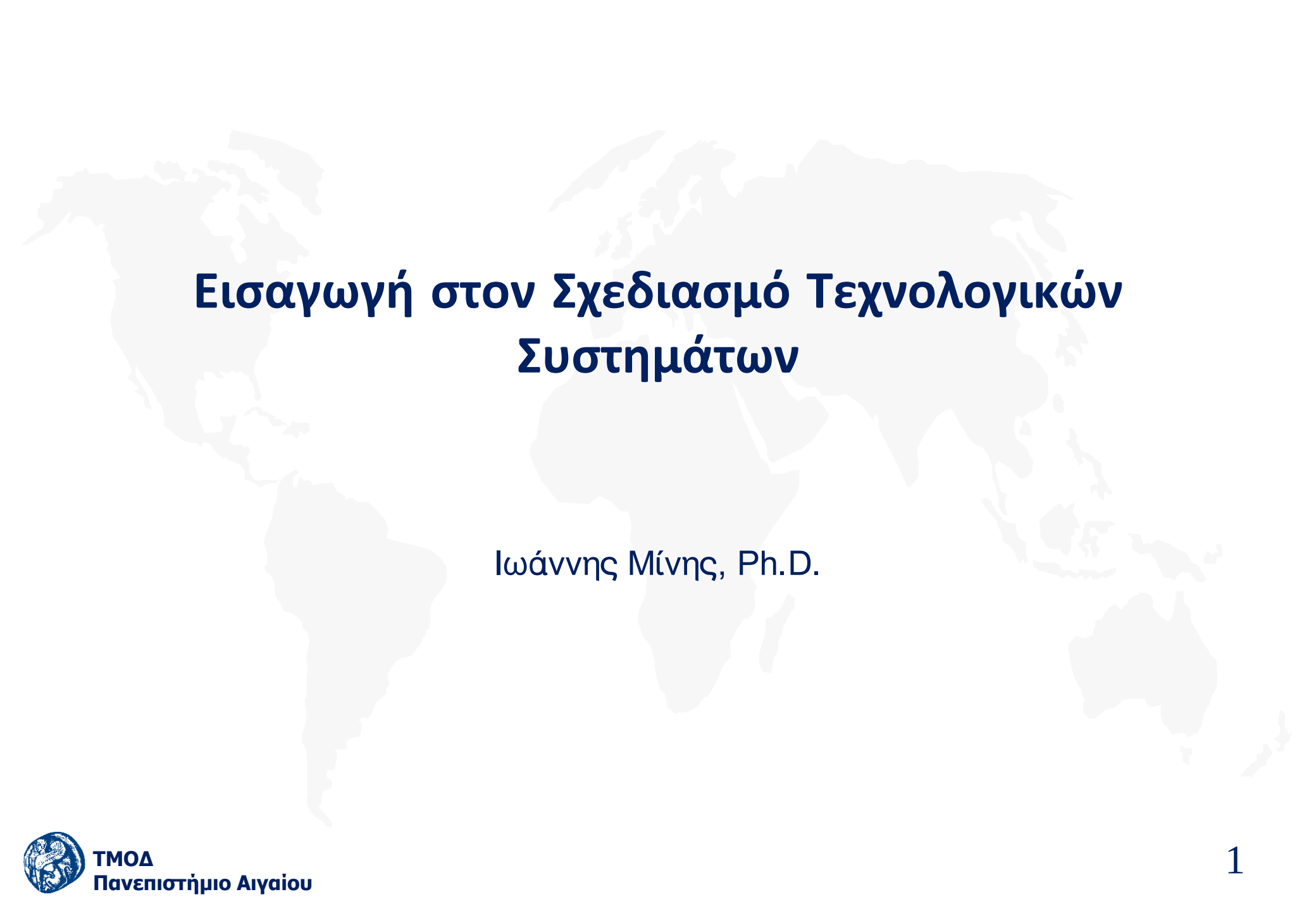




Εισαγωγή στον Σχεδιασμό Τεχνολογικών Συστημάτων

Ιωάννης Μίνης, Ph.D.



1. Σχεδιασμός και Παραγωγή στον 21^ο Αιώνα

- ◆ Ορισμοί: Τι είναι Σχεδιασμός. Τι είναι Παραγωγή
- ◆ Σύγχρονες Τάσεις στη Βιομηχανία
- ◆ Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη Προϊόντων



1.1 Ορισμοί: Σχεδιασμός Προϊόντων

Σχεδιασμός είναι η διαδικασία μετασχηματισμού των πληροφοριών που χαρακτηρίζουν τις ανάγκες και απαιτήσεις για ένα προϊόν στη φυσική αναπαράσταση του προϊόντος και γνώση για τις κατεργασίες παραγωγής του.

Ο σχεδιασμός είναι μία δυναμική και εξελισσόμενη διαδικασία και περιλαμβάνει τέσσερις φάσεις:

- **Ορισμός του προβλήματος** - απο ένα ασαφές σύνολο στοιχείων και εικασιών σε μία σαφή περιγραφή του προβλήματος.
- **Δημιουργική διαδικασία** - εύρεση εναλλακτικών φυσικών λύσεων. Αυτή η φάση είναι ιδιαίτερα υποκειμενική και βασίζεται στην ίδια γνώση του σχεδιαστή.
- **Αναλυτική διαδικασία** - εκτίμηση της ορθότητας προτεινόμενης λύσης. Προσφέρει τα μέσα εκτίμησης “καλών” και “κακών” σχεδιαστικών λύσεων.
- **Τελειωτικός έλεγχος** - πιστότητα του προτεινόμενου προϊόντος στις αρχικές ανάγκες.

1.1 Ορισμοί: Παραγωγή

Παραγωγή είναι η αλληλουχία συνδεόμενων ενεργειών και διαδικασιών που περιλαμβάνει

- σχεδιασμό των παραγωγικών κατεργασιών,
 - εκλογή των υλικών
 - προγραμματισμό της διαδικασίας παραγωγής
 - τη διαδικασία της παραγωγής
 - εξασφάλιση ποιότητας.
-
- ◆ Η διαδικασία παραγωγής περιλαμβάνει τον σχεδιασμό, διοίκηση και έλεγχο του συστήματος παραγωγής.
 - ◆ Η πληροφορική και οι επικοινωνίες παίζουν σημαντικό ρόλο στην διαδικασία αυτή.



1.2 Σύγχρονες Τάσεις στη Βιομηχανία

Δεκαετία	Ανταγωνιστικό Πλεονέκτημα	Στρατηγική
1960	Κόστος	• Μαζική Παραγωγή • Ελαχιστοποίηση κόστους • Σταθερότητα
1970	Αγορά	• Ανάδρασης αγοράς
1980	Ποιότητα	• Έλεγχος διαδικασιών • Ταχύτητα παραγωγής • Μείωση έμμεσου κόστους
2000	Χρόνος	• Ευελιξία • Νέοι τρόποι οργάνωσης • Μετρήσεις απόδοσης
2010	Αειφορία Βιωσιμότητα	• Οικονομική διάσταση • Περιβαλλοντική διάσταση • Κοινωνική διάσταση



1.2 Σύγχρονες Τάσεις στη Βιομηχανία

Κίνηση από

- ◆ Εγχώρια παραγωγή
- ◆ Άμεσα αποτελέσματα
- ◆ Συγκεντρωτική διοίκηση
- ◆ Μερίδιο αγοράς
- ◆ Έλεγχος ποιότητας
- ◆ Τυποποιημένα προϊόντα
- ◆ Μαζική παραγωγή

Πρός

- ◆ Παγκόσμια παραγωγή
- ◆ Μακροχρόνια ανάπτυξη
- ◆ Ενδυνάμωση προσωπικού
- ◆ Εξυπηρέτηση αγοράς
- ◆ Εξασφάλιση ποιότητας
- ◆ Εξατομικευμένα προϊόντα
- ◆ Μαζική εξατομίκευση



1.2 Σύγχρονες Τάσεις στη Βιομηχανία

Κίνηση από

- ◆ Χρήση του εξοπλισμού
- ◆ Παραγωγή για απόθεμα
- ◆ Παραγωγή μεγάλων παρτίδων
- ◆ Κάθετη ολοκλήρωση
- ◆ Όμιλοι
- ◆ Μόλυνση

Πρός

- ◆ Ικανοποίηση του πελάτη
- ◆ Παραγωγή κατά παραγγελία
- ◆ Παραγωγή μικρών παρτίδων
- ◆ Οριζόντια ολοκλήρωση
- ◆ Συμμαχίες
- ◆ Πρόληψη



1.2 Σύγχρονες Τάσεις στη Βιομηχανία

Για την επιτυχή αντιμετώπιση του ανταγωνισμού απαιτούνται

- ◆ **Ταχύτητα.** Η ικανότητα ταχείας ανταπόκρισης στις απαιτήσεις του πελάτη και της αγοράς, και η ταχεία συγχώνευση νέων ιδεών και τεχνολογίας στα προϊόντα.
- ◆ **Σταθερότητα.** Η ικανότητα παραγωγής προϊόντων τα οποία πάντοτε ικανοποιούν τις προσδοκίες του πελάτη.
- ◆ **Διορατικότητα.** Η ικανότητα πλήρους κατανόησης του ανταγωνιστικού περιβάλλοντος, και η πρόβλεψη των αναγκών του πελάτη.
- ◆ **Ευελιξία.** Η ικανότητα ταυτόχρονης προσαρμογής σε διαφορετικές επιχειρησιακές πραγματικότητες.
- ◆ **Πρωτοτυπία.** Η ικανότητα γένεσης νέων ιδεών και συνδυασμού υπαρχόντων στοιχείων για τη δημιουργία νέων πηγών αξίας.



1.2 Σύγχρονες Τάσεις στη Βιομηχανία

- ◆ Διανύουμε εποχή πρωτοφανών προκλήσεων προς την βιομηχανική επιχείρηση που απαιτεί τον συντονισμένο μετασχηματισμό του ολικού συστήματος παραγωγής.
- ◆ Κύρια συνιστώσα του συστήματος αποτελεί ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός προϊόντων με στόχους
 - άριστη απόδοση του προϊόντος,
 - μείωση του κόστους,
 - μείωση της διάρκειας του κύκλου παραγωγής,
 - εξασφάλιση της ποιότητας, και
 - επιδίωξη της βιωσιμότητας



1.3 Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη Προϊόντων

◆ Βασικές αρχές

- Παγείωση 85% του κόστους στο 10% του χρόνου ανάπτυξης και παραγωγής
- Δεκαπλασιασμός του κόστους σχεδιαστικών αλλαγών από φάση σε φάση ανάπτυξης και παραγωγής

◆ Απαιτούνται

- Πολύπλευρη ομάδα σχεδιασμού και ανάπτυξης
- Συστηματική ενσωμάτωση της φωνής του πελάτη: QFD
- Πολύπλευρη εκτίμηση: Απόδοση, αντοχή, κόστος, χρόνος προς την αγορά, ποιότητα, κατεργασιμότητα, συναρμολογησιμότητα, επισκευασιμότητα, ...-ότητα
- Βελτιστοποίηση βάσει πολλαπλών κριτηρίων



1.3 Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη Προϊόντων



1.3 Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη Προϊόντων

- ◆ Τυπικά θέματα που καλείται να επιλύσει η ομάδα σχεδιασμού προϊόντων και αναπτυξιακής διαδικασίας (IP²D² - Integrated Product & Process Design and Development) είναι:

Θα δουλέψει το προϊόν;

Θα πουλήσει το προϊόν;

Θα είναι επικερδές το προϊόν;

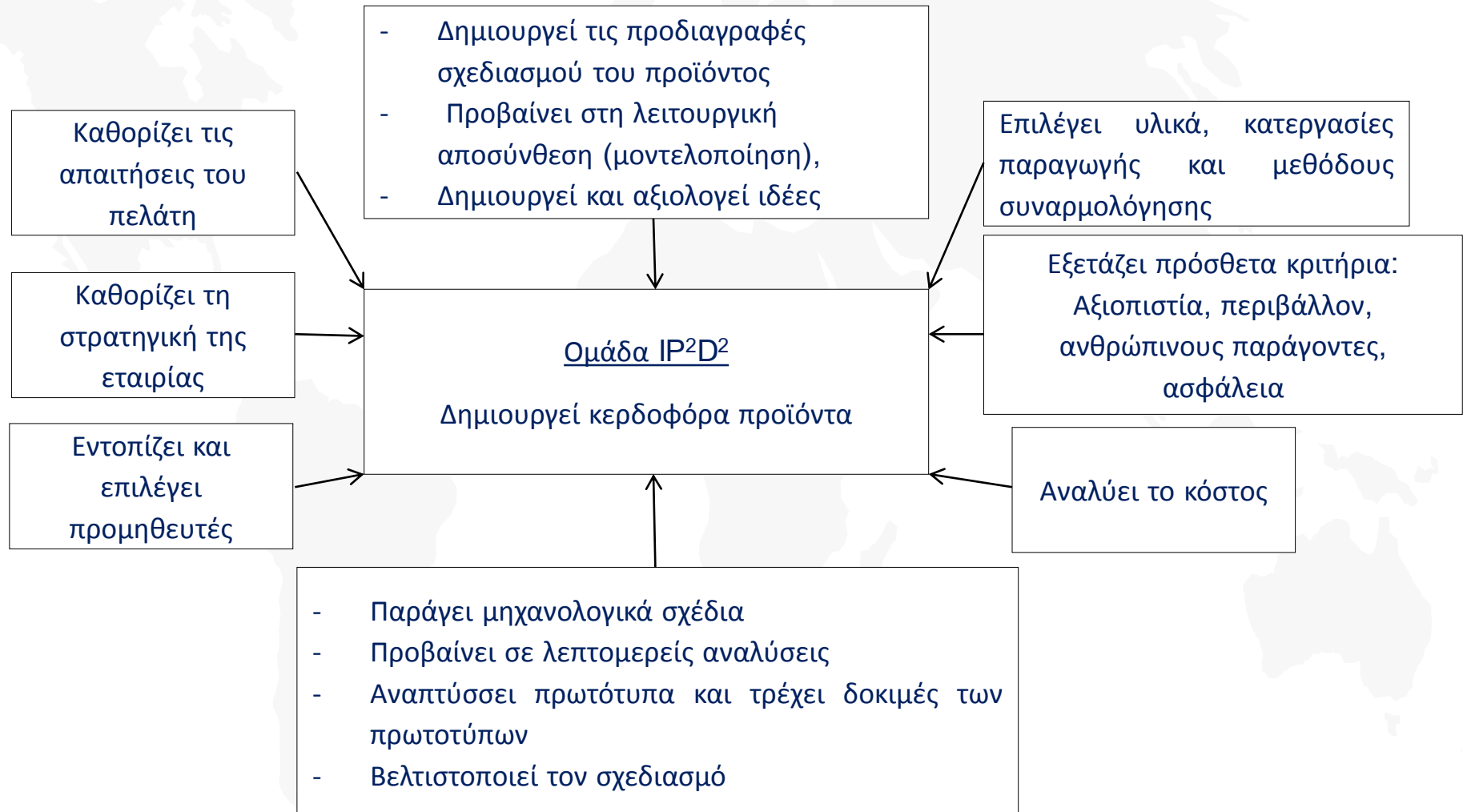
Θά είναι εύκολο να κατασκευασθεί το προϊόν;

Είναι εύκολο να επισκευασθεί το προϊόν;



1.3 Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη Προϊόντων

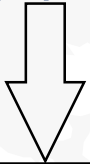
Σημαντικά καθήκοντα της ομάδας Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού Προϊόντων & Αναπτυξιακής Διαδικασίας



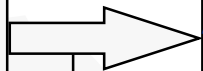
1.3 Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη Προϊόντων

◆ Βασικά Βήματα

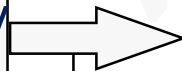
Προδιαγραφές
Έρευνα αγοράς



Σχεδιασμός
Προϊόντος



Ανάπτυξη Παραγωγικών
Διαδικασιών



Παραγωγή



Κόστος
Χρόνος
Ποιότητα

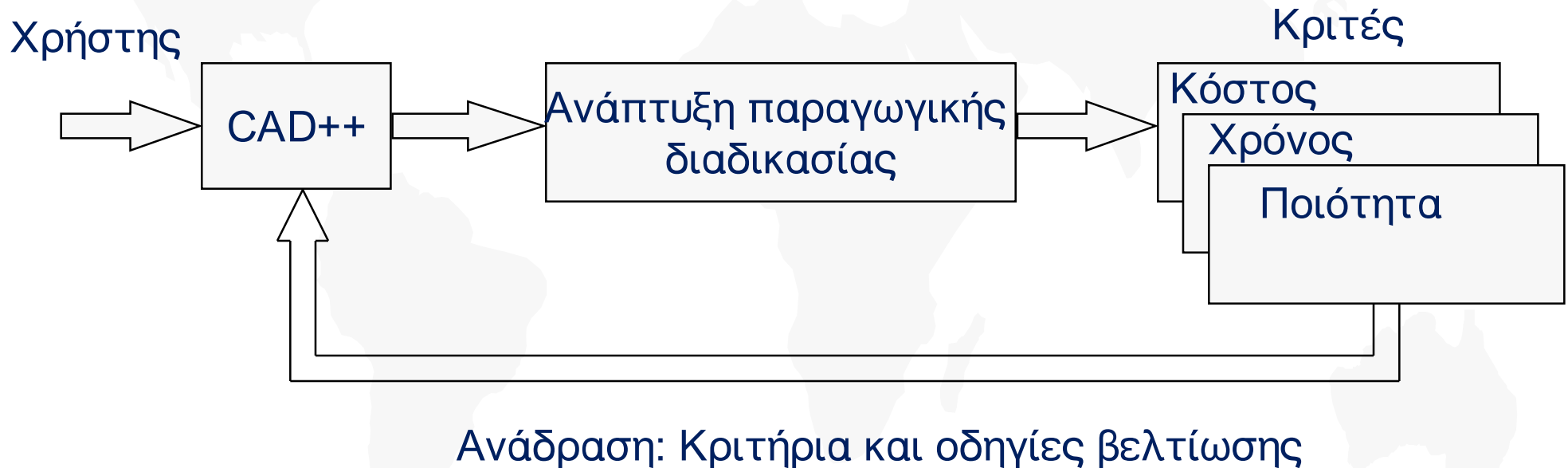
Σχέδια
Ιδεατά προτότυπα
Απόδοση
Αντοχή

Συνθήκες Κατεργασιών
Φασεολόγια
Ιδιοσκευές
Κατασκευασιμότητα
Σύστημα Παραγωγής
Πρόγραμμα Παραγωγής



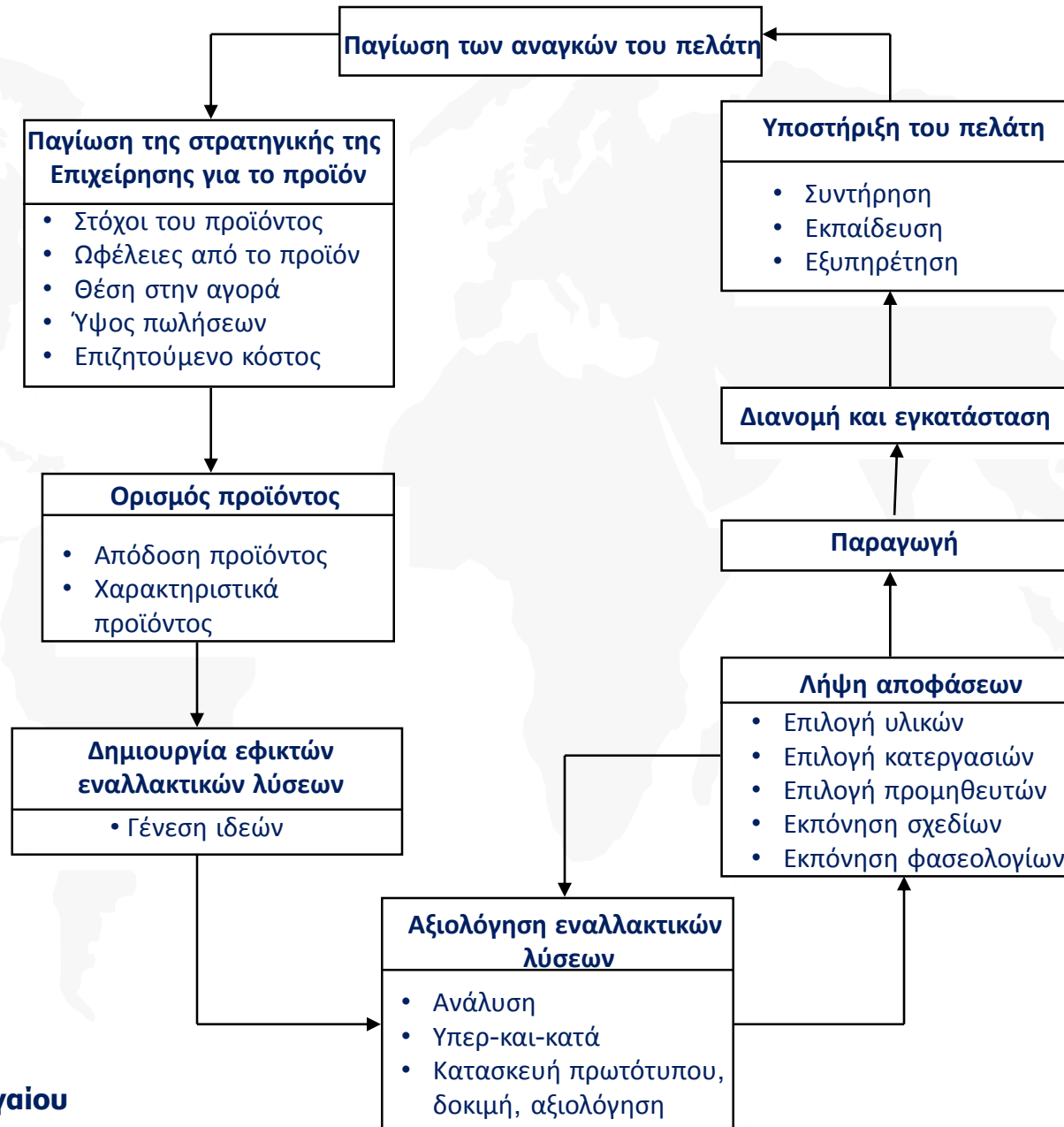
1.3 Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη Προϊόντων

- ◆ Ολοκληρωμένος σχεδιασμός προϊόντων με τη βοήθεια υπολογιστή



1.3 Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη Προϊόντων

1/3



1.3 Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη Προϊόντων

2/3

Παγίωση των αναγκών του πελάτη

Παγίωση της στρατηγικής της επιχείρησης για το προϊόν

- Στόχοι του προϊόντος
- Ωφέλειες από το προϊόν
- Θέση στην αγορά
- Ύψος πωλήσεων
- Επιζητούμενο κόστος

Ορισμός προϊόντος

- Απόδοση προϊόντος
- Χαρακτηριστικά προϊόντος

Δημιουργία εφικτών
εναλλακτικών λύσεων

- Γένεση ιδεών

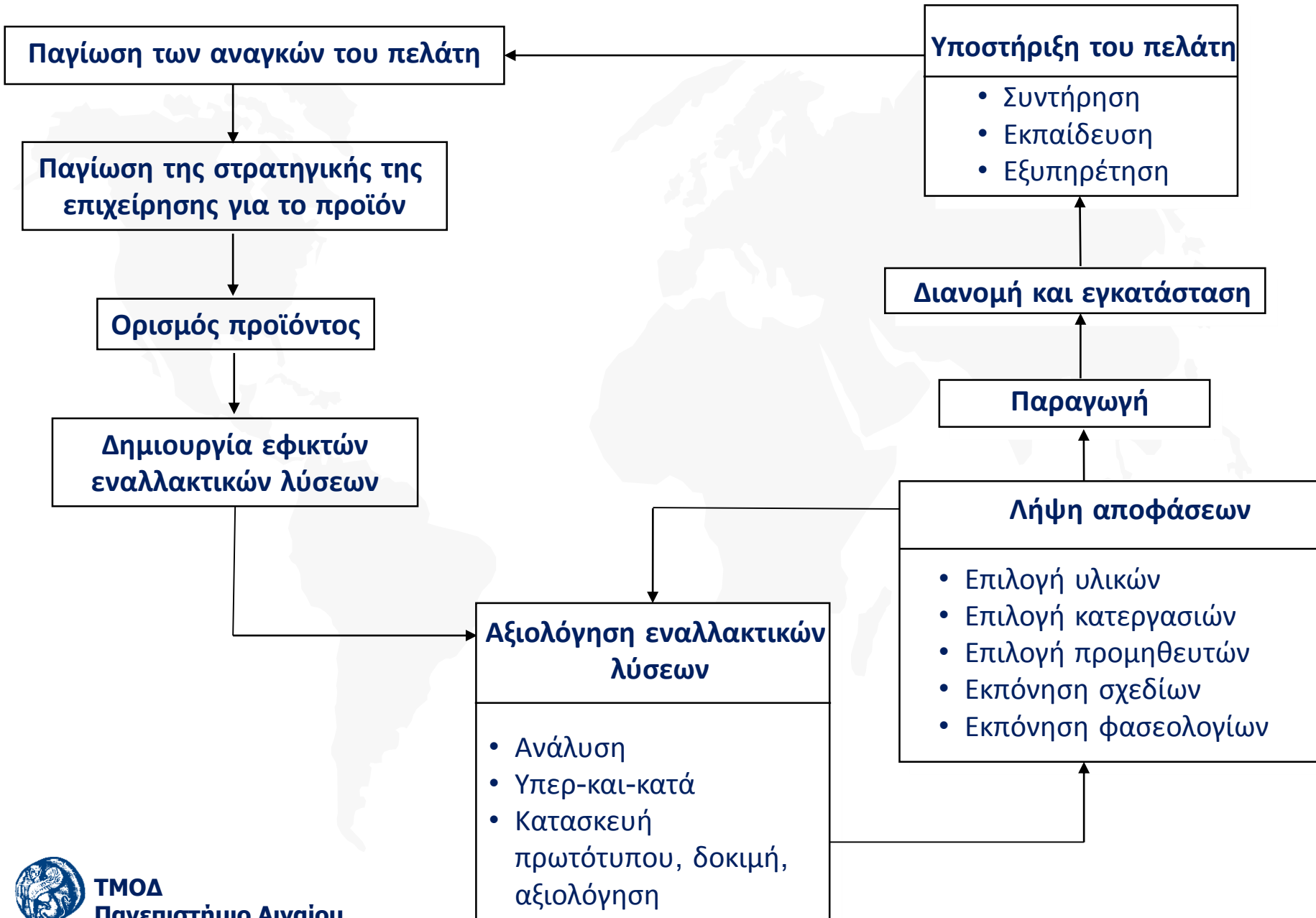
Αξιολόγηση εναλλακτικών
λύσεων

- Ανάλυση
- Υπερ-και-κατά
- Κατασκευή
πρωτότυπου, δοκιμή,
αξιολόγηση



1.3 Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη Προϊόντων

3/3



2. Μεταφράζοντας τη Φωνή του Πελάτη σε Προϊόν

- ◆ Η Φωνή του Πελάτη
- ◆ Λειτουργικές Απαιτήσεις Προϊόντος
- ◆ Ανάπτυξη Τεχνικών Χαρακτηριστικών του Προϊόντος

2.1 Η Φωνή του Πελάτη

Χαρακτηριστικά προϊόντων που επηρεάζουν την επιλογή του πελάτη:

- ◆ Κόστος: Έχω την δυνατότητα να το αγοράσω;
- ◆ Διαθεσιμότητα: Είναι διαθέσιμο;
 - Ο ρόλος της Παραγωγής
- ◆ Εμφάνιση: Είναι όμορφο;
- ◆ Απόδοση: Μπορεί να κάνει ότι απαιτώ;
- ◆ Ευχρηστία: Γνωρίζω πως να το χειριστώ;
- ◆ Φήμη: Είναι αξιόπιστο;
- ◆ Κόστος κύκλου ζωής: Κοστίζει πολύ να το συντηρήσω;
- ◆ Κοινωνική αποδοχή: Ποιά είναι η γνώμη των άλλων για το προϊόν;



2.1 Η Φωνή του Πελάτη

◆ Υπάρχουσες πληροφορίες

1. Έγγραφα της εταιρείας επί των πωλήσεων
2. Παράπονα, γραπτά ή προφορικά
3. Δεδομένα σχετικά με την εγγύηση
4. Δημοσιεύματα



2.1 Η Φωνή του Πελάτη

◆ Νέες πληροφορίες

5. Δημοσκοπήσεις

6. Συνεντεύξεις

- Που και πως χειρίζεστε το υφιστάμενο προϊόν;
- Τι σας αρέσει από το υφιστάμενο προϊόν;
- Τι δε σας αρέσει από το υφιστάμενο προϊόν;
- Τι θα αλλάζατε από το υφιστάμενο προϊόν;

7. Ομάδες εστίασης

8. Επαφές και παρατηρήσεις κατά την χρήση

9. Εκθέσεις



2.1 Η Φωνή του Πελάτη

◆ Χρήσιμη ομαδοποίηση των απαιτήσεων του πελάτη

- Απόδοση (σε σχέση με βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά)
- Επιπλέον χαρακτηριστικά (extras)
- Πιστότητα
- Συμμόρφωση στις απαιτήσεις του πελάτη
- Ανθεκτικότητα (ζωή προϊόντος)
- Ευκολία συντήρησης
- Αισθητική (και εργονομία)
- Φήμη και παράδοση ποιότητας



2.2 Λειτουργικές Απαιτήσεις Προϊόντος

- ◆ Ένα πρόβλημα σχεδιασμού υποδιαιρείται σε υπο-προβλήματα μέσω της αποσύνθεσης: Διαίρεση ενός συστήματος σε μικρότερα, αυτοδύναμα λειτουργικά στοιχεία
- ◆ Λειτουργικές Απαιτήσεις: Το ελάχιστο σύνολο ανεξάρτητων απαιτήσεων που χαρακτηρίζουν τους στόχους του σχεδιασμού
- ◆ Παράδειγμα: Βρύση μπάνιου (ροή και θερμοκρασία νερού)

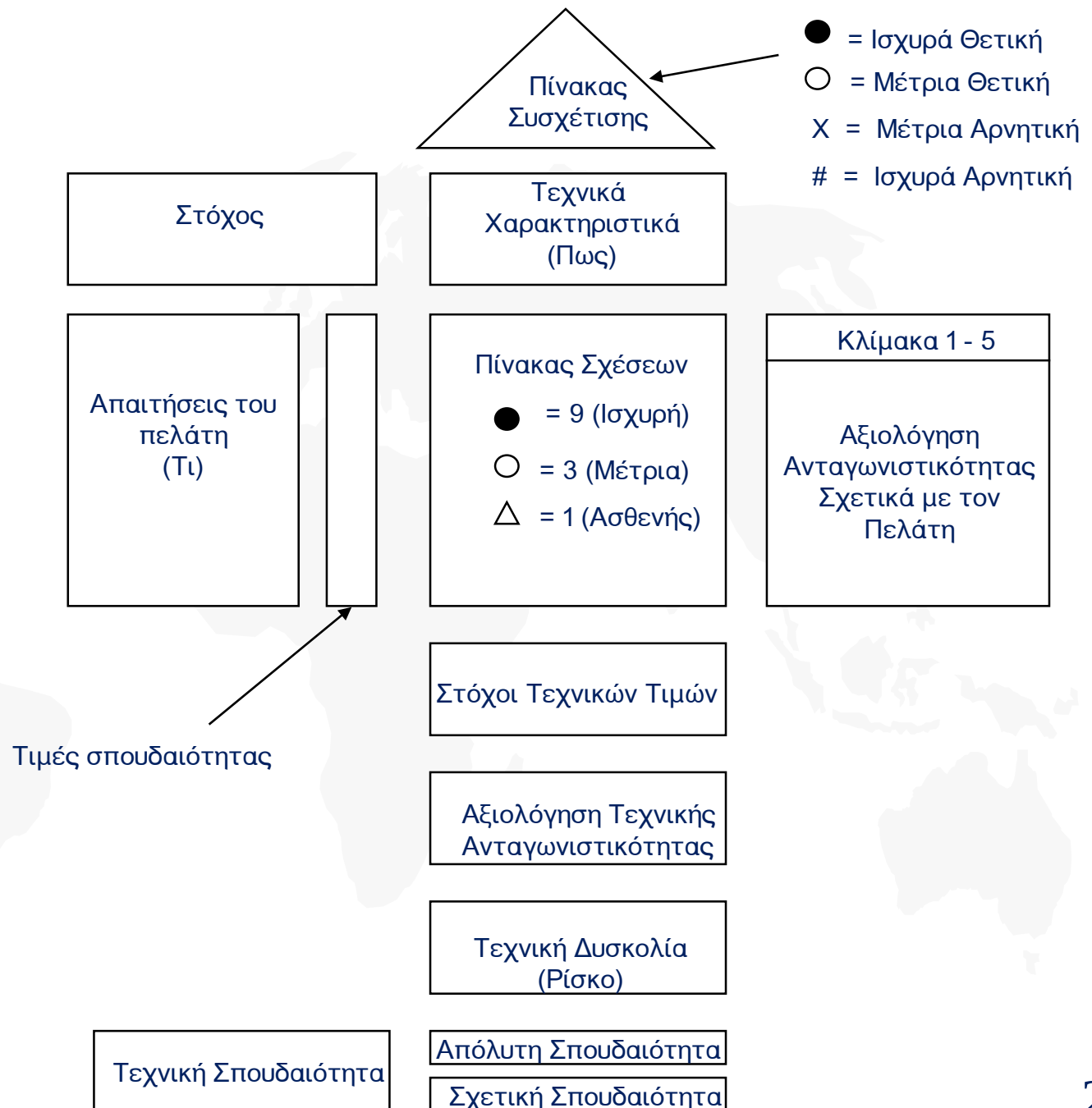
Μεταφράζοντας την φωνή του πελάτη σε τεχνικά χαρακτηριστικά

- ◆ Μέθοδος: Ανάπτυξη Ποιοτικής Λειτουργίας (Quality Function Deployment-QFD)
- ◆ Απαντά στα εξής ερωτήματα
 1. Τί θέλει ο πελάτης (χρήστης, έμπορος, κανονισμοί - CRs);
 2. Είναι όλες οι επιθυμίες του πελάτη ισοδύναμες;
 3. Η ικανοποίηση των θεωρούμενων απαιτήσεων του πελάτη αποδίδει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα;
 4. Πως μπορούμε να διαρθρώσουμε το προϊόν (Τεχνικά Χαρακτηριστικά – Engineering Characteristics-ECs);
 5. Πόσο επηρεάζουν οι τεχνικές λύσεις τις απαιτήσεις του πελάτη (Σύνδεση CRs με ECs);
 6. Πόσο μία τεχνική αλλαγή επηρεάζει άλλα χαρακτηριστικά του προϊόντος;



