληρότητας ενός μεταλλικού υλικού (μετάλλου ή κράματος) με παραμόρφωση πέρα από το όριο διαρροής. Η ενδοτράχυνση έχει ιδιαίτερη σημασία στην μεταλλοτεχνία του χάλυβα, όταν το μέταλλο αυτό υποβληθεί σε ψυχρή κατεργασία, δηλ. σε πλαστική παραμόρφωση υπό θερμοκρασία χαμηλότερη από το μισό της θερμοκρασίας τήξης. Η παραμόρφωση πέρα από το όριο διαρροής οδηγεί σε δραματική αύξηση της πυκνότητας των διαταραχών — γραμμικών και διεπιφανειακών — στο εσωτερικό των κρυστάλλων του υλικού. Για παράδειγμα, σε ένα ανοπτημένο μεταλλικό υλικό, η πυκνότητα διαταραχών είναι της τάξης των  $10^{10}/m^2$ , ενώ σε ένα υλικό που έχει πάθει ψυχρή ολκή ή έλαση, η πυκνότητα διαταραχών είναι της τάξης των  $10^{15}/m^2$ . Καθώς μεγαλώνει η παραμόρφωση του υλικού, οι διαταραχές μετακινούνται (ολισθαίνουν), τέμνονται, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και συσσωρεύονται σε ορισμένα σημεία, με αποτέλεσμα να εμποδίζει η μία την κίνηση της άλλης. Με την αύξηση της πυκνότητας των ατελειών, την αλλαγή της κατανομής τους και την παρεμπόδιση της κίνησής τους, το υλικό χάνει την ολκιμότητά του και γίνεται πιο σκληρό.

Μακροσκοπικά, η ενδοτράχυνση παρατηρείται εύκολα, όταν πάρουμε ένα μεταλλικό σύρμα και προσπαθήσουμε να το λυγίσουμε μερικές φορές. Αφού το λυγίσουμε μία φορά και το ισιώσουμε, την δεύτερη φορά πιθανότατα δεν θα λυγίσει στο ίδιο σημείο. Αν καταφέρουμε να το λυγίσουμε ξανά στο ίδιο σημείο, θα νοιώσουμε ότι το σύρμα είναι πιο δύσκαμπτο. Αυτό συμβαίνει επειδή το σημείο καμπής του σύρματος έχει πάθει ενδοτράχυνση. Εάν επαναλάβουμε το λύγισμα μερικές φορές ακόμα, το σύρμα γίνεται ολοένα και πιο δύσκαμπτο και στο τέλος σπάζει.

Κατά τρόπο πιο επιστημονικό, η ενδοτράχυνση παρατηρείται όταν υποβληθεί σε δοκιμή εφελκυσμού ένα υλικό το οποίο είχε υποβληθεί προηγουμένως σε παρόμοια δοκιμή μέχρι να πάθει πλαστική παραμόρφωση. Κατά την δεύτερη δοκιμή εφελκυσμού, το υλικό θα παρουσιάσει μεγαλύτερο όριο ελαστικής παραμόρφωσης και μεγαλύτερο όριο διαρροής. Μάλιστα, εάν πρόκειται για κοινό χάλυβα, κατά την δεύτερη δοκιμή εφελκυσμού η πλαστική παραμόρφωση είναι ομαλή και δεν παρατηρείται διαρροή. Η διαρροή παρατηρείται ξανά μόνον όταν, ανάμεσα στην πρώτη και την δεύτερη δοκιμή εφελκυσμού, το υλικό αναθερμανθεί γύρω στους 120°C και επέλθει **εργογήρανση**.



Εικόνα 8: Σκαρίφημα που δείχνει τις καμπύλες τάσης ( $\sigma$ ) – παραμόρφωσης ( $\epsilon$ ) για έναν κοινό δομικό χάλυβα, όπως έχει (δοκιμή I) και μετά από πλαστική παραμόρφωση (επιμήκυνση) περίπου 5% που έχει προκαλέσει ενδοτράχυνση (δοκιμή II).

Μαθηματικά, στις περισσότερες περιπτώσεις, η σχέση τάσης – παραμόρφωσης στην περιοχή της πλαστικής παραμόρφωσης μπορεί να περιγραφεί με την *εξίσωση του Λούντβιχ*

$$s = s_y + Ke^n$$

όπου  $\sigma$  η ασκούμενη τάση,  $\sigma_y$  το όριο διαρροής,  $K$  μια εμπειρική σταθερά,  $\epsilon$  η παραμόρφωση και  $n$  ένας εμπειρικός εκθέτης που για τα περισσότερα μέταλλα λαμβάνει την τιμή 0,2 έως 0,5. Για ένα υλικό που έχει ήδη υποστεί πλαστική παραμόρφωση  $\epsilon_0$ , η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$s = s_y + K(\epsilon + \epsilon_0)^n$$

Η ενδοτράχυνση με ψυχρή ολκή, έλαση ή άλλη μηχανική κατεργασία προκαλεί αύξηση της σκληρότητας του μετάλλου ή κράματος, επιμήκυνση των κόκκων (κρυστάλλων) κατά την διεύθυνση της παραμόρφωσης και, επομένως, ανισοτροπία στο υλικό. Η εργογήρανση επαναφέρει την διαρροή στους χάλυβες, αλλά δεν μειώνει την σκληρότητα του υλικού, το

οποίο μπορεί να αστοχήσει κατά τρόπο ψαθυρό. Το υλικό που έπαθε σκλήρυνση με ενδοτράχυνση ανακτά την αρχική ολκιμότητά του, ή μέρος της ολκιμότητάς του, μόνον με ανόπτηση, δηλ. θέρμανση σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία.

Η ενδοτράχυνση συνδέεται και με το φαινόμενο της κόπωσης των μετάλλων. Η επαναληπτική εφαρμογή εφελκυστικών/θλιπτικών τάσεων οδηγεί σε συσσώρευση των ατελειών σε ορισμένα σημεία όπου τελικά το υλικό αστοχεί με ψαθυρή θραύση.

### **Σκλήρυνση με κατακρήμνιση (precipitationhardening)**

- Η σκλήρυνση με κατακρήμνιση ή σκλήρυνση με γήρανση αναφέρεται στην ισχυροποίηση κράματος με το σχηματισμό πολύ λεπτής διαμερισμένης φάσης μέσα στο αρχικό μητρικό πλέγμα.
- Η νέα αυτή φάση αποτελείται από πολύ μικρά και ομοιόμορφα διασκορπισμένα σωματίδια που ονομάζονται κατακρημνίσματα.
- Η όλη διαδικασία ισχυροποίησης επιτυγχάνεται με μια σειρά θερμικών κατεργασιών.
- Η ισχυροποίηση συνήθως επιτυγχάνεται όταν αυτή η δεύτερη φάση έχει μια σκληρή κρυσταλλική δομή που ανθίσταται στη παραμόρφωση και ιδιαίτερα όταν είναι διασκορπισμένα με ομοιόμορφα.
- Ο όρος καθίζηση και γήρανση χρησιμοποιούνται ισοδύναμα.
- Ο όρος “γήρανση ” χρησιμοποιείται για να δηλώσει την εξέλιξη της διαδικασίας ισχυροποίησης με τον χρόνο.

Η διαδικασία της σκλήρυνσης με καθίζηση μπορεί να εφαρμοσθεί μόνον :

- i. Όταν το κράμα του αλουμινίου περιλαμβάνει τουλάχιστον δύο φάσεις σε θερμοκρασία δωματίου ,
- ii. Το διάγραμμα φάσεων ισορροπίας είναι τέτοιο ώστε η δεύτερη φάση να διαλυτοποιείται σε κάποια υψηλή θερμοκρασία ,
- iii. Η απότομη ψύξη του σε χαμηλή θερμοκρασία δημιουργεί υπερκορεσμένο στερεό διάλυμα ,
- iv. Η καθίζηση ελέγχεται με θέρμανση σε κατάλληλη θερμοκρασία και συγκεκριμένο χρόνο ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή συσσωμάτωση ατόμων και δεν υπάρχει φαινόμενο υπεργήρανσης.

## 1.8 ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΥΤΩΝ

Σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα EN τα κράματα αλουμινίου συμβολίζονται με πέντε αριθμητικά ψηφία. Το πρώτο ψηφίο προσδιορίζει την ομάδα των κραμάτων βάσει του κυριότερου κραματοποιού στοιχείου. Το πέμπτο ψηφίο είναι πάντα 0. Του πενταψηφίου αυτού αριθμού προηγείται συμβολισμός που δείχνει την χρήση του κράματος.

ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΥΤΩΝ		
Συμβολισμός - ποιότητας	Συμβολισμός	Κύριο στοιχείο
	1XXX0	Κανένα (min99,00% Al)
	2XXX0	Cu
<b>EN AB-</b>	4XXX0	Si
<b>EN AC-</b>	5XXX0	Mg
<b>EN AM-</b>	7XXX0	Zn
	8XXX0	Sn
	9XXX0	Μητρικά κράματα

*Συμβολισμοί: Ευρωπαϊκό πρότυπο,  
A: Αλουμίνιο, B: χελώνα, C: Κράμα για χυτά, M: Μητρικό κράμα*

**Πίνακας 3:Κράματα χυτών.**

Τα χαρακτηριστικότερα κράματα για την παραγωγή χυτών αντικειμένων είναι αυτά που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε πυρίτιο. Το πυρίτιο βελτιώνει τις ρεολογικές ιδιότητες έτσι ώστε το ρευστό μέταλλο να καταλαμβάνει όλες τις κοιλότητες του καλουπιού. Το αλουμίνιο και τα κράματα αλουμινίου που προορίζονται για μηχανική επεξεργασία (έλαση, διέλαση, σφυρηλασία κλπ) προσδιορίζονται από το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 573 και χαρακτηρίζονται από τη χημική τους σύσταση βάσει διεθνώς αποδεκτού συστήματος που χρησιμοποιεί τέσσερις αριθμούς. Το πρώτο από τα τέσσερα ψηφία δείχνει την ομάδα κράματος σύμφωνα με το σε μεγαλύτερη αναλογία ευρισκόμενο στοιχείο.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

## 2.1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Το αλουμίνιο έχει ένα εξαιρετικά μεγάλο εύρος δυνατοτήτων, ιδιοτήτων, φυσικών χημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών που επιδεικνύουν τα τόσα κράματα του. Το αλουμίνιο είναι ένα ελαφρύ αργυρόχρωμο μέταλλο. Το ατομικό του βάρος είναι 26,9815, κρυσταλλώνεται σε δομή κυβικού εδροκεντρωμένου, λιώνει σε θερμοκρασία 660°C (1.220°F), εξατμίζεται σε θερμοκρασία 2.467°C (4.473°F), και έχει ειδικό βάρος 2,7 (kg/m<sup>3</sup> ή g/cm<sup>3</sup>). Είναι ισχυρά ηλεκτροθετικό ως μέταλλο και εξαιρετικά αντιδρών.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του χάλυβα, με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς μηχανημάτων για την τυπική συγκόλληση αντιστάσεως. Η θερμική αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι επίσης μεγαλύτερη εκείνης του χάλυβα, επομένως χρειάζεται περισσότερη θερμική ενέργεια για τη συγκόλληση. Στην επαφή του με τον ατμοσφαιρικό αέρα οξειδώνεται ταχέως, δίνοντας ένα λεπτό συνεχές επιφανειακό στρώμα Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> το οποίο είναι αδιαπέραστο από το οξυγόνο και προσφέρει στο μέταλλο αντιοξειδωτική προστασία. Αυτό το στρώμα οξειδίου, πρέπει να αφαιρείται με βούρτσισμα, λίγο πριν τη συγκόλληση του μετάλλου. Ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του αλουμινίου είναι διπλάσιος του χάλυβα, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Παράλληλα το αλουμίνιο είναι εξαιρετικός αγωγός του ηλεκτρισμού, ενώ είναι μη μαγνητικό, μη αναφλέξιμο και μη τοξικό. Επιπλέον, είναι πολύ καλός αγωγός της θερμότητας. Μπορεί να ανακυκλωθεί, ενώ μορφοποιείται, χυτεύεται και κατεργάζεται εύκολα. Κράματα αυτού με μικρά ποσοστά χαλκού, μαγνησίου, μαγγανίου και πυριτίου αλλά και άλλων κραματικών στοιχείων, του προσδίδουν ιδιαίτερα ξεχωριστές και χρήσιμες ιδιότητες. Η αντοχή του εξαρτάται από την καθαρότητά του. Έτσι, το καθαρό αλουμίνιο σε ποσοστό 99,996% έχει αντοχή σε εφελκυσμό περίπου 49 MPa, η οποία όμως μπορεί να φτάσει τα 700 MPa μετά από κραμάτωση και κατάλληλη θερμική κατεργασία.

Το αλουμίνιο θεωρείται ένα από τα ευκολότερα μέταλλα για συγκόλληση, μόνο που τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του απαιτούν διαφορετική πρακτική από όσα είναι γνωστά για τη συγκόλληση σιδήρου. Το λειωμένο αλουμίνιο μπορεί να απορροφήσει υδρογόνο, γεγονός που ίσως δημιουργήσει πόρους στην κόλληση. Η καλή προετοιμασία της επιφάνειας του μετάλλου (καθαρισμός από ενώσεις που μπορεί να εκλύουν υδρογόνο, π.χ. απολίπανση) προστατεύει την ποιότητα της κόλλησης. Μια συγκεκριμένη ποσότητα μάζας αλουμινίου, ζυγίζει περίπου το 1/3 της ίδιας μάζας από σίδηρο. Ο συνδυασμός του υψηλού λόγου αντοχής προς βάρος με την υψηλή αντιδιαβρωτική αντοχή του, το κάνουν ιδιαίτερα χρήσιμο κατασκευαστικό υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη δομική και αρχιτεκτονική (τόσο ως δομικό όσο και ως διακοσμητικό υλικό), αλλά και στην κατασκευή αυτοκινήτων, τρένων, αεροπλάνων, πλοίων και γενικότερα.

<b>ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ</b>		
	<b>Στοιχεία</b>	<b>Μον. μέτρ.</b>
<b>Ατομικό βάρος</b>	26,98	
<b>Πυκνότητα (20 °C)</b>	2,6898	gr/cm <sup>3</sup>
<b>Σημείο Τήξη</b>	660,2	°C
<b>Γραμμική διαστολή (0-100 °C)</b>	23,5X10 <sup>-6</sup>	(m/m)/°C
<b>Ηλεκτρική Αντίσταση (20 °C)</b>	2,69	μΩcm
<b>Μέτρο Ελαστικότητας (E)</b>	68,3	GPa
<b>Μέτρο Στρέψης (G)</b>	25,5	GPa
<b>Συντελεστής Poisson</b>	0,34	

Πίνακας 4:Ιδιότητες καθαρού αλουμινίου.

## **2.2 ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΤΟ ΙΔΑΝΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

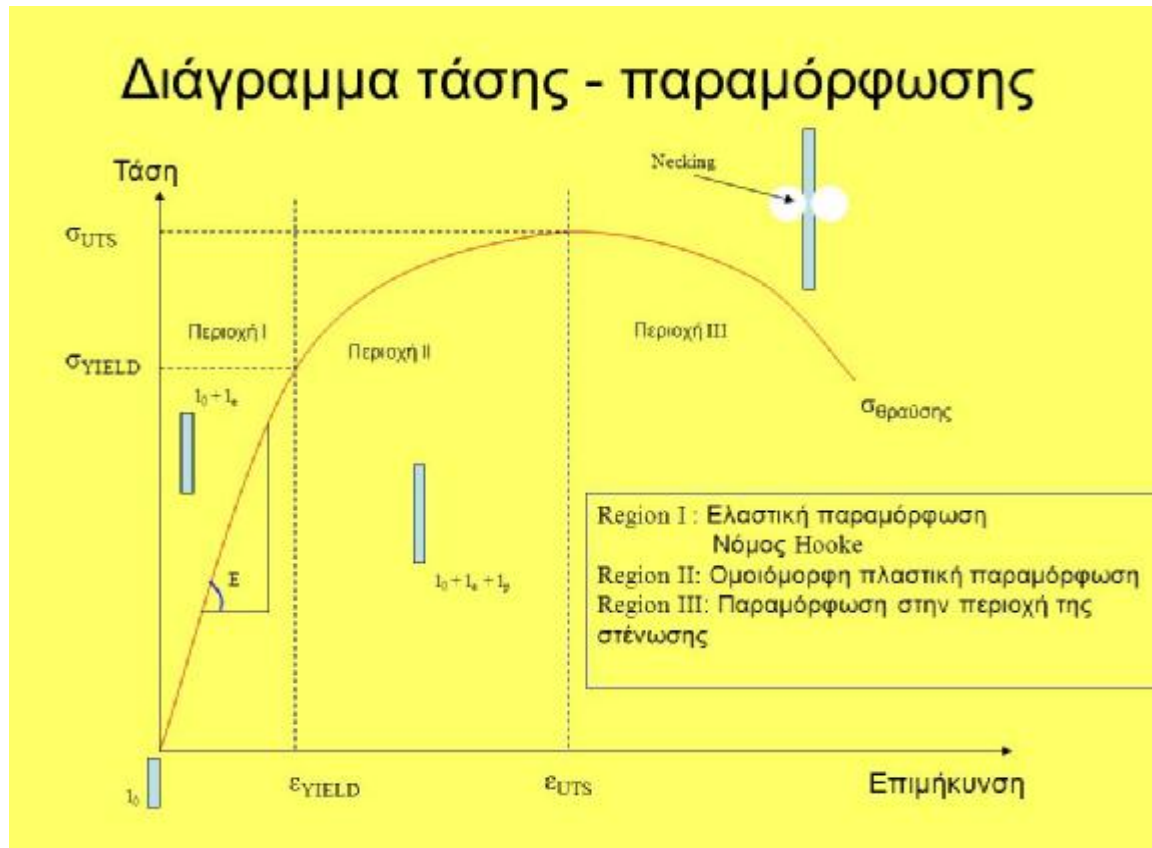
Το αλουμίνιο έχει κάποιες ιδιότητες, πολύτιμες θα έλεγε κανείς που το καθιστούν ως το ιδανικό υλικό για τις κατασκευές οι οποίες με τη σειρά τους είναι ιδιαίτερα αποδοτικές, εξαιρετικά ποιοτικές, ανθεκτικές και λειτουργικές.

### Χαρακτηριστικά

Το αλουμίνιο, σε σχέση με άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη δόμηση, είναι το πιο μοντέρνο υλικό. Μόλις στα μέσα του 20ου αιώνα άρχισε να χρησιμοποιείται και ειδικά στην Ελλάδα στην δεκαετία του 60. Αυτό δεν είναι τυχαίο εφόσον διαθέτει πολύτιμα χαρακτηριστικά και ιδιότητες όπως:

- Υψηλή ανθεκτικότητα απέναντι στην ατμοσφαιρική διάβρωση
- Το αλουμίνιο δε μαγνητίζεται και δεν είναι τοξικό. Ακόμα και σε περίπτωση πυρκαγιάς δεν καίγεται και δεν απελευθερώνει βλαπτικές ουσίες για τον άνθρωπο ή το περιβάλλον
- Διαθέτει καλές μηχανικές αντοχές, κυρίως αντοχή σε εφελκυσμό, διάτμηση και θλίψη.
- Έχει μικρή θερμική διαστολή και οι αρχικές διαστάσεις του διατηρούνται ακόμη και έπειτα από πολλά χρόνια

- Είναι πολύ καλός αγωγός του ηλεκτρισμού
- Είναι υλικό που ανακυκλώνεται 100% χωρίς να χάνει καμιά από τις ιδιότητες του. Μάλιστα στη φάση της ανακύκλωσης απαιτείται μόνο το 5% της ενέργειας που απαιτήθηκε για την παραγωγή του.
- Είναι εύπλαστο. Μπορεί να διαμορφωθεί σε κάθε σχήμα το οποίο διατηρεί αναλλοίωτο στην συνέχεια.
- Παράγεται στην Ελλάδα από ελληνικό βωξίτη.



Εικόνα 9: Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης.

### 2.3. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΤΑ SHUTTER

- Κατηγορία 1 :  $f_{0.2}/f_{0.1} > 1.060$  και αφορά στα κράματα που έχουν υποστεί σκλήρυνση με θερμική επεξεργασία.
- Κατηγορία 2 :  $1.045 < f_{0.2}/f_{0.1} < 1.060$  και αφορά στα κράματα που έχουν υποστεί σκλήρυνση με ήπια θερμική επεξεργασία .
- Κατηγορία 3 :  $1.030 < f_{0.2}/f_{0.1} < 1.045$  και αφορά στα κράματα που έχουν υποστεί σκλήρυνση χωρίς θερμική επεξεργασία.

## **2.4. Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΒΑΕΗΡΕ**

Ο νόμος του Baehre αποτελείται παρόμοια από τρεις επιμέρους περιοχές, η αναλυτική του όμως έκφραση είναι αδιάστατη, καθώς αναφέρεται σε άξονες συντεταγμένων ( $\sigma / f_{0.2}$ ,  $\epsilon / \epsilon_{0.2}$ ). Με τη βοήθεια του νόμου αυτού καταστρώθηκαν για πρώτη φορά νόμοι ροπής – στροφής για φορείς από κράματα αλουμινίου. Επίσης , ο νόμος αυτός έχει χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό καμπυλών αστάθειας σε θλιβόμενα στοιχεία αλουμινίου.