Η Σχέση μεταξύ

- Χαρακτηριστικών του Πελάτη
- Τεχνικών Χαρακτηριστικών



Ανάπτυξη Ποιοτικής Λειτουργίας- Quality Function Development

Quality Function Deployment Ανάπτυξη Ποιοτικής Λειτουργίας

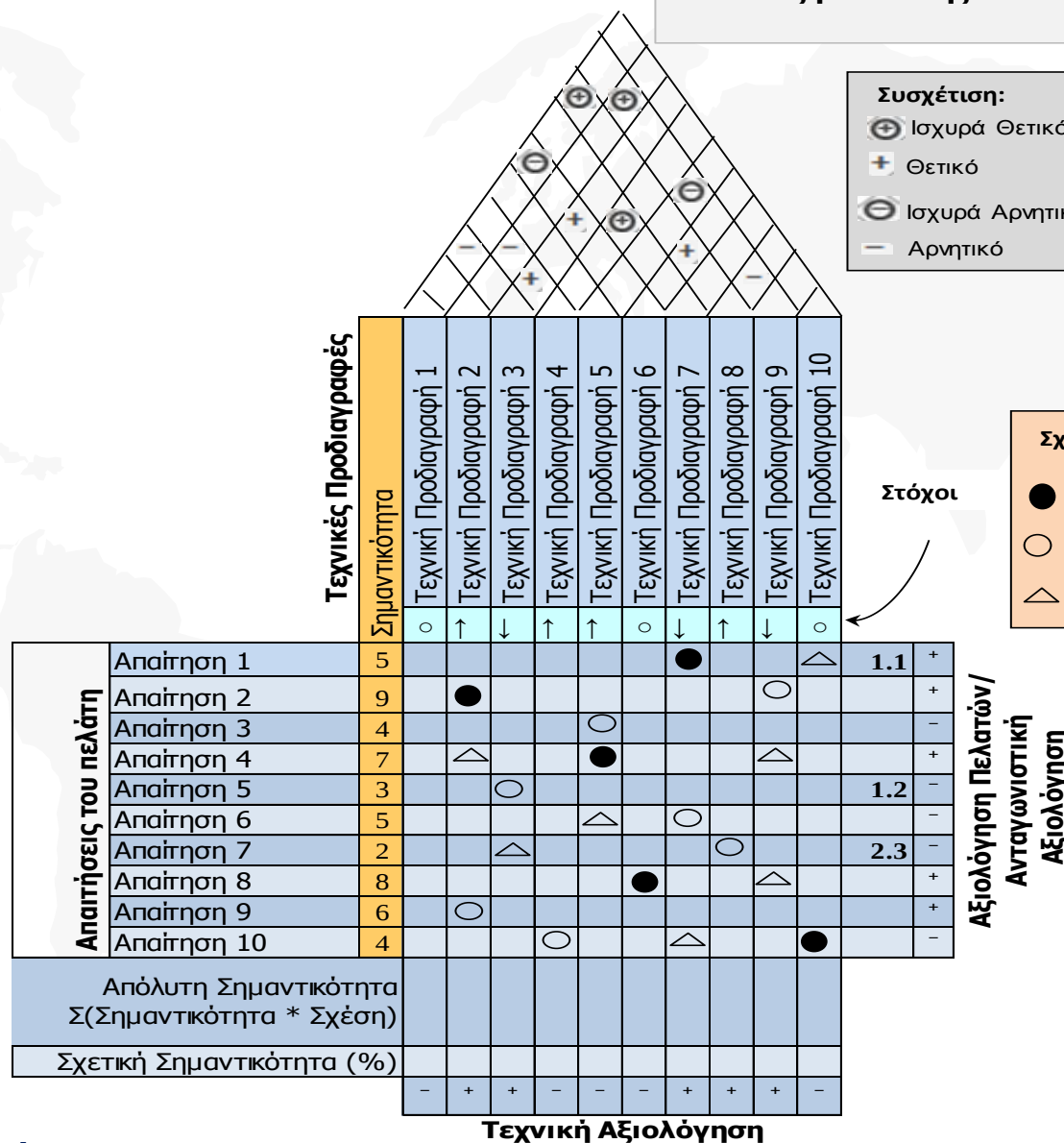
Συσχέτιση:

- ⊕ Ισχυρά Θετικό
- + Θετικό
- ⊖ Ισχυρά Αρνητικό
- Αρνητικό

Σχέση

- = 9 (Ισχυρή)
- = 3 (Μέτρια)
- △ = 1 (Ασθενής)

Στόχοι



Παράδειγμα: Σακίδιο Ορειβασίας



Απαιτήσεις του Πελάτη (What)		Τεχνικά Χαρακτηριστικά (How)										☐ Η εταιρεία μας <input type="triangle-up"/> Εταιρεία Α <input type="circle"/> Εταιρεία Β				
		Σημαντικότητα των πελατών	Σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα	Βάρος των μάντων	Αντοχή του υφάσματος	Εύρος Χρωμάτων	Εύρος Μεγεθών	Πάχος επένδυσης	No. Κουμπωμάτων (πόρτης)	No. Εξοπλισμός βρόχων						
Διευκολύνει την απόλαυση της αναρρίχησης	Ευχρηστία	Εύκολο να το βάλεις														
		Άνετο κατά την αναρρίχηση														
		Να ταιριάζει με διαφορετικά ρούχα														
		Εύκολος - προσβάσιμος τρόπος του εξοπλισμού των βρόχων														
	Απόδοση	Δεν περιορίζει την κίνηση														
		Ελαφρύ														
		Ασφαλές														
		Ελκυστικό														



Παράδειγμα: Σακίδιο Ορειβασίας

Τεχνικά Χαρακτηριστικά (How)			Σημαντικότητα των πελατών	Σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα	Βάρος των ιμάντων	Αντοχή του υφάσματος	Εύρος Χρωμάτων	Εύρος Μεγεθών	Πάχος επένδυσης	No. Κουμπωμάτων (πόρτης)	No. Εξοπλισμός βρόχων	Απαιτήσεις του Πελάτη (What)						
												1	2	3	4	5		
Διευκολύνει την απόλαυση της αναρρίχησης	Ευχρηστία	Εύκολο να το βάλεις	2															
		Άνετο κατά την αναρρίχηση	5															
		Να ταιριάζει με διαφορετικά ρούχα	1															
		Εύκολος - προσβάσιμος τρόπος του εξοπλισμού των βρόχων	3															
	Απόδοση	Δεν περιορίζει την κίνηση	5															
		Ελαφρύ	3															
		Ασφαλές	5															
		Ελκυστικό	2															



Παράδειγμα: Σακίδιο Ορειβασίας

Τεχνικά Χαρακτηριστικά (How)			Απαιτήσεις του Πελάτη (What)													
			Σημαντικότητα των πελατών	Σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα	Βάρος των ιμάντων	Αντοχή του υφάσματος	Εύρος Χρωμάτων	Εύρος Μεγεθών	Πάχος επένδυσης	No. Κουμπωμάτων (πόρτης)	No. Εξοπλισμός βρόχων	1	2	3	4	5
Διευκολύνει την απόλαυση της αναρρίχησης	Ευχρηστία	Εύκολο να το βάλεις	2					○		●			□		△	○
		Άνετο κατά την αναρρίχηση	5					○	●	○			△		□	
		Να ταιριάζει με διαφορετικά ρούχα	1					○	○	●			○	△		□
		Εύκολος - προσβάσιμος τρόπος του εξοπλισμού των βρόχων	3								●	○			□	
	Απόδοση	Δεν περιορίζει την κίνηση	5		○			○	●	○				□	○	△
		Ελαφρύ	3		●	○			○	△	△			□	△	○
		Ασφαλές	5	●	○	●									□	
			Ελκυστικό	2		△		●		△	△			□		○



Παράδειγμα: Σακίδιο Ορειβασίας

Τεχνικά Χαρακτηριστικά (How)			Απαιτήσεις του Πελάτη (What)								□ Η εταιρεία μας △ Εταιρεία Α ○ Εταιρεία Β					
			Σημαντικότητα των πελατών	Σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα	Βάρος των ιμάντων	Αντοχή του υφάσματος	Εύρος Χρωμάτων	Εύρος Μεγεθών	Πάχος επένδυσης	No. Κουμπωμάτων (πόρπης)	No. Εξοπλισμός βρόχων	1	2	3	4	5
Διευκολύνει την απόλαυση της αναρρίχησης	Ευχρησία	Εύκολο να το βάλεις	2					○		⊙			□		△	○
		Άνετο κατά την αναρρίχηση	5					○	⊙	○			△		□	
		Να ταιριάζει με διαφορετικά ρούχα	1					○	○	⊙			○	△		□
		Εύκολος - προσβάσιμος τρόπος του εξοπλισμού των βρόχων	3								⊙	○			□	
	Απόδοση	Δεν περιορίζει την κίνηση	5		○			○	⊙	○				□	○	△
		Ελαφρύ	3		⊙	○			○	△	△			□	△	○
		Ασφαλές	5	⊙	○	⊙									□	
		Ελκυστικό	2		△		⊙		△	△			□		○	△
	Απόλυτη Σημαντικότητα			45	59	54	18	39	104	62	30	411				
	Σχετική Σημαντικότητα (%)			11	14	13	4	9	25	15	7					

Πίνακας Σχέσης

● = 9 Ισχυρή
 ○ = 3 Μέτρια
 △ = 1 Ασθενής





- ☐ Η Εταιρεία μας

Πίνακας Σχέσης

●	= 9 Ισχυρή
○	= 3 Μέτρια
△	= 1 Ασθενής

Ανάπτυξη Ποιοτικής Λειτουργίας: Παρατηρήσεις

- ◆ Επικέντρωση στα τεχνικά χαρακτηριστικά με την υψηλότερη σχετική σπουδαιότητα
 - Τα χαρακτηριστικά αυτά σχετίζονται με τις σπουδαιότερες (σωρευτικά) απαιτήσεις του πελάτη
 - Η επικέντρωση σε αυτά τα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι ζήτημα πρώτης προτεραιότητας, καθότι θα επιφέρει το μέγιστο αποτέλεσμα για την προσπάθεια (σε χρόνο και πόρους) του σχεδιασμού
- ◆ Οι βαρύτητα των απαιτήσεων του πελάτη είναι ανεξάρτητη από την αξιολόγηση ανταγωνιστικότητας
- ◆ Πρώτα επιλέγονται τα ECs και μετά συνδυάζονται με τα CRs
- ◆ Όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά θα πρέπει να είναι μετρήσιμα (αλλιώς δεν είναι δυνατόν να αξιολογηθεί η βελτίωσή τους)

Ανάπτυξη Ποιοτικής Λειτουργίας: Παρατηρήσεις

- ◆ Τα τεχνικά χαρακτηριστικά με τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα μπορεί να χρησιμοποιηθούν και κατά την αξιολόγηση της σχεδιαστικής λύσης.
- ◆ Ο πίνακας QFD πρέπει να επανεξετάζεται συνεχώς κατά την ανάπτυξη του προϊόντος, ώστε να μην αλλοιωθεί η ισχυρή ικανοποίηση των απαιτήσεων του πελάτη από τυχόν σχεδιαστικές αλλαγές.

3. Λειτουργικές Απαιτήσεις του Προϊόντος και Αποσύνθεση

- ◆ Ορισμοί
- ◆ Αξιωματική Προσέγγιση και Λειτουργική Αποσύνθεση
- ◆ Μαθηματική Διατύπωση του Αξιώματος 1 του Nam Suh
- ◆ Παραδείγματα



Ορισμοί

- ◆ Ένα σχεδιαστικό πρόβλημα υποδιαιρείται σε υποπροβλήματα μέσω της διαδικασίας αποσύνθεσης
 - Διαίρεση ενός συστήματος σε μικρότερα, αυτοδύναμα λειτουργικά στοιχεία
- ◆ Μία κατάλληλη μέθοδος αποσύνθεσης είναι η αξιωματική προσέγγιση
 - Η μέθοδος συνεισφέρει στον καθορισμό (και το ξεκαθάρισμα) της λειτουργικότητας του προϊόντος και των στόχων του σχεδιασμού.
- ◆ $FR = \text{Λειτουργικές Απαιτήσεις}$.
 - Τα FRs αποτελούν το ελάχιστο σύνολο απαιτήσεων που χαρακτηρίζουν τους στόχους του σχεδιασμού
 - Τα FRs είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους
- ◆ $DP = \text{Σχεδιαστικές Παράμετροι}$
 - Τα DPs είναι οι φυσικές οντότητες που θα καθορίζονται από τον σχεδιασμό για να ικανοποιηθούν οι λειτουργικές απαιτήσεις

Ορισμοί

◆ Επομένως

- Τα FRs περιγράφουν τη δράση (δράσεις) που ικανοποιούν τις ανάγκες του πελάτη
- Τα DPs είναι οι φυσικές μονάδες, ή υποσυστήματα, που πρέπει να δημιουργηθούν για να ικανοποιηθούν τα FRs.
- Η ανάπτυξη των DPs απαιτεί την επιλογή συγκεκριμένης ιδέας, μεθόδου, ή μέσου
- Τα FRs δεν σχετίζονται με τη φυσική λύση που θα αναπτυχθεί
- Για το λόγο αυτό τα FRs πρέπει να καθορίζονται με τρόπο απλό και καθαρό, χωρίς να υπονοείται συγκεκριμένη λύση.
- Κάθε συγκεκριμένο. μετρήσιμο χαρακτηριστικό ενός FR καλείται τεχνικό χαρακτηριστικό EC

◆ Παράδειγμα: Βρύση μπάνιου με δύο στρόφιγγες

FR1 = Ρυθμός παροχής νερού

FR2 = Θερμοκρασία νερού

DP1 = Μέσο για τον έλεγχο της ροής του ψυχρού νερού (???)

DP2 = Μέσο για τον έλεγχο της ροής του θερμού νερού.(???)



Ορισμοί

- ◆ Τα FRs υπόκεινται σε περιορισμούς
 - Περιορισμοί στο βάρος, στον όγκο, στα υλικά, στο κόστος
 - Παράδειγμα βρύσης: Περιορισμοί στη ροή και τη θερμοκρασία
 - Οι περιορισμοί ενδέχεται να επηρεάσουν σημαντικά το σχεδιασμό
- ◆ Παράδειγμα: Ποδήλατο πίστας vs. Ποδήλατο βουνού
 - Κοινές Λειτουργικές Απαιτήσεις: Υποστήριξη οδηγού, κίνηση από τον αναβάτη, στροφή και απαίτηση στάσης
 - Περιορισμοί ποδηλάτου πίστας: Ταχύτητα σε λείες επιφάνειες
 - Περιορισμοί ποδηλάτου βουνού: Ευκινησία, αναρριχητική ικανότητα
 - Αποτέλεσμα: Μεγάλες σχεδιαστικές διαφορές



Ορισμοί

- ◆ Με βάση τους ορισμούς αυτούς ο σχεδιασμός είναι η σύνθεση λύσεων που ικανοποιούν απαιτήσεις μέσω αντιστοίχισης μεταξύ FRs και DPs.
- ◆ Εάν τα FRs αλλάξουν, τότε θα αλλάξει η λύση
- ◆ Η διαδικασία του σχεδιασμού κινείται, επομένως, σε 4 πεδία
 - Το πεδίο των απαιτήσεων του πελάτη (CRs)
 - Το πεδίο των λειτουργικών απαιτήσεων (FRs)
 - Το πεδίο των παραμέτρων σχεδιασμού (DPs)
 - Το πεδίο των διεργασιών που προσδιορίζεται πως θα κατασκευασθούν τα DPs



Αξιωματική Προσέγγιση και Λειτουργική Αποσύνθεση

- ◆ Υπάρχουν δύο αξιώματα που καθορίζουν την ικανοποιητική ανάπτυξη του προϊόντος.
- ◆ **Αξίωμα 1.** Το αξίωμα της ανεξαρτησίας
Διατήρησε την ανεξαρτησία των λειτουργικών απαιτήσεων (FRs).
- ◆ **Αξίωμα 2.** Το αξίωμα της πληροφορίας
Ελαχιστοποίησε το πληροφοριακό περιεχόμενο του προϊόντος του σχεδιασμού

Αξιωματική Προσέγγιση και Λειτουργική Αποσύνθεση

- ◆ Σύμφωνα με το αξίωμα 1 η σχέση μεταξύ των DPs και των FRs πρέπει να είναι τέτοια ώστε:
 - οιοδήποτε DP μπορεί να μεταβληθεί για να ικανοποιήσει το αντίστοιχο FR χωρίς να επηρεάσει τα υπόλοιπα FRs
- ◆ Το αξίωμα 2 αφορά την πολυπλοκότητα του προϊόντος
 - Η βέλτιστη σχεδιαστική λύση ολοκληρώνει τα μέρη του προϊόντος χωρίς να επηρεάζει την λειτουργική ανεξαρτησία, χρησιμοποιεί τυποποιημένα εξαρτήματα, χρησιμοποιεί τη συμμετρία, κλπ.



Αξιωματική Προσέγγιση και Λειτουργική Αποσύνθεση

- ◆ Το αξίωμα 2 αφορά την πολυπλοκότητα του προϊόντος

$$C_f = (K / f) \sqrt[3]{N_p N_t N_i}$$

N_p = αριθμός τεμαχίων

N_t = αριθμός τύπων τεμαχίων

N_i = αριθμός συνδέσμων και διεπαφών

f = αριθμός λειτουργιών

Αξιωματική Προσέγγιση και Λειτουργική Αποσύνθεση

◆ Αξίωμα 1:

- Η βέλτιστη σχεδιαστική λύση διατηρεί πάντοτε την ανεξαρτησία των FRs
- Σε μία ικανοποιητική λύση η σχέση μεταξύ των DPs και των FRs επιτρέπει την μεταβολή ενός DP για να ικανοποιηθεί το αντίστοιχο FR χωρίς να επηρεαστούν τα υπόλοιπα FRs.

◆ Αξίωμα 2:

- ◆ Η βέλτιστη σχεδιαστική λύση είναι η λειτουργικά απεμπλεγμένη λύση με το ελάχιστο πληροφοριακό περιεχόμενο.
- ◆ Προσοχή: Η λειτουργική ανεξαρτησία (που απαιτείται από το Αξίωμα 1) είναι διαφορετική από την φυσική εξάρτηση (που συχνά αποτελεί καλή ιδέα σύμφωνα με το Αξίωμα 2)
- ◆ Παράδειγμα: Πρέσα σκόρδου (FR1 = Πολτοποίηση σκόρδου, FR2= Καθαρισμός πρέσας)



Αξιωματική Προσέγγιση του Σχεδιασμού

- ◆ Πόρισμα 1: Φυσικά χαρακτηριστικά ή υποσυστήματα του προϊόντος που επιφέρουν εξάρτηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών πρέπει να απεμπλέκονται.
- ◆ Πόρισμα 2: Ελαχιστοποιείτε τον αριθμό των FRs και των περιορισμών.
- ◆ Πόρισμα 3: Ολοκληρώνετε περισσότερες από μία παραμέτρους σχεδιασμού σε ένα τεμάχιο εάν τα FRs μπορούν να ικανοποιηθούν ανεξάρτητα στη σχεδιαστική λύση.
- ◆ Πόρισμα 4: Χρησιμοποιήστε πρότυπα ή εναλλάξιμα τεμάχια, εάν αυτά είναι συμβατά με τα FRs και τους περιορισμούς.
- ◆ Πόρισμα 5: Χρησιμοποιείτε συμμετρικές φόρμες ή τεμάχια, εάν αυτά είναι συμβατά με τα FRs και τους περιορισμούς.
- ◆ Πόρισμα 6: Χρησιμοποιείτε την μεγαλύτερη επιτρεπόμενη ανοχή κατά την διατύπωση των FRs.



Σύνοψη

- ◆ Ο σχεδιασμός υπονοεί την συνεχή επεξεργασία πληροφοριών σε 4 πεδία: Πεδίο των απαιτήσεων του πελάτη, λειτουργικό πεδίο, φυσικό πεδίο, πεδίο των κατεργασιών.
- ◆ Εναλλακτικές λύσεις δημιουργούνται αντιστοιχώντας τις απαιτήσεις του ενός πεδίου σε ένα σύνολο χαρακτηριστικών παραμέτρων στο γειτονικό πεδίο.
- ◆ Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας κάθε πεδίου εξελίσσονται από αφηρημένες ιδέες σε λεπτομερείς πληροφορίες με ιεραρχικό τρόπο.
- ◆ Τα δύο σχεδιαστικά αξιώματα προσδίδουν λογική βάση στην εκτίμηση εναλλακτικών λύσεων και στην επιλογή της καλύτερης λύσης.

Μαθηματική Διατύπωση Αξιώματος 1

- ◆ Διανύσματα λειτουργικών απαιτήσεων FR και σχεδιαστικών παραμέτρων DP

$$FR = \begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix}$$

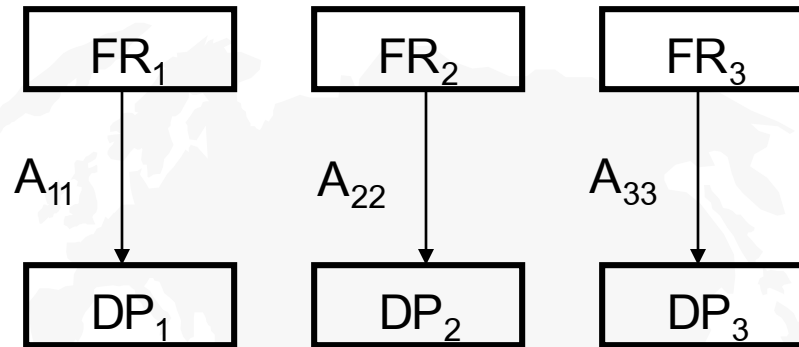
$$DP = \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix}$$

- ◆ Η σχέση τους μπορεί να απεικονιστεί μέσω του πίνακα σχεδιασμού [A] ως εξής

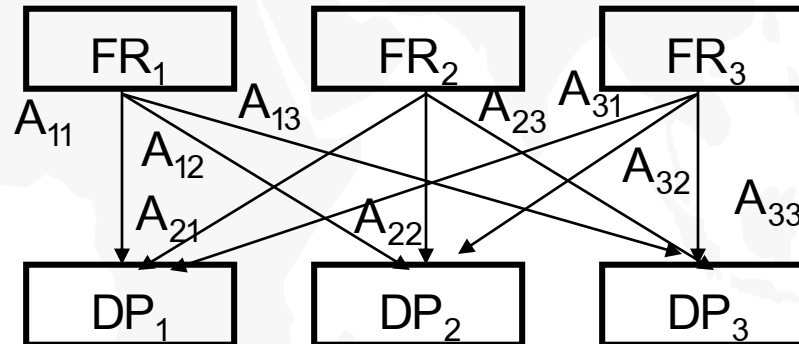
$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix}$$

Μαθηματική Διατύπωση Αξιώματος 1

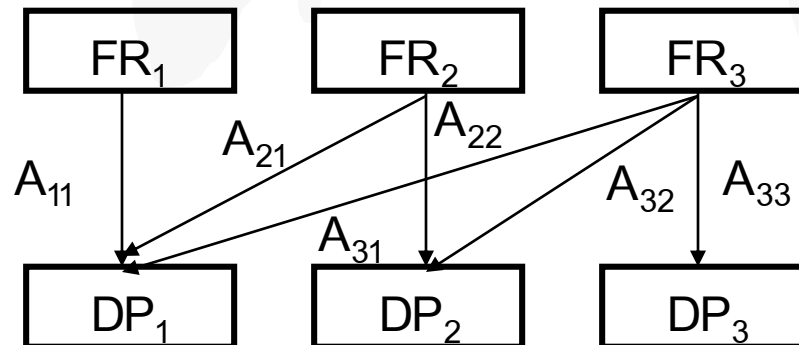
◆ Απεμπλεγμένη λύση



◆ Εμπλεγμένη λύση



◆ Απεμπλεκόμενη λύση



Μαθηματική Διατύπωση Αξιώματος 1

- ◆ Απεμπλεγμένη λύση (Ικανοποιεί Αξίωμα 1)

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix}$$

- ◆ Εμπλεγμένη λύση (Δεν ικανοποιεί το Αξίωμα 1)

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix}$$

- ◆ Απεμπλεκόμενη λύση (Μπορεί να ικανοποιήσει το Αξίωμα 1)

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix}$$

Μαθηματική Διατύπωση Αξιώματος 1

- ◆ Εάν ο αριθμός των FRs είναι μεγαλύτερος του αριθμού των DPs

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \acute{A}_{11} & \acute{A}_{12} \\ \acute{A}_{21} & \acute{A}_{22} \\ \acute{A}_{31} & \acute{A}_{32} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix}$$

- ◆ Εάν ο αριθμός των FRs είναι μικρότερος του αριθμού των DPs

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix}$$

Παρατηρήσεις

- ◆ Στόχος είναι η ανάπτυξη απεμπλεγμένων η απεμπλεκόμενων σχεδιαστικών λύσεων.
- ◆ Η λειτουργική εμπλοκή είναι διαφορετική από την φυσική εμπλοκή, η οποία είναι ορισμένες φορές επιθυμητή σύμφωνα με το Αξίωμα 2.
- ◆ Η δύναμη της μεθόδου αποσύνθεσης έγκειται στην ιεραρχική της δομή
- ◆ Πρέπει να είμαστε προσεκτικοί στην διατύπωση των λειτουργικών χαρακτηριστικών έτσι ώστε να μην κατευθύνουμε την λύση.

Απλά Παραδείγματα

◆ Οργανισμοί Κοινής Ωφέλειας

- Εκτός οικίας καταναλωτή: Απεμπλεγμένες παροχές (νερό, ηλεκτρικό, τηλέφωνο, φυσικό αέριο)
- Εντός οικίας καταναλωτή: Ορισμένες φορές εμπλεκόμενες παροχές. Εάν έχουμε διακοπή ηλεκτρικού, μπορεί να έχουμε διακοπή ζεστού νερού, ή διακοπή τηλεφώνου.

◆ Plotter της HP

- Εμπλεκόμενη λύση: Κίνηση της γραφίδας σε δύο βαθμούς ελευθερίας. Ένας κινητήρας κινεί τον φορέα της γραφίδας (στην κατεύθυνση ψ) και άλλος κινητήρας (που στηρίζεται στον φορέα) κινεί την γραφίδα στην κατεύθυνση χ . Στην περίπτωση αυτή ο πρώτος κινητήρας έχει να μετακινήσει και τον δεύτερο με αποτέλεσμα να απαιτείται να είναι ισχυρός, μεγάλος και ακριβός.
- Λύση της HP - Απεμπλεγμένη λύση. Η γραφίδα κινείται στην κατεύθυνση ψ μόνο. Το χαρτί κινείται στην κατεύθυνση χ .



Παράδειγμα: Βρύση θερμού-ψυχρού νερού

◆ Πρώτη διατύπωση

FR1 = Ρυθμός παροχής νερού

FR2 = Θερμοκρασία νερού

DP1 = Μέσο για τον έλεγχο της ροής του ψυχρού νερού

DP2 = Μέσο για τον έλεγχο της ροής του θερμού νερού.

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} x & x \\ x & x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix}$$

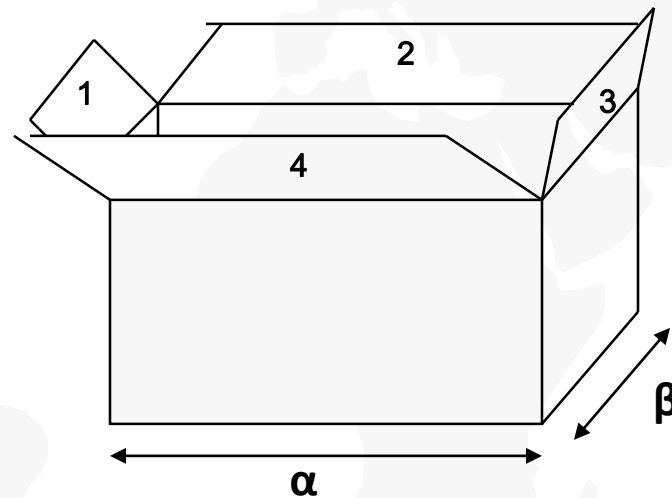
◆ Δεύτερη διατύπωση

DP1 = Ρυθμιστής ροής νερού (μηχανισμός ρύθμισης της ροής του νερού)

DP2 = Ρυθμιστής θερμοκρασίας νερού (μηχανισμός ρύθμισης της θερμοκρασίας του νερού).

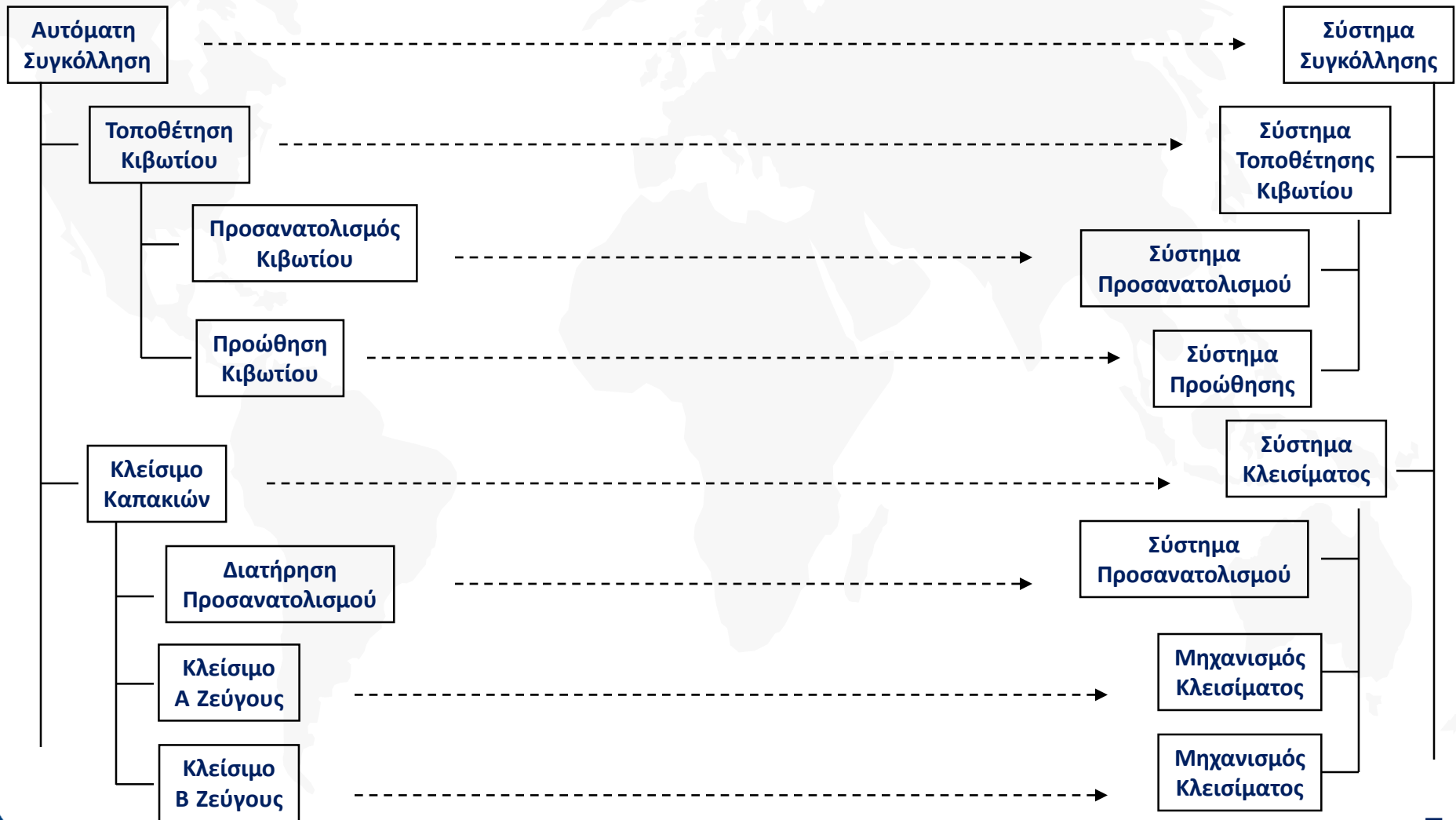
$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} x & 0 \\ 0 & x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix}$$

Παράδειγμα: Σύστημα αυτόματης συγκόλλησης κιβωτίων

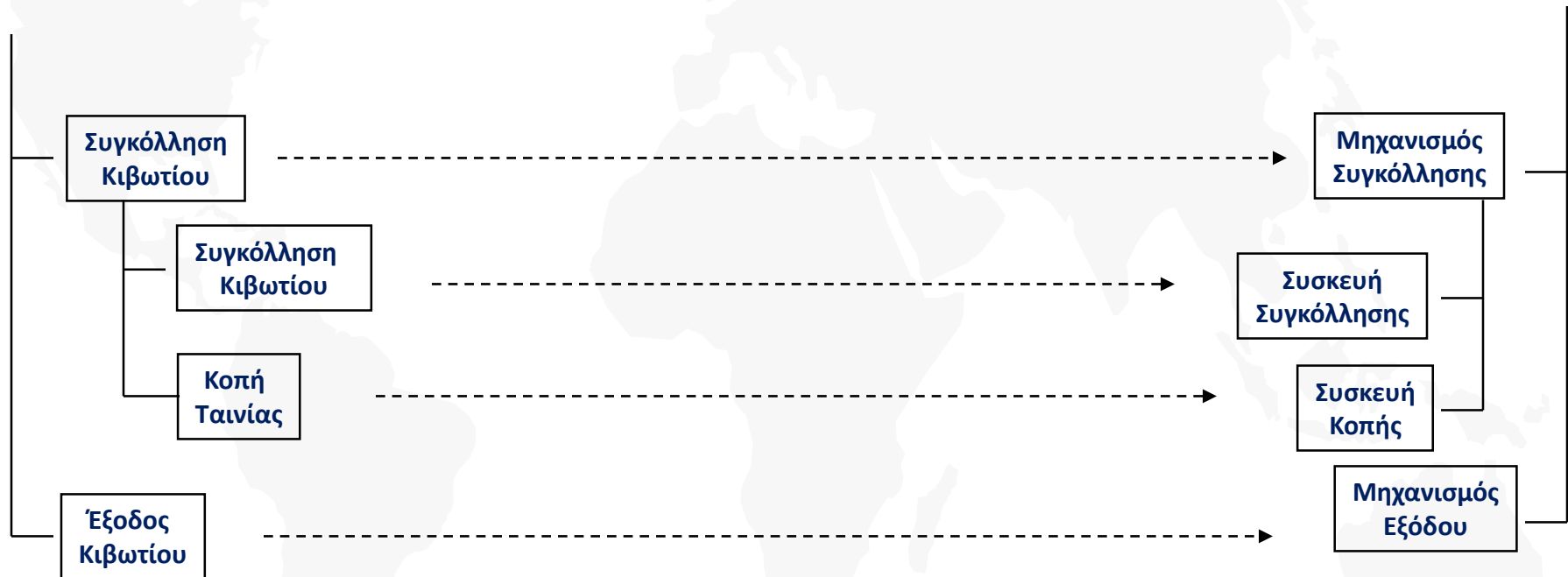


- ◆ Ιεραρχία FRs
- ◆ Ιεραρχία DPs

Παράδειγμα: Σύστημα αυτόματης συγκόλλησης κιβωτίων



Παράδειγμα: Σύστημα αυτόματης συγκόλλησης κιβωτίων



Παράδειγμα:

Σύστημα αυτόματης συγκόλλησης κιβωτίων

- ◆ Σχέση FRs και DPs δευτέρου επιπέδου

$$\begin{Bmatrix} FR_{11} \\ FR_{12} \\ FR_{13} \\ FR_{14} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} x & 0 & 0 & 0 \\ x & x & 0 & 0 \\ x & x & x & 0 \\ x & x & x & x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{11} \\ DP_{12} \\ DP_{13} \\ DP_{14} \end{Bmatrix}$$