## **2.5. Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΜΑΖΖΟΛΑΝΙ**

Ο νόμος του Mazzolani αντιστοιχεί και αυτός σε τρεις επιμέρους και η αναλυτική περιγραφή του είναι αδιάστατη. Κύριο χαρακτηριστικό στο νόμο αυτό είναι ο προσδιορισμός του ορίου αναλογίας  $f_p$ , το οποίο αντιστοιχεί στο άνω όριο της τάσης στην πρώτη περιοχή ( γραμμικά ελαστική περιοχή ) του πεδίου ορισμού της εξίσωσης της καμπύλης  $\sigma=\sigma(\epsilon)$  .Για τα περισσότερα κράματα αλουμινίου το όριο αυτό αντιστοιχεί σε παραμένουσα παραμόρφωση 0.005% , οπότε είναι μικρότερο από το συμβατικό όριο αναλογίας το οποίο αντιστοιχεί σε παραμένουσα παραμόρφωση 0.01%.Καθώς το όριο αυτό εξαρτάται από τις τιμές  $f_{0.2}$  και  $f_{0.1}$  , προκύπτει ότι το όριο αυτό έχει άμεση σχέση με την κατά Shutter κατάταξη . Η ισχύς του νόμου αυτού έχει ελεγχθεί με πληθώρα εργαστηριακών δοκιμών εφελκυσμού σε δοκούς διατομής διπλού ταυ (T) και σε κοιλοδοκούς και έχει αποδειχθεί ότι και ο νόμος αυτός περιγράφει ικανοποιητικά την απόκριση των μελών από κράματα αλουμινίου.

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΥΓΕΙΑ – ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ - ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ**





Εικόνα 10: Ανακύκλωση.

### **3.1.ΤΟ «ΠΡΑΣΙΝΟ ΜΕΤΑΛΛΟ» ΠΟΥ ΣΕΒΕΤΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

Οι κανονισμοί που διέπουν τα υλικά δόμησης, τα τελευταία χρόνια έχουν και την ευθύνη να λαμβάνουν υπόψη και θέματα προστασίας του περιβάλλοντος. Στα πλαίσια αυτά είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι το αλουμίνιο αποτελεί ένα οικολογικό υλικό το οποίο συμβάλλει και θα συμβάλει όλο και περισσότερο στην αειφόρο ανάπτυξη. Καταρχήν, το αλουμίνιο και όλα τα κράματά του με άλλα μέταλλα, είναι υλικό φυσικής προέλευσης δεδομένου ότι προέρχεται από πετρώματα της γης και η διαδικασία της απομόνωσής του γίνεται ηλεκτρολυτικά.

Ως αποτέλεσμα μετά το τέλος της ωφέλιμης ζωής των προφίλ και των φύλλων αλουμινίου, η φύση δεν δυσκολεύεται να τα ενσωματώσει αφού δεν αποτελούν για αυτήν ξένα στοιχεία.

Το αλουμίνιο ανακυκλώνεται 100%, με αποτέλεσμα να μην ενέχει κινδύνους για την υγεία και τον πλανήτη. Το αλουμίνιο είναι ιδανικό υλικό για ανακύκλωση για τους ακόλουθους λόγους:

- Μπορεί να διαχωριστεί εύκολα από τα άλλα υλικά και έτσι η διαλογή του δεν απαιτεί υψηλό κόστος.
- Η ανακύκλωση του αλουμινίου είναι μια διαδικασία που μπορεί να επαναλαμβάνεται συνεχώς.
- Για την παραγωγή του μετάλλου που προέρχεται από την επαναχύτευση μεταχειρισμένων προϊόντων και απορριμμάτων από αλουμίνιο (scrap) απαιτείται

μόνον το 5% της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή πρωτόχυτου μετάλλου, δηλαδή εκείνου που παράγεται από τον βωξίτη.

- Πάνω από το 1/3 του αλουμινίου που καταναλώνεται στην Ευρώπη για την παραγωγή διαφόρων τελικών προϊόντων προέρχεται από δευτερόχυτο αλουμίνιο (ανακύκλωση). Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά τα οποία επιβεβαιώνουν τον οικολογικό χαρακτήρα του αλουμινίου είναι:
- Χαμηλή τοξικότητα.
- Δεν έχει αρνητικές επιδράσεις στο εργασιακό περιβάλλον όπου παράγεται το κούφωμα.
- Δεν έχει επίσης επιδράσεις στην υγεία και το περιβάλλον όταν καίγεται.
- Η ενεργειακή αποδοτικότητα της αρχικής παραγωγής και της κατασκευής αλουμινίου βελτιώνεται συνεχώς μέσω της ανάπτυξης των νέων τεχνολογιών και της συνεχούς τεχνολογικής βελτίωσης των υπαρχουσών εγκαταστάσεων.
- Οι πόροι βωξίτη, αν και άφθονοι, συντηρούνται επειδή τα προϊόντα αλουμινίου ανακυκλώνονται.
- Η βιομηχανία αλουμινίου έχει ένα αποδοτικό, οικονομικό και περιβαλλοντικά υγιές σύστημα ανακύκλωσης που εξασφαλίζει ότι το αλουμίνιο επαναχρησιμοποιείται κατ'επανάληψη, σώζοντας και τις πρώτες ύλες και την ενέργεια.
- Τα προϊόντα δόμησης αλουμινίου κάνουν τα κτίρια ελαφρύτερα, χρησιμοποιούν τις λιγότερες πρώτες ύλες, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια και είναι αποδοτικότερα ως αποτέλεσμα των χαμηλών αναγκών συντήρησης.
- Χάρη στα μοναδικά χαρακτηριστικά τους, τα προϊόντα αλουμινίου μπορούν να διαδραματίσουν έναν κεντρικό ρόλο στην επίτευξη του βιώσιμου κτιρίου.
- Οι αρχιτέκτονες και οι σχεδιαστές έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν νέες έννοιες δόμησης για να αντιμετωπίσουν τις περιβαλλοντικές προκλήσεις της επόμενης χιλιετίας.
- Σε μια σύγχρονη κοινωνία όπου η εξοικονόμηση πλουτοπαραγωγικών πόρων και η προστασία του περιβάλλοντος αποκτούν όλο και μεγαλύτερη σημασία τα οικολογικά πλεονεκτήματα του αλουμινίου έχουν ιδιαίτερη βαρύτητα.

### **3.2. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ**

Η ανακύκλωση ως μια εφαρμοσμένη βιομηχανική μέθοδος στην παραγωγή αλουμινίου ξεκίνησε για πρώτη φορά το 1920 στην Ευρώπη και σήμερα πλέον αποτελεί το σημαντικότερο ίσως μέσο για την εξοικονόμηση ενέργειας και της μείωσης εκπομπής ρύπων. Για την ανακύκλωση του αλουμινίου και των προϊόντων του, ακολουθείται η διαδικασία περισυλλογής, το λεγόμενο scrap. Το scrap προκύπτει αμέσως μετά το τέλος της παραγωγικής διαδικασίας και ανακυκλώνεται μέσα στο εργοστάσιο. Επίσης όλα τα προϊόντα του αλουμινίου μετά το τέλος της χρήσης τους θεωρούνται scrap. Τα προϊόντα με το μεγαλύτερο βαθμό ανακύκλωσης είναι αυτά που προορίζονται για την αυτοκινητοβιομηχανία, τη δόμηση και τη συσκευασία αναψυκτικών.

Εκτός από την ιδιαίτερα μεγάλη διάρκεια ζωής που έχουν τα προϊόντα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές, μετά το τέλος της ζωής τους μπορούν είτε να επαναχρησιμοποιηθούν είτε να ανακυκλωθούν, χωρίς να χάσουν κανένα από τα ιδιαίτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους. Η χρήση ανακυκλωμένου αλουμινίου, προσφέρει επίσης

σημαντικά ενεργειακά οφέλη. Η παραγωγή αλουμινίου από ανακύκλωση απαιτεί 5% μόνο της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή του πρωτόχυτου μετάλλου. Έτσι, το αλουμίνιο, αντί να συμβάλλει στην δημιουργία απορριμμάτων, μπορεί να επαναχυτευθεί και να παραχθούν και πάλι νέα προϊόντα για τις κατασκευές.

Γενικά, το αλουμίνιο ανακυκλώνεται σε μεγαλύτερο ποσοστό από όλα τα άλλα υλικά. Με την κατάλληλη υποδομή είναι δυνατόν να ανακυκλωθούν όλα τα προϊόντα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές και υπάρχουν πολλοί λόγοι που συντελούν σ' αυτό.

- Πρώτον, υπάρχει διαθέσιμη σχετικά μεγάλη ποσότητα scrap αλουμινίου.
- Δεύτερον, η υψηλή τιμή του scrap συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του κόστους κατεδάφισης.
- Τέλος, υπάρχει η απαιτούμενη τεχνογνωσία για την συλλογή και αξιοποίηση του scrap, που συνεχώς αναπτύσσεται.

Σήμερα, το 40% περίπου του αλουμινίου που χρησιμοποιείται διεθνώς προέρχεται από ανακύκλωση. Εν τούτοις, αυτό δεν δίνει την πραγματική εικόνα του βαθμού ανακύκλωσης που μπορεί να επιτευχθεί, καθώς η φυσική αντοχή των στοιχείων από αλουμίνιο που είναι ενσωματωμένα στα κτίρια, καθιστούν το υλικό μη διαθέσιμο για ανακύκλωση για πολλά χρόνια από την στιγμή της τοποθέτησής του.

Ενεργειακό ισοζύγιο: Αν εξετάσουμε τον πλήρη κύκλο ζωής, από την παραγωγή της πρώτης ύλης μέχρι την ανακύκλωση των χρησιμοποιημένων κομματιών, τα προϊόντα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στην οικοδομική και γενικά στην κατασκευαστική δραστηριότητα, παρουσιάζουν σημαντικά οφέλη από πλευράς εξοικονόμησης ενέργειας και πλουτοπαραγωγικών πόρων. Μελέτες που έχουν γίνει για διάφορα προϊόντα, αποδεικνύουν ότι τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη από την χρήση προϊόντων αλουμινίου είναι σημαντικά.

Το μικρό βάρος του υλικού έχει σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας κατά την διαδικασία της μηχανικής επεξεργασίας, την μεταφορά και τον χειρισμό. Η χρήση προϊόντων αλουμινίου απαιτεί ελαφρύτερους σκελετούς για την κατασκευή των κτιρίων. Τα προφίλ αλουμινίου μπορούν να σχεδιασθούν, έτσι ώστε να απαιτούνται λιγότερες περαιτέρω μηχανικές επεξεργασίες με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας. Η μεγάλη αντοχή σε διάβρωση του υλικού, μειώνει τις απαιτήσεις για συντήρηση και επιμηκύνει την διάρκεια ζωής του προϊόντος. Η ανακλαστικότητα τέλος του υλικού, προσφέρει σημαντικά θερμομονωτικά πλεονεκτήματα.

## **ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

Το αλουμίνιο έχει χαρακτηριστεί ως το υλικό του 20<sup>ου</sup> αιώνα και αυτό δεν είναι τυχαίο εφόσον είναι κατάλληλο για όλες τις βιομηχανικές και οικοδομικές χρήσεις.

Οι βασικές κατηγορίες είναι:

- Ναυπηγική βιομηχανία και μεταφορές,
- Βιομηχανία κτιρίου & οικοδόμησης,
- Αυτοκινητοβιομηχανία,
- Συσκευασία & εμπορευματοκιβώτια,
- Κατασκευή ηλεκτρικών προϊόντων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

### ***4.1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ***

Λόγω του μοναδικού συνδυασμού των ιδιοτήτων του και των οικολογικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει, οι χρήσεις του αλουμινίου αυξάνονται συνεχώς και αποτελούν μέρος της καθημερινής μας ζωής προσφέροντας έξυπνες λύσεις στις ανάγκες μας. Το αλουμίνιο είναι ένα από τα βασικά υλικά σε διάφορους τομείς εφαρμογών όπως δόμηση, συσκευασία, μεταφορές, καλώδια κ.λπ., που απαιτούν υψηλή τεχνολογία και τεχνογνωσία.

#### ***4.1.1. ΦΕΡΟΥΣΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ***

Το αλουμίνιο παίζει σημαίνοντα ρόλο για τη βιωσιμότητα των νέων κτηρίων και την ανακαίνιση των παλαιότερων. Χάρη στις ιδιότητές του, το αλουμίνιο συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην ενεργειακή αποδοτικότητα, την ασφάλεια και την άνεση των νέων κτηρίων. Η ευελιξία του αλουμινίου επιτρέπει επίσης την εύκολη αναβάθμιση υφιστάμενων κτηρίων, ακόμη και διατηρητέων.

Ως φέρουσες κατασκευές αλουμινίου (load bearing aluminum structures) χαρακτηρίζονται εκείνες οι κατασκευές των οποίων ο φέρων οργανισμός ή επιμέρους τμήματα αυτών είναι κατασκευασμένα από κράμα αλουμινίου. Η χρήση των κραμάτων αλουμινίου στην κατασκευή φερουσών κατασκευών αλουμινίου ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1930 στις Η.Π.Α. με την κατασκευή γερανογεφυρών και συναφών φορέων με την χρήση κραμάτων της σειράς 2xxx (ντουραλουμινίου) τα οποία όμως λίγο αργότερα αντικαταστάθηκαν από κράματα άλλων σειρών ( π.χ. της σειράς 6xxx) .

Στις αρχές της δεκαετίας του 1940 η χρήση του αλουμινίου επεκτάθηκε στην κατασκευή (φερουσών) ορόφων σε οριζόντια ανεπτυγμένα κτίρια ενώ η χρήση του συνεχίστηκε σε γερανογέφυρες κάθε είδους , τύπου και μήκους ανοίγματος. Ταυτόχρονα , το αλουμίνιο άρχισε να χρησιμοποιείται στην κατασκευή γεφυρών όπου και σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως σε γέφυρες σε απομακρυσμένα μέρη που μεταφέρονται με ελικόπτερα και τοποθετούνται με τον τρόπο αυτόν εύκολα. Επίσης το δομικό αλουμίνιο χρησιμοποιείται σε στρατιωτικές γέφυρες όπου το μικρό βάρος του αλουμινίου καθιστά γρήγορη την κατασκευή

αλλά και την αποκαθήλωση τους. Γενικά η χρήση του αλουμινίου στη γεφυροποιία οδηγεί σε φορείς με μικρό βάρος , πράγμα το οποίο οδηγεί στην μεγιστοποίηση των ανοιγμάτων.



**Εικόνα 11: Οικονομικά αποδοτική, πεζοδρομημένη γέφυρα αλουμινίου χαμηλής συντήρησης.**

Τις τελευταίες δεκαετίες η έκρηξη στην βιομηχανία παραγωγής ενέργειας οδήγησε στην κατασκευή μεγάλου πλήθους υπεράκτιων κατασκευών (off shore structures) , το αλουμίνιο χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα στην κατασκευή προκατασκευασμένων κτιρίων , τα οποία διαθέτουν γραφεία και χώρους για την στέγαση του προσωπικού πάνω σε σταθερές πλατφόρμες.



**Εικόνα 12: Υπεράκτια κατασκευή αλουμινίου με ελικοδρόμιο.**

Το αλουμίνιο συνεισφέρει στην παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας από ηλιακές πηγές Την δεκαετία του 1940 στις προαναφερόμενες κατασκευές ειδικότητας Πολιτικού Μηχανικού, το κράμα που χρησιμοποιούνταν ήταν της σειράς 2xxx.Μια σειρά από αστοχίες εμφανίστηκαν , οι οποίες οφείλονταν είτε σε φαινόμενα κόπωσης, είτε σε έντονη οξείδωση, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι για φέρουσες κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού τα κράματα τα οποία πρέπει να χρησιμοποιούνται είναι της σειράς 6xxx και τα συγκολλησιμα κράματα της σειράς 7xxx.Στην κατηγορία αυτή εντάχτηκαν τα τελευταία χρόνια και οι κατασκευές στήριξης φωτοβολταϊκών στοιχείων. Με την έξαρση της χρήσης φωτοβολταϊκών πλαισίων για παραγωγή και κατανάλωση καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας το αλουμίνιο άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως ως βάση στήριξης. Το αλουμίνιο με τις μοναδικές του ιδιότητες επιτρέπει τον σχεδιασμό αξιόπιστων λύσεων για την στήριξη φωτοβολταϊκών σε κατοικίες, βιομηχανικά κτίρια και την ύπαιθρο.



Εικόνα 13:Κατασκευή στήριξης φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Η χρήση του αλουμινίου σε ηλεκτρικές και θερμικές εφαρμογές οφείλεται στις καλές ηλεκτρικές και θερμικές αγωγιμότητες των κραμάτων κυρίως 1xxx (για ηλεκτρική) και 3xxx, 5xxx και 6xxx σειρά (για θερμική), αλλά και πάλι το μικρό του βάρος, την αναλογία αντοχή προς βάρος που έχει αλλά και το ότι είναι ανθεκτικό στη διάβρωση. Οι περισσότερες εναέριες ηλεκτρικές γραμμές υψηλής τάσης και πολλές υπόγειες γραμμές είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο και σήμερα είναι ο πιο οικονομικός τρόπος για τη μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας. Εφαρμογές: εναέρια καλώδια και εξαρτήματα, περιελίξεις, πτερύγια ψύξης, εναλλάκτες θερμότητας, κεραίες, συμπυκνωτές.



Εικόνα 14:Υψηλής αντοχής καλώδιο αγωγών αλουμινίου.

Επίσης η ευκολία στην μορφοποίηση και η χαμηλή πυκνότητα του, προσφέρουν ιδιαίτερα πλεονεκτήματα με την χρήση του αλουμινίου στις μηχανολογικές εφαρμογές όπως, μπλοκ κυλίνδρων και κεφαλών, έμβολα, τροχαλίες, τροχούς, οπτικός εξοπλισμός, κυλίνδρους πεπιεσμένου αέρα, εργαλεία μέτρησης.

Παράλληλα η μοντέρνα εμφάνιση του σχεδιασμού του αλουμινίου, οι μηχανικές ιδιότητες, η υψηλή θερμική αγωγιμότητα, η υψηλή ανακλαστικότητα είναι κάποιες από τις ιδιότητες του μετάλλου που η κάθε μια ξεχωριστά αλλά και όλες μαζί καθιστούν το αλουμίνιο ένα χρηστικό υλικό για καθημερινή χρήση.

Εφαρμογές: Έπιπλα, σκεύη και διακοσμητικά, εξοπλισμός κάμπινγκ, άγγιστρα αναρρίχησης, κατσαρόλες, τηγάνια, μαχαιροπήρουνα, φωτιστικά, κορνίζες ή λαβές για ντουλάπια, κοσμήματα κ.α..



Εικόνα 15.:Έπιπλα κήπου αλουμινίου.

Τέλος το υλικό χρησιμοποιείται για πούδρες βαφής και ως χρωστική για διαφορετικά χρώματα και πλαστικά, ενώ επίσης οι κόκκοι του αλουμινίου χρησιμοποιούνται για αποξείδωση του χάλυβα, ως καταλύτης για την χημική βιομηχανία και σε άλλα ειδικά προϊόντα .

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΚΥΡΙΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ
	1xxx	Κανένα(min 99% Al)
	2xxx	Cu
<b>EN AB-</b>	4xxx	Si
<b>EN AC-</b>	5xxx	Mg
<b>EN AM-</b>	7xxx	Zn
	8xxx	Sn
	9xxx	Μητρικά κράματα

Πίνακας 5: Συμβολισμοί : Ευρωπαϊκό πρότυπο, A: Αλουμίνιο , B: Χελόνα , C : Κράμα για χυτά , M : Μητρικό κράμα.



### **4.1.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ**

Ένας από τους τομείς που τα κράματα του αλουμινίου βρήκαν πλήθος εφαρμογών τις τελευταίες δεκαετίες είναι αυτός των μεταφορών. Μετά την επίτευξη αύξησης της αντοχής του αλουμινίου μέσω των κραμάτων του , η βιομηχανία κατασκευής σιδηροδρομικών οχημάτων , φορτηγών αυτοκινήτων , λεωφορείων , επιβατικών αυτοκινήτων ξεκίνησε τη χρήση τους στην παραγωγή αρχικά εξαρτημάτων και μελών και έπειτα ολόκληρων πλαισίων οχημάτων. Ο μοναδικός συνδυασμός πλεονεκτημάτων όπως η πολύ μεγάλη μηχανική αντοχή σε σχέση με το βάρος, η αντοχή στη διάβρωση, η εξαιρετική δυνατότητα ανακύκλωσης, η βελτιωμένη ασφάλεια και η ευελιξία σχεδιασμού καθιστούν το αλουμίνιο ένα ιδανικό υλικό για την κατασκευή μεταφορικών μέσων λόγω της εξοικονόμησης καυσίμων που επιτυγχάνεται. Ο λόγος είναι ότι τα κράματα είναι πολύ (περίπου 3 φορές) ελαφρότερα, ενώ η αντοχή τους είναι πλησία με αυτή του χάλυβα και ταυτόχρονα δεν παρουσιάζουν προβλήματα λόγω οξειδωσης όπως στην περίπτωση του χάλυβα .

Με την λήξη του Β' Παγκοσμίου Πολέμου ξεκίνησε η παραγωγή των πρώτων σιδηροδρομικών οχημάτων ( railway carriages ) στα οποία ο φέρων οργανισμός διαμορφωνόταν με συγκόλληση κοιλοδοκών αλουμινίου από διέλαση .Η παραγωγή αυτή σύντομα αντικατέστησε σχεδόν ολοκληρωτικά την παραγωγή των κλασικών πλαισίων από χάλυβα στα οχήματα των σιδηροδρόμων. Για πολλές δεκαετίες το αλουμίνιο χρησιμοποιούνταν για περιορισμένη παραγωγή εξαρτημάτων κυρίως σε ακριβά αυτοκίνητα .

Λίγο αργότερα ( στις αρχές της δεκαετίας του '50, ξεκίνησε η παραγωγή του σώματος μεγάλων ή μικρών φορτηγών αυτοκινήτων (lorries/vans) από κράματα αλουμινίου ( συνήθως από τα ισχυρά της σειράς 6xxx ) , η οποία ακόμη και μέχρι σήμερα συνεχίζεται με παρόμοιο τρόπο. Η φέρουσα αυτή κατασκευή επικάθεται στο σύστημα κίνησης ( chassis) των φορτηγών και είναι συνδεδεμένη μέσω ηλώσεων, κοχλιώσεων και σπανιών συγκολλήσεων. Στα ανατρεπόμενα όμως σώματα φορτηγών , η κατασκευή αυτή συνήθως γίνεται πλήρως με συγκόλληση ελασμάτων αλουμινίου από κράματα της σειράς 5xxx.

Μετά από την επιτυχή παραγωγή όλων των προαναφερόμενων οχημάτων για πολλές δεκαετίες , ήταν αναμενόμενο τα κράματα αλουμινίου να βρουν επιτυχή εφαρμογή και στα επιβατικά αυτοκίνητα. Επίσης , το σώμα των περισσότερων λεωφορείων κατασκευάζεται από κράματα αλουμινίου . Στην περίπτωση αυτή το μικρό βάρος του δομικού υλικού αποτελεί πολύ μεγάλο πλεονέκτημα διότι μειώνει την κατανάλωση των καυσίμων στα αντίστοιχα αυτοκίνητα. Στο τέλος της δεκαετίας του '90 ξεκίνησε η παραγωγή αυτοκινήτων τα οποία είναι κατασκευασμένα πλήρως από αλουμίνιο .Αυτό έγινε εφικτό με το σχεδιασμό ευφών λύσεων στο σχεδιασμό και τη χρήση νέων τεχνολογιών συγκολλήσεων και συνδέσεων συνάφειας , οπότε οι φέρουσες κατασκευές αλουμινίου οι οποίες χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα να παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά αντοχής και δυσκαμψίας με αυτά του χάλυβα. Σημειώνεται ότι οι νέες αυτές λύσεις δεν φαίνεται να είναι ακριβότερες από τον παραδοσιακό σχεδιασμό χαλύβδινων στοιχείων καθώς τα στοιχεία αλουμινίου έχουν φθηνότερη τελική επεξεργασία, μικρότερο κόστος βαφής , αφού δεν έχουν προβλήματα οξειδωσης, ενώ το κόστος συντήρησης είναι αμελητέο.

Η ανάπτυξη τεχνολογιών για την παραγωγή ελαφρών εξαρτημάτων και για την συνδεσμολογία τους είναι το κλειδί για την χρήση του αλουμινίου στον κλάδο των μέσων

μαζικής μεταφοράς. Στους δρόμους της Ευρώπης κυκλοφορούν πλέον λεωφορεία από αλουμίνιο. Το μεγάλο πλεονέκτημα ενός αστικού λεωφορείου από αλουμίνιο είναι το βάρος του: είναι κατά 600 κιλά ελαφρύτερο από το παραδοσιακό λεωφορείο. Αυτή η μείωση στο βάρος επιτρέπει την μεταφορά περισσότερων επιβατών και μειώνει δραστικά τα κόστη.

Έτσι σήμερα η χρήση του αλουμινίου στον τομέα των μεταφορικών μέσων έχει μεγιστοποιηθεί λόγω του μικρού βάρους των αντιστοίχων οχημάτων η κατανάλωση ενέργειας ελαχιστοποιείται , ενώ ταυτόχρονα η οικονομία , λόγω μειωμένης συντήρησης , είναι σημαντικότερη.

Η ελληνική βιομηχανία αλουμινίου είναι προμηθευτής των πλέον αναγνωρισμένων διεθνώς αυτοκινητοβιομηχανιών, ενώ στην Ελλάδα οι εφαρμογές αλουμινίου στον κλάδο είναι περιορισμένες λόγω μη ύπαρξης αντίστοιχης βιομηχανίας.



Εικόνα 16: Αυτοκίνητο με κυρίαρχο μέταλλο το αλουμίνιο.

### **4.1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΤΗΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ**

Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του μετάλλου το καθιστούν ιδανικό υλικό για συσκευασία με πλήθος εφαρμογών.

- Το αλουμίνιο είναι αδιαπέρατο από μικροοργανισμούς και φως, διατηρώντας έτσι την φρεσκάδα των προϊόντων που συσκευάζονται.
- Το αλουμίνιο, έχει μεγάλη αντοχή στην διάβρωση, ενώ για την πλειονότητα των προϊόντων που συσκευάζονται είναι χημικά ουδέτερο και δεν είναι τοξικό.
- Η ευκολία κατεργασίας του και η δυνατότητα του να διατίθεται σε διάφορα πάχη, επιτρέπουν την χρήση του σε πλήθος συσκευασιών.
- Το χαμηλό ειδικό του βάρος βοηθάει στην εξοικονόμηση ενέργειας και καυσίμων κατά την μεταφορά.

- Λόγω της υψηλής θερμικής του αγωγιμότητας απαιτείται ελάχιστη ενέργεια για την ψύξη και θέρμανση των συσκευασμένων προϊόντων.
- Το αλουμίνιο είναι πλήρως ανακυκλώσιμο χωρίς υποβάθμιση των ιδιοτήτων του και με την ανακύκλωση του εξοικονομείται το 95% της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή πρωτόχυτου μετάλλου.

Το αλουμίνιο που χρησιμοποιείται στην συσκευασία προέρχεται από την βιομηχανία της έλασης που παράγει πλατέα προϊόντα σε διάφορα πάχη για διάφορες χρήσεις.

Οι παρακάτω τομείς χρησιμοποιούν αλουμίνιο για συσκευασία των προϊόντων τους:

- Τρόφιμα - προϊόντα γάλακτος, γλυκά, καφές, τσάι, παιδικές τροφές κ.α.
- Ποτά - μπύρα, αναψυκτικά, χυμοί, γάλατα κ.α.
- Καπνός.
- Τροφές οικιακών ζώων.
- Φάρμακα - ταμπλέτες, αλοιφές κ.α.
- Καλλυντικά - σωληνάκια για οδοντόπαστες, αρωματικά μαντήλια, σαμπουάν κ.α.
- Βιομηχανικά αγαθά - κόλλες, μελάνια, χημικά κ.α.



Εικόνα 17:Συσκευασίες αλουμινίου.

#### **4.1.4. ΕΦΑΡΜΟΦΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΕ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

Τα κράματα δομικού αλουμινίου χρησιμοποιούνται τις τελευταίες δεκαετίες ευρύτατα στην κατασκευή στεγασμένων χώρων, γραφείων και υπνοδωματίων με σύστημα εμβάτη (modularsystem) επάνω σε παράκτιες ή υπεράκτιες κατασκευές άντλησης πετρελαίου, φυσικού αερίου κ.τ.λ. Καθώς οι κατασκευές αυτές αλουμινίου είναι συγκριτικά με άλλες ελαφρότερες, επιλέγονται λόγω του ότι η ανέγερσή τους έχει σαφή οικονομικά πλεονεκτήματα στο κόστος της συνολικής κατασκευής η οποία είναι συνάρτηση του συνολικού βάρους της.

Είναι επίσης ευρέως γνωστό ότι τα κράματα αλουμινίου των σειρών 5xxx και 6xxx χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες στην κατασκευή μεγάλων δομικών τμημάτων του φέροντος οργανισμού εμπορικών, επιβατηγών και πολεμικών πλοίων. Πολύ πρόσφατα μάλιστα, όλα τα ταχύπλοα πλοία τελευταίας τεχνολογίας είναι κατασκευασμένα αποκλειστικά από κράματα αλουμινίου (συνδυασμός πλακών αλουμινίου σειράς 5xxx και μελών σειράς 6xxx).

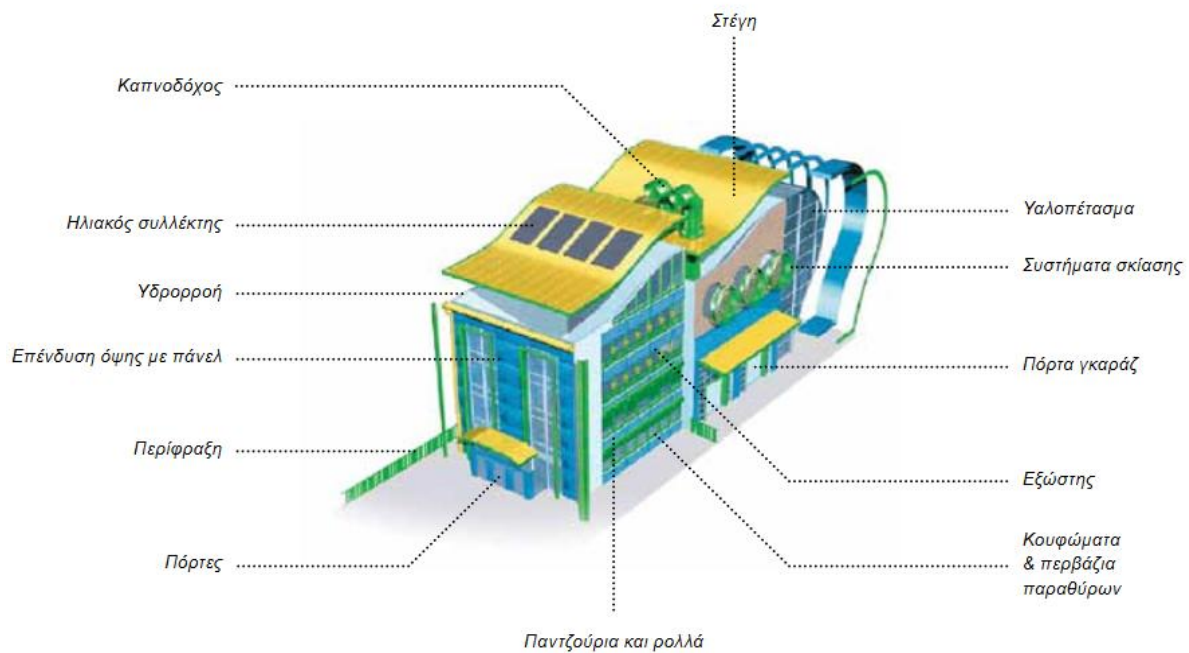
#### **4.1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΟΜΗΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ**

Το αλουμίνιο είναι το υλικό που μπορεί να ανταποκριθεί σε κάθε αρχιτεκτονική ιδέα και απαίτηση από πλευράς μηχανικών αντοχών, ηχομόνωσης και θερμομόνωσης προσφέροντας λειτουργικότητα και αισθητική. Με την ανοδίωση ή την βαφή του, ικανοποιούνται οι όποιες διακοσμητικές απαιτήσεις και αυξάνεται η αντοχή του στις καιρικές συνθήκες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επιπλέον είναι ένα υλικό που δεν είναι τοξικό, ανακυκλώνεται πλήρως με 95% εξοικονόμηση ενέργειας και απαιτεί το ελάχιστο κόστος συντήρησης.

Οι χρήσεις του αλουμινίου σε μια οικοδομή όπως:

- Αρχιτεκτονικά συστήματα για πόρτες και παράθυρα.
- Συστήματα υαλοπετασμάτων.
- Συστήματα σκίασης, ρολά και περσίδες.
- Γκαραζόπορτες.
- Κάγκελα.
- Εξωτερικές επικαλύψεις κτιρίων.
- Εξαρτήματα.
- Αίθρια.
- Ψευδοροφές, δάπεδα.

δίνουν λύσεις τόσο σε κατασκευές μοντέρνων κτηρίων όσο και σε περιπτώσεις ανακαίνισης ή συντήρησης παλαιών κτηρίων με ιστορική και αρχιτεκτονική αξία.



**Εικόνα 18:**Μέρη από αλουμίνιο σε κτήριο.

Από τη δεκαετία του '30 και μέχρι σήμερα τα κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούνται (σε ανταγωνισμό με το ξύλο, το χάλυβα και πρόσφατα το πλαστικό) εκτεταμένα στην παραγωγή μελών πλαισίων κουφωμάτων, υαλοπετασμάτων, αίθριων κτλ. Τα δομικά αυτά στοιχεία σχεδιάζονται και παράγονται με διέλαση με τέτοιο τρόπο ώστε να συνδέονται χωρίς συγκόλληση με μηχανικά μέσα σύνδεσης. Συνήθως χρησιμοποιείται κάποιο από τα κράματα της σειράς 6xxx με μικρή σχετικά αντοχή και λεπτά τοιχώματα διατομών, καθώς το κριτήριο σχεδιασμού στις φέρουσες αυτές κατασκευές είναι μάλλον η δυσκαμψία, παρά η αντοχή. Επίσης, τις τελευταίες δεκαετίες τα φύλλα αλουμινίου, συνήθως εν μορφή σύνθετης διατομής με μόνωση, χρησιμοποιούνται ως εξωτερική κάλυψη βιομηχανικών κτιρίων, κτιρίων γραφείων και κατοικιών.

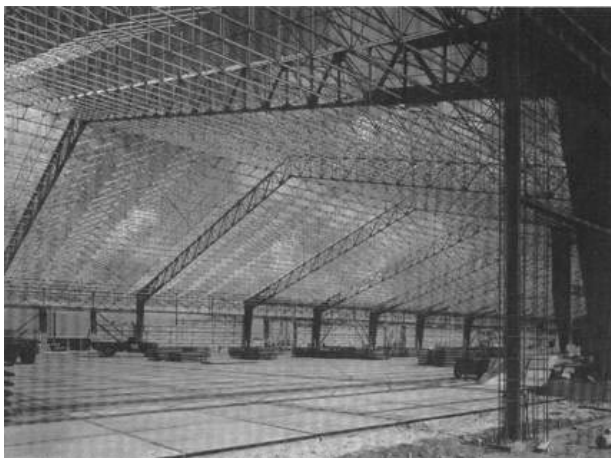
## **4.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΕ ΕΡΓΑ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ**

Την δεκαετία του '50, τα κράματα αλουμινίου άρχισαν να εμφανίζονται στην ανέγερση φερόντων οργανισμών σε κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού ως εναλλακτική λύση στην κατασκευή κτιρίων που μέχρι τότε κατασκευαζόταν αποκλειστικά από δομικό χάλυβα.

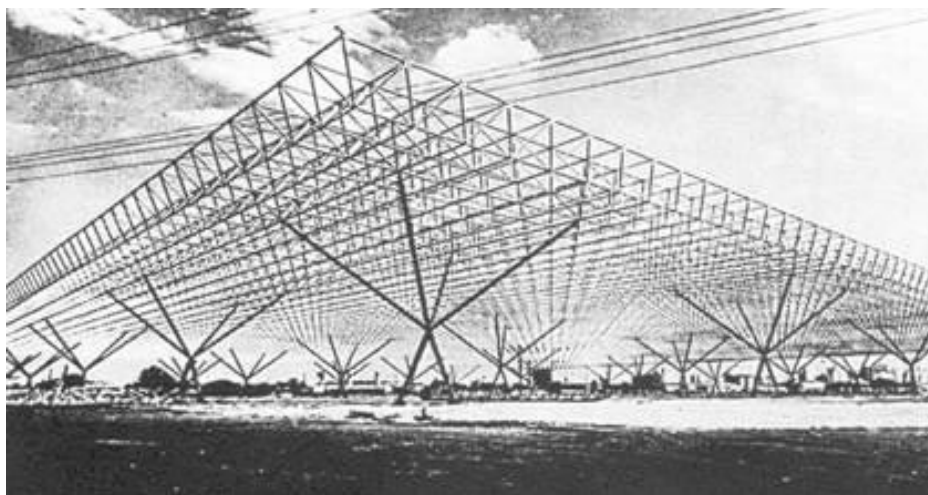
Ενδεικτικά από τις πρώτες κατασκευές με φέροντα οργανισμό αλουμινίου μπορούν να αναφερθούν οι εξής : η γέφυρα Arvida στο Κεμπέκ του Καναδά (1949) , τα υπόστεγα στο αεροδρόμιο Heathrow του Λονδίνου (1950) και της Βελγικής Ναυτιλιακής Εταιρίας στην Αμβέρσα (1957) , το Εκθεσιακό Κέντρο στο Σάο Πάολο(1969) , το Διεθνές Εκθεσιακό Κέντρο στο Ρίο Ιανέιρο(1978),και το πρόσφατο εντυπωσιακό παράδειγμα , το Κέντρο Αλουμινίου στο Hoyten (1991) .



Εικόνα 19:Η πρώτη γέφυρα αλουμινίου για αυτοκίνητα , Arvida , Κεμπέκ , Καναδάς 1949.



Εικόνα 20:Βέλγικη ναυτιλιακή εταιρία, Αμβέρσα, Βέλγιο 1957.



Εικόνα 21: Διεθνές Εκθεσιακό Κέντρο, Σάο Πάολο, Βραζιλία (1969) .



Εικόνα 22: Κέντρο αλουμινίου, Houten, Ολλανδία , 2001.

Κατά την διάρκεια της πρώτης αυτής περιόδου , η παντελής έλλειψη σχετικών προδιαγραφών, συστάσεων σχεδιασμού και κανονισμών, περιόρισε το εύρος αυτού του είδους εφαρμογών του αλουμινίου καθώς έκανε τον σχεδιασμό των κτιρίων από αλουμίνιο μια επίπονη και αμφιβόλου ποιότητας εργασία τόσο για τους μελετητές όσο και για τις υπηρεσίες έλεγχου. Από το τέλος της δεκαετίας του '70, το κενό αυτό άρχισε σε ευρωπαϊκό επίπεδο να καλύπτεται από τα αποτελέσματα μιας ευρύτατης δράσης του ECCS (Ευρωπαϊκής Σύμβασης για τις Κατασκευές Δομικού Χάλυβα).

Οι Συστάσεις Σχεδιασμού του ECCS που προέκυψαν, χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια ως βάση σε όσα Ευρωπαϊκά κράτη αποφάσισαν να συντάξουν αντίστοιχο εθνικό Κανονισμό για τον σχεδιασμό φερουσών κατασκευών αλουμινίου. Αξίζει να τονιστεί το γεγονός πως παρά την ύπαρξη πλαισίου βάσης σχεδιασμού για τις κατασκευές αλουμινίου , οι ιδιαίτερες δυνατότητες των κραμάτων του αλουμινίου (όπως πχ. το μικρό βάρος τους, η αντίσταση του σε οξειδωση, η πλαστιμότητά του, η πολύ αυξημένη τιμή του λόγω αντοχής προς βάρος κ.ο.κ.) δεν λαμβάνονται πλήρως υπ' όψιν από τους μελετητές ακόμη και σήμερα ώστε να αποτελεί εναλλακτική επιλογή του αλουμινίου αντί του χάλυβα σε κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑΣ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ



Εικόνα 23: Αλουμίνιο και χάλυβας.

## 5.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το αλουμίνιο διαθέτει ορισμένες ιδιότητες που το καθιστούν ανταγωνιστικό ως προς τον δομικό χάλυβα.

- Το αλουμίνιο είναι ένα πολύ ελαφρύ δομικό υλικό με βάρος  $2.700 \text{ kgm}^{-3}$  που αντιστοιχεί στο ένα τρίτο του βάρους του χάλυβα.
- Μετά από έκθεσή του στην ατμόσφαιρα, το αλουμίνιο καλύπτεται εξωτερικά από ένα προστατευτικό εξαιρετικά λεπτό στρώμα οξειδίου που δρα ως προστατευτική βαφή έναντι οξείδωσης, ακόμη και σε έντονα τοξικό (π.χ. παραθαλάσσιο) περιβάλλον.
- Το αλουμίνιο είναι ιδιαίτερα όλκιμο υλικό, ενώ ταυτόχρονα η αντοχή του είναι μικρή για κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού. Για τον λόγο αυτό, προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή του, χρησιμοποιείται ως κράμα με διάφορα άλλα στοιχεία (Mn, Mg, Si, Zn, Cu) οπότε τα αντίστοιχα κράματα που προκύπτουν (σειρές 1XXX, 2XXX, ..., 9XXX) έχουν βελτιωμένες ιδιότητες και α priori γνωστό λόγο αντοχής προς πλαστικότητα.
- Επίσης, η εφαρμογή θερμικής ή ψυχρής κατεργασίας είναι δυνατόν να οδηγήσει σε τιμές ελαστικού ορίου μέχρι  $350\text{-}400 \text{ Nmm}^{-2}$  που είναι αντίστοιχες αυτών του δομικού χάλυβα (Fe360, Fe510).
- Τα προβλήματα παραμόρφωσης λόγω προβλημάτων τοπικού λυγισμού που παρουσιάζουν τα κράματα αλουμινίου καθώς το μέτρο του Young είναι τρεις φορές μικρότερο από αυτό του χάλυβα, έχουν σήμερα πλήρως επιλυθεί καθώς χρησιμοποιούνται εξελιγμένες μέθοδοι υπολογισμού που βασίζονται σε πληθώρα πειραματικών αποτελεσμάτων και αριθμό υπολογιστικών προσομοιώσεων. Ανάμεσα στις διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία για την παραγωγή δομικών στοιχείων αλουμινίου ιδιαίτερα σημαντική είναι αυτή της διέλασης με την οποία παράγονται μέλη με διατομές κάθε είδους σχήματος.



Εναλλακτικά ή για διατομές μεγάλων διαστάσεων οι μέθοδοι συγκόλλησης ελασμάτων αλουμινίου (MIG και TIG) έχουν σήμερα τεχνολογικά βελτιωθεί και τα προβλήματα στην εφαρμογή τους έχουν ελαχιστοποιηθεί με αποτέλεσμα τη χρησιμοποίηση συχνά συγκολλημένων διατομών.