- ◆ FRs και DPs για την τοποθέτηση κιβωτίου

$$\begin{Bmatrix} FR_{111} \\ FR_{112} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} x & 0 \\ x & x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{111} \\ DP_{112} \end{Bmatrix}$$

Παράδειγμα:

Σύστημα αυτόματης συγκόλλησης κιβωτίων

- ◆ Σχέση FRs και DPs για το κλείσιμο καπακιών

$$\begin{Bmatrix} FR_{121} \\ FR_{122} \\ FR_{123} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} x & 0 & 0 \\ x & x & 0 \\ x & x & x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{121} \\ DP_{122} \\ DP_{123} \end{Bmatrix}$$

- ◆ FRs και DPs για συγκόλληση κιβωτίου

$$\begin{Bmatrix} FR_{131} \\ FR_{132} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} x & 0 \\ x & x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{131} \\ DP_{132} \end{Bmatrix}$$

Παράδειγμα:

Σύστημα συγκόλλησης γυψοσανίδων

- ◆ Κατασκευή τοίχων με γυψοσανίδες
 - Εφαρμογή συγκολλητικού υλικού. Εφαρμογή ταινίας μετά από 24 ώρες
Η ταινία προστατεύει το συγκολλητικό υλικό από το να ραϊσει όταν στεγνώσει. Η ταινία εφαρμόζεται με λεπίδα ώστε να λειανθεί η ταινία και να κολλήσει καλά και ομοιόμορφα στο συγκολλητικό υλικό.
 - Πρώτο χέρι χρωστικής ουσίας
 - Δεύτερο χέρι χρωστικής ουσίας
- Ο στόχος είναι να σχεδιαστεί σύστημα ταυτόχρονης εφαρμογής συγκολλητικού υλικού και ταινίας

Παράδειγμα:

Σύστημα συγκόλλησης γυψοσανίδων

- ◆ Λειτουργικές απαιτήσεις πρώτου επιπέδου
 - FR_1 = Φόρτωση δοχείου συγκολλητικού υλικού
 - FR_2 = Φόρτωση ταινίας
 - FR_3 = Ταυτόχρονη εφαρμογή υλικού και ταινίας
 - FR_4 = Εκφόρτωση ταινίας
 - FR_5 = Εκφόρτωση συγκολλητικού υλικού
- ◆ Παράμετροι σχεδιασμού πρώτου επιπέδου
 - DP_1 = Σύστημα φόρτωσης δοχείου συγκολλητικού υλικού
 - DP_2 = Μηχανισμός συγκράτησης ταινίας
 - DP_3 = Σύστημα ταυτόχρονης εφαρμογής υλικού και ταινίας
 - DP_4 = Μηχανισμός εκφόρτωσης ταινίας
 - DP_5 = Σύστημα εκφόρτωσης συγκολλητικού υλικού



Παράδειγμα:

Σύστημα συγκόλλησης γυψοσανίδων

- ◆ Λειτουργικές απαιτήσεις επόμενου επιπέδου
 - FR_{31} = Ταυτόχρονη παροχή ταινίας με το υλικό
 - FR_{32} = Ροή υλικού προς το σύστημα παροχής
 - FR_{33} = Ομοιόμορφη παροχή υλικού
 - FR_{34} = Λεία εφαρμογή υλικού και ταινίας στον τοίχο
 - FR_{35} = Διαχωρισμός (αποκόλληση) ταινίας από ρολό
- ◆ Παράμετροι σχεδιασμού επόμενου επιπέδου
 - DP_{31} = Συσκευή παροχής ταινίας
 - DP_{32} = Μέσο διακίνησης υλικού μέσω του συστήματος
 - DP_{33} = Παροχέας υλικού
 - DP_{34} = Συσκευή εφαρμογής υλικού και ταινίας
 - DP_{35} = Συσκευή αποκόλλησης ταινίας



Παράδειγμα:

Σύστημα συγκόλλησης γυψοσανίδων

- ◆ Σχέση FRs και DPs δευτέρου επιπέδου

$$\begin{Bmatrix} FR_{31} \\ FR_{32} \\ FR_{33} \\ FR_{34} \\ FR_{35} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} x & x & 0 & 0 & 0 \\ x & x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x & x & 0 & 0 \\ x & 0 & 0 & x & 0 \\ x & 0 & 0 & x & x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{31} \\ DP_{32} \\ DP_{33} \\ DP_{34} \\ DP_{35} \end{Bmatrix}$$

Παράδειγμα: Σύστημα συγκόλλησης γυψοσανίδων

- ◆ Ιδέες για την υλοποίηση των DPs



4. Σύλληψη και Υλοποίηση Προϊόντων

- ◆ Εισαγωγή
- ◆ Σύλληψη Ιδεών
- ◆ Δομή Προϊόντων
- ◆ Αξιολόγηση Ιδεών
- ◆ Υλοποίηση Προϊόντων

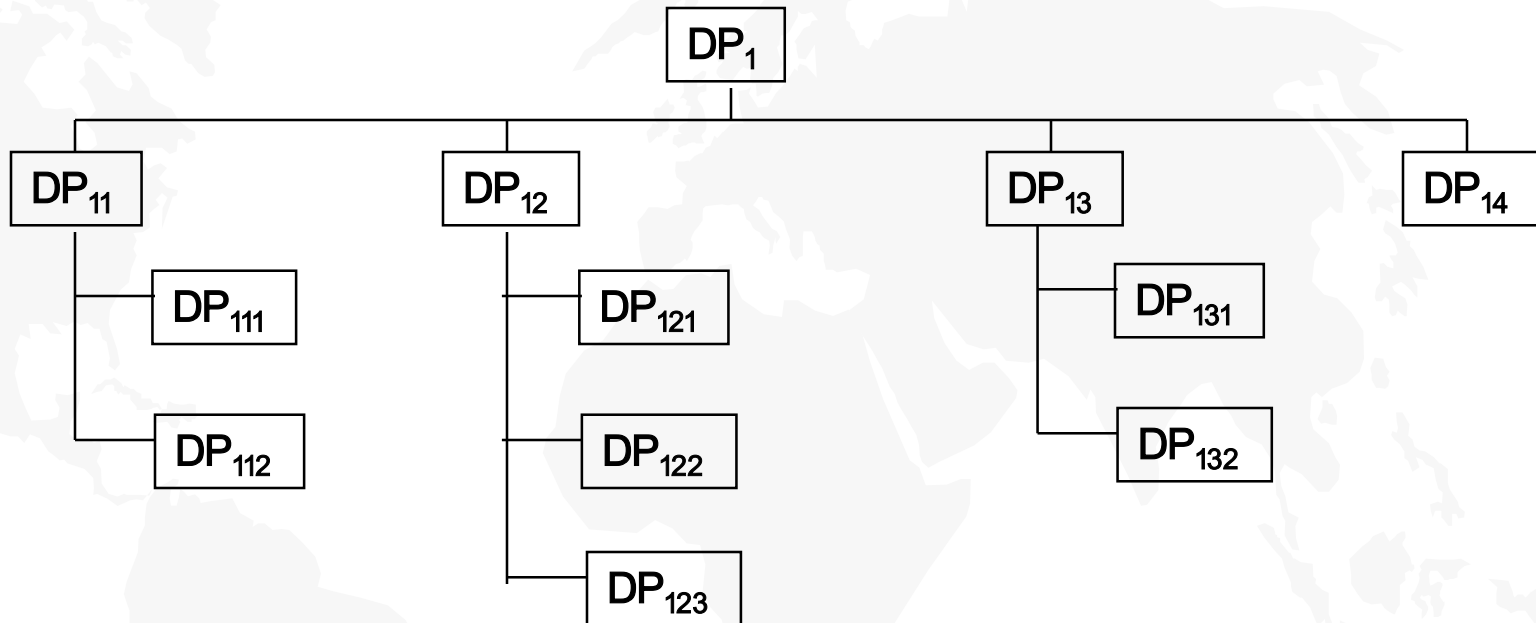


Εισαγωγή

- ◆ Η λειτουργική αποσύνθεση είναι ιεραρχική
 - Στο ανώτερο επίπεδο το προϊόν είναι η σχεδιαστική παράμετρος που ικανοποιεί τη λειτουργική απαίτηση ανώτατου επιπέδου
 - Οι σχεδιαστικές παράμετροι των κατώτερων επιπέδων μπορούν να θεωρηθούν σαν μονάδες ή εξαρτήματα που ικανοποιούν τις αντίστοιχες λειτουργικές απαιτήσεις
- ◆ Τρία στάδια ανάπτυξης του τελικού προϊόντος
 1. Σύλληψη και αξιολόγηση εναλλακτικών ιδεών
 2. Ανάπτυξη δομής- αρχιτεκτονικής (των μονάδων μεταξύ τους, και των εξαρτημάτων κάθε μονάδας)
 3. Καθορισμός της φυσικής μορφής του προϊόντος
 - Τα στάδια αυτά διεξάγονται σειριακά, είναι επικαλυπτόμενα και επαναλαμβάνονται μέχρι την κατάληξη σε μια επιθυμητή λύση.

Εισαγωγή

Παράδειγμα: Σύστημα αυτόματης συγκόλλησης κιβωτίων



- ◆ Ανάπτυξη ιδεών για τα 8 φύλλα του δένδρου και αξιολόγηση
- ◆ Αρχιτεκτονική (χωρική διάταξη) των εξαρτημάτων κατώτατου επιπέδου στις μονάδες ανώτερου επιπέδου. Διατήρηση της ανεξαρτησίας των μονάδων
- ◆ Φυσική μορφή των DPs

Εισαγωγή

Παράδειγμα: Σεσουάρ Μαλλιών

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ΕΙΣΑΓΩΓΗ} - \text{ΑΕΡΑ} \\ \text{ΘΕΡΜΑΝΣΗ} - \text{ΑΕΡΑ} \\ \text{ΕΞΑΓΩΓΗ} - \text{ΑΕΡΑ} \end{array} \right\} = \begin{bmatrix} x & 0 & 0 \\ x & x & 0 \\ x & x & x \end{bmatrix} \left\{ \begin{array}{l} \text{ΜΕΣΟ} - \text{ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ} - \text{ΑΕΡΑ} \\ \text{ΜΕΣΟ} - \text{ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ} - \text{ΑΕΡΑ} \\ \text{ΜΕΣΟ} - \text{ΕΞΑΓΩΓΗΣ} - \text{ΑΕΡΑ} \end{array} \right\}$$

- ◆ Ίδιες λειτουργικές μονάδες
 - Ηλεκτρικό στοιχείο θέρμανσης και ηλεκτρικός κινητήρας
 - Ανεμιστήρας
 - Κέλυφος στήριξης
 - Άνοιγμα εισαγωγής αέρα
- ◆ Πολλαπλές σχεδιαστικές λύσεις
 - Τύπος ανεμιστήρα (φυγόκεντρος, αξονικός)
 - Θέση κινητήρα (ροή αέρα παράλληλη ή κάθετη προς άξονα κινητήρα)
 - Θέση και σχήμα εισαγωγών αέρα (πλάι ή πίσω)
 - Σχήμα και μέγεθος στοιχείου θέρμανσης



Εισαγωγή

Αξιολόγηση εφικτότητας των ιδεών

- ◆ Υφίσταται η ανάγκη γρήγορης αξιολόγησης της τάξης μεγέθους σχετικά με τις αρχικές ιδέες του σχεδιασμού
- ◆ Η λύση του Fermi
 - Πόσοι κουρδιστές πιάνων υπάρχουν στην Αθήνα; Πληθυσμός 4 εκ., μέση οικογένεια= 4 άτομα, 1 στις 10 οικογένειες έχουν πιάνο (100.000 πιάνο στην Αθήνα). Ένα πιάνο κουρδίζεται κάθε 5 χρόνια, κάθε κουρδιστής κουρδίζει 3 πιάνο την ημέρα, 250 ημέρες το χρόνο (750 πιάνο το χρόνο). Κουρδιστές $20.000/750 = 27$ κουρδιστές (Χρυσός Οδηγός)
 - Προσοχή: Σε κάθε σειρά υπολογισμών τα λάθη εκτίμησης τείνουν να αναιρεθούν μεταξύ τους και το τελικό αποτέλεσμα συγκλίνει στην ορθή απάντηση



Εισαγωγή

Εφικτότητα ιδεών: Σύστημα συγκόλλησης γυψοσανίδων

- ◆ Ποσότητα υλικού, ρυθμός παροχής υλικού
- ◆ Η λύση του Fermi
 - Τυπικό δωμάτιο: $2 \times 4 \text{ m} + 2 \times 3 \text{ m}$. Τυπική γυψοσανίδα $1 \text{ m} \times 3$: Χρειάζονται 14 γυψοσανίδες
 - Το υλικό εφαρμόζεται στις δύο μόνο ακμές της γυψοσανίδας (4 m): Συνεπώς για ένα δωμάτιο χρειάζονται 56 m συγκολλητικής εφαρμογής
 - Το πλάτος της ταινίας είναι 60 mm και το ύψος εφαρμογής του υλικού είναι 3 mm, τότε η ποσότητα του υλικού για ένα δωμάτιο είναι $0.6 \times 0.03 \times 560 = 10.1 \text{ lt}$
 - Τα 3 m συγκολλούνται σε 15 sec, τότε ο ρυθμός παροχής υλικού είναι $300 \times 6 \times 0.3 / 15 = 24 \text{ cm}^3/\text{sec}$



Σύλληψη Ιδεών

◆ Εξαιρετικά χρήσιμες μέθοδοι:

- Brainstorming
- Συγκριτική αξιολόγηση (benchmarking)
- Έρευνα πατεντών www.patents.cnidr.org, www.womplex.ibm.com,
- Άλλα ενδιαφέροντα sites: www.penton.com, www.invention-machine.com

◆ Ερωτήσεις που βοηθούν στη σύλληψη ιδεών

- Χρησιμοποίησε λύση σε άλλες εφαρμογές (νέοι τρόποι χρήσης)
- Προσαρμογή (αντιγραφή, χρήση άλλων αρχών για την ίδια λειτουργία)
- Μεταβολή (αλλαγή χρώματος, κίνησης, σχήματος)
- Αντιστροφή (αντιστροφή ρόλων, πάνω-κάτω, μέσα-έξω)
- Συνδυασμός (μίγμα, συνδυασμός εξαρτημάτων, συνδυασμός ιδεών)
- Ενίσχυση (μεγαλύτερο, βαρύτερο, δυνατότερο, διπλασίασε)
- Σμίκρυνση (μικρότερο, ελαφρύτερο, μικρογραφία, διαίρεση)



Σύλληψη Ιδεών

Brainstorming

Βασική αρχή:

- ◆ Κατά την διάρκεια καταιγισμού ιδεών δεν πρέπει να αξιολογούνται οι προτεινόμενες ιδέες, μιας και η διαδικασία προσπαθεί να ανοίξει τους ορίζοντες και να καταργήσει τα καθιερωμένα όρια της γέννησης ιδεών.
 - Η αξιολόγηση των παραγόμενων ιδεών μπορεί να καταστρέψει την όλη διαδικασία.
 - Υπάρχουν δύο συγκεκριμένοι τύποι της διαδικασίας του καταιγισμού ιδεών. Αυτοί είναι ο προσωπικός και ο ομαδικός καταιγισμός ιδεών.

Πηγή: Μπακούρος Ι. Λ., Ανάπτυξη Νέων Προϊόντων (New Product Development),
elearn.materlab.eu/file.php/1/New_Product_Development1.pdf



Σύλληψη Ιδεών

Εργαλεία Brainstorming

Το **Brainstorming Toolbox** είναι ένα εργαλείο, με το οποίο μπορεί κάποιος να αυξήσει τις δυνατότητες του καταιγισμού ιδεών, της δημιουργικής σκέψης, της δημιουργικότητας γενικότερα και την λύση προβλημάτων.

MindManager βοηθά στην συγκέντρωση και οργάνωση των νέων ιδεών σύμφωνα με μία μέθοδο η οποία ονομάζεται «χαρτογράφηση του μυαλού»

Το πρόγραμμα **Random Word Generator** μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή νέων ιδεών, εισάγοντας μία λέξη που αναφέρεται σε κάποιο πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει ο καταιγισμός ιδεών και προτείνοντας πολλές άλλες που μπορούν να λύσουν το πρόβλημα.



Σύλληψη Ιδεών

- ◆ Ερωτήσεις που βοηθούν στη σύλληψη ιδεών (συν.)
 - Αντικατάσταση (εναλλακτική πηγή ισχύος, εναλλακτική προσέγγιση, εναλλακτικό υλικό, εναλλακτική κατεργασία)
 - Ανακατάταξη (εναλλαγή εξαρτημάτων, άλλη δομή, εναλλακτική σειρά)
 - Εξάλειψη (Τι να εξαλειφθεί, ελαφρύτερο, μικρότερο)
- ◆ Απλά παραδείγματα
 - Ενίσχυση: Αυτό-καθαριζόμενος φούρνος (από 250 σε 400°C)
 - Καροτσάκι με τροχούς ποδηλάτου (Κέντρο βάρους πλησίον άξονα, μεγαλύτερη ευελιξία σε ανώμαλο ή μαλακό έδαφος)
 - Προσαρμογή: Πανίσχυρο κοπτικό εργαλείο (Life Shears) που χρησιμοποιείται από ΕΜΑΚ. Βασίζεται στη χρήση εκρηκτικών συνδέσμων (όπως στον αποχωρισμό των τμημάτων ρουκετών).
 - Βιβλιοθήκη που διπλώνει (όπως τα κιβώτια)
 - Συνδυασμός: Η βάση του βρεφικού πάρκου χρησιμοποιείται και σαν κιβώτιο μεταφοράς
 - Μεταβολή: Λούκι συλλογής νερού



Σύλληψη Ιδεών

Η αναζήτηση λύσεων

- ◆ Ορισμένες φορές αντί για την τυχαία σύλληψη ιδεών προτιμάται η οργάνωση του πεδίου των λύσεων έτσι ώστε να προταθούν όλες οι δυνατές λύσεις ικανοποίησης μιας λειτουργικής απαίτησης
- ◆ Τρόπος: Ομαδοποίηση λύσεων με κριτήριο την φυσική αρχή λειτουργίας.
 - Παράδειγμα: Αποθήκευση ενέργειας
 - Μηχανικός τρόπος (ελατήριο, περιστρεφόμενος δίσκος, ανυψωμένη μάζα)
 - Ηλεκτρικός τρόπος (μπαταρίες, πυκνωτές)
 - Θερμικός τρόπος (θερμό στερεό, υγρό ή αέριο)
 - Υδραυλικός τρόπος (Ανυψωμένο ρεζερβουάρ, ροή)
 - Παράδειγμα: Μηχανισμός γραμμικής κίνησης με κινητήρα
 - Παράδειγμα: Βρύση ζεστού-κρύου νερού
 - Παράδειγμα: Σύστημα συγκόλλησης γυψοσανίδων



Πηγές Πληροφόρησης

- ◆ Δημόσιες υπηρεσίες
- ◆ Διαδικτυακές βάσεις δεδομένων
- ◆ Επιχειρήσεις ή επενδυτικοί οργανισμοί ή οίκοι
- ◆ Γκάλοπ ή συνεντεύξεις
- ◆ Παρατήρηση
- ◆ Ανταγωνιστικό Benchmarking
- ◆ Πληροφόρηση για τον Ανταγωνισμό
- ◆ Reverse Engineering: Αναλύονται ανταγωνιστικά προϊόντα όσον αφορά την ποιότητα τους, τα χαρακτηριστικά τους (τεχνικά ή μη), το κόστος τους και την τιμή τους ώστε να συγκεντρωθούν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες για αυτά

Πηγή: Μπακούρος Ι. Λ., Ανάπτυξη Νέων Προϊόντων (New Product Development),
elearn.materlab.eu/file.php/1/New_Product_Development1.pdf



Δομή Προϊόντων

- ◆ Η Λειτουργική Αποσύνθεση υποστηρίζει και την ανάπτυξη της δομής (αρχιτεκτονικής) του προϊόντος
- ◆ Σε κάθε μονάδα αντιστοιχεί μια διεπαφή (interface)
- ◆ Η σπονδυλωτή διάρθρωση που προκύπτει από την λειτουργική αποσύνθεση
 - μειώνει την περίοδο ανάπτυξης (καθότι οι μονάδες μπορούν να αναπτυχθούν ανεξάρτητα)
 - επιτρέπει την αλλαγή, συντήρηση και βελτίωση του προϊόντος χωρίς να απαιτείται ολοκληρωτικός ανασχεδιασμός.
 - επιτρέπει μεγάλη ποικιλία παραλλαγών (μαζική εξατομίκευση)
- ◆ Παράδειγμα: 4 παραλλαγές δομής ποδηλάτου αναβάσεων (ανάρτηση = σημείο περιστροφής ανάρτησης τροχού και σημεία στήριξης του αμορτισέρ). Στη περίπτωση αυτή η αναζήτηση λύσεων θα αποδώσει και τις τέσσερις παραλλαγές.

Δομή Προϊόντων

- ◆ Τύποι σπονδυλωτής διάρθρωσης (modularity)
 - Κοινά εξαρτήματα σε πολλαπλά προϊόντα (χαμηλότερο κόστος), π.χ. ίδιος κινητήρας σε πολλαπλά μοντέλα αυτοκινήτων, ίδιες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες σε εργαλεία χειρός
 - Πολλαπλά (εναλλακτικά) εξαρτήματα σε ένα προϊόν. (π.χ. εναλλακτικοί φακοί στον ίδιο σκελετό)
 - Εξατομικευμένα εξαρτήματα που μεταβάλλονται εντός συγκεκριμένου εύρους (π.χ. ρούχα, σαλάτες σε salad bar)
 - Σπονδυλωτή διάρθρωση με χρήση συγκεκριμένης βάσης (bus). Π.χ. σκελετός ποδηλάτου, mother board υπολογιστή.
 - Τμηματική διάρθρωση. Επιτρέπει το κτίσιμο διαφόρων προϊόντων από τυποποιημένες μονάδες (Lego, έπιπλα της Neoset)

Δομή Προϊόντων

- ◆ Η διεπαφές πρέπει
 - να επιλέγονται και να σχεδιάζονται νωρίς ώστε να επιτρέπεται η ανεξάρτητη ανάπτυξη των μονάδων (modules) του προϊόντος
 - να είναι απλές, στιβαρές, και τυποποιημένες (standard)

Παράδειγμα: Σέλλα, τιμόνι, τροχοί, πεντάλ έχουν τυποποιημένες μεθόδους στήριξης, ώστε ο αναβάτης να εξατομικεύει το ποδήλατό του με προϊόντα διαφορετικών εταιριών.

Αξιολόγηση Ιδεών

Για κάθε βιώσιμη ιδέα απαιτείται:

- ◆ Ανάπτυξη
- ◆ Λεπτομερής εξέταση
- ◆ Ορισμός προτεραιοτήτων
- ◆ Αξιολόγηση

.....Έτσι ώστε να καταλήξουμε στην μία ιδέα η οποία θα προχωρήσει το επόμενο στάδιο.

Πηγή: Μπακούρος Ι. Λ., Ανάπτυξη Νέων Προϊόντων (New Product Development),
elearn.materlab.eu/file.php/1/New_Product_Development1.pdf

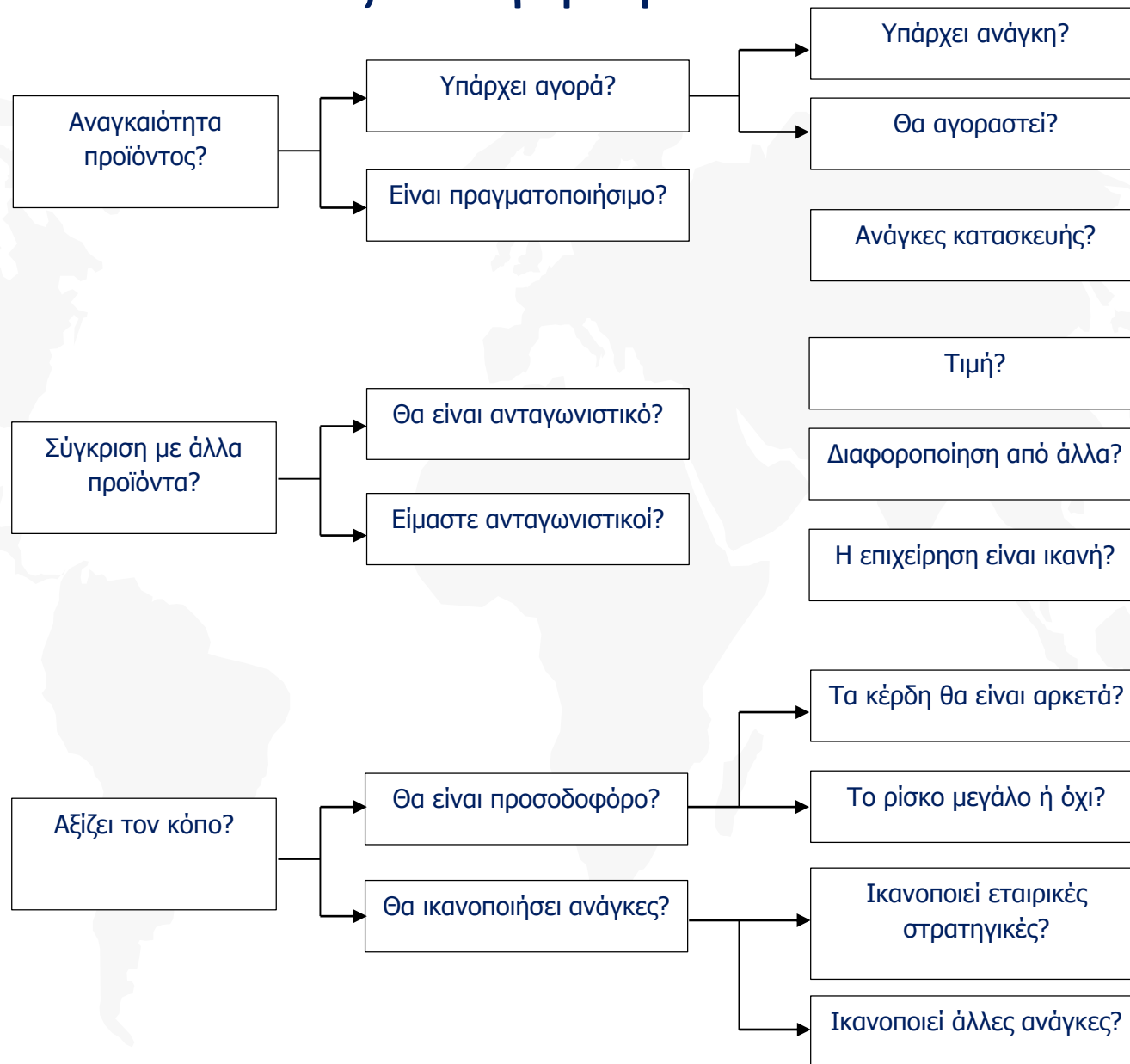


Αξιολόγηση Ιδεών

- ◆ Οι εναλλακτικές ιδέες που έχουν προταθεί, αξιολογούνται
 - Σε σχέση με την εφικτότητα κάθε λύσης – με την προσέγγιση Fermi (ισχύς κινητήρα, φορτίο λυγισμού)
 - Σε σχέση με τους περιορισμούς και το περιβάλλον λειτουργίας (π.χ. ο μηχανισμός γραμμικής κίνησης απαιτείται να κινείται σε συγκεκριμένο προσανατολισμό, να εφαρμόζει δύναμη και στις δύο κατευθύνσεις, να χρησιμοποιείται σε βεβαρημένο περιβάλλον και το βάρος του να μην ξεπερνά συγκεκριμένο όριο)
 - Τα κριτήρια αξιολόγησης πρέπει να περιλαμβάνουν όλες ή τις σπουδαιότερες απαιτήσεις του πελάτη (CR) του πίνακα QFD
- ◆ Κλίμακες αξιολόγησης
 - 3 βαθμίδων (0 = φτωχό, 1 = ικανοποιητικό, 2 = καλό)
 - 5 βαθμίδων (0 = ανεπαρκές, 1 = αδύναμο, 2 = ικανοποιητικό, 3 = καλό, 4 = πολύ καλό)
- ◆ Επιλέγονται 1 – 2 καλύτερες ιδέες
 - Επαναξιολόγηση με εμπλουτισμένα κριτήρια (ευκολία παραγωγής, περιβαλλοντολογικά κριτήρια) και βελτίωση



Αξιολόγηση Ιδεών



Αξιολόγηση Ιδεών

Παράδειγμα: Ιδέες Συστήματος Συγκόλλησης Γυψοσανίδων



Υλοποίηση Προϊόντων

- ◆ Βασικά βήματα μορφολογικής ανάλυσης
 - Εναλλακτικές μορφές (που ενδέχεται να εξαρτώνται από τη δομή του προϊόντος)
 - Αξιολόγηση μορφών
- ◆ Προκαταρκτικά σχέδια (προσχέδια) και κατασκευή πρωτοτύπου
 - Έλεγχος ικανοποίησης απαιτήσεων του πελάτη και απόδοσης
 - Έλεγχος πιστότητας και περιβαλλοντολογικής συμμόρφωσης
 - Παραγωγικές κατεργασίες και συναρμολόγηση ικανοποιούν σχετικά κριτήρια
 - Θεσμικά θέματα και θέματα ασφάλειας ικανοποιούνται
 - Α' και Β' ύλες ικανοποιούν απαιτήσεις κόστους, ποιότητας, παράδοσης
- ◆ Κατασκευαστικά σχέδια
- ◆ Φασεολόγια και πρόγραμμα παραγωγής

Υλοποίηση Προϊόντων

- ◆ Παράδειγμα: Υλοποίηση «γωνίας» που ενώνει και συγκρατεί δύο κάθετες μεταλλικές επιφάνειες
- ◆ Το βήμα μεταξύ της ανάπτυξης της ιδέας και της υλοποίησης του προϊόντος είναι μεγάλο
- ◆ Παράδειγμα: Βρύση (κυλινδρικός σωλήνας και σφαίρα)
- ◆ Ιδέες για τυποποιημένα συστήματα και εξαρτήματα (προς αντιγραφή ή προμήθεια)
 - www.thomasregister.com
 - www.designinfo.com
 - www.hti.com (hand tool institute)



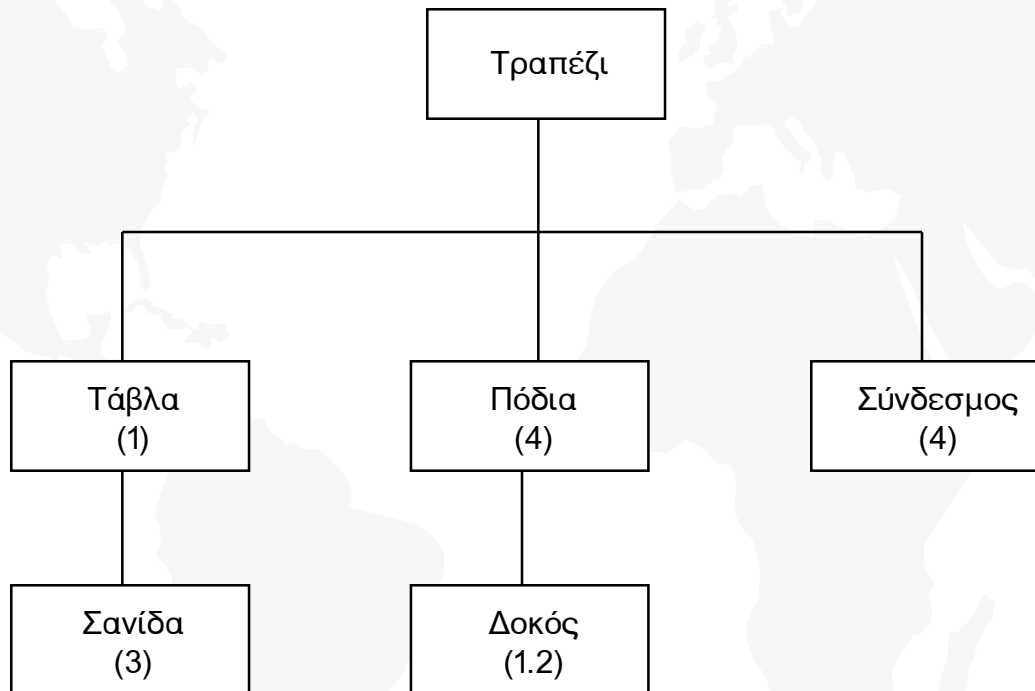
5. Μέθοδοι Παραγωγής και Σχεδιασμός

- ◆ Εισαγωγή
- ◆ Επιλογή Υλικών
- ◆ Μέθοδοι Παραγωγής
- ◆ Επιλογή Μεθόδων Παραγωγής
- ◆ Μείωση Κόστους Παραγωγής



Εισαγωγή: Πίνακες Υλικών

- ◆ Ο πίνακας υλικών ορίζει την δομή του προϊόντος



Τραπέζι
. Τάβλα
.. Σανίδα (3)
. Πόδι (4)
.. Δοκός (1.2)
. Σύνδεσμος (4)

Εισαγωγή: Φασεολόγια

- ◆ Το κάθε κατασκευαζόμενο τεμάχιο ή συναρμολόγημα αντιστοιχεί σε ένα φασεολόγιο το οποίο περιγράφει τον τρόπο κατασκευής του.

Αριθμός Ταυτότητας Τεμαχίου: 10101 (τάβλα)						
Μονάδα Μέτρησης: Έκαστον						
Μέγεθος Παρτίδας: 15						
...						
α/α	Κέντρο Εργασίας	Χρόνος Προετοιμασίας (hr./παρτίδα)	Χρόνος Κύριας Λειτουργίας (hr./τεμάχιο)	Χρόνος Αναμονής (hr./παρτίδα)	Χρόνος Μεταφοράς (hr./παρτίδα)	Οδηγίες
10	ΠΡΙΟΝ10	1	0.3	0	0.2	Κοπή σε ...
20	ΣΥΓΚ1	0.5	0.1	0	10	Συγκόλληση ...
30	ΛΕΙΑΝ3	1.2	0.1	5	0.2	Διαμόρφωση ..
40	ΠΟΙΟΤ	0.2	0.05	0	0.2	Ποιοτικός έλ...

Εισαγωγή: Κόστος Προϊόντος

- ◆ Τό τυπικό κόστος του προϊόντος μπορεί να υπολογισθεί γνωρίζοντας τον πίνακα υλικών, τα φασεολόγια, το μέγεθος της παρτίδας, και το ποσοστό έμμεσου κόστους της εταιρίας.
- ◆ Το κόστος c κάθε τεμαχίου του προϊόντος ανά μονάδα

$$c = \sum_i m_i q_i + \left(\sum_k \frac{s_k}{b} c_s + \sum_k r_k c_r \right) (1 + \tilde{n})$$

- ◆ Η βασική δομή του πίνακα υλικών είναι αποτέλεσμα της φάσης του νοητικού σχεδιασμού. Η λεπτομερής μορφή του πίνακα όμως καθώς και τα φασεολόγια καθορίζονται κατόπιν της επιλογής υλικών, της επιλογής κατεργασιών και τον λεπτομερή σχεδιασμό κάθε κατεργασίας.