Το 1999 αποφασίστηκε από τον CEN η σύνταξη ενός Ευρωπαϊκού Κανονισμού με θέμα τον "Σχεδιασμό των Κατασκευών Αλουμινίου" που ονομάζεται Ευρωκώδικας 9 (prEN 1999-1-1:2003). Ο Ευρωκώδικας 9 αποτελείται από 5 τμήματα τα οποία βρίσκονται υπό σύνταξη (CEN stage 34):

- *Part 1-1: General structural rules & Annex A-K*
- *Part 1-2: Structural fire design*
- *Part 1-3: Structures susceptible to fatigue*
- *Part 1-4: Supplementary rules for cold-formed sheeting*
- *Part 1-5: Shells*

Η ψήφιση του κειμένου του Ευρωκώδικα 9 κατά CEN προβλέπεται για τις αρχές του 2006. Στο Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών έχει ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια μια εκτεταμένη δραστηριότητα σχετικά με τα θέματα αντοχής των φερουσών κατασκευών αλουμινίου και τον **Ευρωκώδικα 9**.

## **5.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΑΛΥΒΑ**

- Μικρό ίδιον βάρος. Το μικρό βάρος του (τρεις φορές μικρότερο από του χάλυβα) το οποίο οδηγεί σε ελαφρύτερες κατασκευές απ αυτές του χάλυβα. Το μικρό βάρος επίσης επιτρέπει την μεταφορά μεγάλων προκατασκευασμένων τμημάτων των υπό ανέγερση κατασκευών , διευκολύνει τη διαδικασία ανέγερσης και έχει ως συνέπεια τη μεταφορά μικρότερων φορτίων στην θεμελίωση και μειωμένο κόστος εργατικών.
- Αντιοξειδωτική συμπεριφορά. Καθώς το αλουμίνιο οξειδώνεται επιφανειακά με πάχος στρώματος οξειδίου της τάξης των ολίγων μικρών , αυτό λειτουργεί ως προστατευτική βαφή η οποία σταματά την εισχώρηση της οξείδωσης σε βάθος, οπότε συνήθως δεν απαιτείται πρόσθετη ειδική αντιοξειδωτική προστασία του υλικού, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους συντήρησης και γενικότερα καλύτερη συμπεριφορά σε οξειδωτικό περιβάλλον.
- Εύρος κραμάτων. Το εύρος των κραμάτων αλουμινίου καλύπτει τις απαιτήσεις αντοχής και λειτουργικότητας των συνήθων φερουσών κατασκευών χάλυβα, επιτρέποντας βελτιωμένη αισθητική στις αντίστοιχες κατασκευές η οποία προέρχεται από αυτό καθαυτό το δομικό υλικό.

- Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες. Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του αλουμινίου έχουν καταστήσει ως συνηθέστερη μέθοδο παραγωγής μελών πολύπλοκης διατομής. Με την παραγωγή διατομών με διέλαση , η διατομή μπορεί να έχει σχεδιαστεί ώστε αφενός να έχει ελάχιστο βάρος και αφετέρου βέλτιστη δομική απόκριση.
- Συγκολλησιμότητα. Στα περισσότερα κράματα αλουμινίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί συγκόλληση, όπως και στο χάλυβα, η διαδικασία δε της συγκόλλησης μελών αλουμινίου είναι ταχύτερη από αυτή του χάλυβα.
- Συνάφεια. Η τεχνική της επικόλλησης συνάφειας στη σύνδεση μελών αλουμινίου είναι πλέον σήμερα μια αξιόπιστη και καταξιωμένη μέθοδος. Η μέθοδος αυτή δεν έχει καταστεί δυνατόν να εφαρμοστεί στις κατασκευές χάλυβα.
- Θερμική συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η δομική συμπεριφορά του αλουμινίου σε χαμηλές θερμοκρασίες παραμένει αμετάβλητη και δεν μεταβάλλεται προς το πιο ψαθυρό όσο η θερμοκρασία μειώνεται. Σε αντίθεση , ο χάλυβας επιδεικνύει ψαθυρή συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Προκατασκευή. Ένα πλεονέκτημα των κατασκευών αλουμινίου είναι ότι δομούνται σχεδόν αποκλειστικά με προϊόντα βιομηχανικής παράγωγης στα οποία ο ποιοτικός έλεγχος στην παραγωγή και οι έλεγχοι συμμόρφωσης σε συγκεκριμένα ποιοτικά κριτήρια συνοδεύουν το ίδιο το προϊόν.
- Βιωσιμότητα. Βάσει των κριτηρίων βιώσιμης ανάπτυξης , καθώς το αλουμίνιο είναι εύκολα ανακυκλώσιμο προϊόν , οι φέρουσες κατασκευές αλουμινίου ευρίσκονται σε πλεονεκτικότερη θέση από τις χαλύβδινες ,διότι ο χάλυβας απαιτεί περισσότερη ενέργεια προκειμένου να ανακυκλωθεί απ' ότι το αλουμίνιο.

### **5.3. ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΑΛΥΒΑ**

- Κόστος παραγωγής. Συγκρίνοντας κατ' όγκο το αλουμίνιο με το χάλυβα , προκύπτει ότι το κόστος του είναι τουλάχιστον 50% ακριβότερο από αυτό του χάλυβα. Βεβαίως , λαμβάνοντας υπ' όψιν το χαμηλότερο κόστος εργατικών του αλουμινίου και το ότι οι κατασκευές αλουμινίου δεν απαιτούν αντιοξειδωτική προστασία, τελικά μπορεί να προκύψει ότι τα κόστη είναι παρόμοια.
- Φέρουσα ικανότητα. Η φέρουσα ικανότητα θλιβόμενων μελών από δομικό αλουμίνιο είναι μικρότερη από αυτή σε θλιβόμενα χαλύβδινα μέλη.
- Ταχεία μείωση αντοχής στην αύξηση της θερμοκρασίας. Η αντοχή του αλουμινίου μειώνεται με εντονότερο ρυθμό απ' ότι του χάλυβα.
- Μείωση αντοχής σε θέση συγκόλλησης. Η αντοχή του αλουμινίου πλησίον της περιοχής συγκόλλησης στα περισσότερα κράματα είναι έντονα μειωμένη , σε αντίθεση με τις συγκολλήσεις χάλυβα.
- Κόπωση. Η κόπωση αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα αστοχίας στις κατασκευές αλουμινίου, γεγονός που δεν συμβαίνει τόσο έντονα στο χάλυβα.

- Θερμική συμπεριφορά. Το αλουμίνιο διαστέλλεται ή συστέλλεται λόγω θερμοκρασιακών διαφορών διπλάσια από το χάλυβα.
- Ηλεκτρολυτική οξείδωση. Η ηλεκτρολυτική οξείδωση συμβαίνει συχνά στα σημεία επαφής του αλουμινίου με άλλα μέταλλα εφόσον δεν έχουν ληφθεί κατάλληλα μέτρα μόνωσης.
- Παραμορφώσεις. Λόγω του σχετικά μικρού μέτρου ελαστικότητας, συχνά οι παραμορφώσεις μελών αλουμινίου δεν ικανοποιούν τα κριτήρια λειτουργικότητας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΡΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΦΟΡΕΙΣ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ**

### ***6.1. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΦΟΡΕΩΝ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ***

Ο σχεδιασμός των κατασκευών στο πλαίσιο των Ευρωκωδίκων έχει ως βασική αρχή την ικανοποίηση από την δομή, τη σύνθεση και τις ιδιότητες των μελών τους συγκεκριμένων κριτηρίων επάρκειας σε οριακές καταστάσεις. Ειδικότερα ο σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο βασίζεται σε πρώτο στάδιο σε δύο κατηγορίες οριακών καταστάσεων, τις Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας (Ο.Κ.Λ.) και τις Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας (Ο.Κ.Α.) . Στην πραγματικότητα οι καταστάσεις σχεδιασμού καθορίζουν κάθε φορά την περιβάλλουσα των φορτίων και την βαρύτητα του καθενός φορτίου ξεχωριστά. Μέσω επιμέρους συντελεστών από το σύνολο των φορτίων που είναι πιθανόν να δράσουν στη συγκεκριμένη κατασκευή.

Η ικανοποίηση των Οριακών Καταστάσεων Λειτουργικότητας καλύπτει την απαίτηση για δόμηση κατασκευών χωρίς ανεπιθύμητες βυθίσεις οι οποίες , πέρα από το αντιαισθητικό αποτέλεσμα, μπορεί να προκαλέσουν βλάβη σε άλλα μη φέροντα στοιχεία που συνδέονται με τους υπό σχεδιασμό φορείς. Ακόμα καλύπτει την απαίτηση για περιορισμό του εύρους των ταλαντώσεων υπό τη δράση κινητών φορτίων και την ικανοποίηση συγκεκριμένων κριτηρίων άνεσης τα οποία δεν πρέπει να αγνοούνται, εκτός αν αφορούν σε μη ευαίσθητα μέλη.

Ο έλεγχος των οριακών καταστάσεων Αστοχίας αφορά άμεσα στην ασφάλεια της κατασκευής με βασικό κριτήριο την αποφυγή της κατάρρευσης και της απώλειας ανθρωπίνων ζωών.

Στο πλαίσιο των Ευρωκωδίκων περιγράφονται πολλές και διαφορετικές καταστάσεις αστοχίας. Από την άλλη πλευρά η ικανοποίηση των Οριακών Καταστάσεων Λειτουργικότητας πέραν των άλλων αποτελεί και ένα πολύ καλό εργαλείο (για αυτό είναι καλό αν είναι εφικτό να προηγείται) για την επιλογή αρχικής διατομής για το μέλος που ελέγχεται. Έτσι αν τεθούν συγκεκριμένα κριτήρια λειτουργικότητας (π.χ. μέγιστες

επιτρεπόμενες βυθίσεις) μπορεί να προκύψει η απαιτούμενη ροπή αδρανείας , άρα και η διατομή δομικού αλουμινίου που την διαθέτει με επάρκεια, οπότε στην συνέχεια απαιτούνται λίγες αλλαγές διατομής ώστε να προκύψει η βέλτιστη, βάσει των ελέγχων Ο.Κ.Α.

## **6.2. ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΦΟΡΕΩΝ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ**

### **6.2.1. ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ**

Τα γενικά φορτία λειτουργίας των φορέων από δομικό αλουμίνιο προκύπτουν από την αρχιτεκτονική διαμόρφωση και την χρήση τους. Συγκεκριμένα προκύπτουν από την χαρακτηριστική τιμή της πυκνότητας υλικού των φερόντων στοιχείων κράματος αλουμινίου και τις αντίστοιχες τιμές των μη φερόντων στοιχείων των μόνιμων εγκαταστάσεων σε συνάρτηση με τις διαστάσεις τους. Ειδικά στα μη φέροντα στοιχεία συμπεριλαμβάνονται [ΕΛΟΤ EN 1991-1 5.1.(3)]

- οι στέγες
- οι επικαλύψεις
- τα χωρίσματα μόνιμου τύπου
- οι υαλοπίνακες
- τα στηθαία ασφαλείας και τα κράσπεδα
- τα κιγκλιδώματα
- οι πάσης φύσης σταθερές επενδύσεις
- οι ψευδοροφές μόνιμου τύπου
- ο μόνιμος Η/Μ εξοπλισμός
- η θερμομόνωση καθώς και τα ειδικά σταθερού τύπου εξαρτήματα.

Ιδιαίτερα η περίπτωση του πρόσθετου ίδιου βάρους πάνω σε στέγαστρα και οροφές θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν ως μόνιμο φορτίο [ΕΛΟΤ EN 1991-1 2.1.(4)P]. Αν η διαμόρφωση γαιών ή κατασκευών σε οροφή μπορεί να υποστεί μεταβολές, τότε μπορεί να τεθεί μια ανώτατη  $G_{k,inf}$  του φορτίου αυτού [ΕΛΟΤ EN 1990 4.1.2.(2)P] για την περίπτωση πιθανής αφαίρεσης του με ταυτόχρονη δράση υποπίεσης ανέμου.

Στις προαναφερθείσες κατηγορίες δεν συμμετέχουν τα κινητά διαχωριστικά συστήματα, τα έπιπλα, αλλά και κάθε άλλο φορτίο που συνδέεται με τον φορέα και είναι εύκολο να αφαιρεθεί και του οποίου η παρουσία μπορεί να είναι ευνοϊκή για κρίσιμο συνδυασμό φόρτισης. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις τα φορτία αυτά πρέπει να θεωρούνται ως πρόσθετα κινητά φορτία [ΕΛΟΤ EN 1991-1 2.1.(2)P].

Σε κάθε περίπτωση τα φορτία αυτά πρέπει να προσδιορίζονται από τον μηχανικό που σχεδιάζει το έργο με την ικανοποιητική ακρίβεια, οπότε λαμβάνοντας υπ' όψιν τα δεδομένα, όπως συνοπτικά περιγράφονται εδώ και αναλυτικά στο κανονισμό, καθορίζονται ασφαλή κριτήρια σχεδιασμού.

### **6.2.2. ΕΠΙΒΑΛΛΟΜΕΝΑ Ή ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

Τα κινητά ή επιβαλλόμενα φορτία των φορέων από αλουμίνιο, καθορίζονται ανάλογα με την χρήση του χώρου που διαμορφώνουν. Παρόλο που τρεις είναι οι κύριες κατηγορίες που αντιστοιχούν στους συνηθέστερους τύπους κατασκευών, δηλαδή

1. κινητά φορτία σε κτίρια
2. κινητά φορτία σε δεξαμενές και αποθήκες και
3. κινητά φορτία σε γέφυρες,

υπάρχουν και πολλές ιδιαίτερες περιπτώσεις κατασκευών για τις οποίες ισχύουν ειδικοί τύποι φόρτισης.

Είναι προφανές ότι ο αριθμός και η ποικιλία των κινητών (επιβαλλόμενων) φορτίων στις κατασκευές είναι μεγάλος. Σημειώνεται ότι ειδικά σε στέγες τα κινητά φορτία δεν θα πρέπει να εξετάζονται στον ίδιο συνδυασμό με άλλες μεταβλητές δράσεις όπως το χιόνι ή ο άνεμος [ΕΛΟΤ EN 1991-1-1].

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 9**

### **7.1. ΓΕΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 9**

Οι Ευρωκώδικες είναι μια σειρά δέκα Ευρωπαϊκών Προτύπων (EN) για το σχεδιασμό των κατασκευών που αναπτύχθηκαν από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN). Οι Ευρωκώδικες αποτελούν σειρά Ευρωπαϊκών Προτύπων που παρέχουν ένα κοινό για όλη την Ε.Ε. σύνολο μεθόδων για τον υπολογισμό της μηχανικής αντοχής των κατασκευαστικών έργων και των στοιχείων τους, τα οποία καλύπτονται από την Οδηγία 89/106/ΕΟΚ. Στόχο έχουν την δημιουργία ενός κοινού πλαισίου, εντός του Ευρωπαϊκού χώρου, για τον σχεδιασμό έργων πολιτικού μηχανικού.

Οι Ευρωκώδικες αναπτύχθηκαν υπό την καθοδήγηση και το συντονισμό της Τεχνικής Επιτροπής CEN/TC250 "Structural Eurocodes". Για την Ελλάδα, η γλωσσική και προτυποτεχνική επιμέλεια στην Ελληνική γλώσσα έγινε από την Τεχνική Επιτροπή του ΕΛΟΤ ΤΕ 67 «Ευρωκώδικες», περιλαμβανομένων Ειδικών Ομάδων Εργασίας, σε στενή συνεργασία με την Επιτροπή Ευρωκωδίκων που συστήθηκε στο τ. ΥΠΕΧΩΔΕ.

Οι Ευρωκώδικες απαρτίζονται από 10 κύρια Ευρωπαϊκά Πρότυπα που συμπεριλαμβάνουν όλους τους τρόπους δόμησης (από σκυρόδεμα, χάλυβα, ξύλο, τοιχοποιία, γεωτεχνικά έργα και αλουμίνιο). Οι Ευρωκώδικες ολοκληρώθηκαν το 2007 και με τη σειρά τους υποδιαιρούνται, εκτός από το EN 1990, σε 58 μέρη, στα οποία γίνεται ανάλυση της συμπεριφοράς των κατασκευών (κτιρίων, γεφυρών, δεξαμενών, φραγμάτων, πύργων, αγωγών, καπνοδόχων), στο σεισμό ή/και πυρκαγιά.

Τα μέρη είναι:

- EN 1990: Ευρωκώδικας 0 – Βάσεις σχεδιασμού φερουσών κατασκευών.
- EN 1991: Ευρωκώδικας 1 – Δράσεις στις Φέρουσες Κατασκευές.
- EN 1992: Ευρωκώδικας 2 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από σκυρόδεμα.
- EN 1993: Ευρωκώδικας 3 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από χάλυβα.
- EN 1994: Ευρωκώδικας 4 – Σχεδιασμός σύμμικτων φερουσών κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα.
- EN 1995: Ευρωκώδικας 5 – Σχεδιασμός ξύλινων φερουσών κατασκευών.
- EN 1996: Ευρωκώδικας 6 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από τοιχοποιία.
- EN 1997: Ευρωκώδικας 7 – Γεωτεχνικός σχεδιασμός.
- EN 1998: Ευρωκώδικας 8 – Αντισεισμικός σχεδιασμός φερουσών κατασκευών.
- EN 1999: Ευρωκώδικας 9 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από αλουμίνιο.

Οι Ευρωκώδικες θα αντικαταστήσουν τα προϋπάρχοντα εθνικά Πρότυπα, τα οποία προβλέπεται να αποσυρθούν μετά από μια περίοδο παράλληλης εφαρμογής. Με το ΦΕΚ 1457/Β/2014, που εκδόθηκε στις 5 Ιουνίου του 2014 (Αριθμ. ΔΠΙΑΔ/οικ.372) εγκρίθηκε η εφαρμογή και χρήση των Ευρωκώδικων σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα Εθνικά Προσαρτήματα χωρίς όμως την κατάργηση ισχύος των παλαιότερων κανονιστικών διατάξεων. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει όμως να αναφέρεται ρητά το κανονιστικό πλαίσιο που ακολουθήθηκε για τη σύνταξη της μελέτης, ενώ αποκλείεται η επιλεκτική χρησιμοποίηση διατάξεων από διαφορετικά κανονιστικά πλαίσια για το ίδιο έργο.

Εκτός από το σχεδιασμό των κατασκευών, οι Ευρωκώδικες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε τεχνικές προδιαγραφές για την ανάθεση συμβάσεων δημόσιων υπηρεσιών και δημόσιων έργων καθώς και στη διαδικασία βεβαίωσης συμμόρφωσης κατασκευαστικών προϊόντων (σήμανση CE).

Ο Ευρωκώδικας 9 έχει εφαρμογή σε κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού στις οποίες ο φέρων οργανισμός αποτελείται από κράματα δομικού αλουμινίου. Η ύλη του Κανονισμού περιλαμβάνει στοιχεία σχετικά με τη βάση σχεδιασμού, το υλικό, τις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας και αστοχίας και τις συνδέσεις. Επίσης, περιλαμβάνει θέματα σχετικά με την παραγωγή και εκτέλεση, καθώς και τον υποβοηθούμενο από πειράματα σχεδιασμό .

Ο Ευρωκώδικας 9 υποδιαιρείται σε πέντε μέρη :

- EN 1999-1-1 « Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο : Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια ».
- EN 1999-1-2 « Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο : Σχεδιασμός σε κατάσταση πυρκαγιάς ».
- EN 1999-1-3 « Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο : Κατασκευές υποκείμενες σε κόπωση ».
- EN 1999-1-4 « Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο : Εν ψυχρώ κατεργασμένα δομικά φύλλα ».
- EN 1999-1-5 « Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο : Κελύφη ».

Ο EN 1999-1-1 παρουσιάζει τους κανόνες και τη φιλοσοφία σχεδιασμού στην ανάλυση και τον σχεδιασμό κτιριακών έργων από αλουμίνιο. Τα περιεχόμενα του EN 1999-1-1 δίδονται ως:

- **Στο Κεφάλαιο 1**, περιέχονται οι στόχοι, οι κανονιστικές αναφορές, οι παραδοχές, οι αρχές και κανόνες εφαρμογής κατά το σχεδιασμό, ορολογία και άλλοι ορισμοί, τα σύμβολα και οι μονάδες που χρησιμοποιούνται.
- **Στο Κεφάλαιο 2**, περιέχονται οι βασικές απαιτήσεις συμπεριφοράς καθώς και τα κριτήρια συμμόρφωσης που εφαρμόζονται κατά το σχεδιασμό, την ανάλυση και την κατασκευή κτιρίων.
- **Στο Κεφάλαιο 3**, δίδονται τα βασικά μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού.
- **Στο Κεφάλαιο 4**, περιγράφονται οι αρχές και κανόνες για την εξασφάλιση της ανθεκτικότητας των δομημάτων από αλουμίνιο.
- **Στο Κεφάλαιο 5**, παρουσιάζεται η μεθοδολογία για την στατική ανάλυση φορέων από αλουμίνιο.
- **Στο Κεφάλαιο 6**, παρουσιάζονται οι οριακές καταστάσεις σχεδιασμού έναντι αστοχίας.
- **Στο Κεφάλαιο 7**, παρουσιάζονται οι οριακές καταστάσεις σχεδιασμού για την λειτουργικότητα.
- **Στο Κεφάλαιο 8**, παρουσιάζεται η μεθοδολογία σχεδιασμού κόμβων και άλλων συνδέσεων κατασκευών από αλουμίνιο.

Επιπλέον στον EN 1999-1-1 περιέχονται και 13 παραρτήματα που αφορούν:

- **Παράρτημα Α:** Κατηγορίες εκτέλεσης
- **Παράρτημα Β:** Ισοδύναμο βραχύ T υπό εφελκυσμό
- **Παράρτημα C:** Επιλογή Υλικών
- **Παράρτημα D:** Διάβρωση και Επιφανειακή προστασία
- **Παράρτημα Ε:** Αναλυτικά μοντέλα προσομοίωσης για τη σχέση τάσης-παραμόρφωσης
- **Παράρτημα F:** Συμπεριφορά διατομών πέρα από το ελαστικό όριο
- **Παράρτημα G:** Στροφική ικανότητα
- **Παράρτημα Η:** Μέθοδος πλαστικών αρθρώσεων για συνεχείς δοκούς

- **Παράρτημα Ι:** Στρεπτοκαμπτικός (πλευρικός) λυγισμός δοκών και στρεπτικός ή στρεπτοκαμπτικός λυγισμός θλιβόμενων μελών
- **Παράρτημα J:** Ιδιότητες διατομών
- **Παράρτημα Κ:** Επιρροές διατμητικής υστέρησης στον έλεγχο μελών
- **Παράρτημα L:** Ταξινόμηση Κόμβων
- **Παράρτημα Μ:** Συνδέσεις με επικόλληση

## ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Πέραν της κλασικής ορολογίας που χρησιμοποιείται στην Επιστήμη και την Τεχνολογία των Κατασκευών, στον Ευρωκώδικα 9 εισάγεται κατ' αρχήν η έννοια του πλαισίου ως τμήμα της κατασκευής το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο δομικών στοιχείων από αλουμίνιο που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και έχουν μελετηθεί ούτως ώστε να μπορούν να παραλαμβάνουν τα φορτία σχεδιασμού. Ο όρος πλαίσιο χρησιμοποιείται τόσο για τα πλαίσια με στερεούς κόμβους, όσο για τα δικτυωτά πλαίσια, ενώ καλύπτει αμφότερα τα επίπεδα και τα χωρικά πλαίσια.

Υπό-πλαίσιο(sub-frame) είναι εκείνο το πλαίσιο που αποτελεί τμήμα ενός μεγαλύτερου πλαισίου, αλλά στους στατικούς υπολογισμούς λαμβάνεται υπ' όψιν ως αυτόνομος φορέας. Οι τύποι (και επομένως και οι ιδιότητες) των πλαισίων είναι οι ακόλουθοι:

- Ημισυνεχή (semi-continuous) είναι εκείνα τα πλαίσια για τα οποία απαιτείται επακριβής περιγραφή της συμπεριφοράς των συνδέσεων τους στους στατικούς υπολογισμούς.
- Συνεχή (continuous) είναι αυτά τα πλαίσια για τα οποία απαιτείται περιγραφή της συμπεριφοράς των συνδέσεων τους, μόνο στη στατική ανάλυση.
- Απλά(simple) είναι τα πλαίσια εκείνα που οι συνδέσεις τους θεωρείται ότι δεν παραλαμβάνουν ροπές.

Με τον όρο

- καθολική ανάλυση(global analysis) νοείται ο καθορισμός του συνόλου των εσωτερικών δυνάμεων και ροπών στην κατασκευή που προκύπτουν από ένα συγκεκριμένο σύνολο δράσεων.
- Μήκος συστήματος (system length) είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων, στα οποία το χαλύβδινο δομικό στοιχείο είναι εξασφαλισμένο έναντι πλευρικής παραμόρφωσης, σε ένα δεδομένο επίπεδο ή μεταξύ ενός τέτοιου σημείου και της άκρης του δομικού στοιχείου.
- Μήκος λυγισμού (buckling length) είναι το μήκος συστήματος που αντιστοιχεί σε ένα κατά τ' άλλα όμοιο χαλύβδινο δομικό αμφιαρθρωτό δομικό στοιχείο που έχει την ίδια αντίσταση σε λυγισμό με το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο.
- Ικανοτικός σχεδιασμός(capacity design) είναι η μέθοδος σχεδιασμού όπου η ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης ενός μέλους επιτυγχάνεται, παρέχοντας επιπλέον αντοχή στις συνδέσεις του και σε άλλα τμήματα που συνδέονται με αυτό.

## 7.2. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ



Ανάλογα με τον τύπο της δράσης που επηρεάζει την ανθεκτικότητα και το χρόνο ζωής σχεδιασμού όπως καθορίζονται στον Ευρωκώδικα 0 [ΕΛΟΤ EN 1990], οι κατασκευές από αλουμίνιο ,θα πρέπει να σχεδιάζονται , ώστε να αντέχουν σε διάβρωση και να έχουν ικανοποιητικό συντελεστή ασφαλείας έναντι κόπωσης .Ακόμα πρέπει να αντέχουν στο χρόνο και να μπορούν να αναλάβουν τυχατικές δράσεις ανάλογα με τις συνθήκες .Σε κάθε περίπτωση πρέπει να σχεδιάζεται , όπως και όλες τις σύγχρονες κατασκευές ,πρόγραμμα επιθεώρησης και συντήρησης ,στοχεύοντας ιδιαίτερα στα ευπαθή σημεία.

Οι αντοχές των διατομών και των μελών για τον έλεγχο των οριακών καταστάσεων , μπορούν να βασίζονται σε απλοποιημένα προσομοιώματα σχεδιασμού αναγνωρισμένων πειραματικών στοιχείων.

Οι τιμές σχεδιασμού των γεωμετρικών ατελειών που περιλαμβάνονται στον Ευρωκώδικα 9 λαμβάνουν υπ' όψιν

A) τις επιρροές των γεωμετρικών ατελειών των μελών , όπως καθορίζονται από τις γεωμετρικές ανοχές σε κανονισμούς προϊόντων ή στον κανονισμό εκτέλεσης και

B) τις επιρροές των κατασκευαστικών ατελειών λόγω παραγωγής και ανέγερσης ,παραμενουσών τάσεων , μεταβλητότητας της τάσης διαρροής και των θερμικά επηρεασμένων ζωνών.

Για κατασκευές από αλουμίνιο εφαρμόζεται η εξίσωση :

$$R_d = \frac{1}{\gamma_M} R_k(\alpha_1 X_k; \alpha_2 X_{ki}; \alpha_d)$$

Όπου : Rk είναι η χαρακτηριστική τιμή της συγκεκριμένης αντοχής προσδιοριζόμενης με τις χαρακτηριστικές ή ονομαστικές τιμές για τις ιδιότητες και διαστάσεις των υλικών και γμείναι ο καθολικός επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τη συγκεκριμένη αντοχή.

### **7.3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ ΕΛΑΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ**

Στον Ευρωκώδικα 9 δίνονται οι χαρακτηριστικές τιμές του συμβατικού ορίου διαρροής 0,2% f0 και της αντοχής θραύσης fu των ελατών κραμάτων αλουμινίου για διάφορες επεξεργασίες και διάφορα πάχη

1. Προϊόντα φύλλων , λωρίδων και πλακών
2. Ράβδους , σωλήνες , προφίλ διέλασης και εξηλασμένους σωλήνες
3. Προϊόντα σφυρηλάτησης

### **7.4. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ**

#### **7.4.1. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ**

Η συμπεριφορά των διατομών και η αντίστοιχη προσομοίωση που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση πρέπει να σχετίζεται με την ικανότητα της διατομής να φτάσει στις οριακές καταστάσεις που αναφέρονται παρακάτω, με την κάθε μία να αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη παραδοχή του πεδίου τάσεων στη διατομή. Η συμπεριφορά μιας διατομής ανεξαρτήτως των εσωτερικών δράσεων που εξετάζονται ( αξονικό φορτίο , ροπή κάμψης ή διάτμηση ), προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπ' όψιν μια από τις παρακάτω οριακές καταστάσεις :

- i. **Ελαστική οριακή κατάσταση λυγισμού.** Η ελαστική οριακή κατάσταση τοπικού λυγισμού σχετίζεται με την εμφάνιση τοπικών ελαστικών φαινομένων αστάθειας στα θλιβόμενα τμήματα της διατομής.
- ii. **Ελαστική οριακή κατάσταση .** Η ελαστική οριακή κατάσταση σχετίζεται με την αντοχή που αντιστοιχεί στο συμβατικό ελαστικό όριο  $f_0$  του υλικού στα πλέον φορτισμένα τμήματα της διατομής.
- iii. **Πλαστική οριακή κατάσταση .** Η πλαστική οριακή κατάσταση σχετίζεται με την αντοχή της διατομής , η οποία υπολογίζεται θεωρώντας μία τέλεια πλαστική συμπεριφορά για το υλικό με οριακή τιμή ίση με το συμβατικό ελαστικό όριο  $f_0$  χωρίς να ληφθεί υπ' όψιν η κράτυνση.
- iv. **Οριακή κατάσταση κατάρρευσης.** Η οριακή κατάσταση κατάρρευσης σχετίζεται με την πραγματική αντοχή της διατομής , η οποία θεωρώντας μία κατανομή των εσωτερικών δυνάμεων , η οποία λαμβάνει υπ' όψιν την πραγματική κράτυνση του υλικού. Με βάση αυτήν την υπόθεση και επειδή η γενικευμένη καμπύλη δύναμης – μετατόπισης είναι γενικά ανοδική , η αντοχή κατάρρευσης αναφέρεται σε δοθέν όριο της γενικευμένης μετατόπισης.

#### **7.4.2. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ( ΚΛΑΣΕΙΣ ) ΔΙΑΤΟΜΩΝ**

Συγκεκριμένα, ο Ευρωκώδικας 9 ορίζει 4 κλάσεις διατομών. Η κατάταξη αυτή είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της αντίστασης των μελών σε κάμψη ή σε συνδυασμό κάμψης, τεμνουσών και αξονικών δυνάμεων. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα ελέγχου της πιθανότητας τα μέλη που δέχονται κάμψη ή θλίψη να εμφανίσουν μειωμένη αντίσταση λόγω τοπικού λυγισμού (κύρτωση). Σε αυτήν την περίπτωση γίνεται επιλογή ισχυρότερης διατομής ή ενισχύεται η υπάρχουσα διατομή. Οι διατομές αλουμινίου κατατάσσονται σε 4 κλάσεις ως εξής:

- **Κλάση 1 :** Οι διατομές είναι ικανές να σχηματίσουν πλαστικές αρθρώσεις διατηρώντας την απαιτούμενη ανεμπόδιστη στροφική ικανότητα για τον πλαστικό υπολογισμό
- **Κλάση 2 :** Οι διατομές είναι ικανές να αναπτύξουν πλαστικές ροπές αντοχής με μειωμένη όμως ικανότητα ανάληψης στροφών
- **Κλάση 3 :** Οι διατομές μπορούν να αναπτύξουν την τάση ελαστικού ορίου στην ακραία ίνα, αλλά δεν μπορούν να αναπτύξουν πλαστική αντίσταση λόγω εμφάνισης του φαινομένου της κύρτωσης
- **Κλάση 4 :** Σε αυτές τις διατομές πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν το φαινόμενο της κύρτωσης στον υπολογισμό της καμπτικής και αξονικής τους αντίστασης.

Η κατάταξη μιας διατομής εξαρτάται από τις αναλογίες των θλιβόμενων στοιχείων της, είτε είναι μερικώς είτε ολικά θλιβόμενα. Τα στοιχεία μιας διατομής μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικές κλάσεις. Τότε ως κλάση της διατομής ορίζεται η δυσμενέστερη των κλάσεων που προκύπτουν για τα στοιχεία της. Η πλειονότητα των διατομών αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή υαλοπετασμάτων είναι εξαιρετικά λεπτότοιχες και ως εκ τούτου ανήκουν στην κλάση 4. Η ευαισθησία ενός στοιχείου σε κύρτωση καθορίζεται από την παράμετρο λυγηρότητας  $\beta$  (slenderness parameter) η οποία για προεξέχοντα ή εσωτερικά στοιχεία με ομοιόμορφη κατανομή τάσεων ορίζεται ως ο λόγος του μήκους του στοιχείου προς το πάχος του, δηλαδή  $\beta = b/t$ .

Για εσωτερικά στοιχεία με μεταβαλλόμενη τάση και ουδέτερο άξονα στο κέντρο βάρους  $\beta = 0.40b/t$ . Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις με μεταβαλλόμενη τάση  $\beta = gb/t$  όπου:

- $b$  το πλάτος του στοιχείου
- $t$  το πάχος του στοιχείου.
- $g$  συντελεστής που δίνεται συναρτήσει του  $\psi$ , ο οποίος είναι ο λόγος των τάσεων στα ακμές του εξεταζόμενου στοιχείου σε σχέση με τη μέγιστη θλιπτική τάση.

Έτσι:  $g = 0.70 + 0.30\psi$  για ( $1 > \psi > -1$ ) και  $g = 0.80 / (1 - \psi)$  για ( $\psi \leq -1$ )

Εάν διαφορετικά στοιχεία της διατομής κατατάσσονται σε διαφορετικές κατηγορίες, τότε η διατομή κατατάσσεται στην υψηλότερη κατηγορία (περισσότερο δυσμενή) κατηγορία. Σύμφωνα με το συντελεστή λυγηρότητας  $\beta$  γίνεται η ακόλουθη κατάταξη:

$\beta < \beta_1 \leq$  : κλάση 1

$\beta_1 < \beta < \beta_2 \leq$  : κλάση 2

$\beta_2 < \beta < \beta_3 \leq$  : κλάση 3

$\beta > \beta_3$ : κλάση 4

## **7.5. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 9-ΜΕΡΟΣ 2**

### **7.5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ**

Στον EN 1999-1-2 περιγράφονται οι αρχές, απαιτήσεις και οι κανόνες για το σχεδιασμό κατασκευών από αλουμίνιο έναντι πυρκαγιάς λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις για ασφάλεια και τη διαδικασία σχεδιασμού.

#### Απαιτήσεις για ασφάλεια

Ο γενικός στόχος της πυροπροστασίας είναι ο περιορισμός του κινδύνου, σε περίπτωση πυρκαγιάς για τα πρόσωπα και την κοινωνία, τη γειτονική ιδιοκτησία και, όπου απαιτείται, για το περιβάλλον ή για τα άμεσα εκτεθειμένα αγαθά. Σύμφωνα με την οδηγία 89/106/EEC

για τον περιορισμό του κινδύνου από πυρκαγιά, οι εργασίες κατασκευής πρέπει να σχεδιάζονται και να εκτελούνται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε σε περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς:

- Να εξασφαλίζεται για μια προκαθορισμένη χρονική περίοδο η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής.
- Να περιορίζονται η πρόκληση και διάδοση φωτιάς και καπνού μέσα στο έργο.
- Να περιορίζεται η μετάδοση της πυρκαγιάς σε γειτονικές κατασκευές.
- Οι κάτοικοι να μπορούν να εγκαταλείψουν το έργο ή να μπορούν να διασωθούν με άλλα μέσα .
- Να λαμβάνεται υπόψη η ασφάλεια των ομάδων διάσωσης.

Οι απαιτήσεις αυτές μπορούν ικανοποιηθούν με διάφορους τρόπους και στρατηγικές ασφάλειας από τα κράτη μέλη που συμμετέχουν στο πρόγραμμα των Ευρωκωδίκων, όπως συμβατικά σενάρια πυρκαγιάς (ονομαστικές πυρκαγιές) ή "φυσικά" (παραμετρικά) σενάρια πυρκαγιάς, περιλαμβανομένων παθητικών και/ή ενεργητικών μέτρων πυροπροστασίας. Τα μέρη των Δομικών Ευρωκωδίκων τα σχετικά με την πυρκαγιά, πραγματεύονται ειδικές θεωρήσεις παθητικής πυροπροστασίας όσο αφορά το σχεδιασμό των κατασκευών και τμημάτων τους για την επίτευξη επαρκούς φέρουσας αντοχής και του κατάλληλου περιορισμού της μετάδοσης της πυρκαγιάς. Οι απαιτούμενες λειτουργίες και στάθμες επίδοσης μπορούν να καθοριστούν είτε με βάση εκτίμησης της πυραντίστασης, για την ονομαστική (πρότυπη) πυρκαγιά που γενικά δίνεται από τους εθνικούς κανονισμούς πυρασφάλειας, είτε με αναφορά στην τεχνολογία πυρασφαλείας για την εκτίμηση παθητικών και ενεργητικών μέσων. Οι αριθμητικές τιμές για τους επί μέρους συντελεστές και άλλα στοιχεία αξιοπιστίας επελέγησαν με την προϋπόθεση ότι εξασφαλίζεται ένα κατάλληλο επίπεδο εκτέλεσης της εργασίας και διαχείρισης του ελέγχου ποιότητας και δίνονται ως προτεινόμενες παρέχοντας ένα αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας.

Με γραμμική παρεμβολή

-Για κράμα EN AW-6082

-Κατεργασία T6

-Θερμοκρασία κραμάτων

αλουμινίου μεταξύ

150 °C-200 °C

Οπότε  $k_{o,\theta}=0,68$

Όσο αφορά στις μηχανικές ιδιότητες των κραμάτων αλουμινίου σε υψηλές θερμοκρασίες, για έκθεση σε θερμικά φορτία μεγαλύτερη των 2 ωρών, το συμβατικό όριο διαρροής 0.2 % σε υψηλές θερμοκρασίες προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$f_{o,\theta} = k_{o,\theta} \cdot f_o$$

όπου:

- $f_{o,\theta}$  είναι το συμβατικό όριο διαρροής 0,2 σε υψηλή θερμοκρασία
- $f_o$  είναι το συμβατικό όριο διαρροής 0,2 σε θερμοκρασία δωματίου σύμφωνα με το EN 1999-1-1.
- $k_{o,\theta}$  συντελεστής μείωσης αντοχής για τη θερμοκρασία  $\theta$

Η μεταβολή του συμβατικού ορίου διαρροής των διαφόρων κραμάτων αλουμινίου για τις διάφορες θερμοκρασίες δίνεται στον Πίνακα σύμφωνα με το συντελεστή μείωσης  $k_{o,\theta}$ .

Κράμα	Κατεργασία	Θερμοκρασία κραμάτων αλουμινίου °C							
		20	100	150	200	250	300	350	550
EN AW-3004	H34	1,00	1,00	0,98	0,57	0,31	0,19	0,13	0
EN AW-5005	O	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,58	0,39	0
EN AW-5005	H14 <sup>1)</sup>	1,00	0,93	0,87	0,66	0,37	0,19	0,10	0
EN AW-5052	H34 <sup>2)</sup>	1,00	1,00	0,92	0,52	0,29	0,20	0,12	0
EN AW-5083	O	1,00	1,00	0,98	0,90	0,75	0,40	0,22	0
EN AW-5083	H12 <sup>3)</sup>	1,00	1,00	0,80	0,60	0,31	0,18	0,10	0
EN AW-5454	O	1,00	1,00	0,96	0,88	0,50	0,32	0,21	0
EN AW-5454	H34	1,00	1,00	0,85	0,58	0,34	0,24	0,15	0
EN AW-6061	T6	1,00	0,95	0,91	0,79	0,55	0,31	0,10	0
EN AW-6063	T5	1,00	0,92	0,87	0,76	0,49	0,29	0,14	0
EN AW-6063	T6 <sup>4)</sup>	1,00	0,91	0,84	0,71	0,38	0,19	0,09	0
EN AW-6082	T4 <sup>5)</sup>	1,00	1,00	0,84	0,77	0,77	0,34	0,19	0
EN AW-6082	T6	1,00	0,90	0,79	0,65	0,38	0,20	0,11	0

1) Οι τιμές ισχύουν επίσης και για την κατεργασία H24/H34/H12/H32  
2) Οι τιμές ισχύουν επίσης και για την κατεργασία H12/H22/H32  
3) Οι τιμές ισχύουν επίσης και για την κατεργασία H22/H32  
4) Οι τιμές ισχύουν επίσης και για το κράμα EN AW-6060 T6 and T68  
5) Οι τιμές δεν περιλαμβάνουν την αύξηση της αντοχής λόγω της γήρανσης.  
Συνιστάται να αγνοούνται τέτοιου είδους επιδράσεις.

Πίνακας 6: Τιμές του μειωτικού συντελεστή ko,θ του συμβατικού ορίου διαρροής 0,2% για τα κράματα αλουμινίου σε συνήθη θερμοκρασία και σε υψηλές θερμοκρασίες για έκθεση στην πυρκαγιά έως δύο ώρες.

Κατώτατες οριακές τιμές	Θερμοκρασία κραμάτων αλουμινίου C							
	20	100	150	200	250	300	350	550
	1.00	0.90	0.75	0.50	0.23	0.11	0.06	0

Πίνακας 7: Κατώτερο όριο για τον λόγο ko,θ του συμβατικού ορίου διαρροής 0,2% για τα κράματα αλουμινίου στη συνήθη θερμοκρασία και σε υψηλή θερμοκρασία για έκθεση στην πυρκαγιά έως 2 ώρες.

Θερμοκρασία κραμάτων Αλουμινίου ,θ (C)	Μέτρο ελαστικότητας , Εολ,θ ( N/mm <sup>2</sup> )
20	70,000
50	69,300
100	67,900
150	65,100
200	60,200
250	54,600
300	47,600
350	37,800
400	28,000
550	0

Πίνακας 8:Μέτρο ελαστικότητας κραμάτων αλουμινίου σε υψηλές θερμοκρασίες για διάρκεια θερμικής έκθεσης t= 2 ωρών , Εολ,θ.