Εισαγωγή: Χρόνος Διέλευσης

- ◆ Ο χρόνος διέλευσης του προϊόντος μπορεί να υπολογισθεί γνωρίζοντας τον πίνακα υλικών, τα φασεολόγια και το μέγεθος της παρτίδας, και το ποσοστό έμμεσου κόστους της εταιρίας.
- ◆ Ο χρόνος διέλευσης t κάθε τεμαχίου (είδους) του προϊόντος ανά παρτίδα

$$t = \sum_k s_k + \sum_k r_k b$$

Παράδειγμα 1

- ◆ Να υπολογισθεί ο χρόνος διέλευσης από την παραγωγή κάθε τεμαχίου του τραπεζιού:
- ◆ Τι στοιχεία χρειάζονται
 - ◆ Πίνακας υλικών
 - ◆ Φασεολόγια για κάθε κατασκευαζόμενο τεμάχιο (τραπέζι, τάβλα, πόδι)
 - ◆ Μεγέθη παρτίδας για κάθε τεμάχιο



Παράδειγμα 1: Στοιχεία

Κωδικός Τεμαχίου: 21001 Τραπέζι Μονάδα Μέτρησης: Έκαστον Μέγεθος Παρτίδας: 15						
A/A	Κέντρο Εργασίας	Χρόνος Προετοι- μασίας	Χρόνος Κύριας Λειτουργίας	Χρόνος Αναμονής	Χρόνος Μεταφοράς	Παρατη- ρήσεις
10	ΠΑΓΚΟΣ113	0.5	1.3	0	0.2	
20	ΠΟΙΟΤ	0.3	0.2	0	0.2	

Παράδειγμα 1: Στοιχεία

Κωδικός Τεμαχίου: 21001 Πόδι Μονάδα Μέτρησης: Έκαστον Μέγεθος Παρτίδας: 60						
A/A	Κέντρο Εργασίας	Χρόνος Προετοι- μασίας	Χρόνος Κύριας Λειτουργίας	Χρόνος Αναμονής	Χρόνος Μεταφοράς	Παρατη- ρήσεις
10	ΠΡΙΟΝ10	0.2	0.3	5.0	0.2	
20	ΛΕΙΑΝ5	0.5	0.2	0	0.2	
30	ΠΟΙΟΤ	0.1	0.05	0	0.2	

Παράδειγμα 2

- ◆ Να υπολογισθεί το κόστος του τραπεζιού ανά μονάδα:
- ◆ Τι στοιχεία χρειάζονται
 - ◆ Πίνακας υλικών
 - ◆ Φασεολόγια για κάθε κατασκευαζόμενο τεμάχιο (τραπέζι, τάβλα, πόδι)
 - ◆ Μεγέθη παρτίδας για κάθε τεμάχιο
 - ◆ Κόστος υλικών
 - ◆ Σανίδα 5.9 €/MM
 - ◆ Δοκός 8.8 €/MM
 - ◆ Σύνδεσμος 1.5 €/MM
 - ◆ Κόστος εργατικών 18 €/ώρα
 - ◆ Έμμεσο Κόστος 120%



Επιλογή Υλικών

◆ Ρόλος των Υλικών

- Υποστηρίζουν φορτία
- Μεταδίδουν θερμότητα
- Μονώνουν
- Μεταδίδουν ηλεκτρισμό
- Αντιστέκονται στη διάβρωση
- Επιβραδύνουν τη φθορά
- Εσωκλείουν αέρια, υγρά και στερεά
- Προσδίδουν αισθητικά ευχάριστες φόρμες, επιφάνειες και χρώματα

- Η επιλογή υλικών για την ικανοποίηση των λειτουργικών απαιτήσεων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την επιλογή κατεργασιών παραγωγής
- Τα χαρακτηριστικά των υλικών κατηγοριοποιούνται ως εξής:
 - Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες
 - Ηλεκτρικές, μαγνητικές και θερμικές ιδιότητες
 - Περιβαλλοντολογικές ιδιότητες
 - Παράγοντες κόστους
 - Μέθοδοι παραγωγής



Επιλογή Υλικών

- ◆ Τυπικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες
 - Όριο αντοχής εφελκυσμού και θλίψης
 - Σκληρότητα, πυκνότητα
 - Σταθερά ελαστικότητας (Young's modulus)
 - Όριο κόπωσης
 - Όριο αντοχής σε κρούση
- ◆ Κριτήρια επιλογής υλικών στις αρχικές φάσεις σχεδιασμού
 - Όριο αντοχής
 - Μηχανισμός αστοχίας
 - Πυκνότητα
 - Παραμόρφωση κατά τη φόρτιση



Επιλογή Υλικών

- ◆ Τυπικές ηλεκτρικές, μαγνητικές, θερμικές ιδιότητες
 - Διηλεκτρική σταθερά και αντίσταση
 - Σθένος μαγνητικού πεδίου
 - Θερμική διαστολή (συντελεστής θερμικής διαστολής)
 - Αγωγιμότητα (σταθερά μετάδοσης θερμότητας)
 - Ειδική θερμότητα
 - Ευφλεκτότητα
 - Ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας
- ◆ Περιβαλλοντολογικές ιδιότητες
 - Αντίσταση στην ακτινοβολία
 - Αντίσταση στις χημικές ουσίες, παράγοντες διάβρωσης
- ◆ Κριτήρια Κόστους
 - Κόστος ανά μονάδα βάρους
 - Κόστος ανά μονάδα αντοχής



Πρωτογενείς και Δευτερογενείς Κατεργασίες

Πρωτογενείς Κατεργασίες

Επεξεργασία Α' Υλών	Αναγωγή οξειδίων Πολυμερισμός Έψηση αργίλου
Χύτευση	Μετάλλων Πλαστικών
Διαμορφώσεις	Έλαση Κονιομεταλλουργία

Πρωτογενείς και Δευτερογενείς Κατεργασίες

Δευτερογενείς Κατεργασίες

Αφαίρεση Υλικού	Τόρνευση Φρεζάρισμα Διάτρηση Γραναζοκοπή
Συνδέσεις	Συγκολλήσεις τόξου Συγκολλήσεις Laser Κολλήσεις Κοχλιοσυνδέσεις Ηλώσεις
Θερμικές Κατεργασίες	Ανόπτηση Βαφή - επαναφορά
Επιφανειακές Κατεργασίες	Αμμοβολή Ενανθράκωση Εναζώτωση Επιμεταλλώσεις



Χύτευση Μετάλλων



Χύτευση με Άμμο

- ◆ **Προϊόντα:** Μπλοκ κινητήρων, σκελετοί μηχανημάτων, βαλβίδες, σύνδεσμοι σωλήνων, τύμπανα φρένων
- ◆ **Υλικά:** Σίδηρος, χάλυβας, κράματα αλουμινίου, μαγνησίου, νικελίου, τσίγκος
- ◆ **Χρόνος** κύριας λειτουργίας: < 20 τεμάχια/ώρα
- ◆ **Κόστος:** Χαμηλό κόστος καλουπιού και εξοπλισμού, μέτριο εργατικό κόστος (10 - 100.000 τεμάχια). Κόστος σχετίζεται με βάρος
- ◆ **Σχήματα:** Πολύπλοκα τεμάχια, με εσωτερικές οπές (30gr. – 200 tn)
- ◆ **Διαστάσεις:** Χαμηλή ακρίβεια ± 0.02 mm/mm
- ◆ **Επιφάνεια:** Υψηλή τραχύτητα (12-25 μ m)
- ◆ **Πλεονεκτήματα:** Πολύπλοκα σχήματα, μεγάλο φάσμα μεγεθών, χρησιμοποιούνται τα περισσότερα μέταλλα, χαμηλό κόστος
- ◆ **Μειονεκτήματα:** Υψηλή τραχύτητα, χαμηλή ακρίβεια, δευτερεύουσες κατεργασίες είναι απαραίτητες σε πολλές περιπτώσεις.



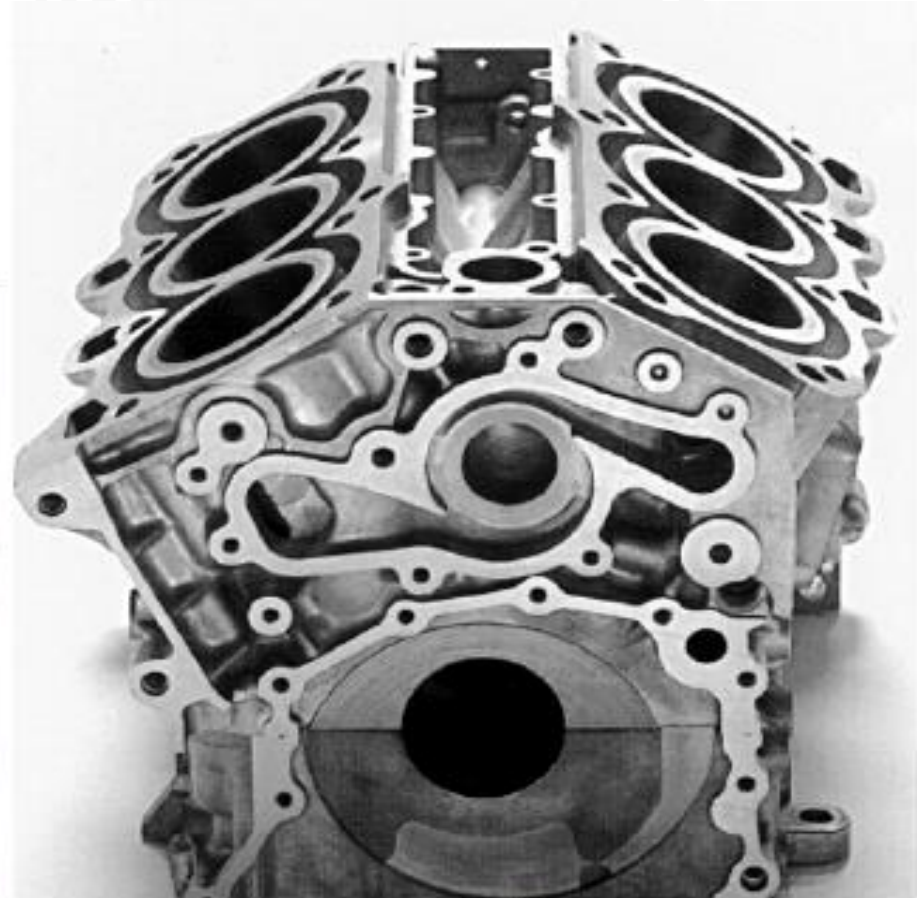
Χύτευση σε Μόνιμο Καλούπι

α) Στοιχείο Αντλίας



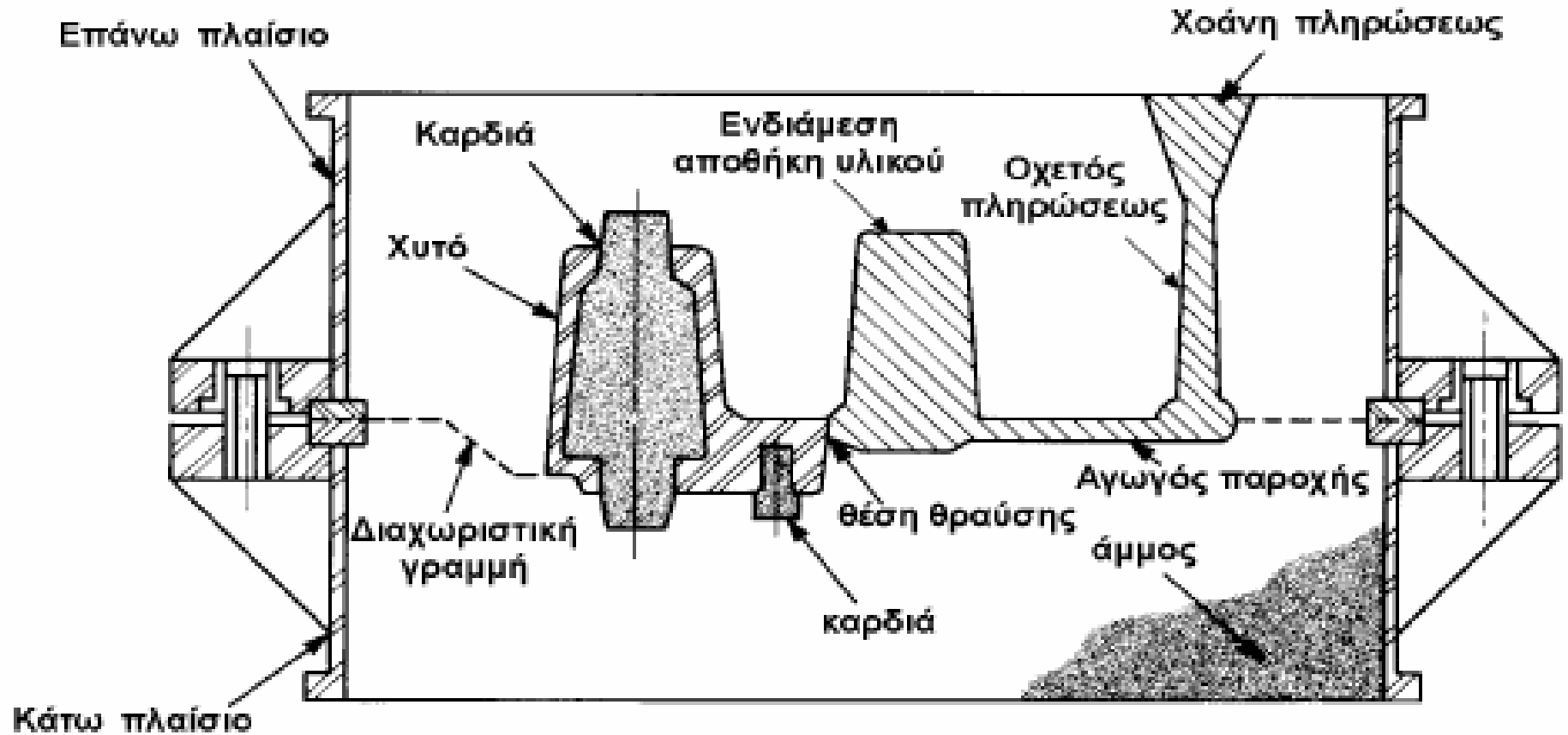
(α)

β) Κινητήρας Αυτοκινήτου

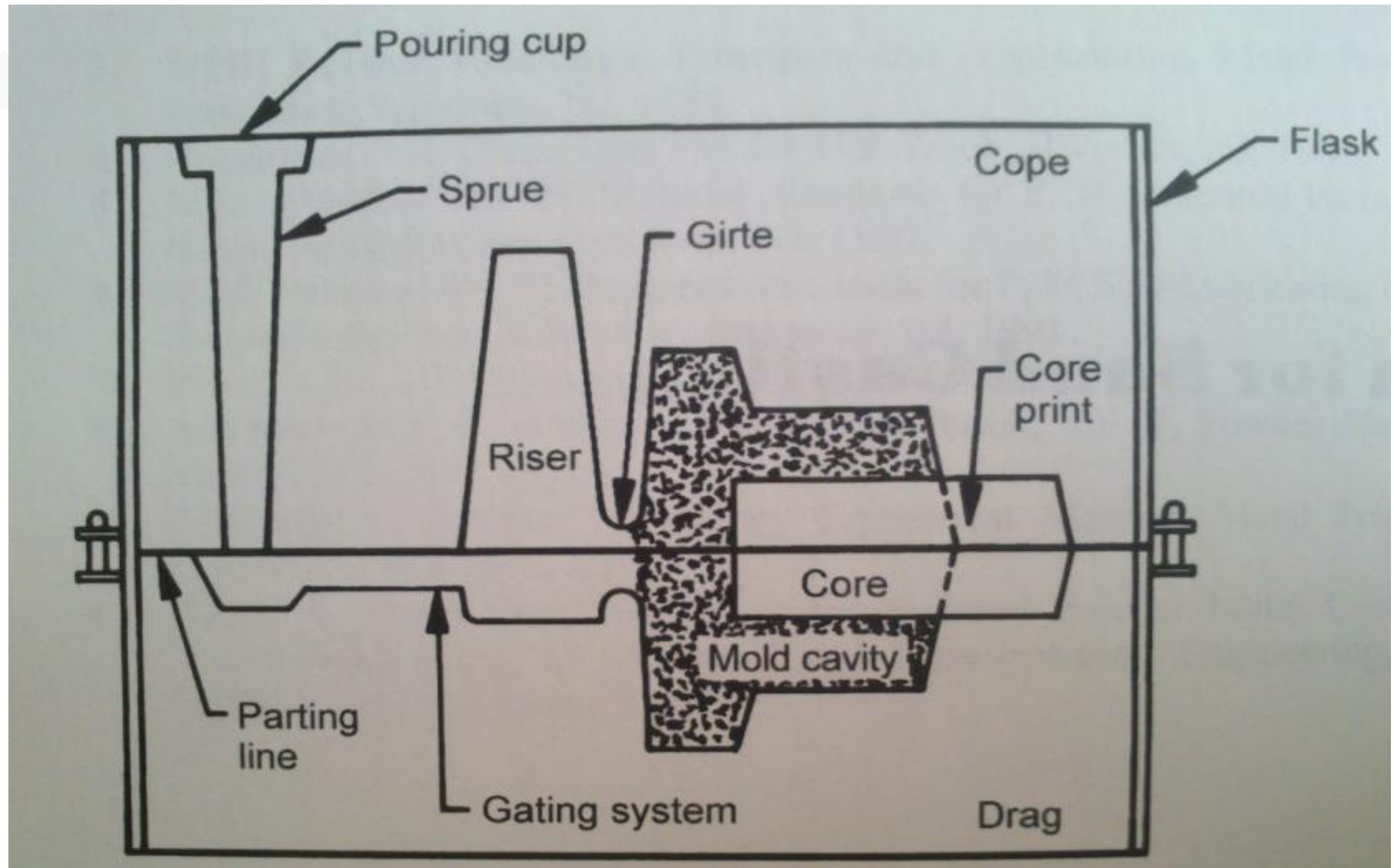


(β)

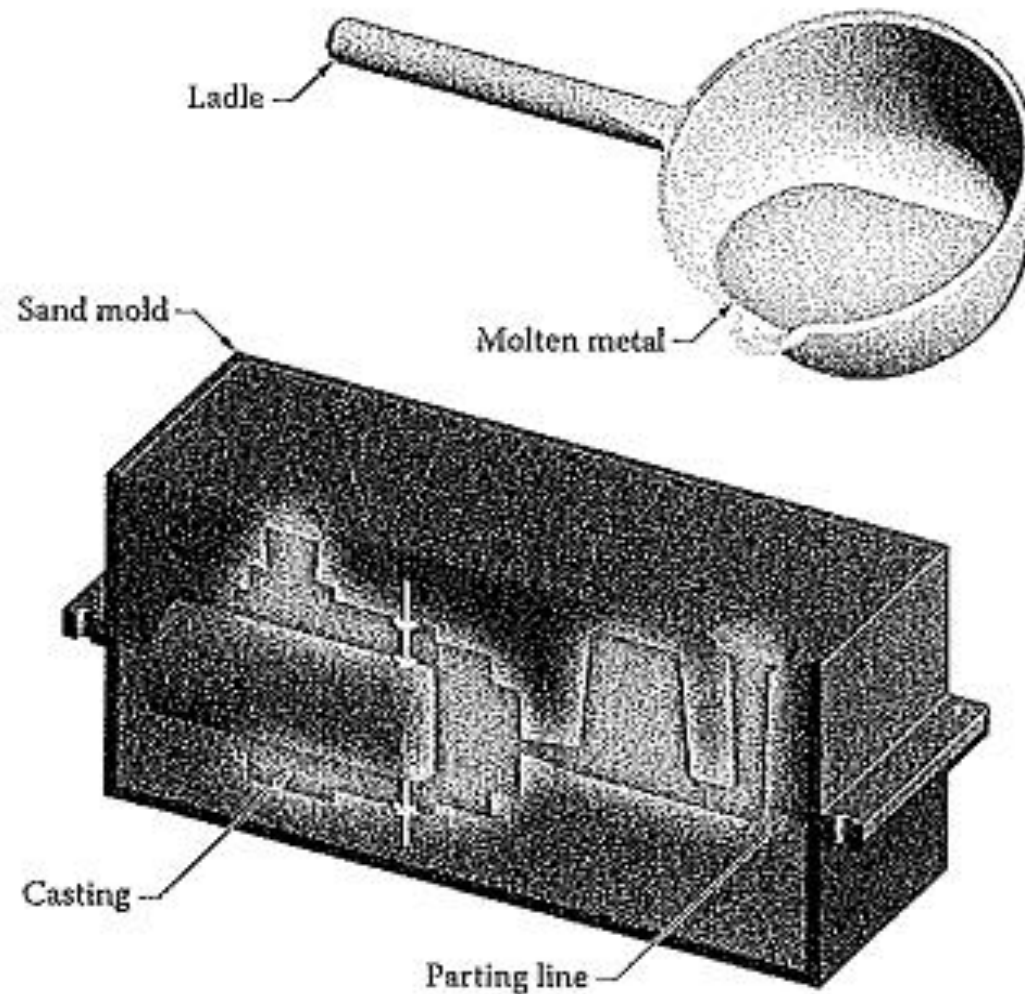
Καλούπι για Χύτευση σε Άμμο σε Τομή



Χύτευση σε Άμμο



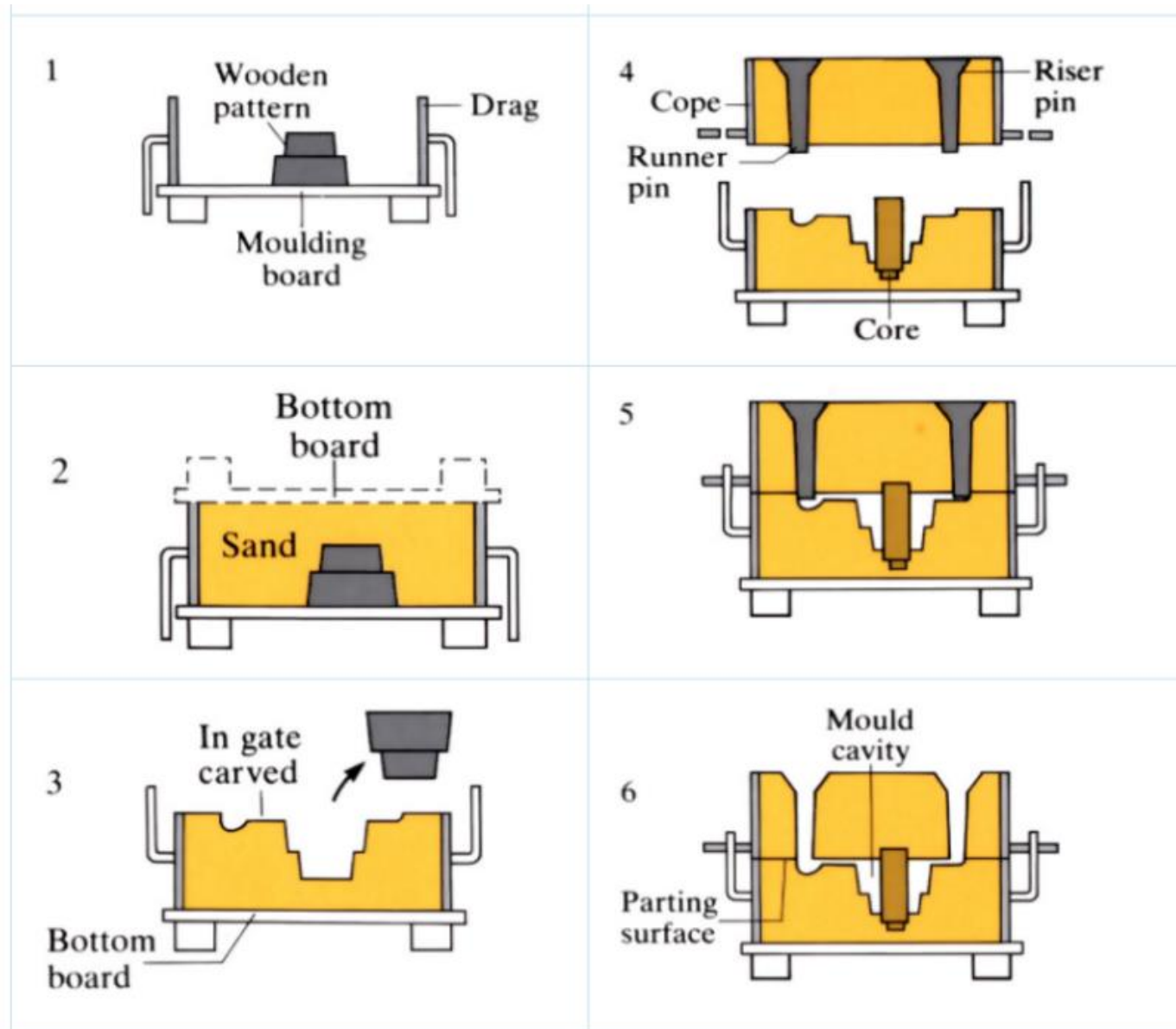
Χύτευση σε Άμμο



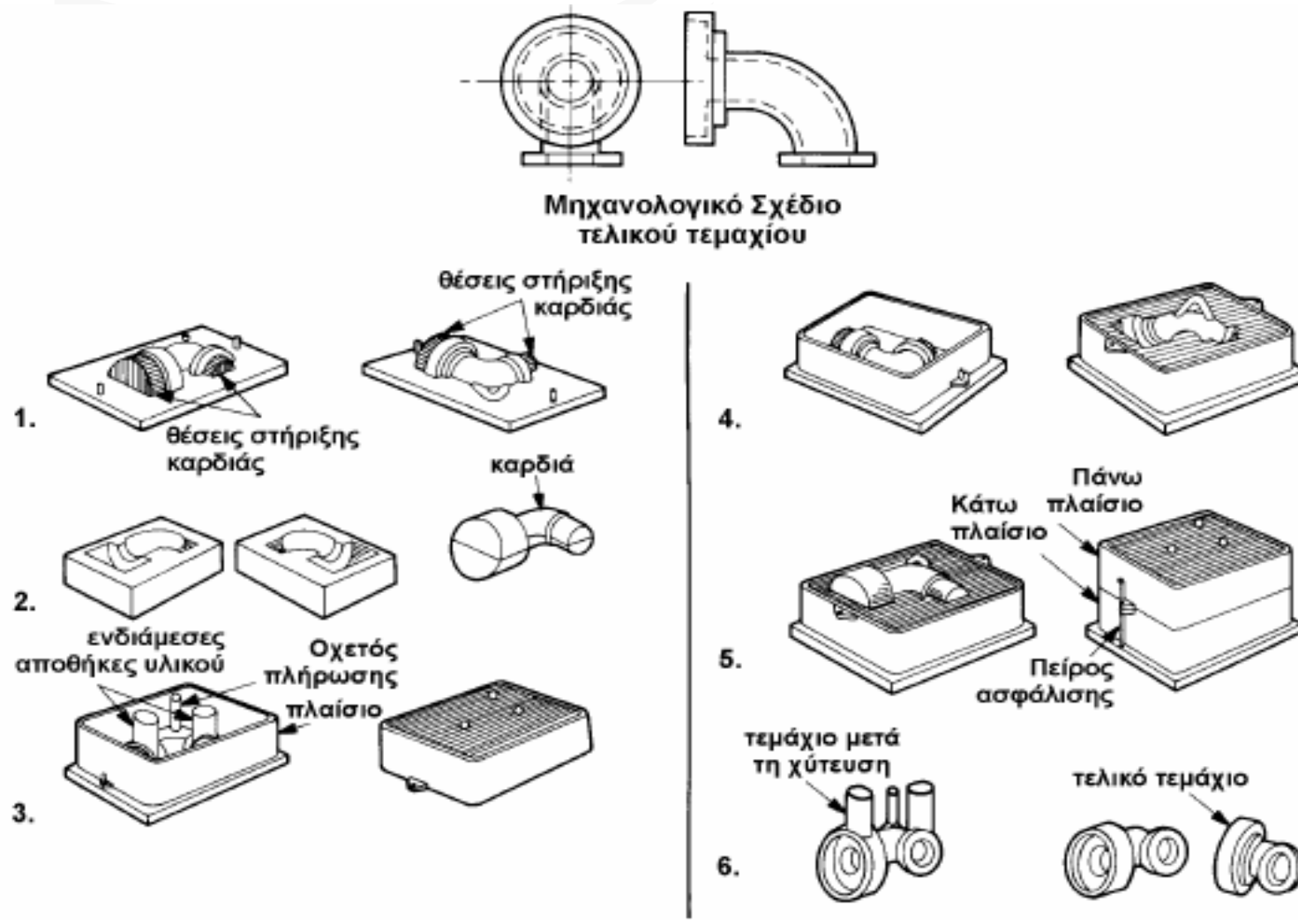
Sand casting. (copyright © 2008 CustomPartNet. Courtesy of CustomPartNet, Inc, www.custompart.net.)



Χύτευση σε Άμμο



Σχηματική Αναπαράσταση της Χύτευσης σε Άμμο



Χύτευση σε Καλούπι από Άμμο

α) Θάλαμος με το τηκόμενο μέταλλο

Β) Χύτευση του τηκόμενου μετάλλου σε ανοιχτό μοντέλο



(α)

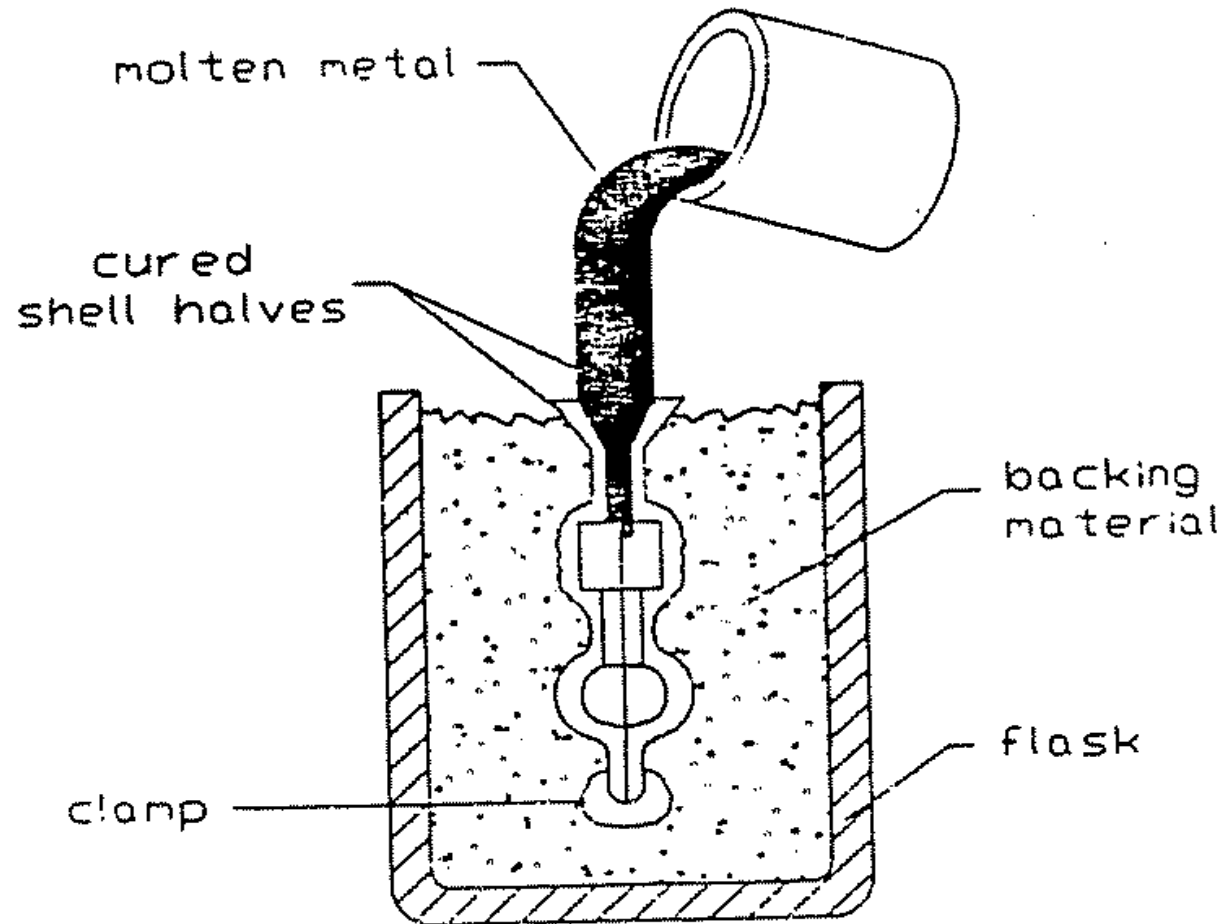


(β)