### **7.5.2. ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΕΥΑΙΣΘΗΤΩΝ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ.**

Κόπωση σύμφωνα με τον ακριβή καθορισμό του όρου όπως ορίζεται στους Ευρωκώδικες 1990 και 1999-1-1, είναι η αποδυνάμωση ενός δομικού μέλους αλουμινίου , μέσω έναρξης και διάδοσης ρωγμών λόγω επενέργειας επαναλαμβανόμενων μεταβολών τάσης .

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των δοκιμών κόπωσης είναι:

- Η μέγιστη  $\sigma_{max}$  και η ελάχιστη  $\sigma_{min}$  τάση
- Το εύρος της καταπόνησης  $\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2$
- Η μεταβολή της καταπόνησης  $\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min} = 2\sigma_a$
- Η μέση τιμή της καταπόνησης (στατική καταπόνηση):  $\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$
- Ο λόγος των καταπονήσεων  $R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά μεγέθη των επιβαλλόμενων φορτίων, οι δοκιμές κόπωσης διακρίνονται σε:

- Εναλλασσόμενες συμμετρικές, όταν  $\sigma_m = 0$  και  $R = -1$
- Ασύμμετρες επαναλαμβανόμενες, όταν  $0 < \sigma_m < \sigma_a$  και  $-1 < R < \sigma_a$  και  $0 < R < 1$
- Κυματοειδείς, όταν  $\sigma_m > \sigma_a$  και  $0 < R$ .

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ANSYS-ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

## 8.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ANSYS

Το ANSYS είναι ένα κατανοητό και γενικής χρήσης πρόγραμμα υπολογιστή που στηρίζεται στην θεωρία των πεπερασμένων στοιχείων. Το ANSYS είναι ικανό να εκτελέσει στατικές και δυναμικές αναλύσεις ή αναλύσεις μεταφοράς θερμότητας, ροής υγρού καθώς και ηλεκτρομαγνητισμού.

Το ANSYS υπήρξε ένα πρωτοποριακό FEA πρόγραμμα. Η τρέχουσα έκδοση του ANSYS έχει μια εντελώς νέα μορφή, με πολλαπλά υπολογιστικά συστήματα (παράθυρα) που ενσωματώνουν το Γραφικό Περιβάλλον του Χρήστη (GUI), ανοιγόμενα μενού, κουτιά διαλόγου και μια οριζόντια μπάρα με τα εργαλεία. Σήμερα θα βρούμε να χρησιμοποιείται το ANSYS σε πολλούς τομείς, όπως:

∅ Της μηχανικής

∅ Της αεροναυπηγικής

∅ Της ναυπηγικής

∅ Του ηλεκτρομαγνητισμού

∅ Της θερμότητας

∅ Της βιομηχανίας αυτοκινήτων

Η προσομοίωση μηχανικής ANSYS για τη βιομηχανία μετάλλων αποδείχθηκε ζωτικής σημασίας για να βοηθήσει τους παραγωγούς και τους κατασκευαστές μετάλλων να ισορροπήσουν το χρόνο, την τιμή, τη βιωσιμότητα και τις πιέσεις ποιότητας. Το ANSYS CFD για τη βιομηχανία μετάλλων και το ηλεκτρομαγνητικό λογισμικό συμβάλλει στη βελτίωση των διαδικασιών, στην εξοικονόμηση κόστους και στην αύξηση της ποιότητας του προϊόντος. Τα λύματα από τις λύσεις ANSYS, συμπεριλαμβανομένου του FEA για τη βιομηχανία μετάλλων, έχουν χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που είναι ειδικά για τη βιομηχανία μετάλλων, συμπεριλαμβανομένης της εξόρυξης, επεξεργασίας, μοντελοποίησης, διαμόρφωσης, διαμόρφωσης και κατασκευής υλικού.

Οι πλήρεις δυνατότητες εικονικής προτυποποίησης του ANSYS συγκεντρώνουν τη δύναμη της καλύτερης τεχνολογίας προσομοίωσης στην κατηγορία της δυναμικής των υγρών, του μηχανικού μοντέλου, της αλληλεπίδρασης των υγρών δομών και των ηλεκτρομαγνητικών σε μια προσαρμοστική αρχιτεκτονική. Η προσομοίωση μηχανικής ANSYS για τη βιομηχανία μετάλλων καθιστά δυνατή τη συλλογή και εφαρμογή λεπτομερών πληροφοριών σχετικά με τη συμπεριφορά των υγρών, στερεών σωματιδίων και αερίων, της μεταφοράς θερμότητας και των φαινομένων στερεοποίησης.



## **Γενικά για τα προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων.**

Για τη μοντελοποίηση μιας κατασκευής με πεπερασμένα στοιχεία είναι αναγκαίος ο διαχωρισμός των εργασιών σε διακεκριμένα στάδια. Αναλυτικότερα:

**1ο Στάδιο** → Κατασκευή της γεωμετρίας

**2ο Στάδιο** → Ορισμός των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των υλικών και επιλογή του είδους των πεπερασμένων στοιχείων

**3ο Στάδιο** → Διακριτοποίηση της γεωμετρίας σε πεπερασμένα στοιχεία και επιβολή των οριακών συνθηκών.

**4ο Στάδιο** → Επιλογή του τρόπου επίλυσης του προβλήματος (γραμμικό – μη γραμμικό – μεταβατικό – υπολογισμός ιδιοσυχνοτήτων κ.α.) και επίλυση.

**5ο Στάδιο** → Ανάγνωση και γραφική αναπαράστασή των αποτελεσμάτων. Τα παραπάνω στάδια, υπάρχει δυνατότητα και ίσως κάποιες φορές αναγκαιότητα, να μην πραγματοποιηθούν όλα στο ίδιο λογισμικό.

Το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ANSYS. Το λογισμικό αυτό δίνει στο χρήστη την δυνατότητα υλοποίησης όλων των παραπάνω σταδίων, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι κάποια από τα προαναφερθέντα στάδια δεν μπορούν να υλοποιηθούν σε άλλα περιβάλλοντα και τα αποτελέσματά τους να εισαχθούν, στη συνέχεια, στο ANSYS. Τα στάδια μπορούν να υλοποιηθούν με πολλές μεθοδολογίες εντός του περιβάλλοντος του ANSYS. Ενδεικτικά θα αναφέρουμε ορισμένες επιλογές ώστε να γίνει κατανοητή η πολύπλευρη αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων.

**1ο Στάδιο:** Κατασκευή γεωμετρίας Η κατασκευή της γεωμετρίας μέσα στο περιβάλλον του ANSYS μπορεί να γίνει, γενικά, με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι να δημιουργηθούν διαδοχικά σημεία (keypoints), γραμμές (lines), επιφάνειες (areas) και τέλος όγκοι (volumes). Ο δεύτερος τρόπος είναι να κατασκευαστούν όγκοι ή επιφάνειες είτε από σημεία, χωρίς τη δημιουργία γραμμών, είτε απευθείας ορίζοντας τις διαστάσεις τους. Το τελευταίο μπορεί να φανεί πολύ εύχρηστο σε περιπτώσεις που θέλουμε να κατασκευάσουμε γνωστά γεωμετρικά σχήματα, όπως κύκλους, κυλίνδρους, ορθογώνια, ορθογώνια παραλληλεπίπεδα κ.α. Στην περίπτωση που η γεωμετρία δημιουργηθεί σε άλλο σχεδιαστικό περιβάλλον η εισαγωγή της ANSYS γίνεται με τη μορφή αρχείου \*.igs. Τέλος η κατασκευή της γεωμετρίας μπορεί να γίνει στον προεπεξεργαστή κάποιου άλλου προγράμματος που δίνει αρχείο εισόδου για περιβάλλον Ansys. Το αρχείο αυτό ονομάζεται ουδέτερο αρχείο. Η επιλογή της κατασκευής της γεωμετρίας σε άλλο περιβάλλον μπορεί να είναι πολύ ελκυστική, ιδιαίτερα για όσους γνωρίζουν κάποιο σχεδιαστικό πρόγραμμα, αλλά πρέπει να δείχνουμε ιδιαίτερη προσοχή κατά την επιλογή της παραμέτρου της ανοχής (tolerance), όταν πρόκειται για \*.igs, και να επιβεβαιώνουμε ότι όλα τα στοιχεία που μας ενδιαφέρουν έχουν εισαχθεί σωστά, διαφορετικά πρέπει να γίνεται επιδιόρθωση της γεωμετρίας. Ένα συνηθισμένο πρόβλημα από την εισαγωγή γεωμετρίας στο ANSYS από εξωτερικό πρόγραμμα είναι ότι το μοντέλο μπορεί να εμφανίζει το φαινόμενο ύπαρξης διπλών γραμμών ή σημείων. Τότε πρέπει να γίνει συγχώνευση αυτών με την εντολή merge με την οποία θα ασχοληθούμε αργότερα. Τέλος μπορεί παρότι στο ουδέτερο αρχείο η γεωμετρία είναι με τη μορφή όγκου όταν γίνει εισαγωγή να μην είναι σωστή ή να λείπουν επιφάνειες, τότε πρέπει να γίνει επιδιόρθωση.

**2ο Στάδιο:** Ορισμός των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των υλικών και επιλογή του είδους των πεπερασμένων στοιχείων Οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των υλικών είναι

μονοσήμαντα ορισμένες αλλά θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή όσον αφορά τις μονάδες. Πρέπει να γνωρίζουμε ότι όλες οι μονάδες είναι στο SI εκτός αν τις ορίσουμε εμείς διαφορετικά. Δεν συνιστάται να γίνει αλλαγή μονάδων γιατί υπάρχει σημαντικός κίνδυνος λάθους. Οι ιδιότητες που πρέπει να οριστούν εξαρτώνται από την ιδιαιτερότητα των υλικών αλλά και από το είδος της επίλυσης που μας ενδιαφέρει να κάνουμε. Η επιλογή του είδους των πεπερασμένων στοιχείων εξαρτάται από την επίλυση που θα κάνουμε, αυτό δε σημαίνει ότι δεν έχουμε τη δυνατότητα αλλαγής τους στη συνέχεια. Το σημαντικό είναι να έχουμε καταλήξει στη διάστασή τους και στο είδος της καταπόνησης.

**3ο Στάδιο:** Διακριτοποίηση της γεωμετρίας σε πεπερασμένα στοιχεία και επιβολή των οριακών συνθηκών. Αφού έχει γίνει η επιλογή του στοιχείου μένει να γίνει η διακριτοποίηση της γεωμετρίας. Η πιο απλή δυνατότητα είναι να γίνει χρησιμοποιώντας τις επιλογές που προσφέρει το πρόγραμμα. Οι επιλογές αυτές είναι αυτόματη δημιουργία πλέγματος (δεν προτείνεται στις περισσότερες περιπτώσεις), ορισμός διαμερίσεων σε γραμμές ή ορισμός μεγέθους στοιχείων (μέγιστο μέγεθος πλευράς ή ακμής) καθώς και η επιλογή του Smart Size η οποία κάνει προσαρμογή του πλέγματος στη γεωμετρία, δηλαδή μικραίνει τα στοιχεία σε περιοχές απότομης αλλαγής της γεωμετρίας και το αραιώνει στο εσωτερικό των επιφανειών και των όγκων όπου δεν υπάρχει ιδιαίτερα ανάγκη για λεπτή διαμέριση. Αφού καταλήξουμε στις παραπάνω επιλογές ακολουθεί η δημιουργία του πλέγματος Γενικά οι δυνατότητες του προγράμματος είναι πάρα πολλές και μπορούν να δώσουν πάρα πολλά και πολύ διαφορετικά μεταξύ τους αποτελέσματα ανάλογα με τις παραμέτρους που θα ορίσουμε. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορεί το πρόγραμμα να γνωρίζει τις ιδιαιτερότητες του προβλήματος που καλούμαστε να επιλύσουμε, την ακρίβεια ή και το χρόνο επίλυσης που επιθυμούμε, άρα πρέπει να επέμβουμε στις προεπιλογές που έχει. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει η δυνατότητα να μην οριστούν γεωμετρικά στοιχεία του μοντέλου στο περιβάλλον του ANSYS και στη συνέχεια να γίνει η διακριτοποίηση, αλλά να κατασκευαστούν απευθείας κόμβοι και πεπερασμένα στοιχεία ή να εισαχθούν αφού έχουν υπολογιστεί με κάποιο άλλο προεπεξεργαστή. Το παραπάνω συνιστά παράκαμψη του 1ου Σταδίου. Η επιβολή των οριακών συνθηκών μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Οι διαφοροποιήσεις εντοπίζονται στα σημεία όπου μπορούν αυτές να επιβληθούν είτε σε γεωμετρικά στοιχεία (σημεία, γραμμές, επιφάνειες) είτε σε στοιχεία του πλέγματος (κόμβους, στοιχεία). Όταν επιβάλλονται σε γεωμετρικά στοιχεία γίνεται αυτόματα η μεταφορά τους σε στοιχεία του πλέγματος πριν από την επίλυση.

**4ο Στάδιο:** Επιλογή του τρόπου επίλυσης του προβλήματος (γραμμικό – μη γραμμικό – μεταβατικό – υπολογισμός ιδιοσυχνοτήτων κ.α.) και επίλυση. Η επιλογή του τρόπου επίλυσης έχει να κάνει με τις απαιτήσεις του προβλήματος. Συνήθως μια γραμμική στατική ανάλυση μικρών μετατοπίσεων καλύπτει τις ανάγκες μας. Παρόλα αυτά είναι δυνατό θέλουμε να διερευνήσουμε κάποιο μεταβατικό φαινόμενο ή τα υλικά που χρησιμοποιούνται να έχουν μη γραμμική συμπεριφορά. Ακόμα συμβαίνει συχνά όταν αντιμετωπίζουμε προβλήματα λυγισμού και πτύχωσης τα οποία είναι μη γραμμικά. Όσον αφορά την επίλυση προσφέρονται πολλές δυνατότητες οι οποίες έχουν να κάνουν με διαφορετικούς αλγόριθμους επίλυσης, που δεν θα δώσουν διαφορετικό αποτέλεσμα, αλλά θα έχουν διαφορετικό χρόνο επίλυσης. Υπάρχουν επιλύτες που χρησιμοποιούν περισσότερο τον σκληρό δίσκο για ενδιάμεσα αρχεία ή την φυσική μνήμη. Είναι προφανές ότι αφού η ταχύτητα της μνήμης είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του σκληρού δίσκου αυτή η μέθοδος είναι και πιο γρήγορη. Υπάρχει όμως περίπτωση να μην υπάρχει διαθέσιμη η απαιτούμενη για το πρόβλημα φυσική μνήμη ή για ορισμένες ειδικές περιπτώσεις να μην είναι όλοι οι επιλύτες ικανοί να αντιμετωπίσουν τη φύση του προβλήματος.

**5ο Στάδιο:** Ανάγνωση και γραφική αναπαράστασή των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα μετά από την επίλυση καταγράφονται σε ένα αρχείο (\*.rst). Η ανάγνωσή τους είναι ένα ζήτημα που χρίζει ιδιαίτερης προσοχής. Υπάρχουν πολλοί τρόποι να δει κάποιος τα αποτελέσματα. Ενδεικτικά αναφέρουμε τα αποτελέσματα στους κόμβους (Nodal Solution) και τα αποτελέσματα στα στοιχεία (Element Solution). Στους κόμβους γίνεται δίνεται η τιμή του μέσου όρου που προκύπτει από τα πεπερασμένα στοιχεία στα οποία είναι κοινός και έχει συνεχή τιμή ενώ στα πεπερασμένα στοιχεία έχουμε μία τιμή ανά στοιχείο (στα ισοπαραμετρικά μπορούμε να επιλέξουμε επιπλέον αποτελέσματα στα σημεία Gauss). Ακόμα, υπάρχει και η επιλογή του Element Table μέσω του οποίου μπορούμε να κάνουμε ομαλοποίηση των αποτελεσμάτων βγάζοντας μέσους όρους (Element Table Average). Η τελευταία επιλογή προτείνεται σε περιπτώσεις όπου έχουμε συγκεντρωμένα φορτία και μπορεί να δημιουργηθούν τοπικά μέγιστα που δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Επιπλέον στοιχεία για τα προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων. Τα προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων στην αρχική τους μορφή είχαν μόνο γραμμή εντολών. Στη γραμμή εντολών γινόντουσαν όλες οι ενέργειες που ήθελε ο χρήστης. Στη συνέχεια με την δημιουργία των παραθυρικών περιβαλλόντων δόθηκε η δυνατότητα να κατασκευάζονται μοντέλα με τη χρήση τους. Η γραμμή εντολών έχει το αρνητικό της απομνημόνευσης των εντολών που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν, αν και εμφανίζεται η σύνταξή τους. Το θετικό είναι ότι μπορούν να γίνονται μικρές αλλαγές σε λίστες από εντολές και μετά να τις επανεκτελούμε με αποτέλεσμα να γίνεται πολύ πιο γρήγορα η δουλειά που μας ενδιαφέρει. Αυτό μπορεί να γίνει και χωρίς να ανοίξουμε το παραθυρικό περιβάλλον, μέσω αρχείων με την μορφή batch δίνοντας ένα αρχείο εισόδου (input) και δηλώνοντας ένα αρχείο εξόδου (output). Το παραθυρικό περιβάλλον έχει τις εντολές με δένδροειδή μορφή και συνεπώς είναι πολύ εύκολο να βρούμε την εντολή που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε κάθε φορά. Η μορφή αυτή, είναι ιδιαίτερα βολική για αρχάριους χρήστες, διότι με αυτόν τον τρόπο αποκτούν μια εποπτεία για τις δυνατότητες του προγράμματος. Όταν εργαζόμαστε σε παραθυρικό περιβάλλον όλες οι εντολές που δίνουμε γράφονται με την μορφή της γραμμής εντολών σε ένα αρχείο απλού κειμένου. Αυτό μας δίνει την δυνατότητα να αλλάξουμε κάποια στοιχεία σε αυτό και να το επανεκτελέσουμε. Το πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση είναι ότι αν έχουμε κάνει πολλά λάθη τα οποία τα διορθώνουμε στη συνέχεια θα προκύψει ένα πολύ μεγάλο αρχείο που θα είναι δύσκολο να το διαχειριστούμε.

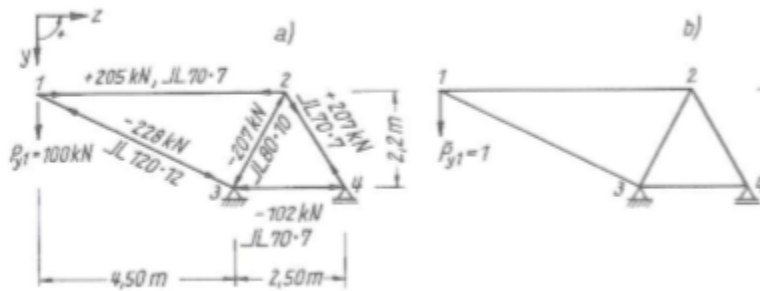
## 8.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΤΟ ANSYS

### 8.2.1 ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ

Εφαρμογή του Ansys σε δικτύωμα πλαισίου χάλυβα σε σύγκριση με δικτύωμα αλουμινίου .

#### Παράδειγμα

Ζητείτε η  $w_{y1}$  του σχεδίου α. Στο σχήμα α δίνονται οι διατομές και οι τάσεις των ράβδων ενώ στο σχέδιο β η απαιτούμενη βοηθητική κατάσταση.



#### A. Αναλυτική λύση

Και στις δυο περιπτώσεις φόρτισης ενεργεί μόνο ένα κατακόρυφο φορτίο στο σημείο 1. Συνεπώς οι τάσεις των ράβδων  $S_i$  της βοηθητικής κατάστασης μπορούν να υπολογιστούν ως εξής:  $S_i = P_{y1} * S_1 / P_{y2} = S_1 / 100$ .

Τα μήκη των ράβδων υπολογίζονται με βάση τις διαστάσεις του σχήματος υπολογισμός της ζητούμενης βύθισης γίνεται στον παρακάτω πίνακα με βάση την παρακάτω εξίσωση.

$$1 \cdot \delta = \sum_{i=1}^n \frac{S_i \bar{S}_i}{EF_i} \cdot l_i + \sum_{i=1}^n \bar{S}_i \alpha_i t_i l_i$$

Πριν το άθροισμα πρέπει να τεθεί ο σταθερός παράγοντας  $I/E$ .

Με  $E=21000 \text{ Kn/cm}^2$  και  $\sum S_i * S_i * l_i / F_i = 28.300 \text{ Kn/cm}$  παίρνουμε

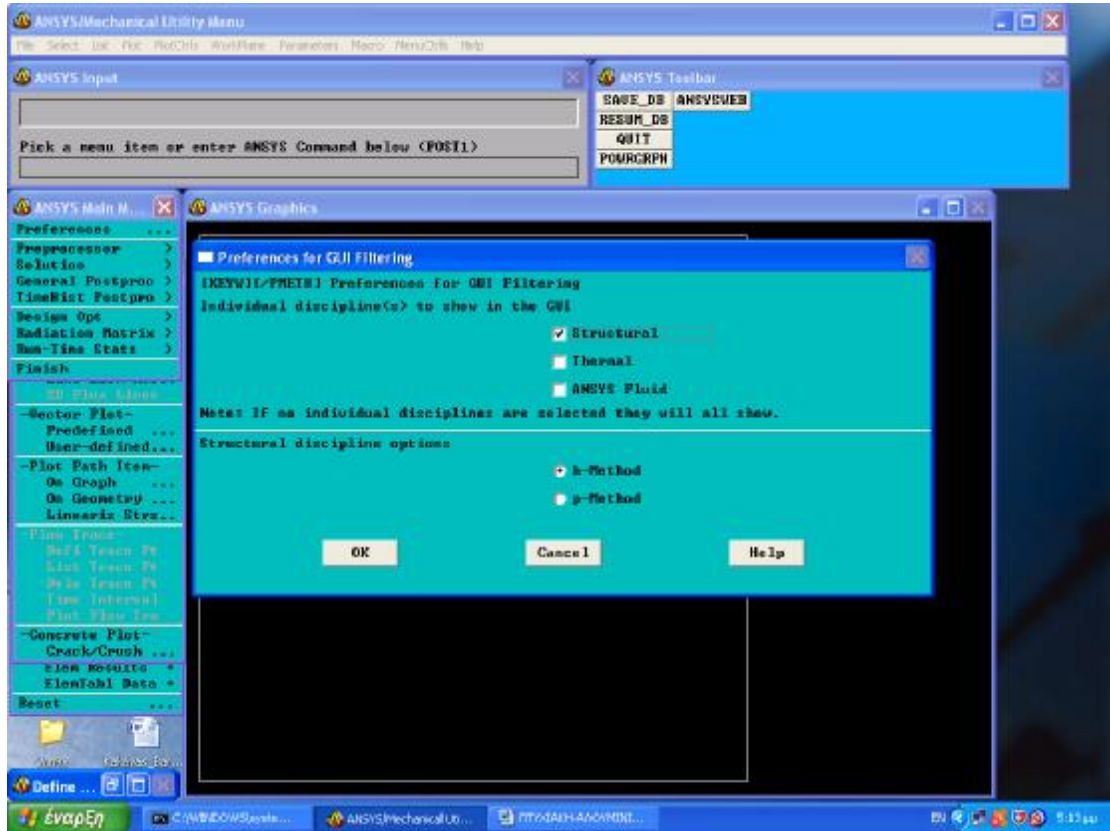
$$w_{y1} = 28.300 / 21000 = 1.35 \text{ cm}$$

<b>Ράβδος i</b>	<b>Διατομή</b>	<b>F<sub>I</sub></b>	<b>S<sub>I</sub></b>	<b>S<sub>I</sub></b>	<b>L<sub>i</sub></b>	<b>S<sub>I</sub>*S<sub>I</sub>*L<sub>i</sub>/ F<sub>I</sub></b>
		<b>cm<sup>2</sup></b>	<b>kN</b>		<b>cm</b>	<b>kN/cm</b>
<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>	<b>(4)</b>	<b>(5)</b>	<b>(6)</b>	<b>(7)</b>
<b>1-2</b>	70*70	18,8	+205	+2,05	575	12.840
<b>2-4</b>	70*70	18,8	+207	+2,07	253	5.760
<b>1-3</b>	120*12	55,0	-228	-2,28	501	4.730
<b>3-4</b>	70*7	18,8	-102	-1,02	250	1.380
<b>2-3</b>	80*10	30,2	-207	-2,07	253	3.590
					Σ = 28.300	

## B. Επίλυση με Πεπερασμένα στοιχεία (ANSYS)

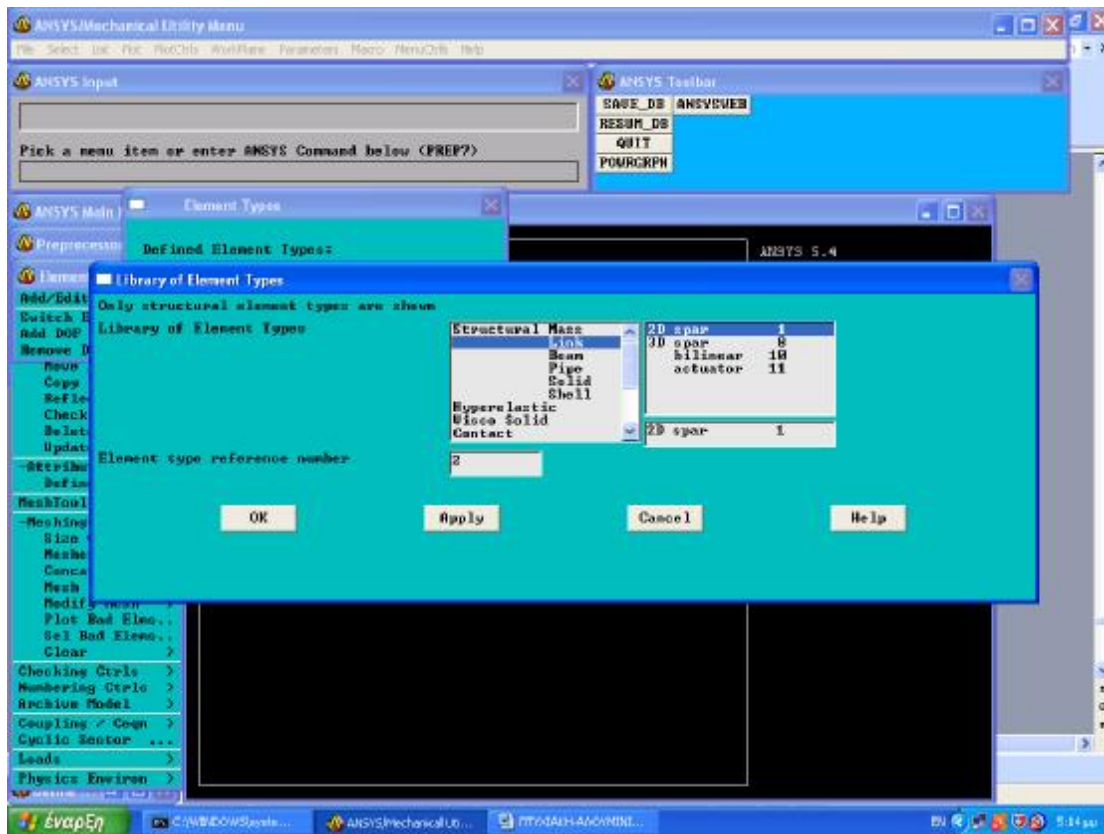
Βήμα 1<sup>ο</sup> : Τρέχουμε το πρόγραμμα στον Η/Υ.

Βήμα 2<sup>ο</sup>: Στην εντολή προεπιλογές επιλεγούμε το structural(δομοστατικό)



Εικόνα 24: Προεπιλογές- Ansys.

Βήμα 3<sup>ο</sup>: Επιλεγούμε τύπο πεπερασμένων στοιχείων.



Εικόνα 25: Στοιχεία δοκού - Ansys.

## 4.1 LINK1 2-D Spar

Multiphysics	✓
Mechanical	✓
Structural	✓
LS-DYNA	✓
LinearPlus	✓
Thermal	
Emag 3-D	
Emag 2-D	
FLOTRAN	
PrepPost	✓
ED	✓

You can use LINK1 in a variety of engineering applications. Depending upon the application, you can think of the element as a truss, a link, a spring, etc.

The two-dimensional spar element is a uniaxial tension-compression element with two degrees of freedom at each node: translations in the nodal x and y directions. As in a pin-jointed structure, no bending of the element is considered. See [Section 14.1](#) in the *ANSYS Theory Reference* for more details about this element. [Section 4.8](#) describes a three dimensional spar element, [LINK8](#).

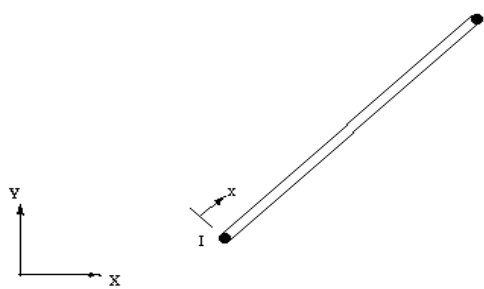


Figure 4.1-1 LINK1 2-D Spar

Figure 4.1-1 shows the geometry, node locations, and the coordinate system for this element. The element is defined by two nodes, the cross-sectional area, an initial strain, and the material properties. The element x-axis is oriented along the length of the element from node I toward node J. Properties that you do not input default as described in [Section 2.4](#). The initial strain in the element (ISTRN) is given by  $\delta/L$ , where  $\delta$  is the difference between the element length,  $L$ , (as defined by the I and J node locations) and the zero-strain length.

[Section 2.6](#) describes element loads. You can input temperatures and fluences as element body loads at the nodes. The node I temperature  $T(I)$  defaults to

*ANSYS Elements Reference . 000853 . Ninth Edition . SAS IP, Inc. ©*

4-3

### Library

TUNIF. The node J temperature defaults to  $T(I)$ . Similar defaults occur for fluence except that zero is used instead of TUNIF. You can request a lumped mass matrix formulation, which may be useful for certain analyses such as wave propagation, with the [LUMPM](#) command.

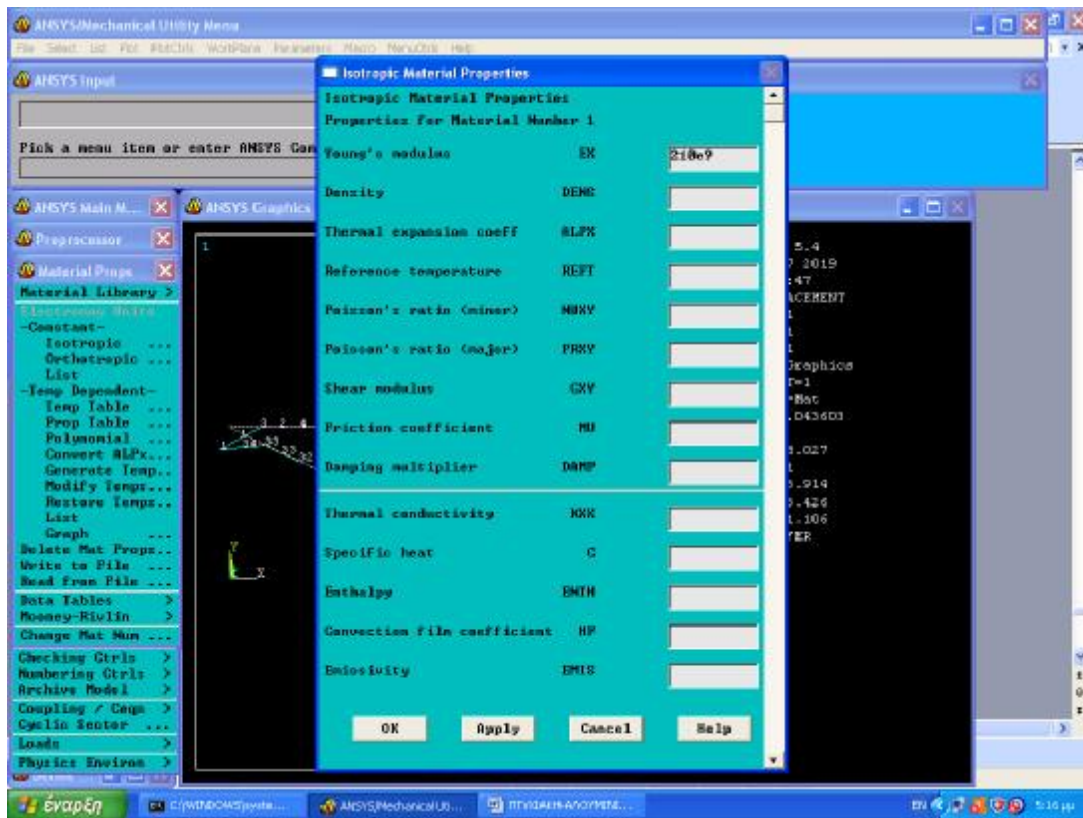
Table 4.1-1 summarizes the element input. [Section 2.1](#) gives a general description of element input.

Table 4.1-1 LINK1 Input Summary

<b>Element Name</b>	LINK1
<b>Nodes</b>	I, J
<b>Degrees of Freedom</b>	UX, UY
<b>Real Constants</b>	AREA, ISTRN
<b>Material Properties</b>	EV AL BV BEMG DAMD

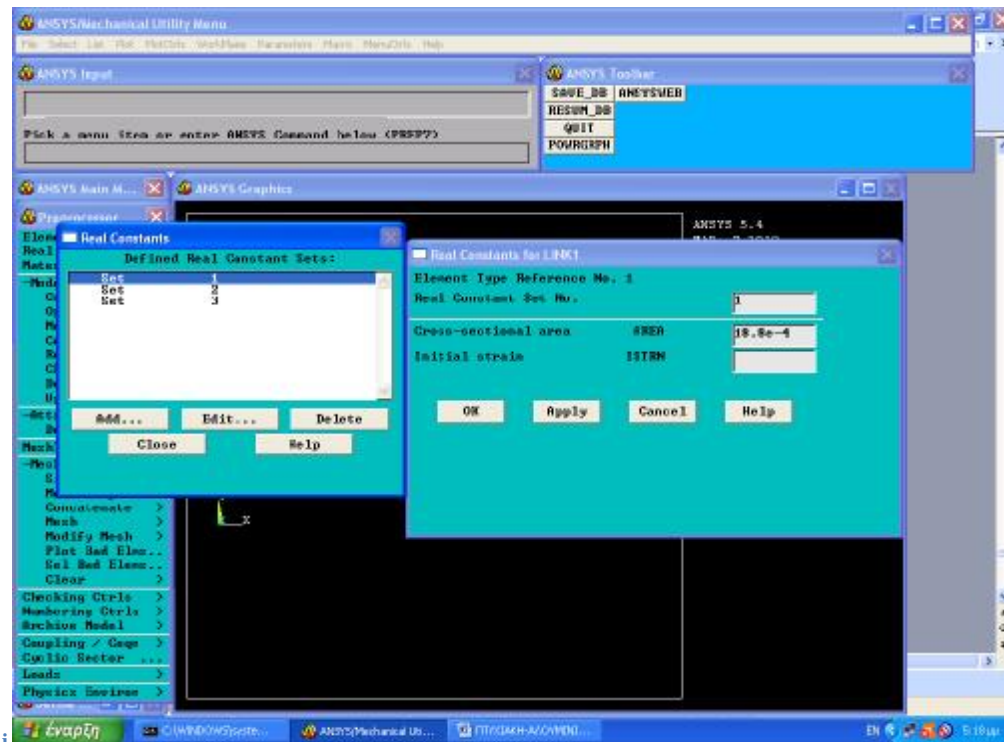


Βήμα 4<sup>ο</sup>: Επιλεγούμε μετρώ ελαστικότητας χάλυβα.

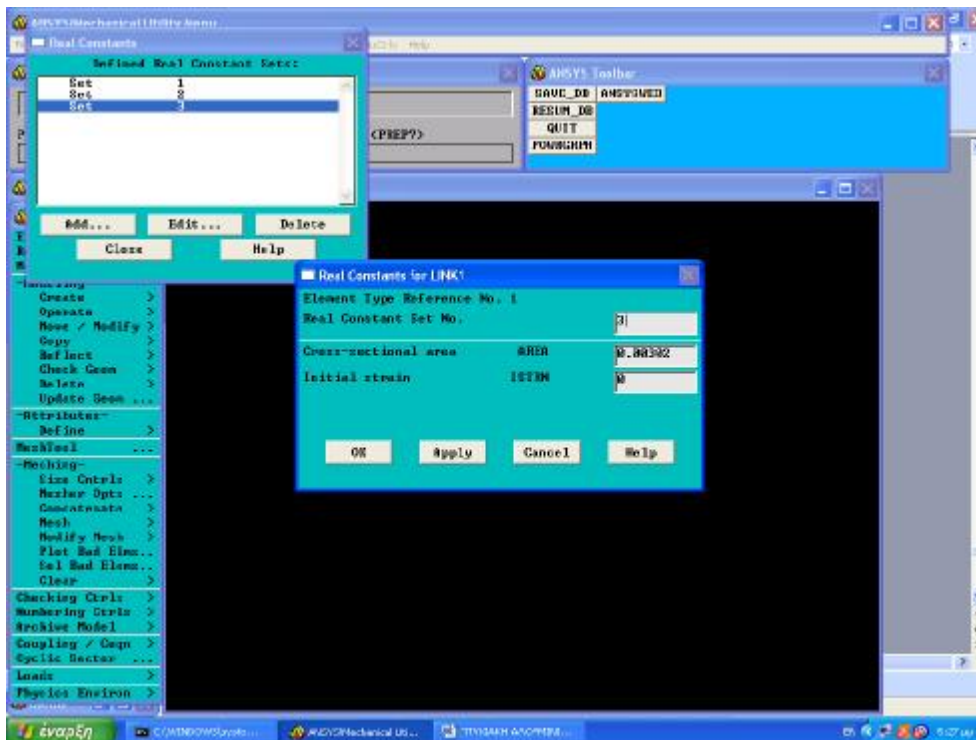


Εικόνα 26: Επιλογή μετρώ ελαστικότητας χάλυβα-Ansys .

Βήμα 5<sup>ο</sup> : Ορίζουμε τη διατομή σε κάθε μέλος του δικτύωματος.

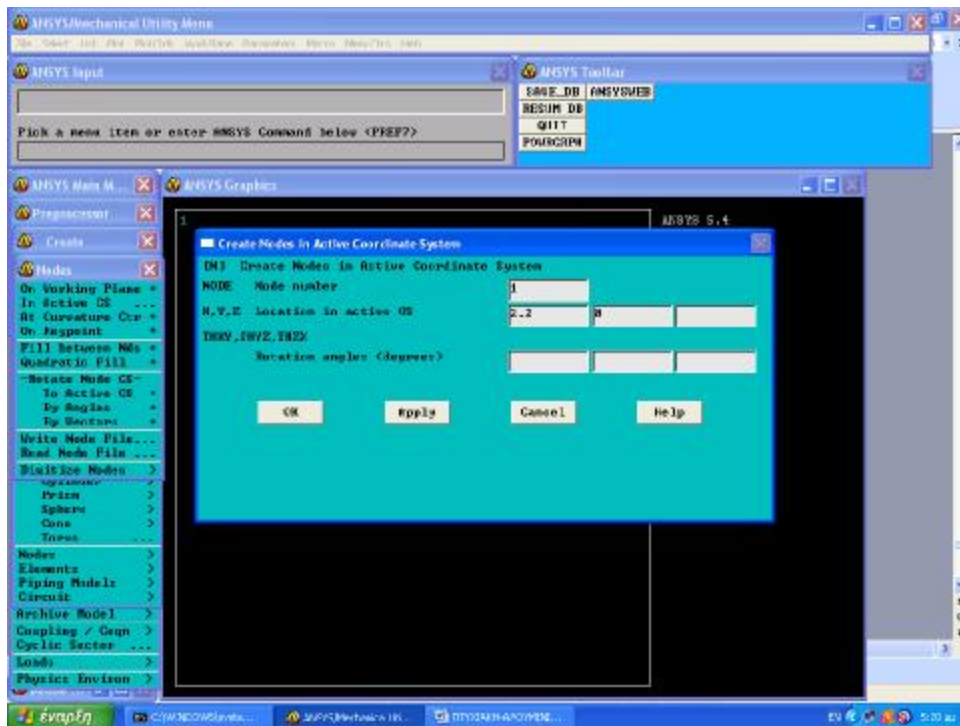


Εικόνα 27:Επιλογή διατομής - Ansys.



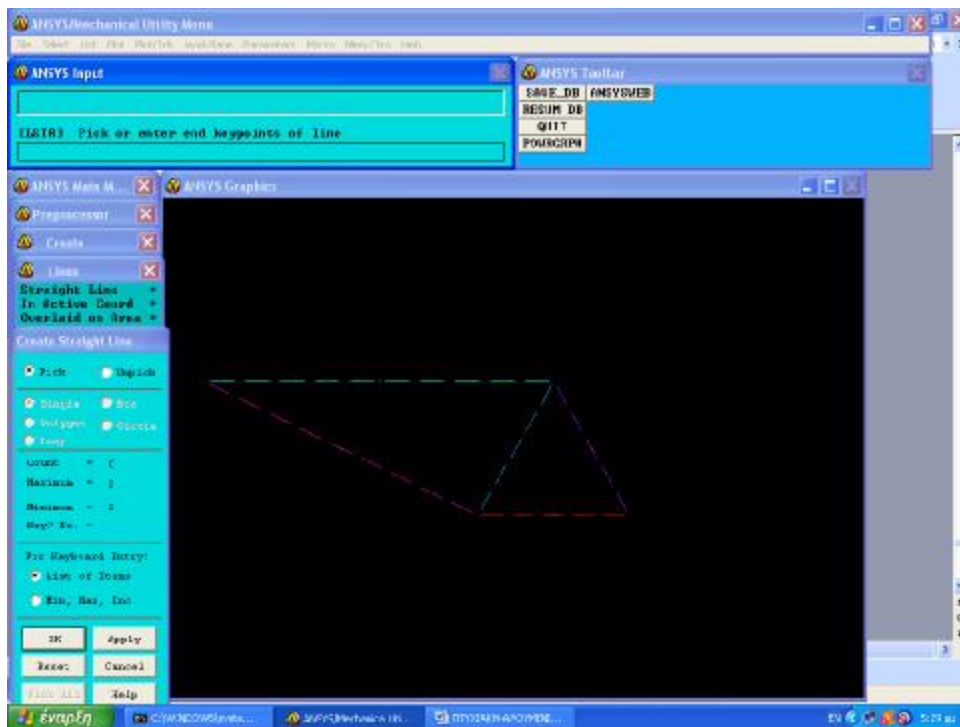
Εικόνα 28:Επιλογή διατομής - Ansys.

Βήμα 6<sup>ο</sup>: Ορίζουμε στο ANSYS σημεία κλειδιά (Keypoints) και έπειτα με την εντολή LINES σχεδιάζουμε το δικτύωμα.