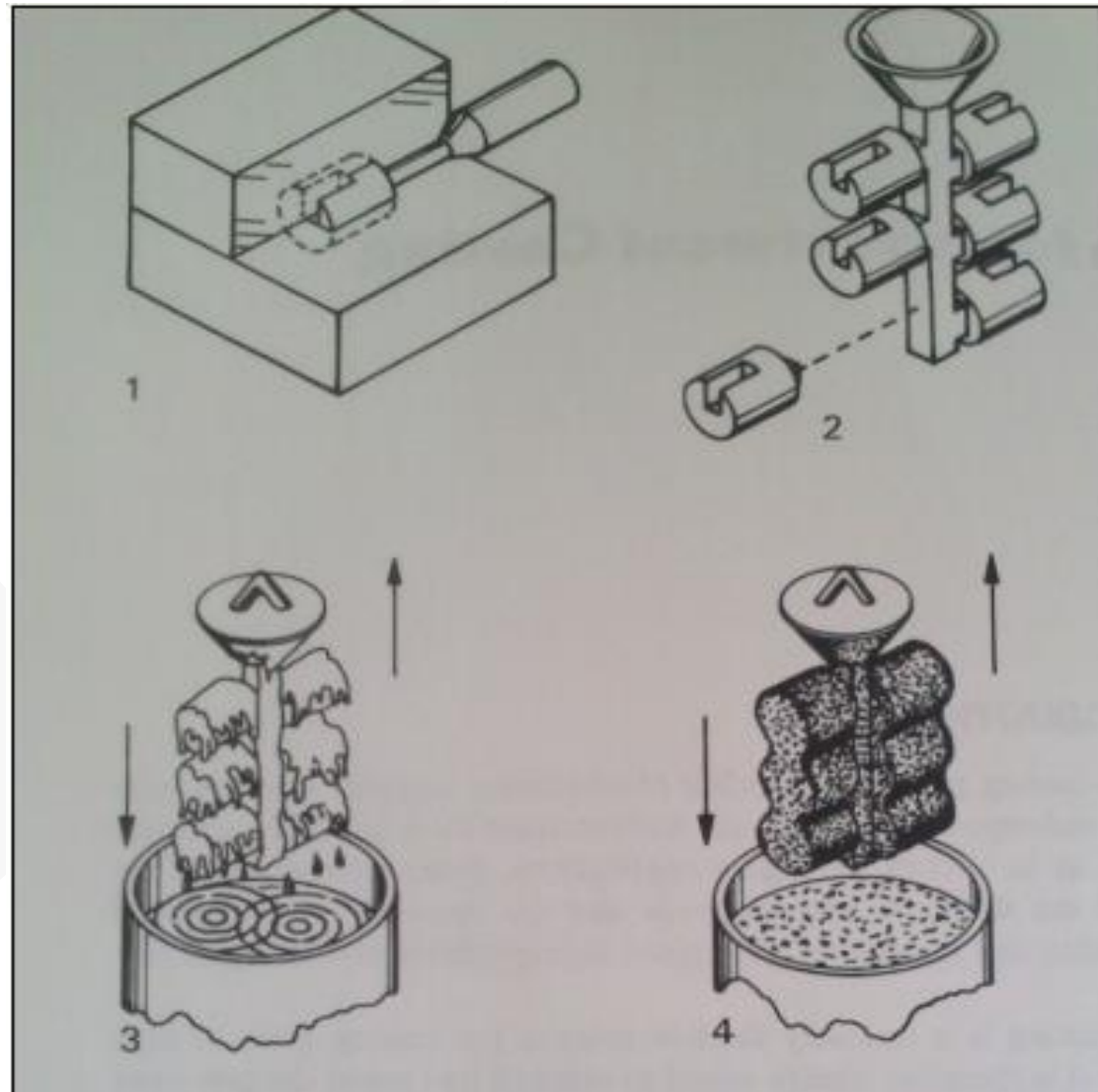
Επενδυτική Χύτευση Ακρίβειας

- ◆ **Προϊόντα:** Εξαρτήματα ακριβείας (π.χ. για ραπτομηχανές, όπλα, χειρουργικά εργαλεία), στρόφαλοι, «καρυδάκια», γρανάζια, πτερύγια στροβιλομηχανών.
- ◆ **Υλικά:** Σχεδόν όλα τα μέταλλα. Πλέον συνήθη: χάλυβας, κράματα αλουμινίου, χαλκού, μαγνησίου.
- ◆ **Χρόνος** κύριας λειτουργίας: < 1000 τεμάχια/ώρα (με πολλαπλά καλούπια)
- ◆ **Κόστος:** Υψηλό εργατικό κόστος, υψηλό κόστος εξοπλισμού (100 - 100.000 τεμάχια). Πιο κοστοβόρα από άλλες χυτεύσεις.
- ◆ **Σχήματα:** Μικρά, πολύπλοκα τεμάχια (1gr. – 35 kg)
- ◆ **Διαστάσεις:** Ακρίβεια $\pm 0.8 \text{ mm} - 1 \text{ mm}$
- ◆ **Επιφάνεια:** Χαμηλή τραχύτητα
- ◆ **Πλεονεκτήματα:** Πολύπλοκα σχήματα, λείες επιφάνειες, χρησιμοποιούνται τα περισσότερα μέταλλα, δεν απαιτούνται δευτερεύουσες κατεργασίες.
- ◆ **Μειονεκτήματα:** Μικρά εξαρτήματα, υψηλό εργατικό κόστος, υψηλό κόστος καλουπιών

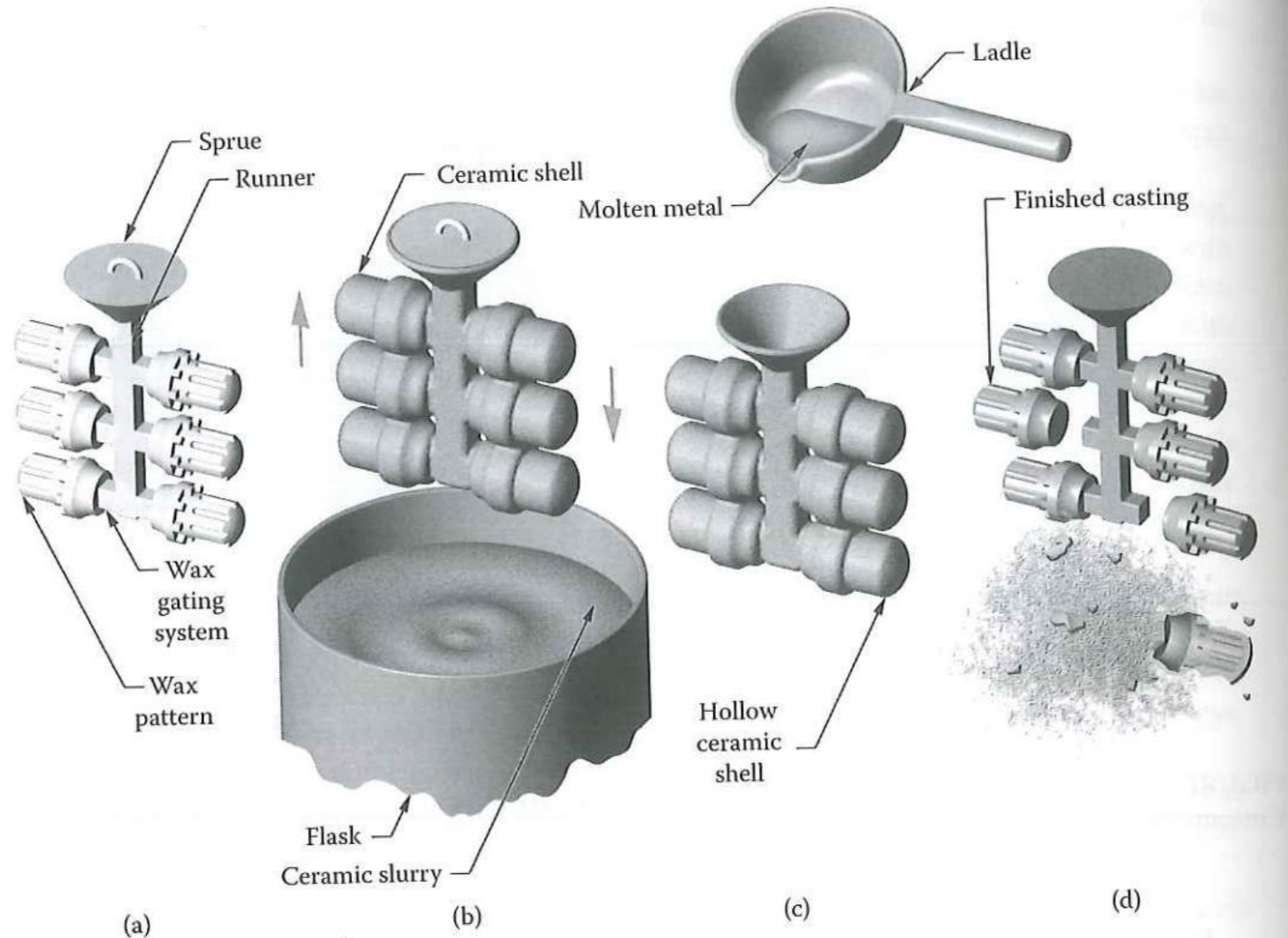
Χύτευση Ακριβείας σε Κέλυφος



Επενδυτική Χύτευση Ακριβείας



ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΗ ΧΥΤΕΥΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

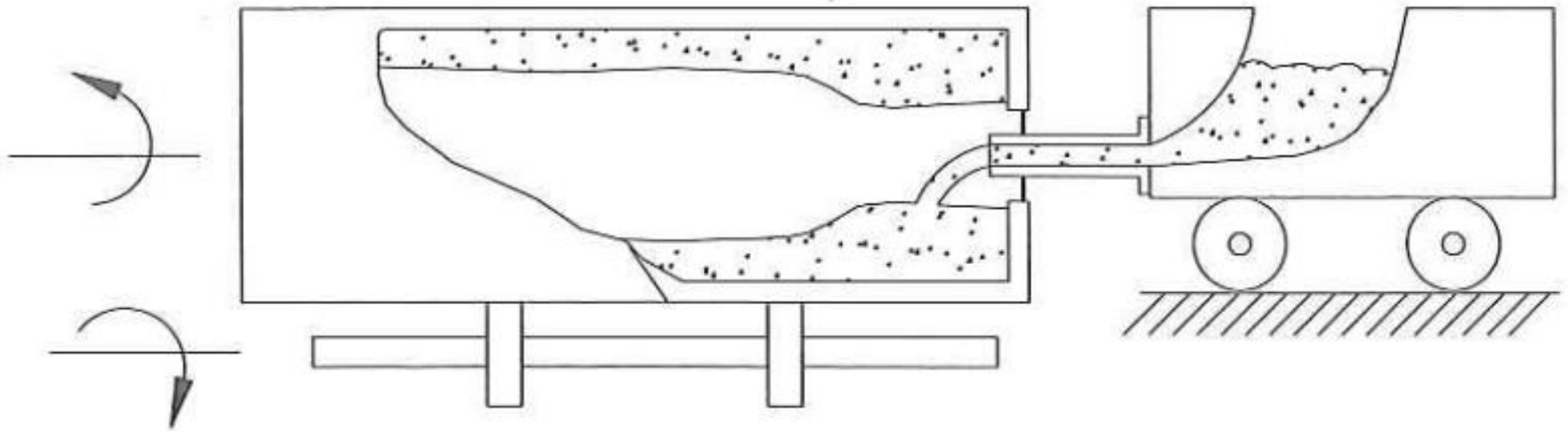


Φυγοκεντρική Χύτευση

- ◆ **Προϊόντα:** Εξαρτήματα και προϊόντα εκ περιστροφής. Σωλήνες, «πουκάμισα» κινητήρων, τροχοί, φλάντζες, δακτυλίδια ρουλεμάν
- ◆ **Υλικά:** Κράματα αλουμινίου, νικελίου, χαλκού, σιδήρου
- ◆ **Χρόνος** κύριας λειτουργίας < 50 τεμάχια/ώρα
- ◆ **Κόστος:** Υψηλό κόστος καλουπιού, μέτριο κόστος εξοπλισμού συνεπάγεται μέτριες παρτίδες για οικονομική εκμετάλλευση
- ◆ **Σχήματα:** Προϊόντα εκ περιστροφής μεγάλου μήκους χωρίς πολύπλοκο σχήμα
- ◆ **Διαστάσεις:** Μέτρια ακρίβεια
- ◆ **Επιφάνεια:** Χαμηλή τραχύτητα στην εξωτερική επιφάνεια, υψηλή στην εσωτερική επιφάνεια
- ◆ **Πλεονεκτήματα:** Κυλινδρικά προϊόντα μεγάλου μήκους.
- ◆ **Μειονεκτήματα:** Χαμηλή πολυπλοκότητα, υψηλή επένδυση.



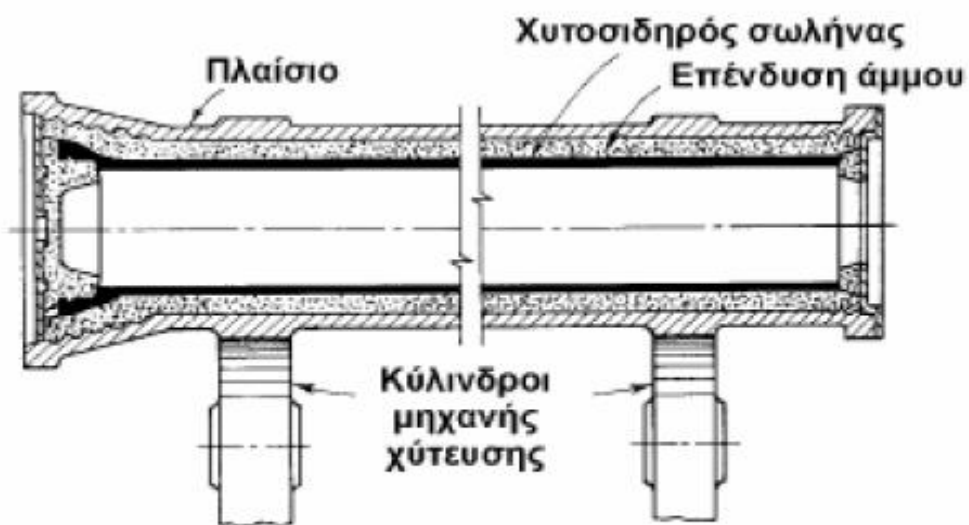
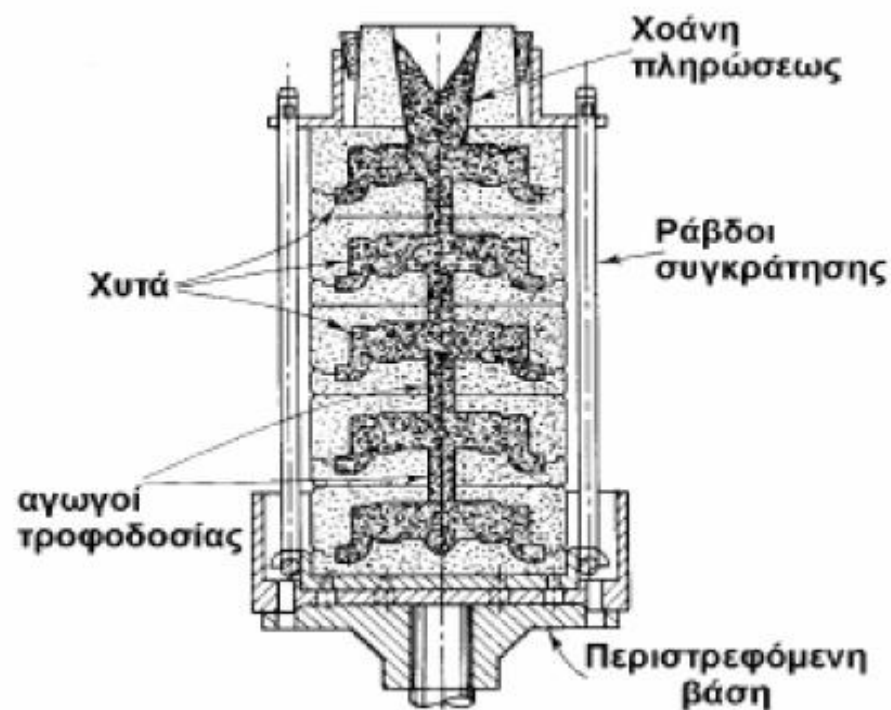
Φυγοκεντρική Χύτευση Μετάλλου σε Καλούπι



- Πηγή: [Magrab, 2010](#) Integrated product and process design and development: The product realization process (2nd ed.)CRC Press, Boca Raton, FL (2010)



Κατακόρυφη & Οριζόντια Φυγόκεντρη Χύτευση

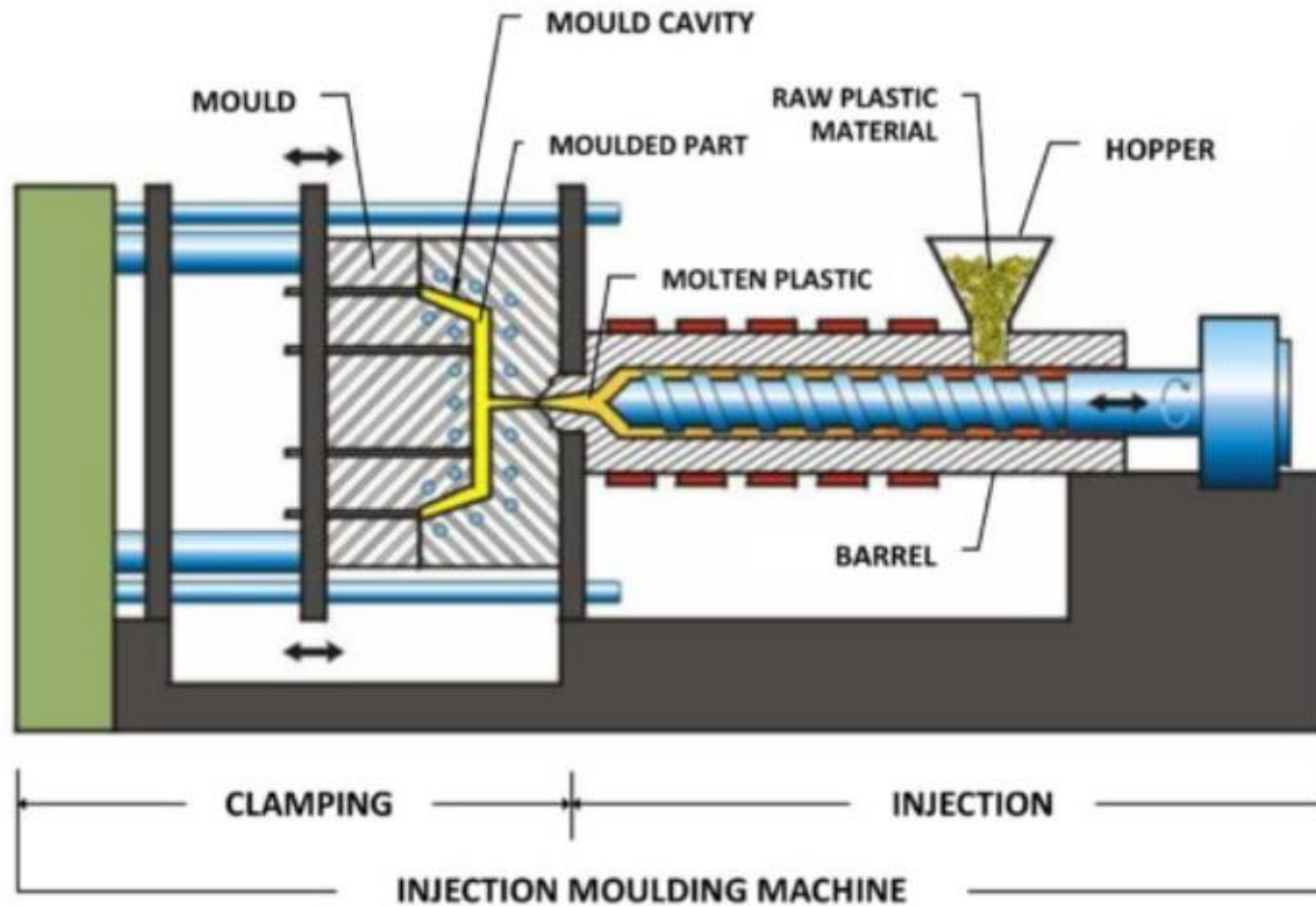


Χύτευση Πλαστικών με Έγχυση (Injection Molding)

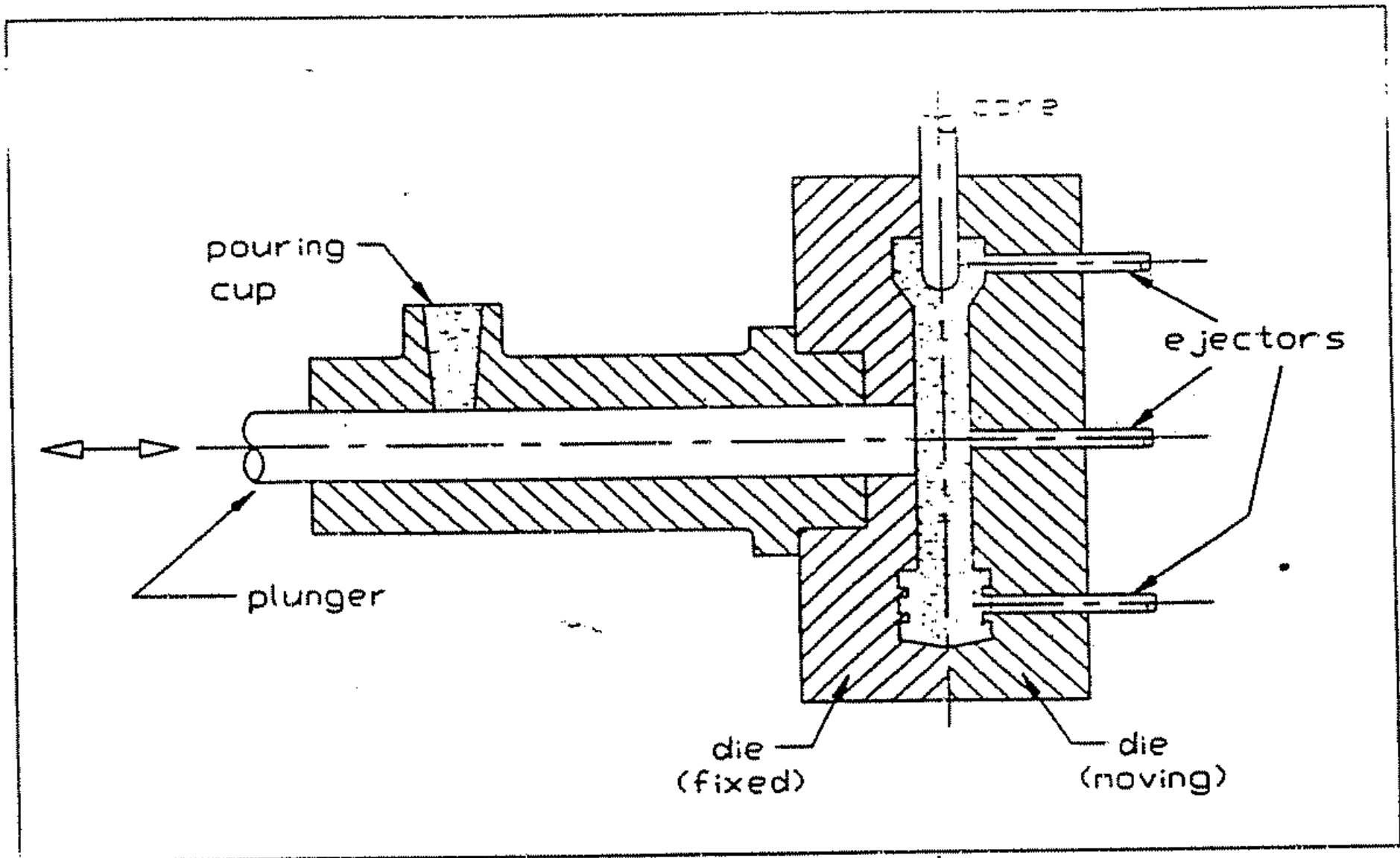
- ◆ **Προϊόντα:** Δοχεία, καλύμματα εργαλείων, εξαρτήματα υδραυλικών, φακοί επαφής, πλαστικά μαχαιροπήρουνα.
- ◆ **Υλικά:** Νάυλον, παλυεθυλένιο, πολυεστέρες, λάστιχο
- ◆ **Χρόνος** κύριας λειτουργίας: 100-200 τεμάχια/ώρα
- ◆ **Κόστος:** Υψηλό κόστος καλουπιού και εξοπλισμού συνεπάγεται μεγάλες παρτίδες για οικονομική εκμετάλλευση (10.000 – 10.000.000 τεμάχια)
- ◆ **Σχήματα:** Πολύπλοκα εξαρτήματα 5 – 50 cm
- ◆ **Διαστάσεις:** Υψηλή ακρίβεια ± 0.2 mm
- ◆ **Επιφάνεια:** Χαμηλή τραχύτητα
- ◆ **Πλεονεκτήματα:** Υψηλότετοι ρυθμοί παραγωγής, πολύπλοκων εξαρτημάτων με ποικιλία χρωμάτων. Εξαρτήματα που δεν χρίζουν δευτερεύουσα κατεργασία
- ◆ **Μειονεκτήματα:** Υψηλή επένδυση καλουπιού. Περιορισμένες διαστάσεις.



Χύτευση Πλαστικών Τεμαχίων με Έγχυση



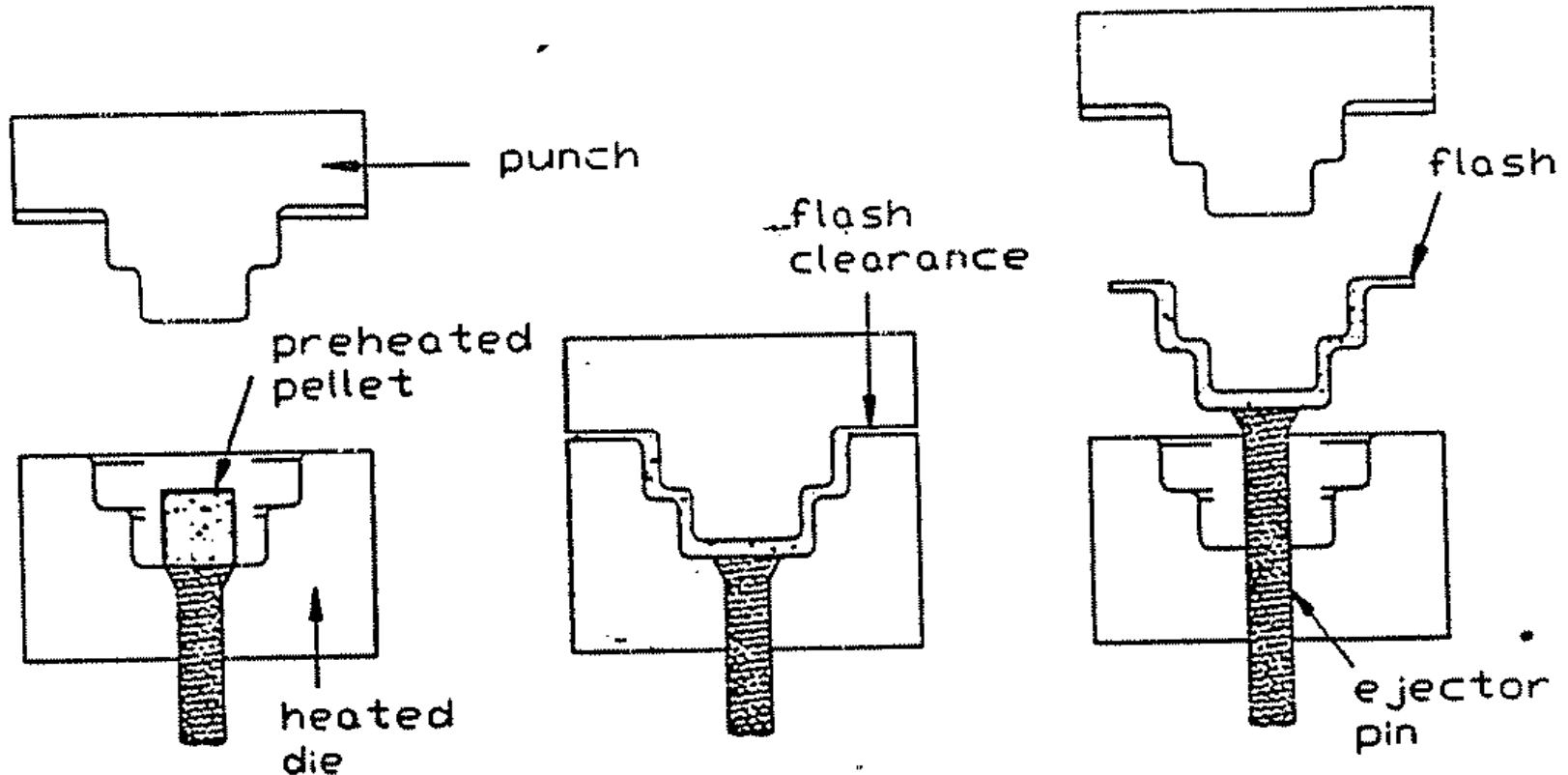
Χύτευση – υπό πίεση



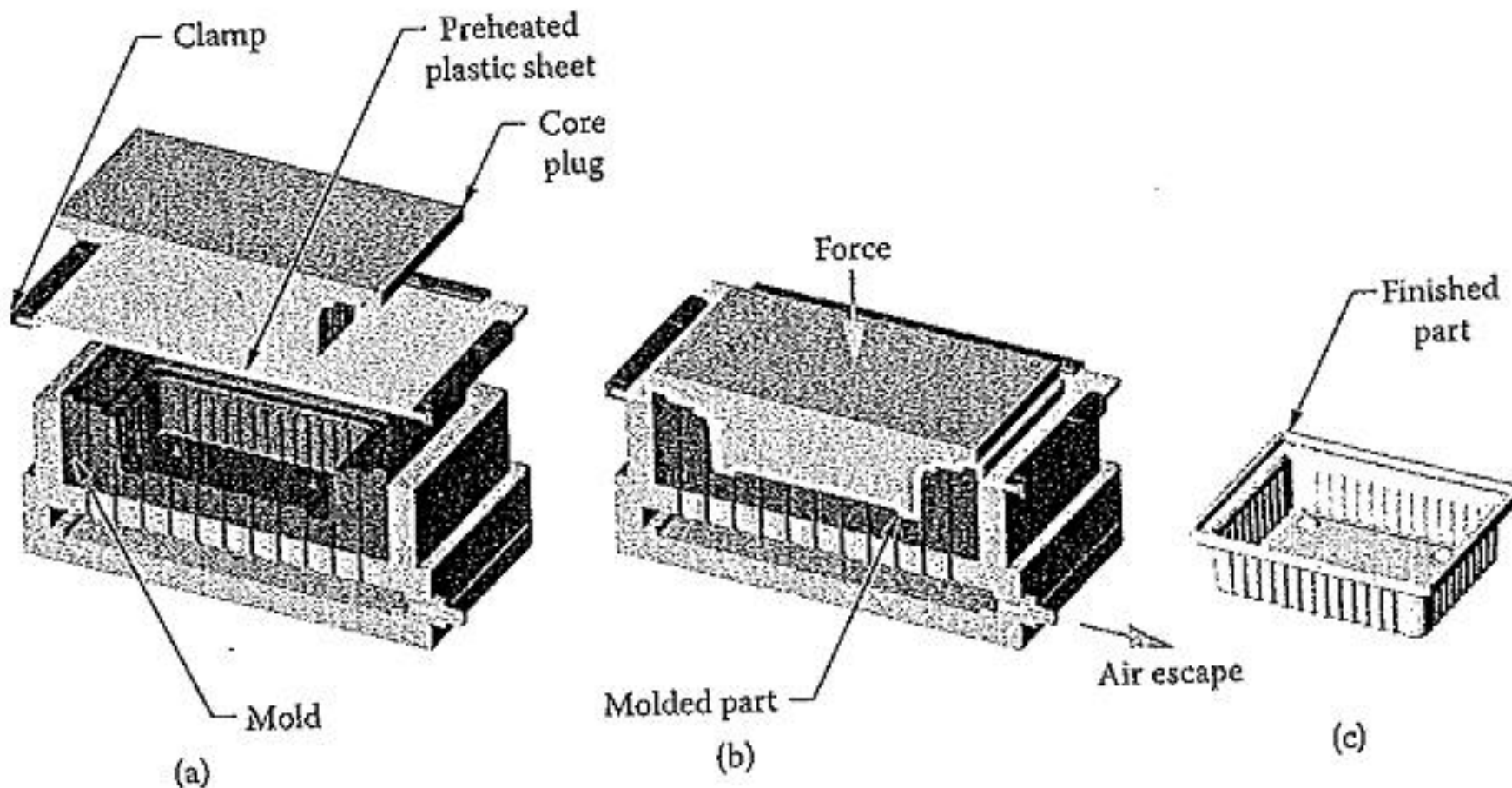
Χύτευση Πλαστικών υπό Συμπίεση

- ◆ **Προϊόντα:** Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εξαρτήματα, πιάτα, λεκάνες, εσωτερική επένδυση ψυγείων.
- ◆ **Υλικά:** Πλαστικά (thermosetting), εποξιδικά, φενόλες, πολυεστέρες
- ◆ **Κόστος:** Μέτριο κόστος καλουπιού και εξοπλισμού (παρτίδες 1.000 – 1.000.000 τεμάχια)
- ◆ **Σχήματα:** Μέτρια πολυπλοκότητα, μεγάλο φάσμα διαστάσεων
- ◆ **Διαστάσεις:** Υψηλή ακρίβεια $\pm 4\text{mm/m}$
- ◆ **Επιφάνεια:** Χαμηλή τραχύτητα
- ◆ **Πλεονεκτήματα:** Μέτριο κόστος καλουπιού. Χαμηλός ρυθμός συστολής συνεπάγεται αποφυγή παραμορφώσεων
- ◆ **Μειονεκτήματα:** Απλά σχήματα και τα υλικά δεν επιτρέπουν μεγάλη ποικιλία χρωμάτων..

Χύτευση Πλαστικών Τεμαχίων με Συμπίεση



Χύτευση Πλαστικών Τεμαχίων με Συμπίεση



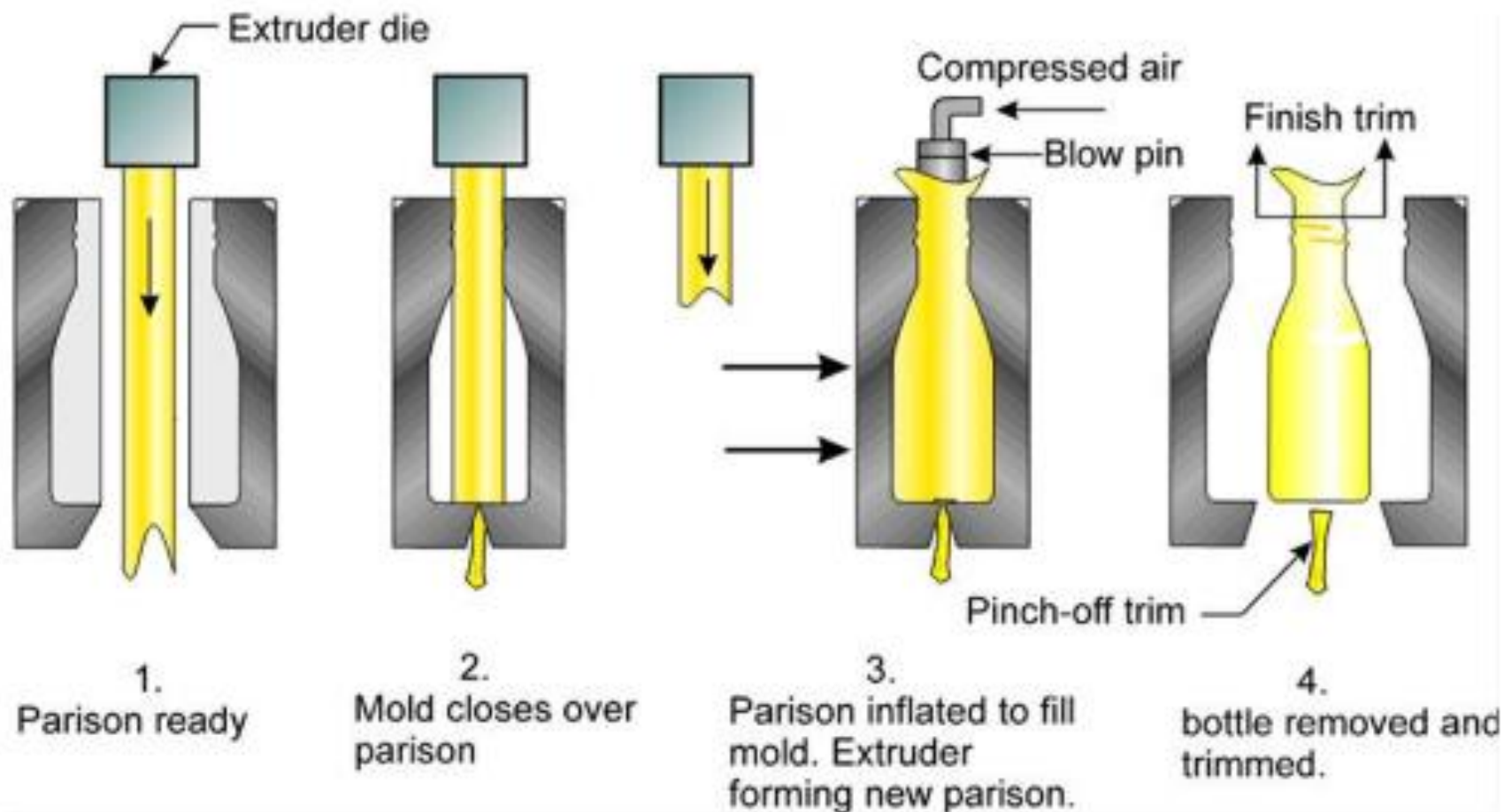
Compression molding: (a) placement of sheet material in die, (b) die closed under pressure, (c) polymerized and hardened part ejected (copyright 2008 Custom PartNet, Courtesy of CustomPart Inc, www.custompart.net.)