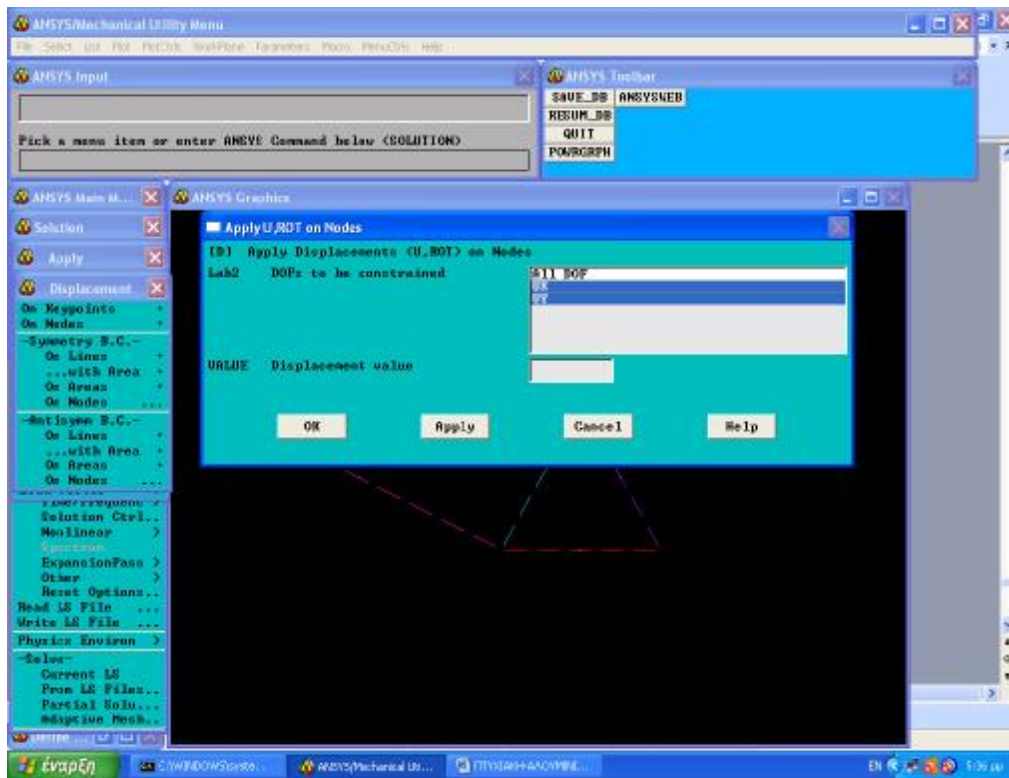
Εικόνα 29: Προεπεξεργαστής , εισαγωγή συντεταγμένων κόμβων -Ansys.

Βήμα 7<sup>ο</sup>: Χωρίζουμε το δικτύωμα σε πλέγμα πεπερασμένων σημείων.

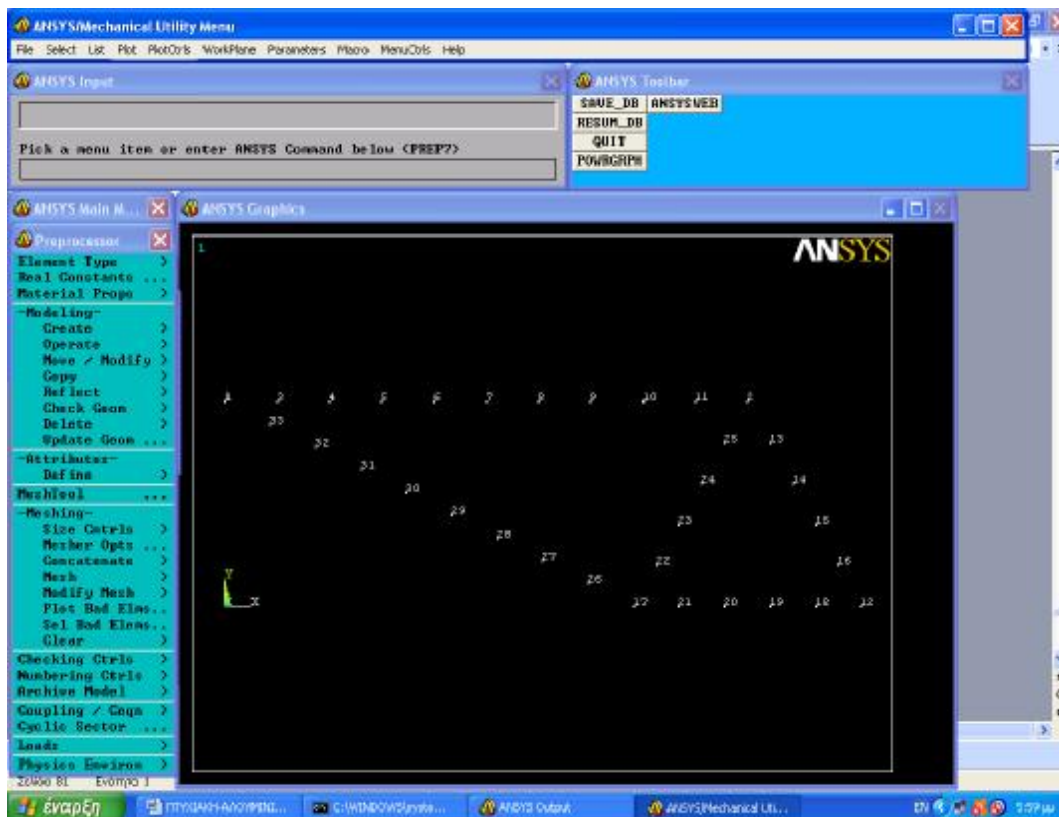


Εικόνα 30: Διαχωρισμός σε πεπερασμένα στοιχεία - Ansys.

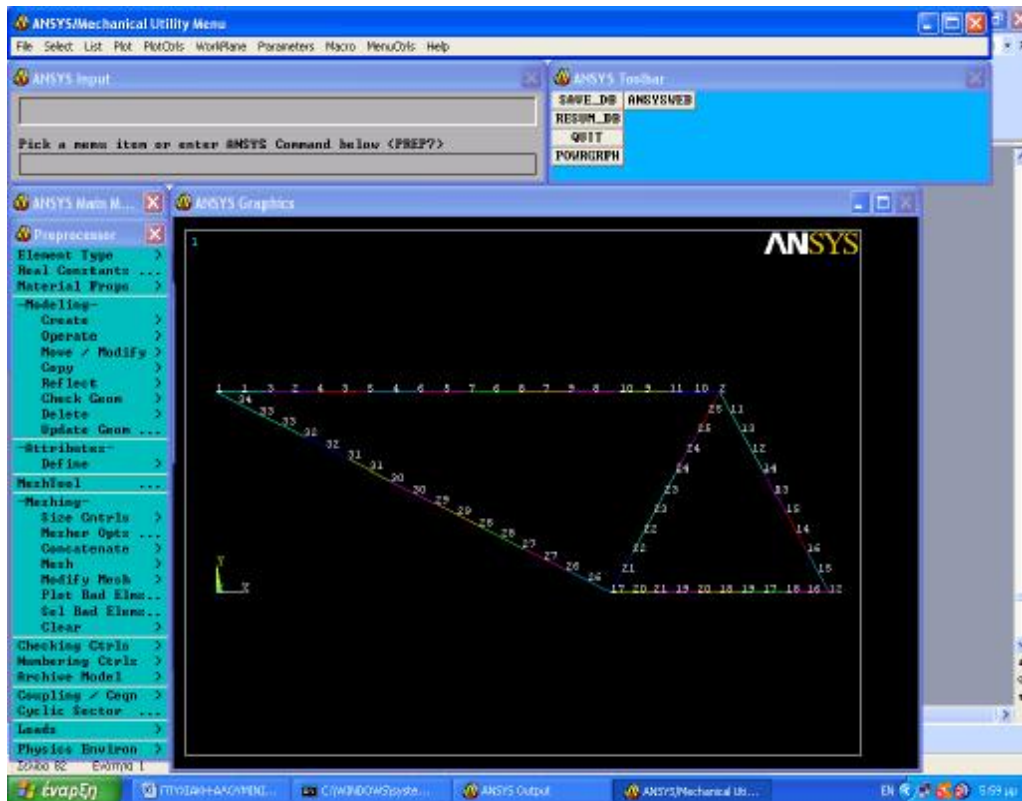
Βήμα 8<sup>ο</sup>: Εφαρμόζουμε τη φόρτιση στο ένα άκρο του συστήματος και τις οριακές συνθήκες.



Εικόνα 31:Εισαγωγή οριακών συνθηκών - Ansys.

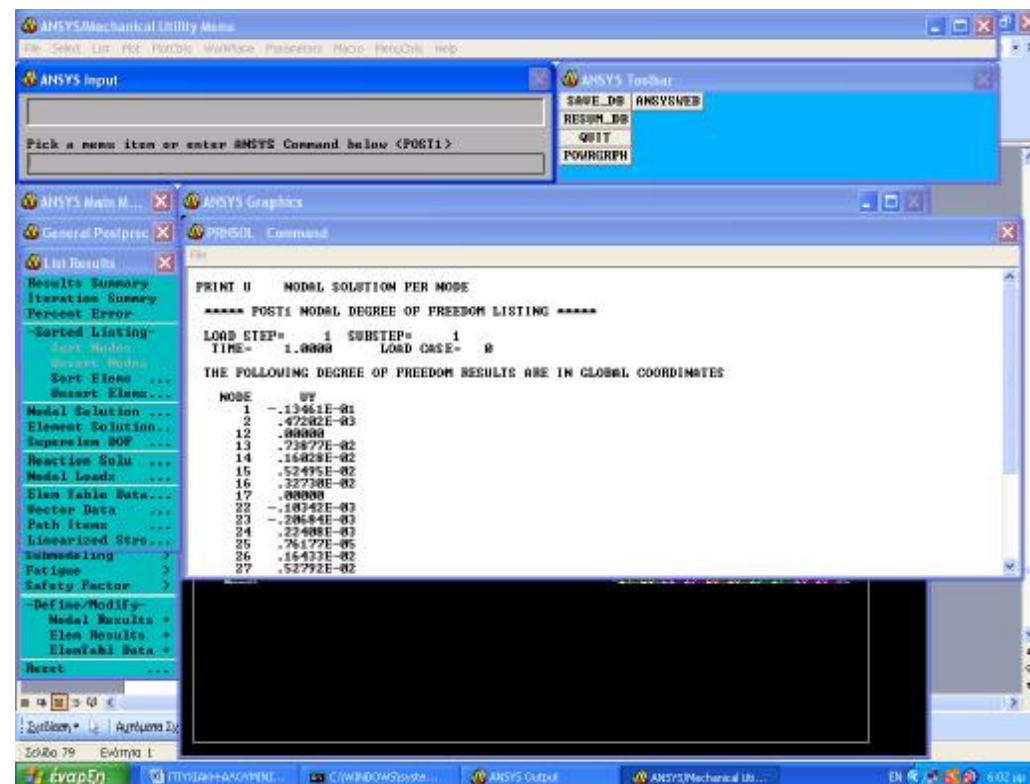


Εικόνα 32: Προβολή κόμβων - Ansys.



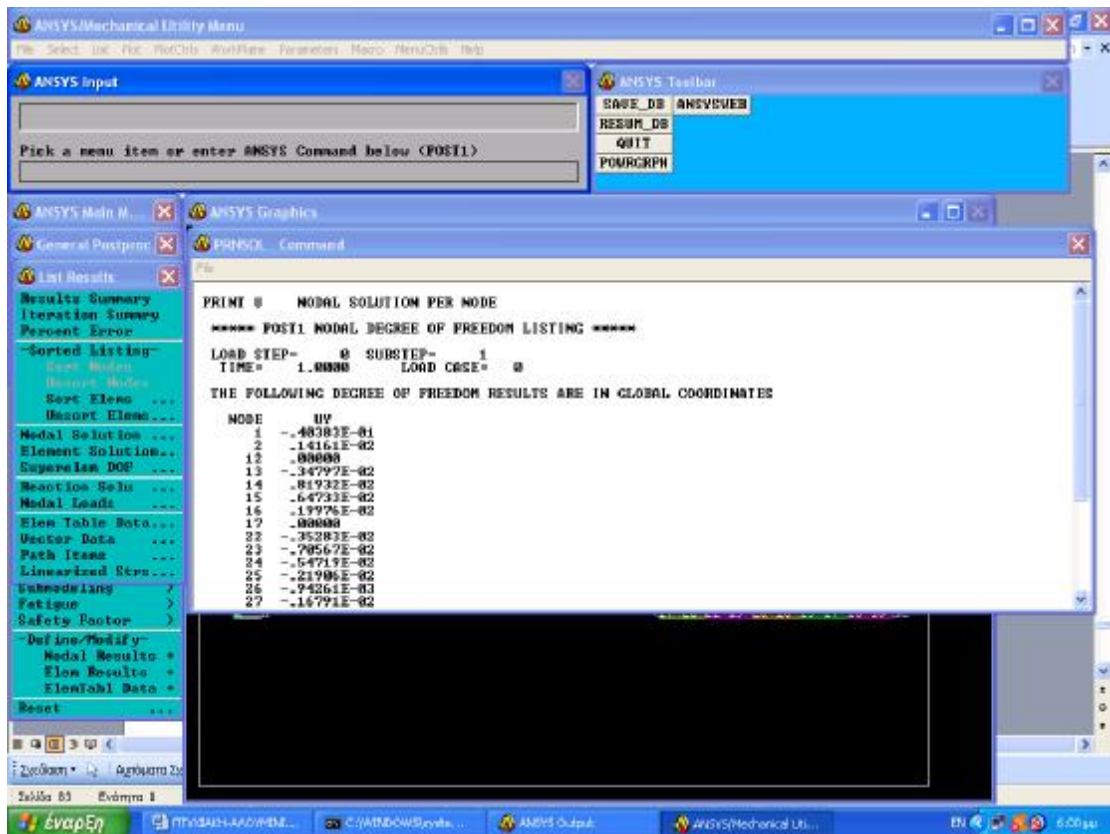
Εικόνα 33: Προβολή δικτύματος με πεπερασμένα στοιχεία (αρίθμηση κόμβων και στοιχείων) - Ansys .

Βήμα 9<sup>ο</sup> : Επιλύουμε το πρόβλημα με το ANSYS.Υπολογίζουμε αριθμητικά την κατακόρυφη μετατόπιση του άκρου όπου εφαρμόζεται το φορτίο



Εικόνα 34: Παραμορφώσεις σε όλους τους κόμβους (δικτύωμα από χάλυβα) - Ansys.

Βήμα 10<sup>ο</sup>:Αλλάζουμε το μέτρο ελαστικότητας για πλαίσιο αλουμινίου σε  $E_{AL}=70GPa$  και επιλύουμε ξανά το δικτύωμα.



Εικόνα 35: Παραμορφώσεις σε όλους τους κόμβους (δικτύωμα από αλουμίνιο) - Ansys.

Συνοψίζοντας :

1. Τρέξαμε το ANSYS για χαλύβδινο δικτύωμα και δικτύωμα από Αλουμίνιο.
2. Ο κάτωθι πίνακας δίδει τα τελικά αποτελέσματα

	Αναλυτική W (cm)	Αριθμητική W(cm)
Χάλυβας	-1.35 cm	-1,346 cm
Αλουμίνιο	-4,05	-4,038

Συμπέρασμα:  $E_{AL} = \frac{1}{3} E_{ΧΑΛ}$

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Χ. Κ. Μπανιωτόπουλος και Θ.Ν. Νικολαΐδης, Φέρουσες Κατασκευές Αλουμινίου, εκδ. Ζήτη 2016
- Δρ. Π. Α. Κακαβάς, Η Μέθοδος Των Πεπερασμένων Στοιχείων, 2013
- P. Ludwig, *Element der Technologischen Mechanik*, pp. 32–44. Springer, Berlin, 1909
- [http://www.politimigi.gr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2099:alouminio&catid](http://www.politimigi.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=2099:alouminio&catid)
- <https://oryktos.blogspot.com/2015/07/2014.html>
- [https://geologikathemata.blogspot.com/2013/06/blog-post\\_10.html](https://geologikathemata.blogspot.com/2013/06/blog-post_10.html)
- [http://195.134.76.37/chemicals/chem\\_Al2O3.htm](http://195.134.76.37/chemicals/chem_Al2O3.htm)
- <http://www.atem-oe.gr/alouminio-plirofories/>
- <http://www.orykta.gr/oryktes-protess-yles-tis-ellados/metalleytika-orykta/131-boxitis>
- <https://www.alunet.gr/category/to-alouminio>
- <http://www.aluminium.org.gr>
- <https://alouminia-koufomata.gr/>
- [http://www.cres.gr/assist/body\\_metal-eisag.htm](http://www.cres.gr/assist/body_metal-eisag.htm)
- <https://meteco.gr/metals/news/pos-ginetai-h-paragogh-alouminiou/>
- [https://alouminia-koufomata.gr/wp-content/uploads/2015/07/istoria\\_al4.jpg](https://alouminia-koufomata.gr/wp-content/uploads/2015/07/istoria_al4.jpg)
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%BB%CE%B9%CE%BF>
- <https://www.alumil.com/greece>
- <https://www.elval.com>
- <http://www.atem-oe.gr/alouminio-plirofories/idiotites-alouminiou/idiotites-paragogi-alouminiou.html>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Eurocode\\_9:\\_Design\\_of\\_aluminium\\_structures](https://en.wikipedia.org/wiki/Eurocode_9:_Design_of_aluminium_structures)
- <https://docplayer.gr/40598974-Eyroko-ikas-9-feroysses-kataskeyes-aloyuiniouy.html>
- [http://library.tce.gr/digital/m2464/m2464\\_ec9.pdf](http://library.tce.gr/digital/m2464/m2464_ec9.pdf)
- <http://users.ntua.gr/cprovat/yliko/Notes%20for%20ANSYS.pdf>

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Ansys>
- <https://www.ansys.com/About-ANSYS>
- <http://users.ntua.gr/cprovat/yliko/Notes%20for%20ANSYS.pdf>
- <https://www.ansys.com/solutions/solutions-by-industry/materials-and-chemical-processing/metal>



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- <https://www.alunet.gr/wp-content/uploads/2015/12/16-Alu-profiel-2-620x247.jpg>
- <https://www.ert.gr/wp-content/uploads/2016/01/%CE%BC%CE%B1%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%B9%CE%B1-%CE%B5%CE%BE%CE%BF%CF%81%CF%85%CE%BE%CE%B7-%CE%B5%CF%84%CE%BF%CE%B9%CE%BC%CE%B7.jpg>
- <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQLhClXHNr7Ublu4e-vUIDR9kFI0OQYLO38pNvekaAUNqsQelsz>
- <https://oryktos.blogspot.com/2015/07/2014.html>
- [https://3.bp.blogspot.com/-BRjB-i5rVP4/VZjaKmRDzII/AAAAAAAAANCQ/XxUzPgW\\_E8I/s1600/bvjjiths.jpg](https://3.bp.blogspot.com/-BRjB-i5rVP4/VZjaKmRDzII/AAAAAAAAANCQ/XxUzPgW_E8I/s1600/bvjjiths.jpg)
- [https://alouminia-koufomata.gr/wp-content/uploads/2015/07/istoria\\_al4.jpg](https://alouminia-koufomata.gr/wp-content/uploads/2015/07/istoria_al4.jpg)
- [http://www.cres.gr/assist/body\\_metal-eisag.htm](http://www.cres.gr/assist/body_metal-eisag.htm)
- <https://anakyklosianthess.gr/wp-content/uploads/2013/11/recycle-earth-11.gif>
- [https://www.spec-net.com.au/press/0909/images/lan020909\\_img02.jpg](https://www.spec-net.com.au/press/0909/images/lan020909_img02.jpg)
- <https://www.offshore-technology.com/wp-content/uploads/sites/6/2017/09/main-657-800x600.jpg>
- <https://alouminia-koufomata.gr/wp-content/uploads/2015/06/SUN-250-a.jpg>
- <http://greek.aluminiumconductorcable.com/sale-10831734-high-strength-xlpe-aluminium-conductor-cable-for-overhead-power-distribution.html>
- [https://www.epiplonet.com/wp-content/uploads/cm/46/set\\_metalliko\\_kafe7.jpg?fbclid=IwAR1XbBvBcixkdz3G3gS3dI8LrEyL7049QE3LFxctUDyzbGMN3zwneZVfYoA](https://www.epiplonet.com/wp-content/uploads/cm/46/set_metalliko_kafe7.jpg?fbclid=IwAR1XbBvBcixkdz3G3gS3dI8LrEyL7049QE3LFxctUDyzbGMN3zwneZVfYoA)
- <https://www.caroto.gr/static/media/2014/06/alumium-space-frame-mercedes-cls-2010.jpg>
- [https://www.emedi.gr/media/k2/items/cache/51bfc9a1b080d1f314d0d70e4d86c1a1\\_M.jpg](https://www.emedi.gr/media/k2/items/cache/51bfc9a1b080d1f314d0d70e4d86c1a1_M.jpg)
- <https://steemit.com/life/@digitalfortress/breathing-aluminium>
- [https://aqtr.com/sites/default/files/styles/image\\_principale/public/thumbnails/image/photo\\_1-\\_vue\\_generale\\_de\\_la\\_rive\\_nord\\_du\\_cote\\_amont.jpg?itok=\\_f790rug](https://aqtr.com/sites/default/files/styles/image_principale/public/thumbnails/image/photo_1-_vue_generale_de_la_rive_nord_du_cote_amont.jpg?itok=_f790rug)
- <https://docplayer.gr/docs-images/57/40598974/images/2-0.jpg>

- <https://i.pining.com/originals/75/b6/02/75b60217ac06a1e7066cd827e8a6a4e7.jpg>
- <https://docplayer.gr/docs-images/57/40598974/images/3-0.jpg>
- <http://gr.chinaheshunalu.com/uploads/201710667/p201703301339322284397.jpg>