Χύτευση με Εμφύσηση

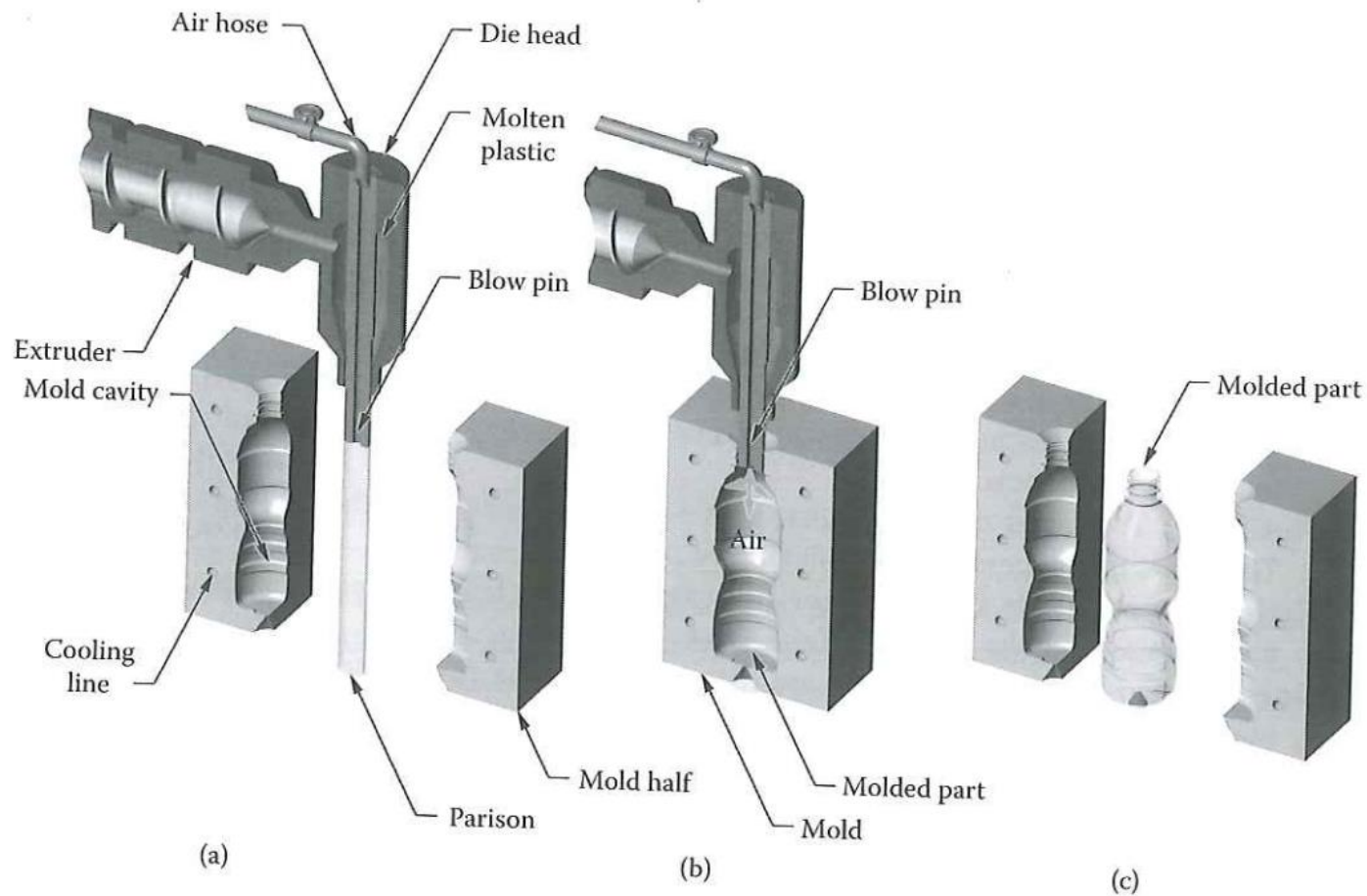
- ◆ **Προϊόντα:** Μπουκάλια, παιχνίδια, στολίδια (κέλυφος με εσωτερική κοιλότητα)
- ◆ **Υλικά:** Πλαστικά, PET
- ◆ **Κόστος:** Υψηλό κόστος εξοπλισμού, μέτριο κόστος καλουπιών
- ◆ **Χρόνος:** Υψηλοί ρυθμοί παραγωγής. Παρτίδες από 1.000 έως 10.000.000 τεμάχια
- ◆ **Σχήματα:** Ανοικτά και κλειστά κοίλα τεμάχια
- ◆ **Διαστάσεις:** Μέτρια ακρίβεια $\pm 0.5 - 2.5$ mm
- ◆ **Επιφάνεια:** Λείες έως μέτριες επιφάνειες
- ◆ **Πλεονεκτήματα:** Οικονομική και γρήγορη κατεργασία για κοίλα τεμάχια
- ◆ **Μειονεκτήματα:** Μόνο για κοίλα τεμάχια, μόνο για μεγάλες παρτίδες, μέτριες έως μεγάλες ανοχές



Χύτευση Πλαστικών Τεμαχίων με Εμφύσηση (Blow Molding)



Χύτευση Πλαστικών Τεμαχίων με Εμφύσηση (Blow Molding)

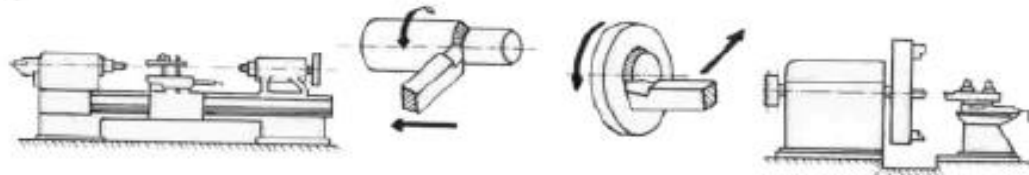


Blow molding system.(a) placement of parison, (b) inflation and cooling, (c) removal of part. (Copyright © 2008 CustoPartNet. Courtesy of CustomPartNet,Inc., www.custompart.net.)

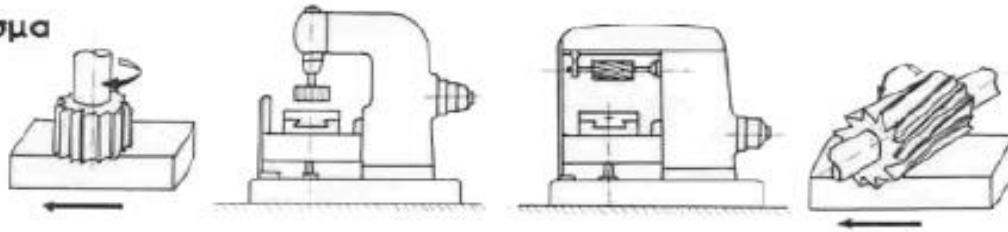


Βασικές Κατεργασίες μορφοποίησης με Αφαίρεση Υλικού

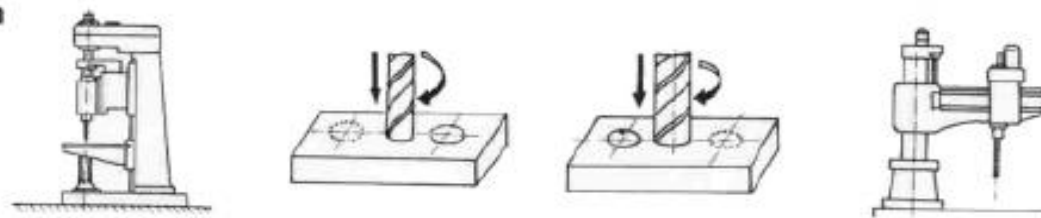
τόρνευση



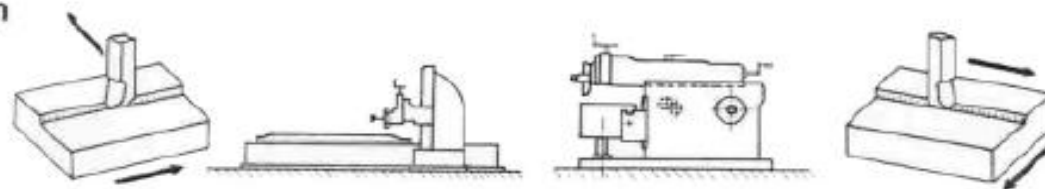
φραιζάρισμα



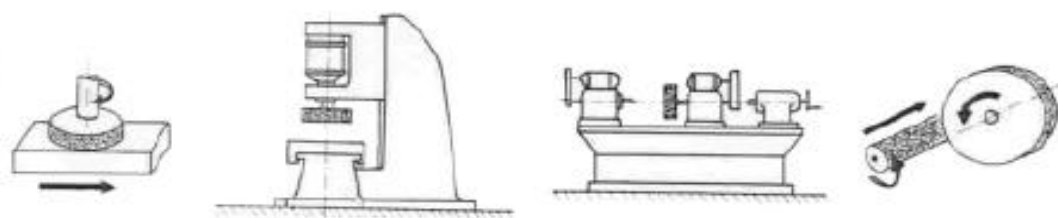
διάτρηση



πλάνιση



λείανση

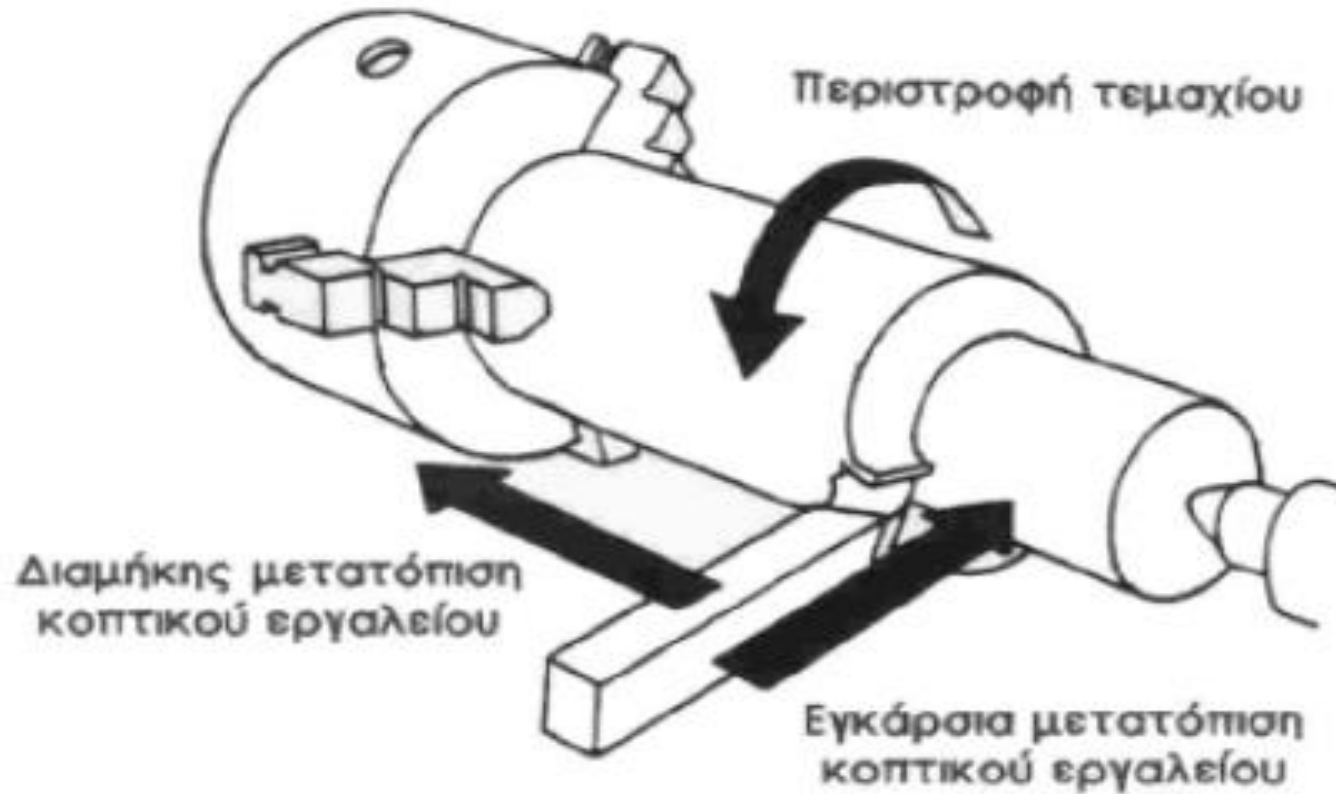


Κοπή με Τόρνο

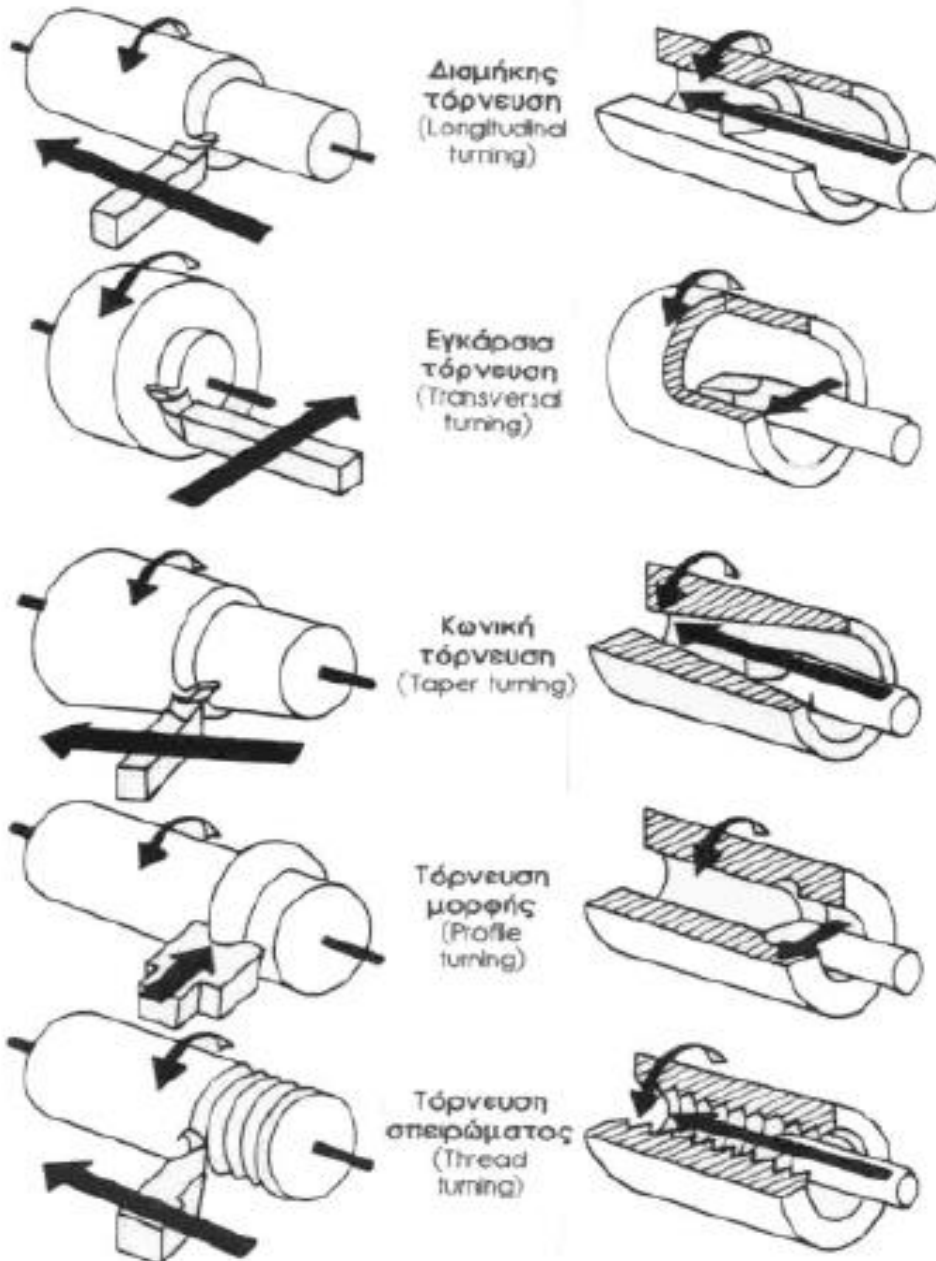
- ◆ **Προϊόντα:** Εξαρτήματα εκ περιστροφής, πιστόνια, άξονες, βαλβίδες, ράουλα.
- ◆ **Υλικά:** Αλουμίνιο, μπρούτζος, πλαστικά, χάλυβας, χυτοσίδηρος
- ◆ **Κόστος & Χρόνος:** Από χαμηλό έως πολύ υψηλό. Σχετίζεται με τον τύπο και όγκο του υλικού που θα αφαιρεθεί, την τραχύτητα της επιφάνειας, κλπ. Τυπικός ρυθμός αφαίρεσης υλικού (21 cm³/min)
- ◆ **Σχήματα:** Εκ περιστροφής, κυλινδρικά, κωνικά, κλπ.
- ◆ **Διαστάσεις:** Μεγάλη ακρίβεια ± 0.025 mm – 0.005 mm (υψηλής ακρίβειας)
- ◆ **Επιφάνεια:** Χαμηλή τραχύτητα (0.4 – 3,2 μ m)



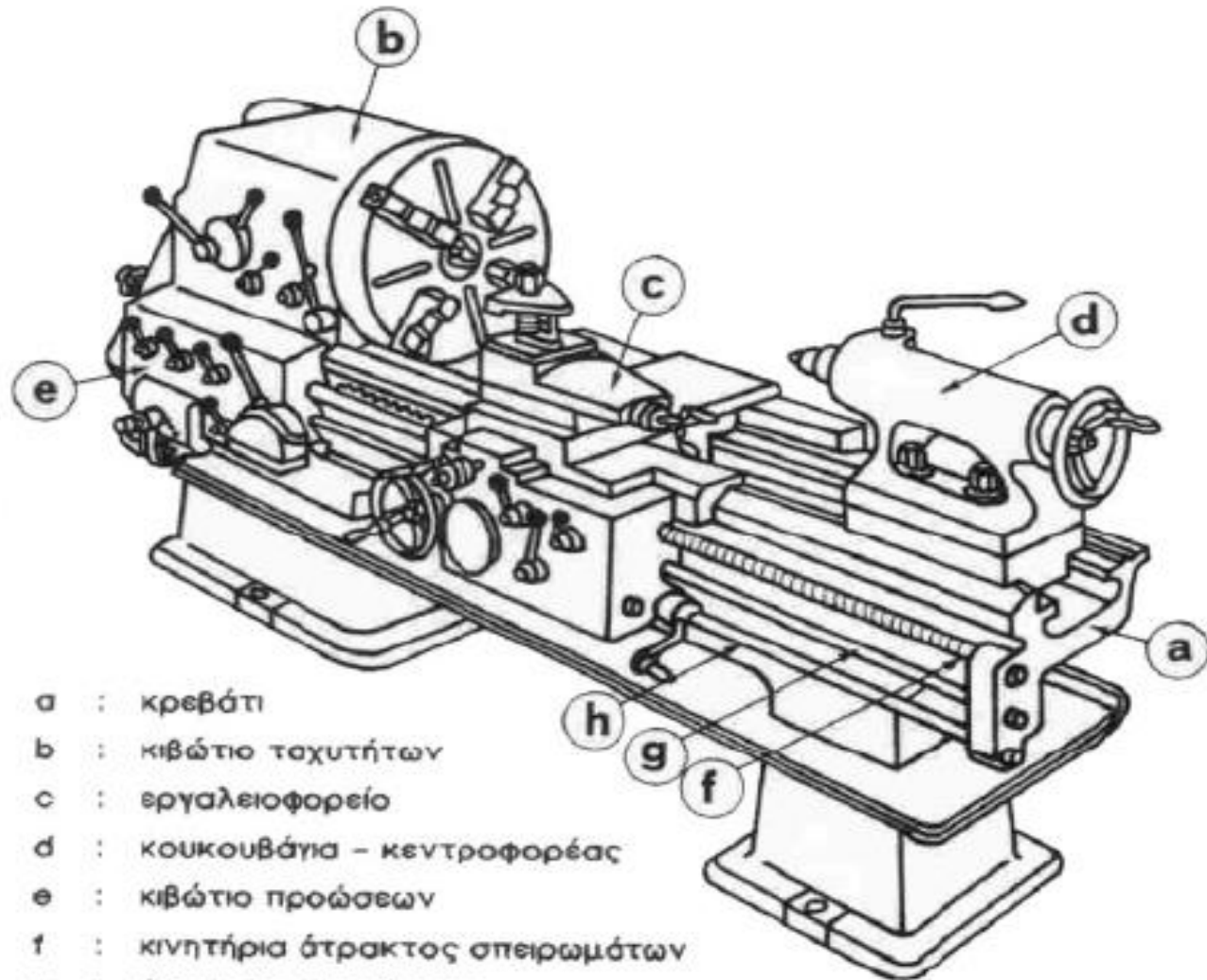
Τορνάρισμα



Τορνάρισμα



Τόρνος



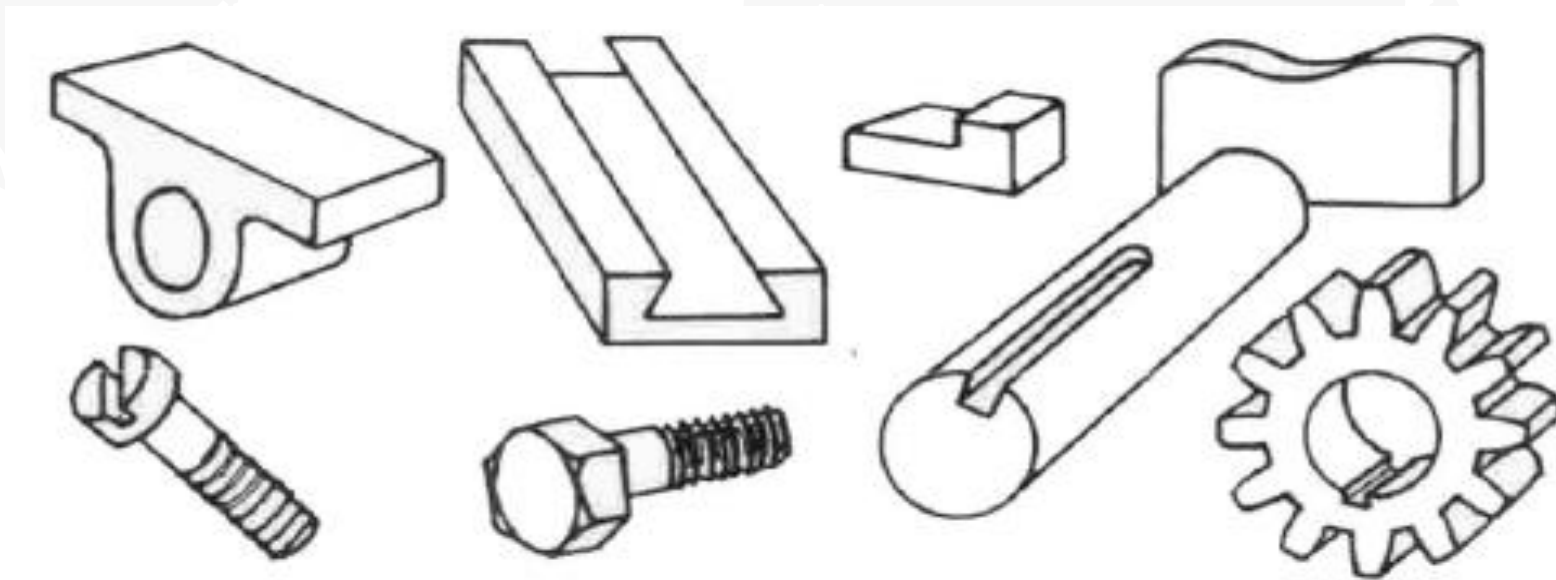
- α : κρεβάτι
- β : κιβώτιο ταχυτήτων
- γ : εργαλειοφορείο
- δ : κουκουβάγια - κεντροφορέας
- ε : κιβώτιο προώσεων
- ς : κινητήρια άτρακτος σπειρωμάτων
- ζ : άτρακτος προώσεων
- η : άτρακτος εμπλοκής

Κοπή με Φρέζα

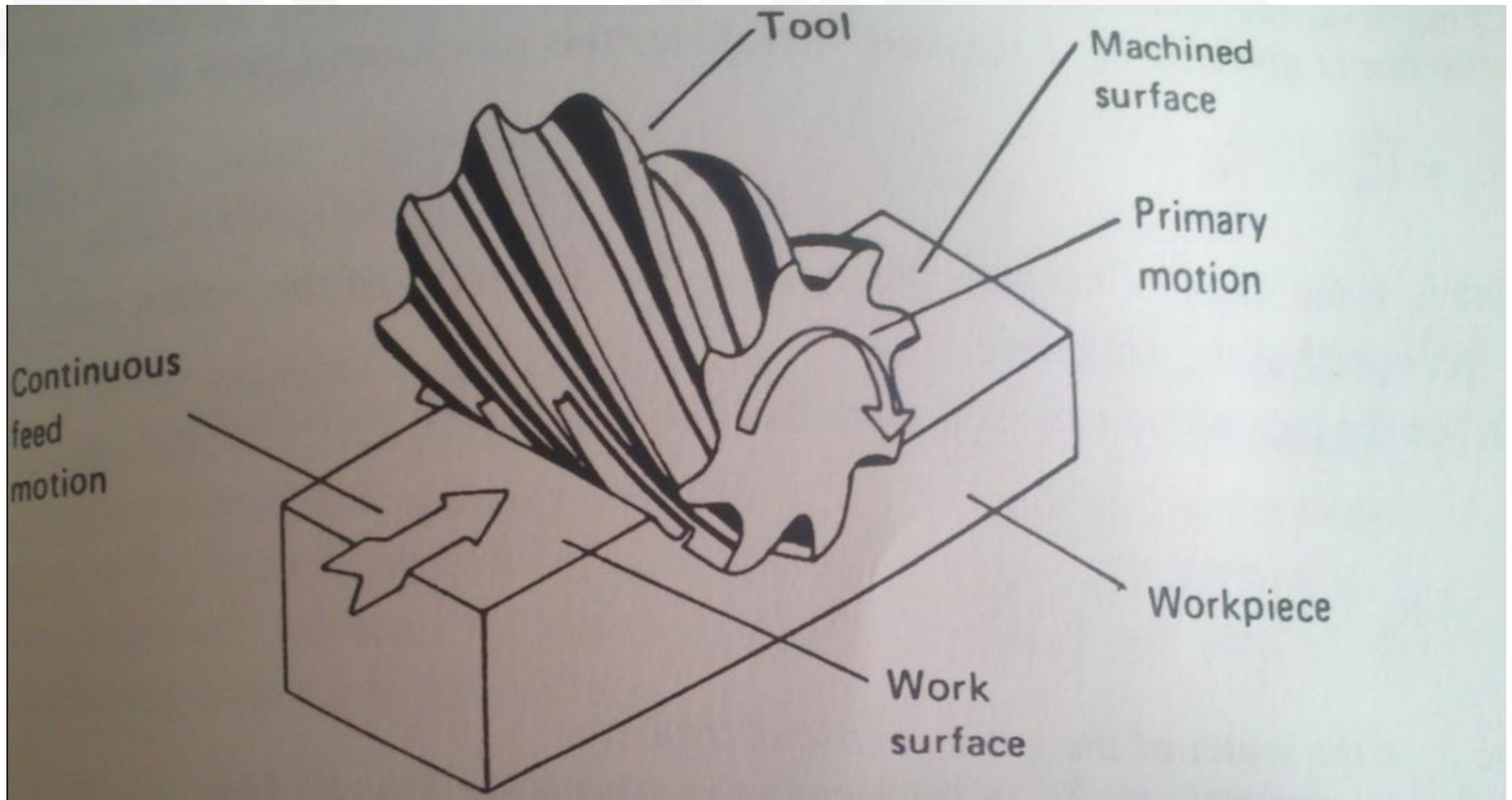
- ◆ **Προϊόντα:** Πρισματικά με επίπεδες και καμπύλες επιφάνειες
- ◆ **Υλικά:** Αλουμίνιο, μπρούτζος, πλαστικά, κεραμικά, χάλυβας, χυτοσίδηρος
- ◆ **Κόστος & Χρόνος:** Από χαμηλό έως πολύ υψηλό. Σχετίζεται με τον τύπο και όγκο του υλικού που θα αφαιρεθεί, την τραχύτητα της επιφάνειας, κλπ. Τυπικός ρυθμός αφαίρεσης υλικού (100-1000 cm³/min)
- ◆ **Σχήματα:** Πολύπλοκες επιφάνειες με σχεδόν αυθαίρετα προφίλ
- ◆ **Διαστάσεις:** Μεγάλη ακρίβεια ± 0.04 mm
- ◆ **Επιφάνεια:** Χαμηλή τραχύτητα (1.6 – 5 μ m)



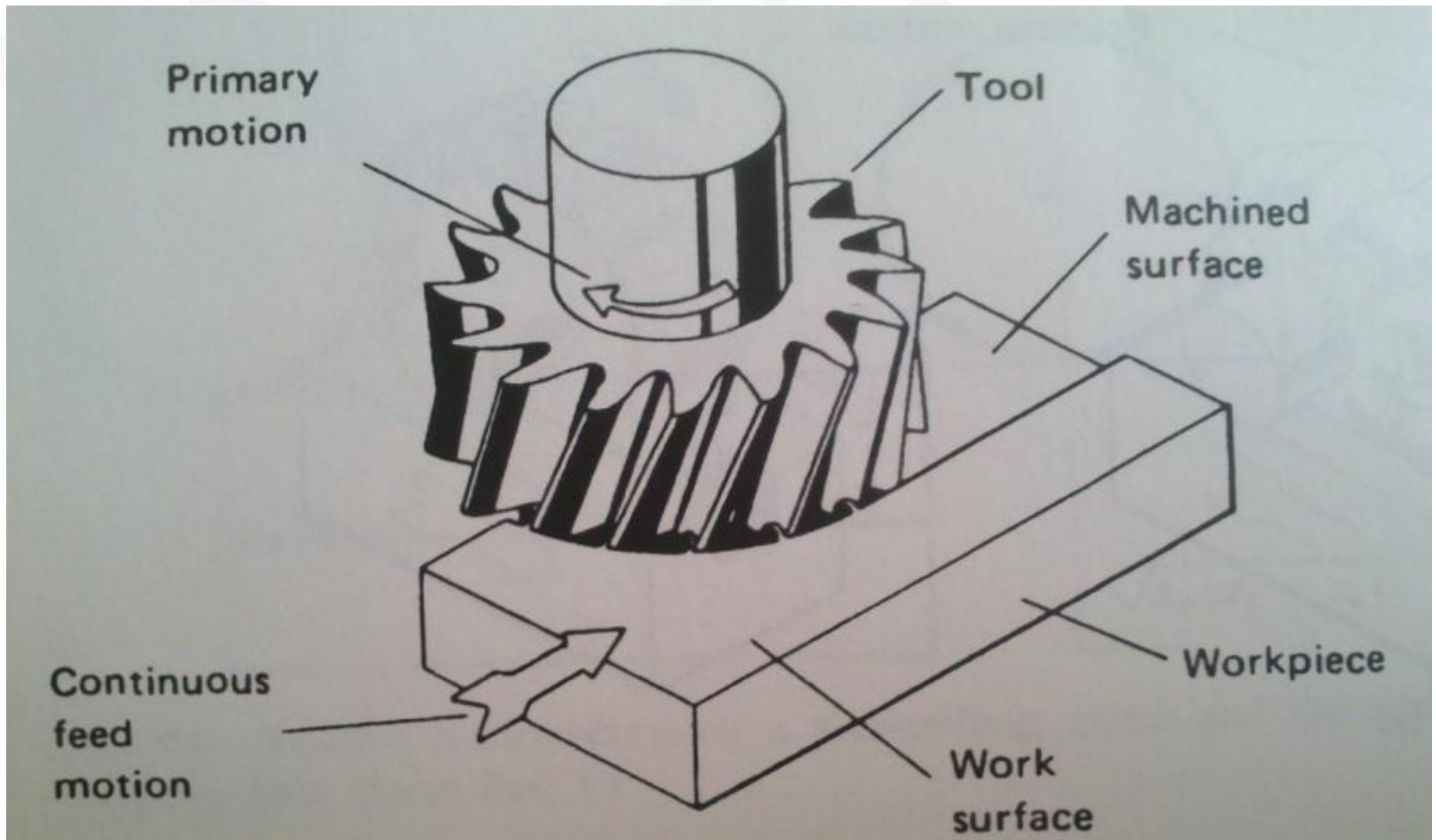
Τεμάχια Κατεργασμένα με Φρεζάρισμα



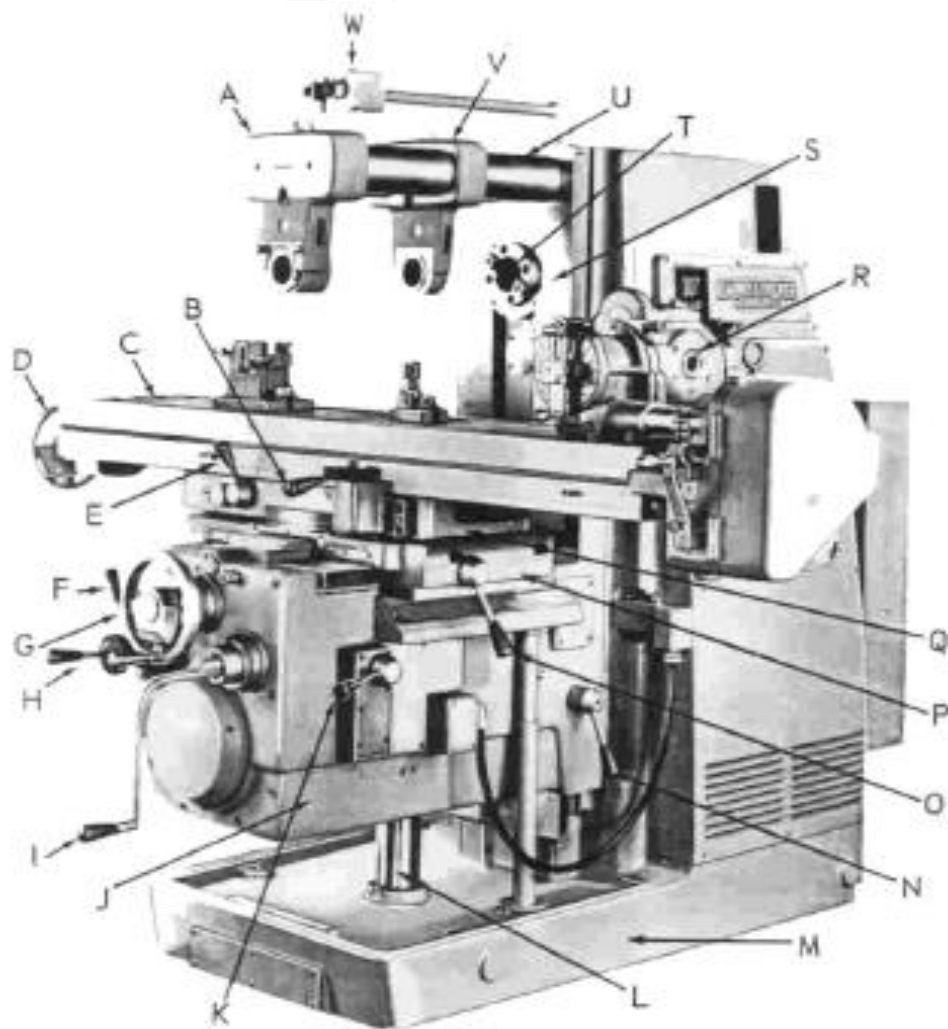
Φρεζάρισμα



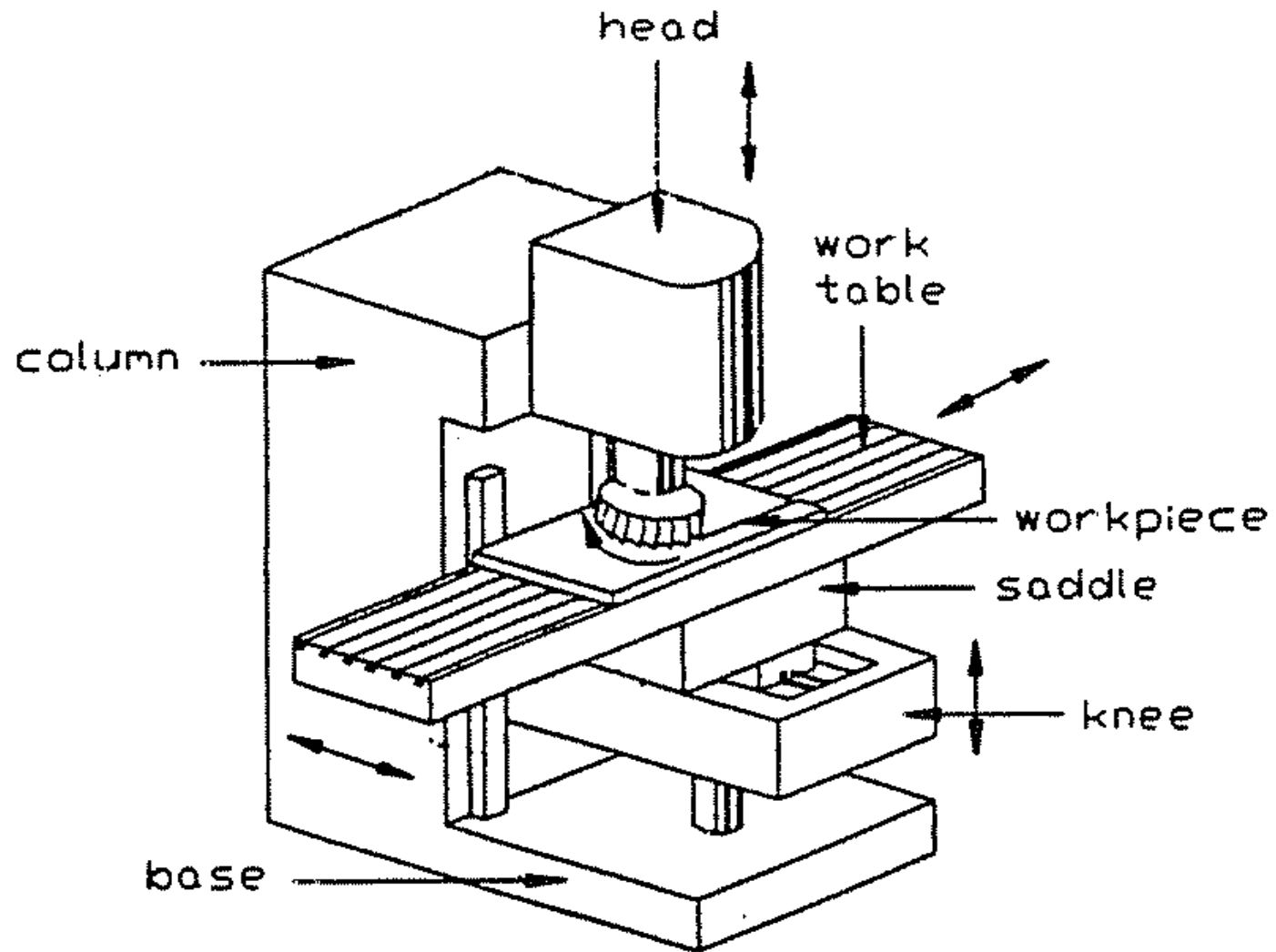
Φρεζάρισμα



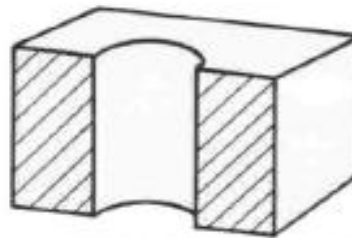
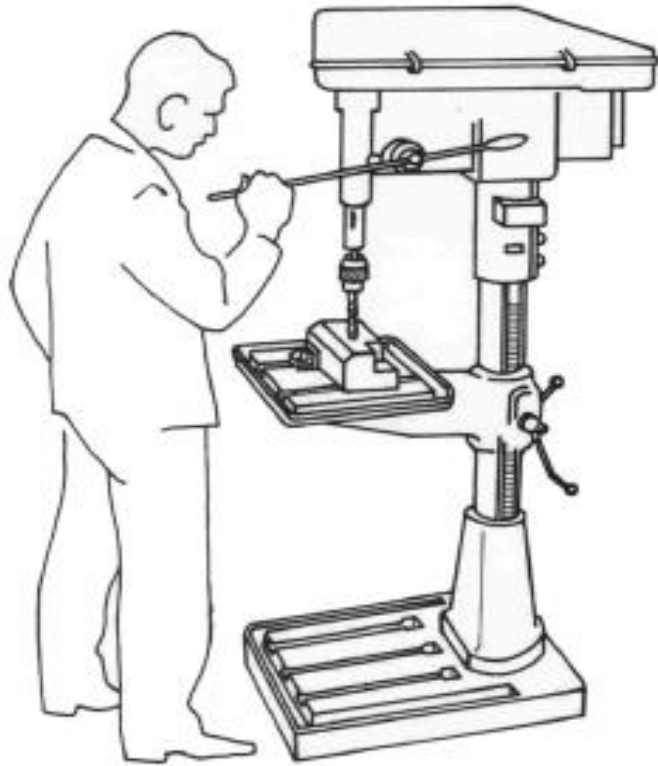
Φρέζα



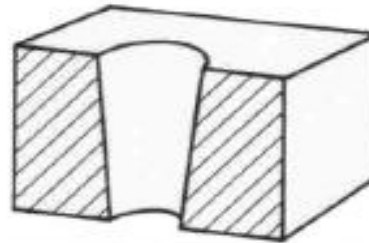
Φρέζα



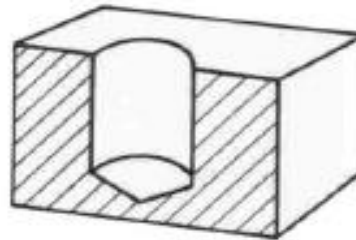
Διάτρηση



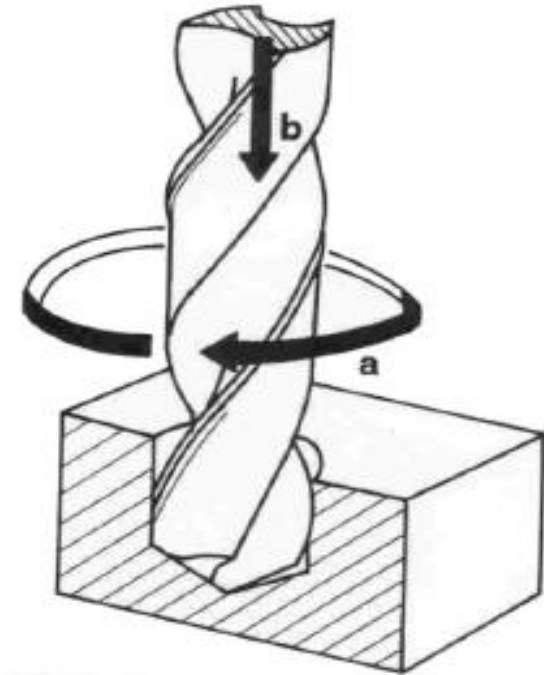
Διαμπερής οπή



Κωνική οπή



Τυφλή οπή



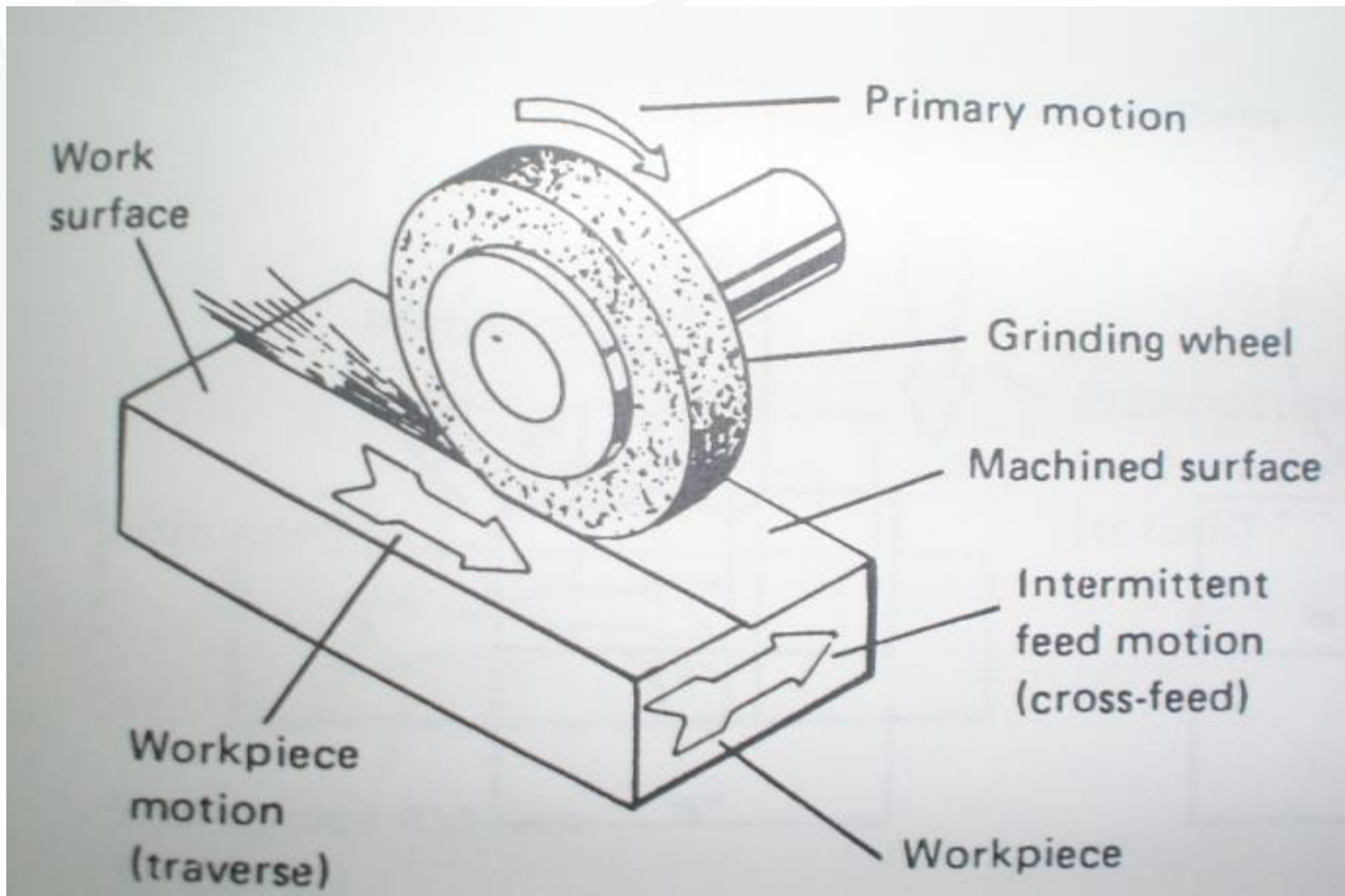
a : Κύρια κίνηση κοπής
b : Πρόωση

Λείανση

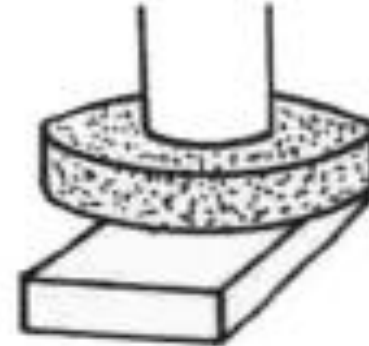
- ◆ **Προϊόντα:** Άξονες, σφήνες και άλλα εξαρτήματα υψηλής ακρίβειας
- ◆ **Υλικά:** Μεγάλη ποικιλία εκτός από αυτά που μαλακώνουν. Τα καλύτερα αποτελέσματα προκύπτουν με χάλυβες, χυτοσίδηρο, αλουμίνιο, πλαστικά και κεραμικά υλικά
- ◆ **Κόστος & Χρόνος:** Από υψηλό έως πολύ υψηλό με χαμηλή απόδοση ενέργειας.
- ◆ **Σχήματα:** Επίπεδες, κωνικές, κυλινδρικές επιφάνειες. Διάμετροι από 0.02 έως 500 mm, Μήκη από 0.02 έως 2000 mm
- ◆ **Διαστάσεις:** Πολύ μεγάλη ακρίβεια $\pm 2 - 10 \mu\text{m}$
- ◆ **Επιφάνεια:** Πού χαμηλή τραχύτητα (0.2 έως 0.8 μm)
- ◆ **Πλεονεκτήματα:** Άριστη επιφάνεια
- ◆ **Μειονεκτήματα:** Χαμηλή αποδοτικότητα, μεγάλοι χρόνοι, επιφανειακές τάσεις



Λείανση



Εφαρμογές της Λείανσης



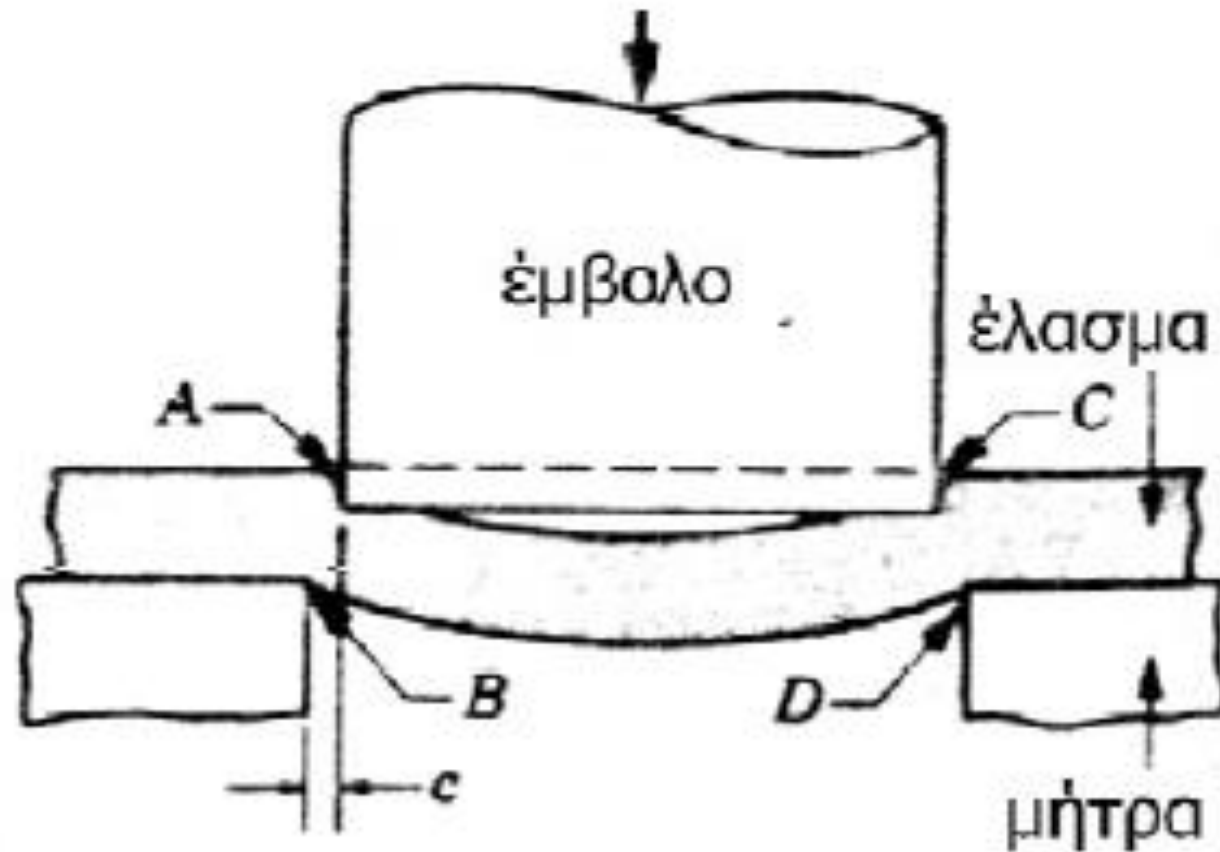
Διαμόρφωση Ελάσματος

- ◆ **Προϊόντα:** Ελάσματα (λαμαρίνα) με δισδιάστατες οπές ή σχήματα, δισδιάστατα τεμάχια
- ◆ **Υλικά:** Χάλυβας, αλουμίνιο, μπρούτζος, ανοξείδωτος χάλυβας, χαλκός
- ◆ **Κόστος:** Σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό των σφυρών και το ποσοστό της φύρας υλικού
- ◆ **Χρόνος:** Υψηλοί ρυθμοί παραγωγής
- ◆ **Σχήματα:** Δισδιάστατες γεωμετρίες αυθαίρετης πολυπλοκότητας (αλλά περιορισμένης διατομής)
- ◆ **Διαστάσεις:** Μέτρια ακρίβεια ± 0.15 mm και παραμόρφωση του σχήματος
- ◆ **Επιφάνεια:** Λείες επιφάνειες
- ◆ **Πλεονεκτήματα:** Εύκολη αυτοματοποίηση, πολύπλοκα σχήματα
- ◆ **Μειονεκτήματα:** Κοστοβόρα προετοιμασία, καλούπι υψηλού κόστους, υψηλή φύρα υλικού

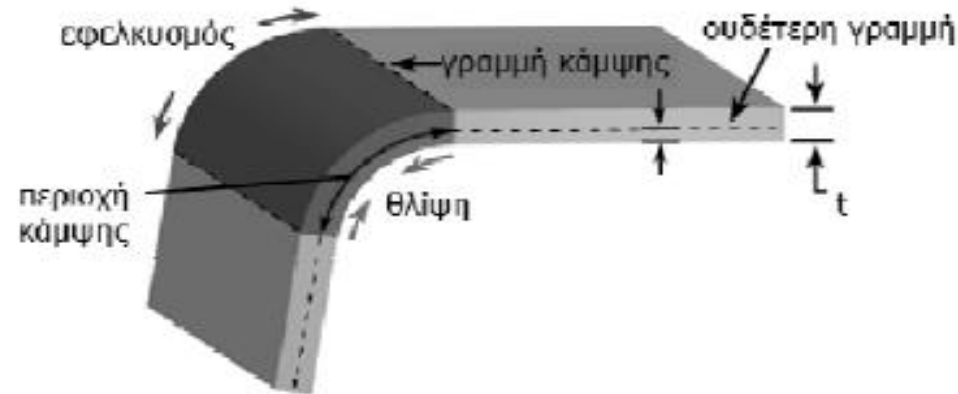


Διαμόρφωση Ελάσματος

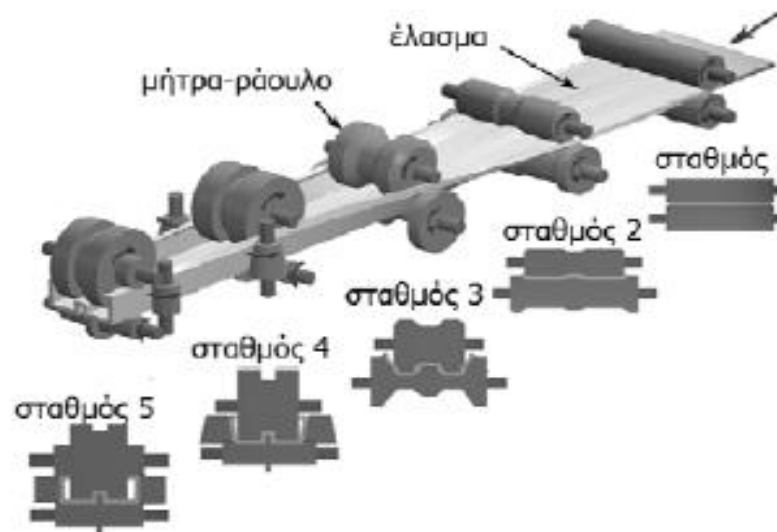
Διάτρηση - απότμηση



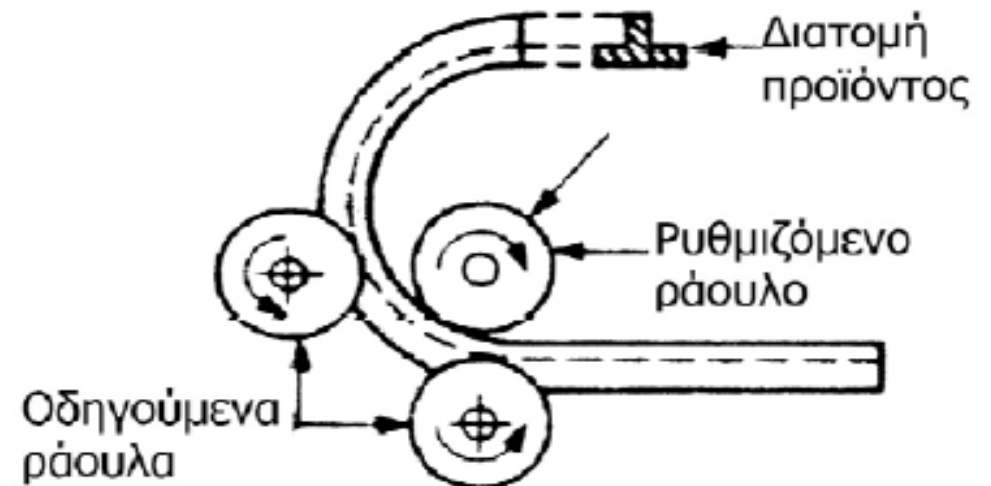
Διαμόρφωση Ελάσματος - Κάμψη



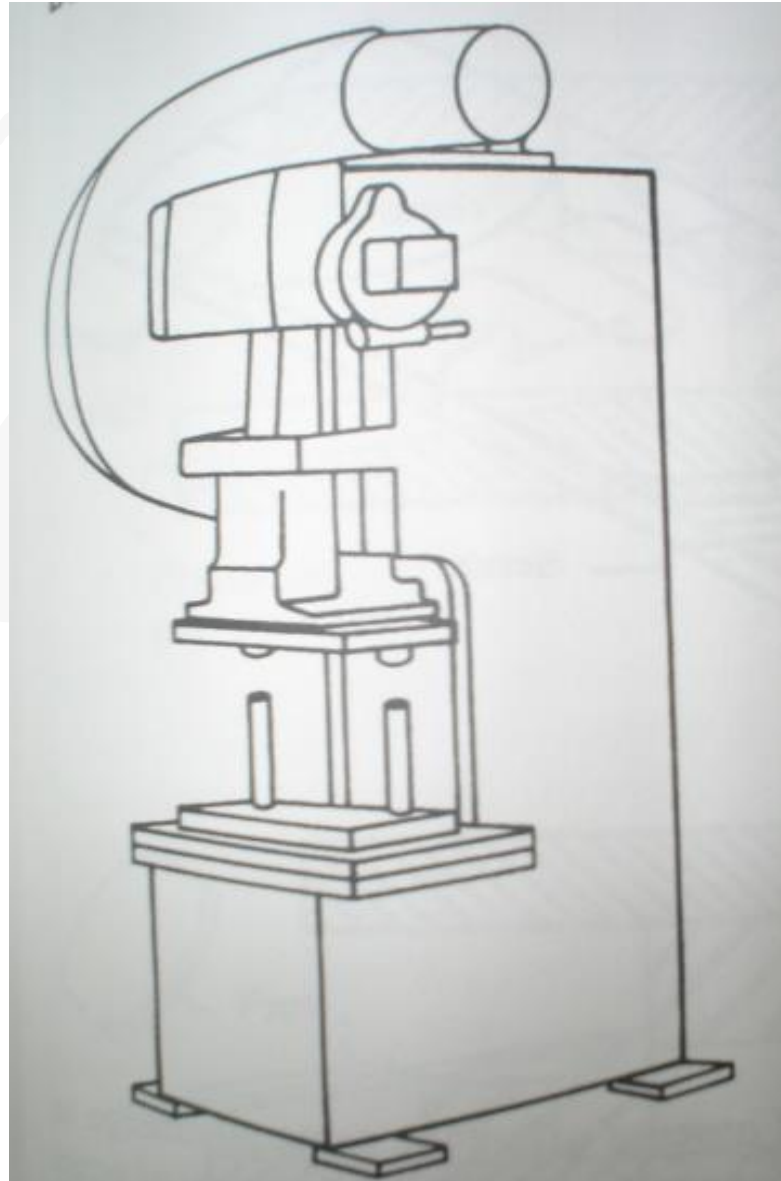
Κάμψη με ράουλα



Κάμψη σωλήνα



Διαμόρφωση Ελάσματος

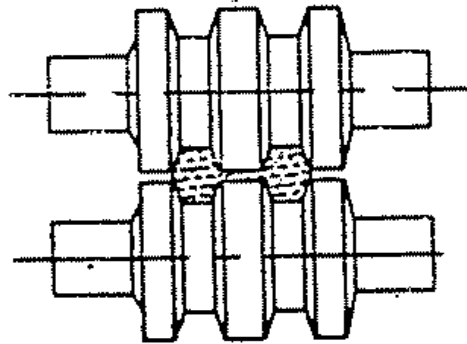


Διαμόρφωση με Ράουλα

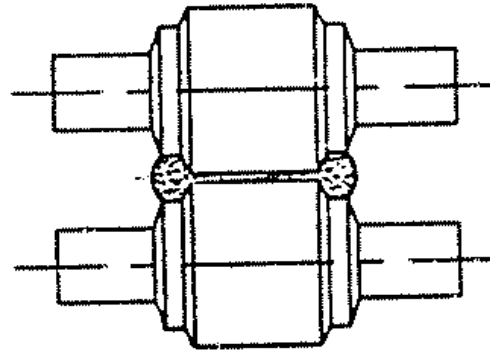
- ◆ **Προϊόντα:** Οικοδομικά υλικά (για στέγες, για επικάλυψη εξωτερικών επιφανειών), σκελετοί θυρών, παραθύρων, λαμαρίνες ψυγείων, κλπ.
- ◆ **Υλικά:** Χάλυβας, αλουμίνιο, χαλκός
- ◆ **Κόστος:** Μεγάλη παραγωγικότητα, χαμηλό εργατικό κόστος
- ◆ **Χρόνος:** Υψηλοί ρυθμοί παραγωγής
- ◆ **Σχήματα:** Τεμάχια μεγάλου μήκους, μέτριας έως μικρής διατομής (0.6 – 3 mm). Η διατομή ενδέχεται να είναι πολύπλοκη
- ◆ **Διαστάσεις:** Μέτρια ακρίβεια $\pm 0.15 - 0.4$ mm
- ◆ **Επιφάνεια:** Λείες επιφάνειες (0.25 – 1 μm)
- ◆ **Πλεονεκτήματα:** Υψηλή παραγωγικότητα τεμαχίων μεγάλου μήκους και πολύπλοκης διατομής
- ◆ **Μειονεκτήματα:** Η ίδια διατομή καθ' όλο το μήκος. Υψηλό κόστος ιδιοσυσκευών (ράουλων) και προετοιμασίας.



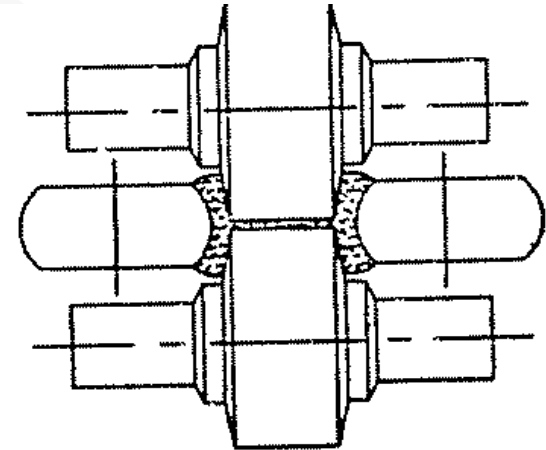
Διαμόρφωση με Ράουλα (Rolling)



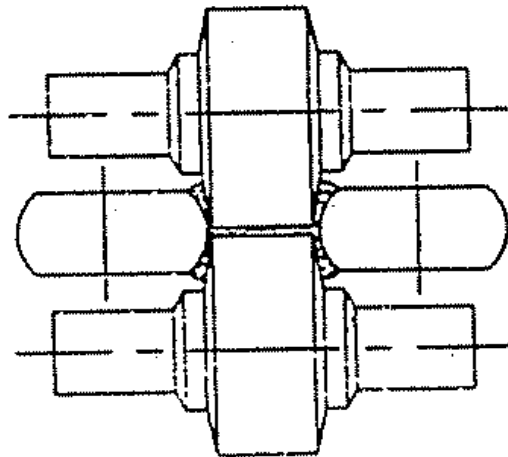
1. Blooming rolls



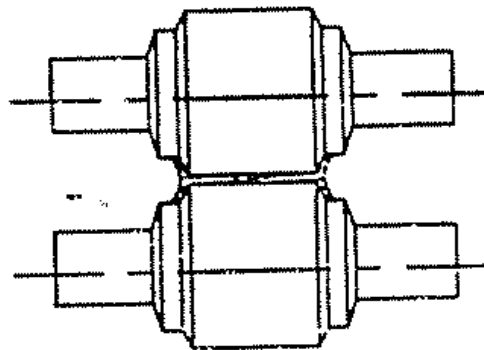
2. Edging rolls



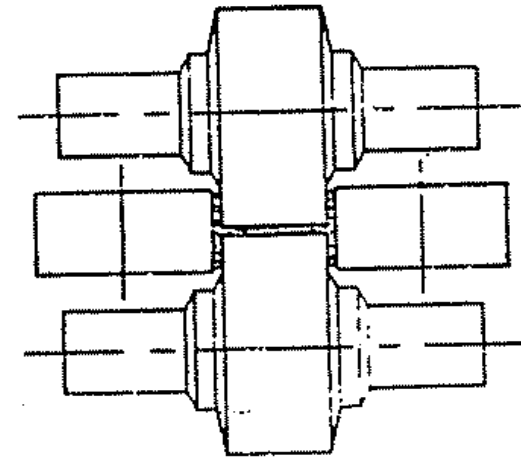
3. Roughing horizontal and vertical rolls



4. Intermediate horizontal and vertical rolls



5. Edging rolls

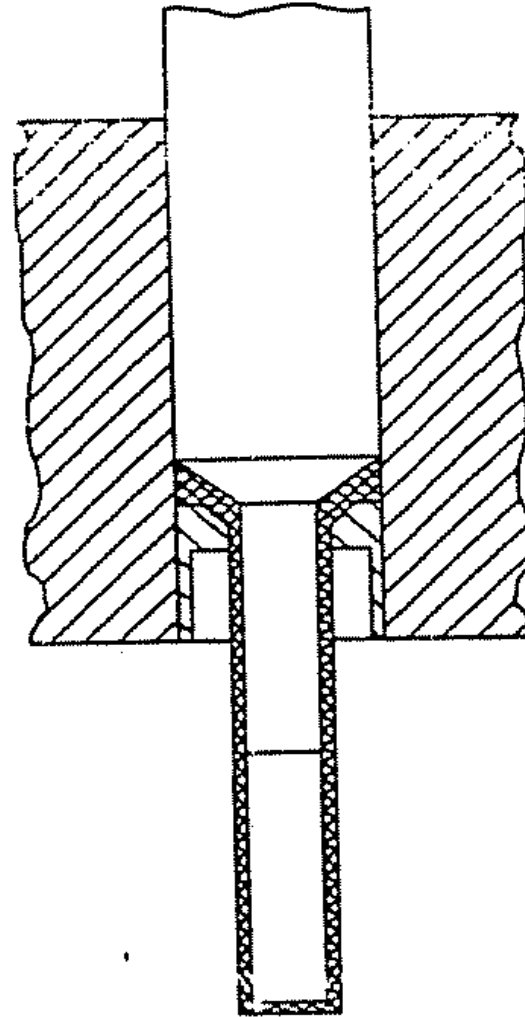
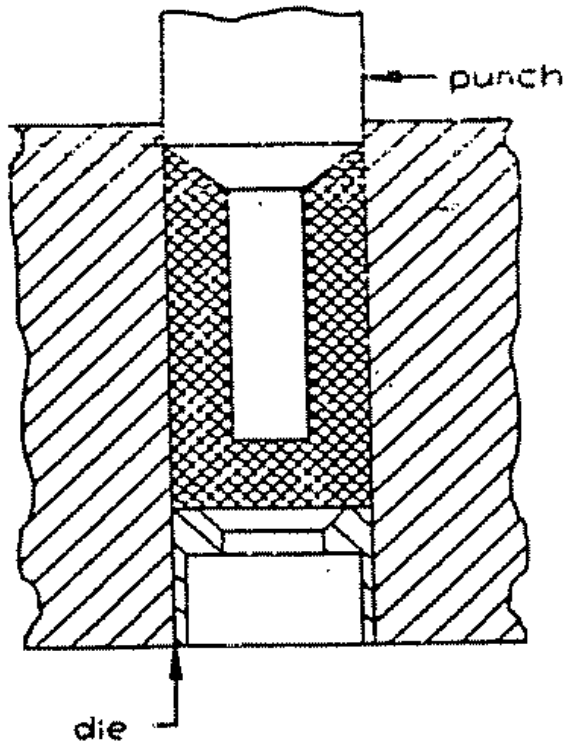


6. Finishing horizontal and vertical rolls

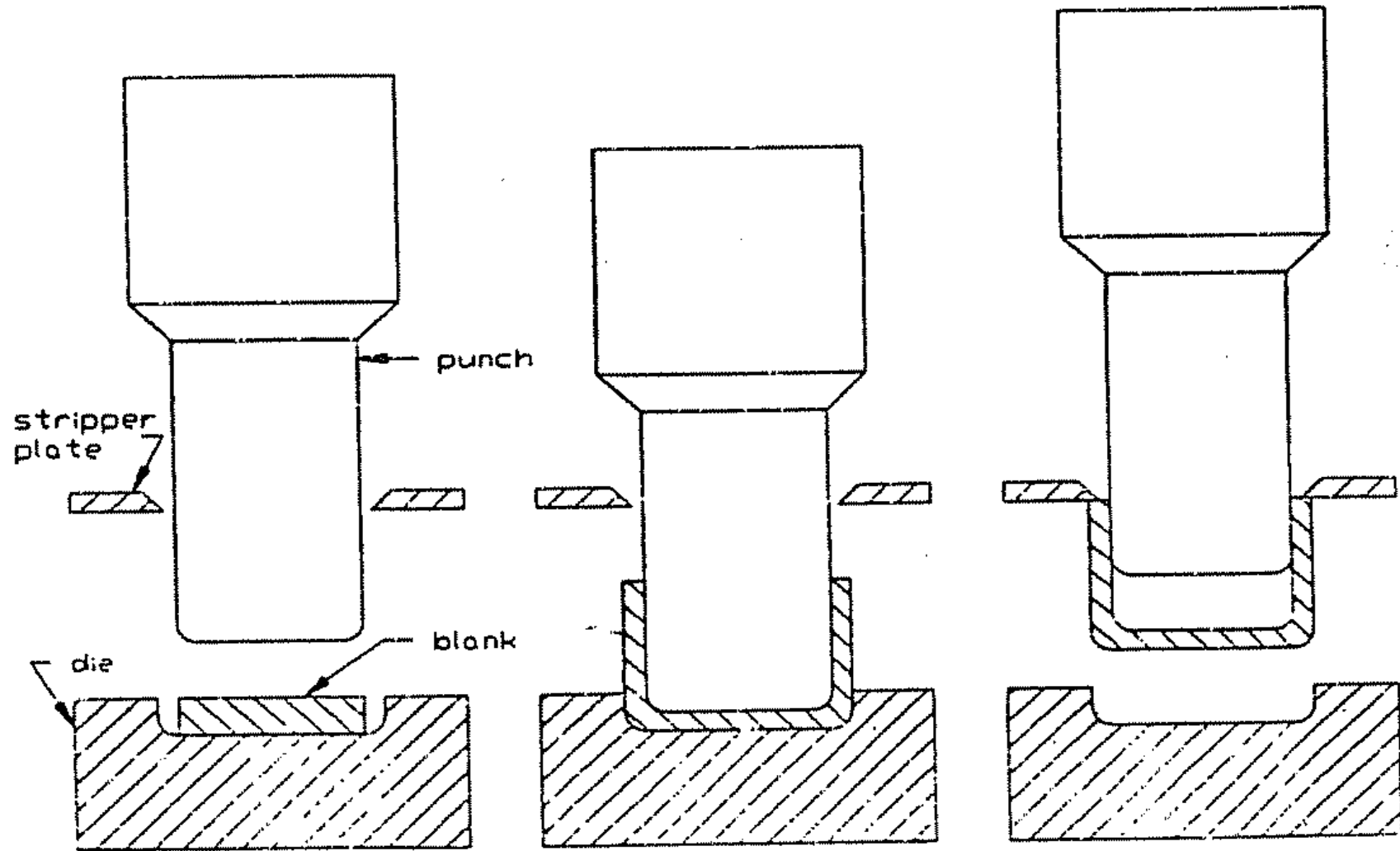
Διέλαση (Πρωθητική ή Οπισθοχωρική)

- ◆ **Προϊόντα:** Οικοδομικά υλικά, σκελετοί θυρών, παραθύρων, σωλήνες, τεμάχια σκελετού αεροσκαφών, σιδηροτροχιές, κονσέρβες, οβίδες, πυροσβεστήρες
- ◆ **Υλικά:** Θερμή διέλαση: Χαλκός, μπρούτζος, χάλυβας, αλουμίνιο, μαγνήσιο. Ψυχρή διέλαση: Ψευδάργυρος (κυρίως), μόλυβδος και αλουμίνιο
- ◆ **Κόστος:** Στη θερμή διέλαση το προϊόν προστατεύεται από την οξείδωση από τον αέρα και έτσι το κόστος είναι υψηλότερο. Στη ψυχρή διέλαση το κόστος των ιδιοσυσκευών και της προετοιμασίας είναι υψηλό και συνεπάγεται μεγάλες παρτίδες
- ◆ **Χρόνος:** Ιδιαίτερα υψηλοί ρυθμοί παραγωγής

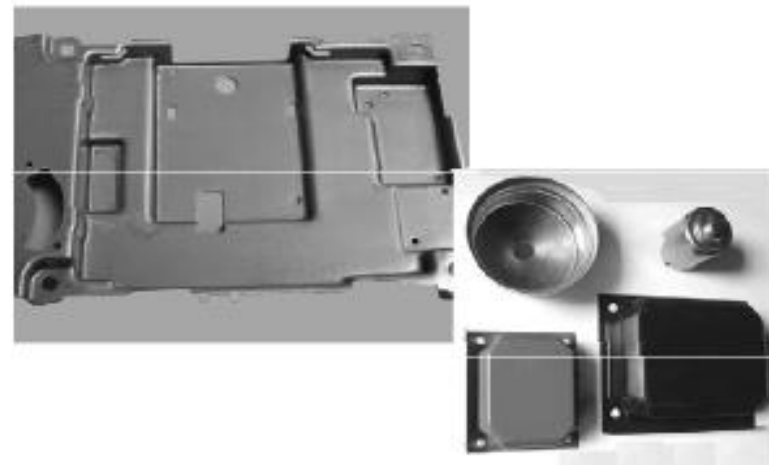
Πρωθητική Διέλαση (Forward Extrusion)



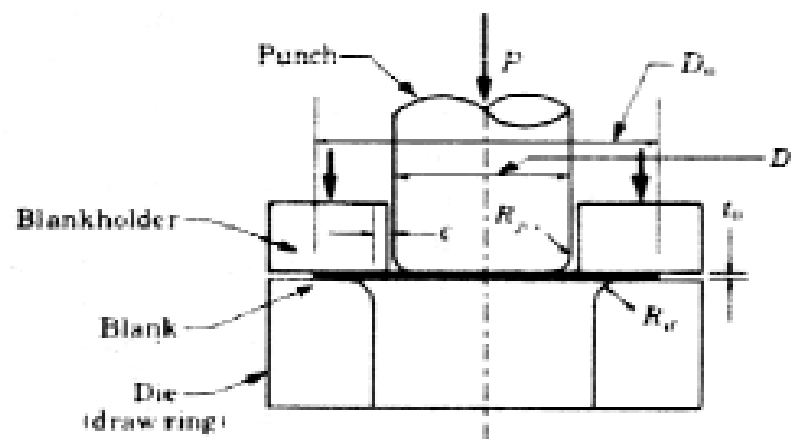
Οπισθοχωρική Διέλαση (Backward Extrusion)



Διαμόρφωση Ελάσματος – Κοίλωση - Τύπωση



Βαθείά κοίλωση



Διέλαση (Πρωθητική ή Οπισθοχωρική)

- ◆ **Σχήματα:** Θερμή διέλαση – Σταθερή διατομή έως μήκος 7.5 m. Διατομή έως διαμέτρους 250 mm. Ψυχρή διέλαση: Μήκος έως 2 m και διάμετρος έως 160 mm. Οι διατομές είναι εκ περιστροφής αλλά και πρισματικές ή αλλου (μη κανονικού) σχήματος
- ◆ **Διαστάσεις:** Μέτρια ακρίβεια $\pm 0.25 - 0.4$ mm
- ◆ **Επιφάνεια:** Λείες έως μέτριας τραχύτητας επιφάνειες (0.5 – 3 μm)
- ◆ **Πλεονεκτήματα:** Πολύπλοκες διατομές. Πολύ υψηλή παραγωγικότητα
- ◆ **Μειονεκτήματα:** Περιορισμένες διαστάσεις διατομής. Μόνο ομοιόμορφες διατομές. Σε αντίθετη περίπτωση απαιτούνται δευτερεύουσες κατεργασίες.

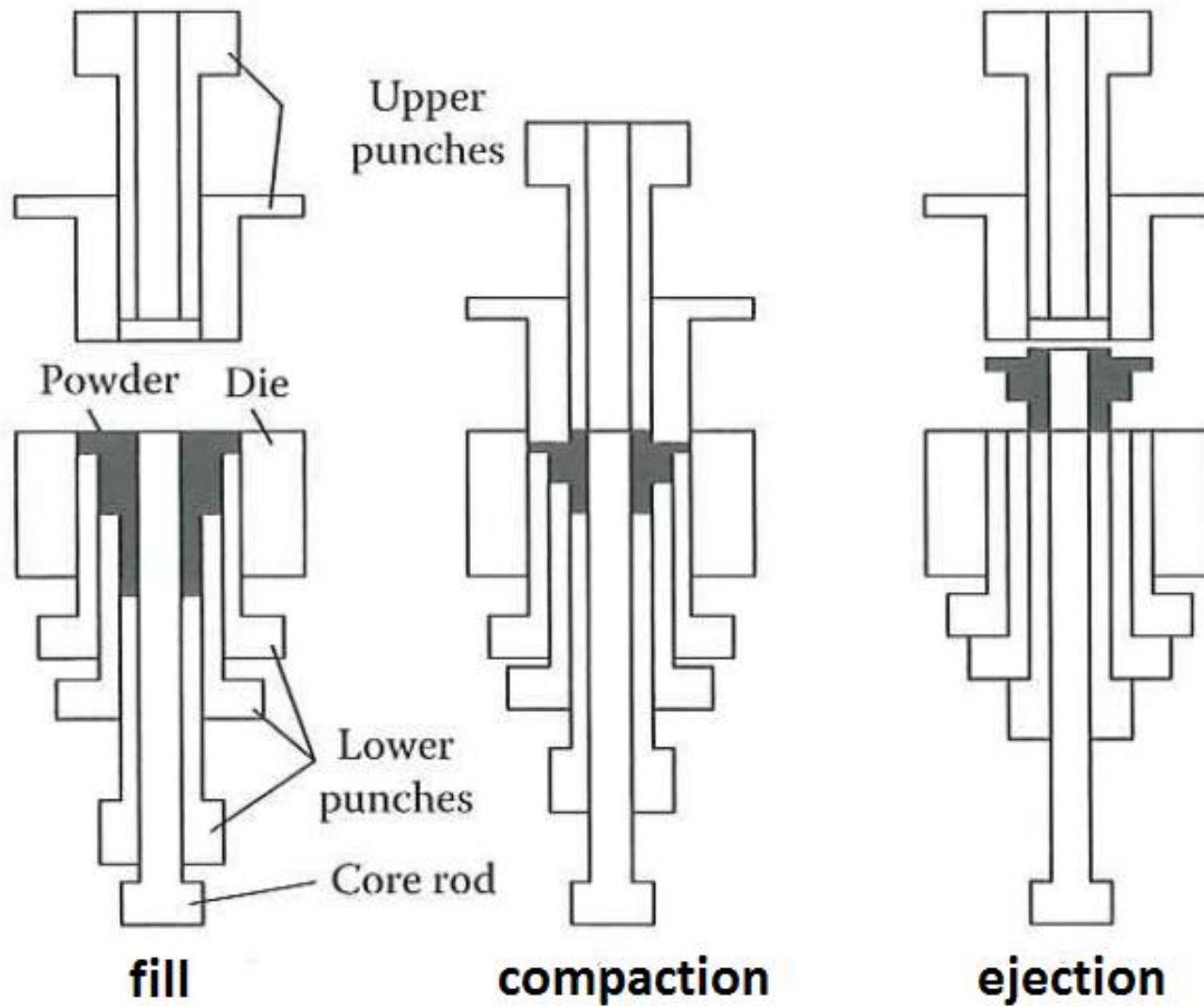


Κονιομεταλλουργία

- ◆ **Προϊόντα:** Εκκεντροφόροι, αμπραγιάζ, φρένα, ρουλεμάν, γρανάζια, τα ροχαλίες και μεγάλης ποικιλίας εξαρτήματα
- ◆ **Υλικά:** Χάλυβας, σίδηρος, χαλκός, μπρούτζος, νικέλιο, κεραμικά υλικά
- ◆ **Κόστος:** Υψηλό κόστος υλικού, μέτριο κόστος ιδιοσυσκευών, χαμηλό εργατικό κόστος
- ◆ **Χρόνος:** Υψηλοί ρυθμοί παραγωγής. Παρτίδες > 10.000
- ◆ **Σχήματα:** Μικρά εξαρτήματα (< 10 cm). Πολύπλοκα σχήματα με παράλληλα τοιχώματα (σπειρώματα από δευτερεύουσες κατεργασίες)
- ◆ **Διαστάσεις:** Πολύ μεγάλη ακρίβεια ± 0.006 mm
- ◆ **Πλεονεκτήματα:** Γοργή παραγωγή τεμαχίων πολύ υψηλής ακρίβειας και λείας επιφάνειας
- ◆ **Μειονεκτήματα:** Περιορισμένο μέγεθος. Μεγάλες παρτίδες.



Κοονιομεταλλουργία (Powder Metallurgy)



Επιλογή Μεθόδων Παραγωγής

- ◆ Οι μέθοδοι παραγωγής επιλέγονται με βάση τα χαρακτηριστικά του προϊόντος
 - Σχήμα (πολυπλοκότητα)
 - Μέγεθος
 - Αντοχή (κατεργασίες διαμόρφωσης vs. χύτευσης)
 - Ανοχές σε διαστάσεις
 - Γεωμετρικές ανοχές
 - Κόστος
 - Τραχύτητα επιφάνειας
 - Συνολικός αριθμός μονάδων παραγωγής
- ◆ Επιλογή κατεργασιών βάσει χαρακτηριστικών του προϊόντος
- ◆ Επιλογή κατεργασιών βάσει συμβατότητας με υλικά



Κατεργασίες Παραγωγής & Χαρακτηριστικά του Προϊόντος

	Τραχύτητα Επιφάνειας	Ακρίβεια Διαστάσεων	Πολυπλο- κότητα	Ρυθμός Παραγωγής	Συνολική Παραγωγή	Σχετικό Κόστος	Μέγεθος Διατομής
Χύτευση υπό πίεση	L	H	H	H/M	H	H	M/L
Φυγοκεντρική Χύτευση	M	M	M	L	M/L	H/M	H/M/L
Χύτευση με Συμπίεση	L	H	M	H/M	H/M	H/M	H/M/L
Injection Molding	L	H	H	H/M	H/M	H/M/L	M/L
Χύτευση με άμμο	H	M	M	L	H/M/L	H/M/L	H/M/L
Χύτευση σε Κέλυφος	L	H	H	H/M	H/M	H/M	M/L
Επενδυτική Χύτευση	L	H	H	L	H/M/L	H/M	M/L
Τορνάρισμα	L	H	M	H/M/L	H/M/L	H/M/L	H/M/L
Φρεζάρισμα	L	H	H	M/L	H/M/L	H/M/L	H/M/L
Λείανση	L	H	M	L	M/L	H/M	M/L
Ηλεκτροδιά- βρωση (EDM)	L	H	H	L	L	H	M/L
Χύτευση με Έμφυση	M	M	M	H/M	H/M	H/M/L	M/L
Διαμόρφωση ελάσματος	L	H	H	H/M	H/M	H/M/L	L
Σφυρηλάτηση	M	M	M	H/M	H/M	H/M	H/M/L
Διαμόρφωση με ράουλα	L	M	H	H	H	H/M	H/M
Διέλαση	L	H	H	H/M	H/M	H/M	M/L
Κονομεταλ- λουργία	L	H	H	H/M	H	H/M	L
Μονάδες	μm	mm		τεμάχια/hr	τεμάχια		m ²
H	>6.4	<0.13	Υψηλή	>100	>5.000	Υψηλή	>0.5
M	>1.6 <6.4	>0.13 <1.3	Μέτρια	>10 <100	>100 <5.000	Μέτρια	>0.02 <0.5
L	<1.6	>1.3	Χαμηλή	<10	<100	Χαμηλή	<0.02



Συμβατότητα Υλικών & Κατεργασιών Παραγωγής

Κατεργασίες Υλικά	Χύτευση υπό πίεση	Φυγοκεντρική Χύτευση	Χύτευση με συμπίεση	Injection Molding	Χύτευση με άμιμο	Χύτευση σε κέλυφος	Επενδυτική Χύτευση	Τορνάρισμα	Φρεζάρισμα	Λείανση	Ηλεκτροδιάβρωση (EDM)	Χύτευση με εμφύσηση	Διαμόρφωση Ελάσματος	Σφυρηλάτηση	Διαμόρφωση με Ρόλλουλ	Διέλαση	Κοιτομεταλλουργία
Χάλυβας χαμηλ. Περιεκτ. C	-	E	-	-	E	E	E	G	G	E	E	-	G	G	G	G	E
Χάλυβας μέσης Περιεκτ. C	-	E	-	-	E	E	E	G	G	E	E	-	G	G	G	G	E
Χάλυβας υψηλής Περιεκτ.	-	E	-	-	E	E	E	G	G	E	E	-	G	G	G	G	E
Κράμα χάλυβα	-	E	-	-	E	E	E	-	G	E	E	-	G	G	G	G	E
Εργαλειοχάλυβας	-	-	-	-	G	E	E	-	-	-	E	-	-	-	-	-	E
Ανοξείδωτος χάλυβας	-	G	-	-	E	E	E	-	-	-	E	-	G	G	G	G	E
Γκρίζος σίδηρος	-	E	-	-	E	E	E	G	G	E	E	-	G	S	S	S	E
Μαλακός (malleable) σίδηρ.	-	E	-	-	E	E	E	G	G	E	E	-	G	S	S	S	E
Μαλακός (ductile) σίδηρος	-	E	-	-	E	E	E	G	G	E	E	-	G	S	S	S	E
Κράμα χυτοσίδηρου	-	E	-	-	E	E	E	G	G	E	E	-	G	S	S	S	E
Κράμα Zinc	E	-	-	-	G	G	S	G	-	S	E	-	E	S	S	G	E
Κράματα αλουμινίου	E	E	-	-	E	G	E	E	E	G	E	-	E	E	E	E	E
Κράματα μαγνησίου	E	-	-	-	E	G	E	G	-	S	E	-	G	S	G	E	E
Κράματα τιτανίου	-	-	-	-	-	G	S	-	-	S	E	-	-	G	S	S	E
Κράματα χαλκού	G	E	-	-	E	G	G	E	E	G	E	-	E	E	E	E	E
Κράματα νικελίου	-	E	-	-	E	G	G	-	-	S	E	-	G	S	G	G	E
Κράματα ψευδαργύρου	E	-	-	-	G	G	S	-	-	S	E	-	S	-	S	S	E
Κράματα κοβαλτίου	-	-	-	-	-	G	G	-	-	S	E	-	-	-	-	-	E
Κράματα μολυβδαινίου	-	-	-	-	-	G	G	-	-	S	E	-	-	-	-	-	E
Κράματα tungsten	-	-	-	-	-	G	G	-	-	S	E	-	-	S	-	-	E
Κράματα χαμηλής	-	E	-	-	E	G	G	-	-	S	E	-	G	S	G	G	E
Μαγνητικά κράματα	-	E	-	-	E	G	G	-	-	S	E	-	G	S	G	G	E
Κράματα ηλεκτρ. Αντίστ.	-	E	-	-	E	G	G	-	-	S	E	-	G	S	G	G	E



Συμβατότητα Υλικών & Κατεργασιών Παραγωγής

Υλικά \ Κατεργασίες	Χύτευση υπό πίεση	Φυγοκεντρική Χύτευση	Χύτευση με συμπίεση	Injection Molding	Χύτευση με άμμο	Χύτευση σε κέλυφος	Επενδυτική Χύτευση	Τορνάρισμα	Φρεζάρισμα	Λείανση	Ηλεκτροδιάβρωση (EDM)	Χύτευση με εμφύσηση	Διαμόρφωση Ελάσματος	Σφυρηλάτηση	Διαμόρφωση με Ρόλουλ	Διείλαση	Κοιτομεταλλουργία
ABS	-	-	-	-	-	-	-	G	G	G	-	G	-	-	-	E	-
Acetals	-	-	-	-	-	-	-	G	G	G	-	G	-	-	-	G	-
Νάιλον	-	-	-	E	-	-	-	G	G	G	-	G	-	-	-	G	-
Φθοριοάνθρακες	-	-	-	-	-	-	-	G	G	G	-	G	-	-	-	S	-
Πολυάνθρακες	-	-	-	-	-	-	-	G	G	G	-	G	-	-	-	G	-
Πολυιμίδια	-	-	-	-	-	-	-	G	G	G	-	G	-	-	-	S	-
Πολυστερίνες	-	-	-	E	-	-	-	G	G	G	-	G	-	-	-	E	-
PVC	-	-	-	-	-	-	-	G	G	G	-	G	-	-	-	E	-
Πολυουρεθάνειο	-	-	E	-	-	-	-	G	G	G	-	G	-	-	-	G	-
Πολυαιθυλένιο	-	-	-	E	-	-	-	G	G	G	-	E	-	-	-	E	-
Πολυπροπυλένιο	-	-	-	-	-	-	-	G	G	G	-	E	-	-	-	E	-
Ακρυλικά	-	-	-	-	-	-	-	G	G	G	-	-	-	-	-	S	-
Alkyls	-	-	E	-	-	-	-	G	G	G	-	-	-	-	-	S	-
Epoxyes	-	-	E	E	-	-	-	G	G	G	-	-	-	-	-	S	-
Φαινόλες	-	-	E	-	-	-	-	G	G	G	-	-	-	-	-	G	-
Σιλικόνες	-	-	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-
Πολυστερίνες	-	-	E	-	-	-	-	G	G	G	-	-	-	-	-	S	-
Καουτσούκ	-	-	E	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-

E=Excellent: Έξοχη συμβατότητα

G=Good: Καλή συμβατότητα

S=Seldom used: Η χρήση του υλικού στην κατεργασία είναι σπάνια

"-"= Unsuitable: Ακατάλληλο υλικό για την κατεργασία



Μείωση Κόστους Παραγωγής

◆ Απλότητα

- Μειωμένος αριθμός εξαρτημάτων
- Απλούστερη μορφή
- Απλούστερη παραγωγική διαδικασία
- Λιγότερες ρυθμίσεις

◆ Τυποποιημένα υλικά και εξαρτήματα

- Οφέλη μαζικής παραγωγής στην παραγωγή μικρών παρτίδων
- Αυξημένη πιστότητα και μακροβιότητα
- Απλοποίηση στη διαχείριση (προμήθειες, αποθήκη, προγραμματισμός και έλεγχος παραγωγής)
- Λιγότερες επενδύσεις σε εργαλεία και ιδιοσυσσκευές

Μείωση Κόστους Παραγωγής

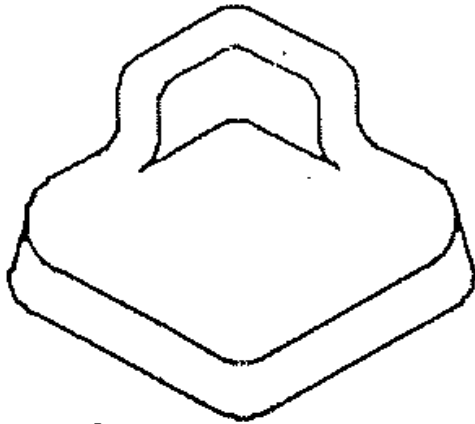
- ◆ Ευρείες ανοχές. Οι στενές ανοχές συνεπάγονται
 - Επιπρόσθετες κατεργασίες (π.χ. λείανση)
 - Ακριβέστερα εργαλεία και συχνότερη συντήρηση εργαλείων
 - Μεγαλύτεροι χρόνοι προετοιμασίας και κύριας λειτουργίας
 - Αυξημένος αριθμός σκάρτων και ανακατασκευαζόμενων
 - Υψηλότερη εξειδίκευση προσωπικού
- ◆ Χρήση εύκολα κατεργάσιμων υλικών
 - Μειωμένοι χρόνοι παραγωγής (π.χ. αυξημένη ταχύτητα κοπής)
- ◆ Αποφυγή δευτερευουσών κατεργασιών
 - Λείανση
 - Έλεγχος
 - Θερμική αγωγή
 - Μηχανουργικές κατεργασίες μόνο όταν είναι απαραίτητες για την εμφάνιση του προϊόντος και την ακρίβεια

Μείωση Κόστους Παραγωγής

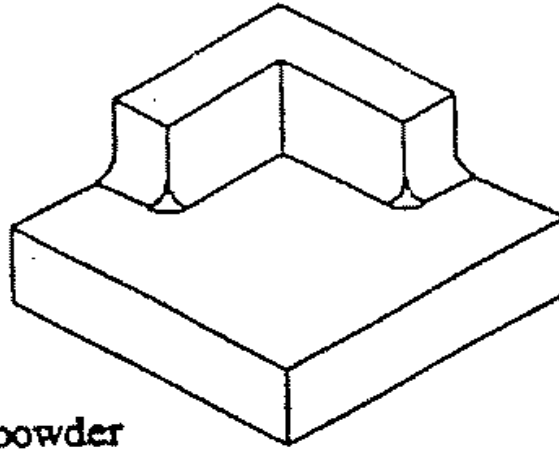
- ◆ Σχεδιασμός συμβατός με το προβλεπόμενο αριθμό παραγόμενων
 - Π.χ. Σχεδιασμός χυτού να μην περιλαμβάνει λεπτό τοίχωμα εάν ο αριθμός παραγωγής δεν δικαιολογεί το κόστος κατασκευής του καλουπιού.
- ◆ Εκμετάλλευση ειδικών δυνατοτήτων κατεργασιών που εξαλείφουν την ανάγκη για δευτερεύουσες διαδικασίες
 - Injection molding: Επιθυμητό χρώμα και επιφάνεια
- ◆ Σχέση κατεργασιών και σχήματος
 - Σεβασμός στους σχετικούς περιορισμούς
 - Παράρτημα



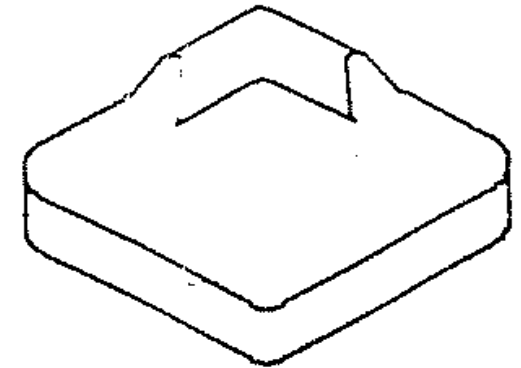
Επιρροή Κατεργασίας στην Γεωμετρία



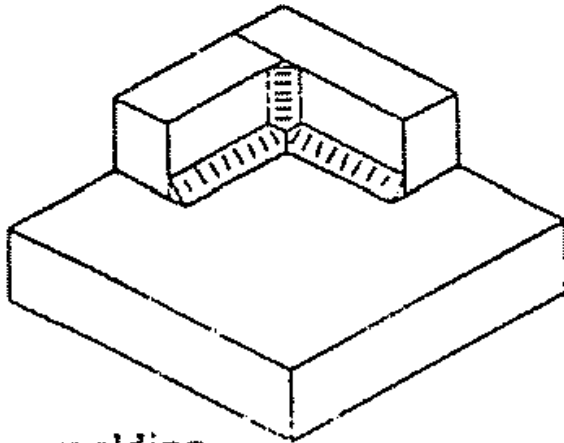
casting



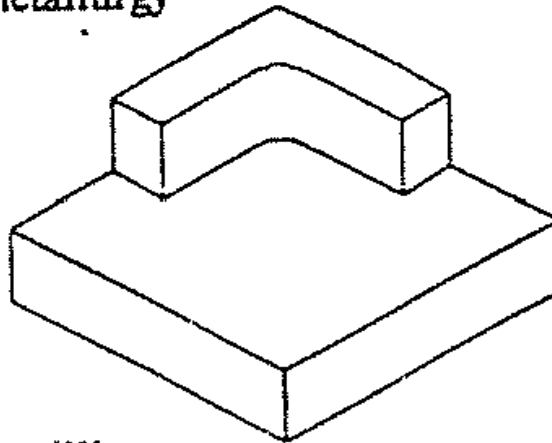
powder
metallurgy



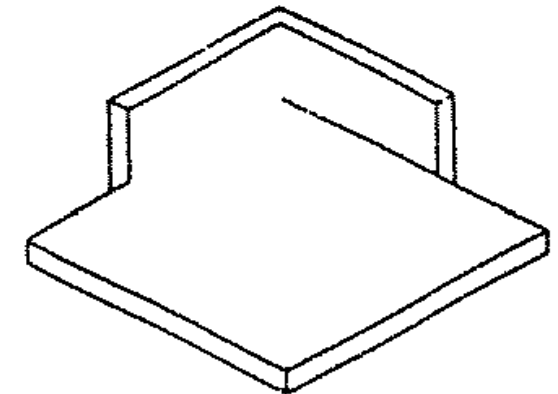
forging



welding



milling



sheet metal
bending

6. Σχεδιασμός με τη Βοήθεια Υπολογιστή

- ◆ Ορισμοί
- ◆ Τεχνικές Γεωμετρικής Αναπαράστασης Αντικειμένων στον Υπολογιστή
- ◆ CAD

Ορισμοί

- ◆ **Έδρα (face):** Πεπερασμένο τμήμα άπειρης επιφάνειας που οριοθετεί την πλευρά ενός σώματος
- ◆ **Ακμή (edge):** Καμπύλη που οριοθετεί την πλευρά μιας έδρας (face)
- ◆ **Κορυφή (vertex):** Σημείο που οριοθετεί ένα από τα άκρα τμήματος γραμμής ή καμπύλης
- ◆ **Συρμάτινος σκελετός (wireframe):** Περιγραφή στερεού μέσω περιγραφής των ακμών (edges) και κορυφών (vertices) του.
- ◆ **Οριακή αναπαράσταση (B-Rep):** Περιγραφή στερεού μέσω περιγραφής των εδρών (faces), ακμών (edges) και κορυφών (vertices) του.
- ◆ **Δημιουργική στερεομετρία (CGS):** Περιγραφή στερεού μέσω στοιχειωδών όγκων και πράξεων της άλγεβρας Boole που συνδυάζουν τους όγκους.
- ◆ **Γεωμετρία:** Επικεντρώνεται στην μέτρηση γραμμών, γωνιών, επιφανειών, όγκων
- ◆ **Τοπολογία:** Επικεντρώνεται στην συνδεσμολογία γεωμετρικών στοιχείων



Γεωμετρική Αναπαράσταση: Τύποι

- ◆ Πολλαπλές όψεις σε δι-διάστατη αναπαράσταση (δεν υπάρχει σχέση μεταξύ όψεων)
- ◆ Συρμάτινος σκελετός «ενώνω-τις-κουκίδες» (δεν υπάρχει πληροφορία για το σχήμα της επιφάνειας, δεν κρύβονται γραμμές)
- ◆ Μοντέλα επιφανειών: Ταιριάζοντας επιφάνειες σε πολύεδρα (Δεν αρκεί εάν δεν περιγραφεί η συνδετικότητα και η τοπολογία. Π.χ δεν υπάρχει η έννοια του «εσωτερικού» και του «εξωτερικού» ενός στερεού, δεν μπορεί να υπολογιστεί ο όγκος, η μάζα, κλπ.)



Γεωμετρική Αναπαράσταση: Οντότητες

- ◆ Σημείο ή κορυφή: (x, y, z) 0-διαστάσεις
- ◆ Γραμμές ή καμπύλες (άπειρου μήκους)
- ◆ Τμήμα γραμμής ή καμπύλης ορίζεται σε γραμμή ή καμπύλη από ένα σημείο έναρξης και ένα σημείο τέλους
- ◆ Ευθεία
 - 2 σημεία $[(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)]$
 - 1 σημείο και κατεύθυνση $[(x_1, y_1, z_1), (i, j, k)]$, όπου i, j, k είναι τα συνημίτονα κατεύθυνσης του ανύσματος κατεύθυνσης

$$i = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

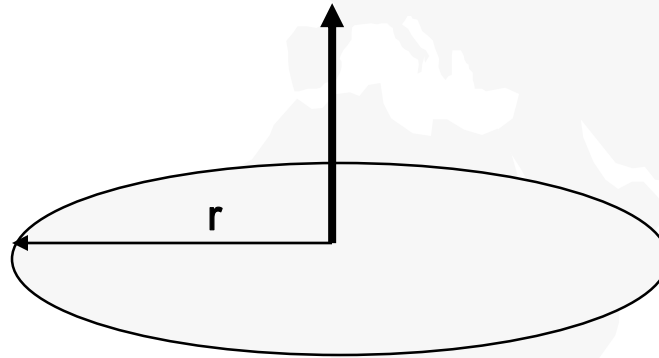
$$j = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

$$k = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

Γεωμετρική Αναπαράσταση: Οντότητες

◆ Κύκλος

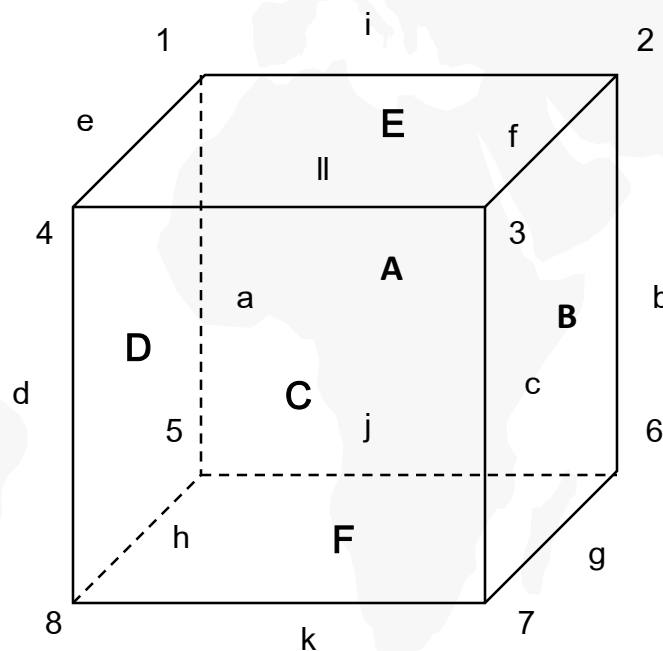
- 1 σημείο, κατεύθυνση και ακτίνα $[(x_1, y_1, z_1), (i, j, k), r]$



◆ Επιφάνεια ή έδρα (επίπεδη, κυλινδρική, σφαιρική, κωνική, n-τάξης)

Γεωμετρική Αναπαράσταση: Παράδειγμα

- ◆ **Κύβος:** Το μοντέλο αποτελείται από όλες τις κορυφές (8), ακμές (12), έδρες (6)



Γεωμετρική Αναπαράσταση: Παράδειγμα

- ◆ Κύβος: Περιγραφή στον υπολογιστή
 - Οι ακμές δεν περιλαμβάνονται καθότι είναι ευθύγραμμα τμήματα που ενώνουν τις κορυφές
 - Από τις κατωτέρω λίστες μπορούμε να σχεδιάσουμε το κύβο

Λίστα Πολυγώνων

A
B
C
D
E
F

Λίστα Κορυφών

x_1, y_1, z_1
x_2, y_2, z_2
x_6, y_6, z_6
x_5, y_5, z_5

x_2, y_2, z_2
x_3, y_3, z_3
x_7, y_7, z_7
x_6, y_6, z_6

...

Γεωμετρική Αναπαράσταση: Παράδειγμα

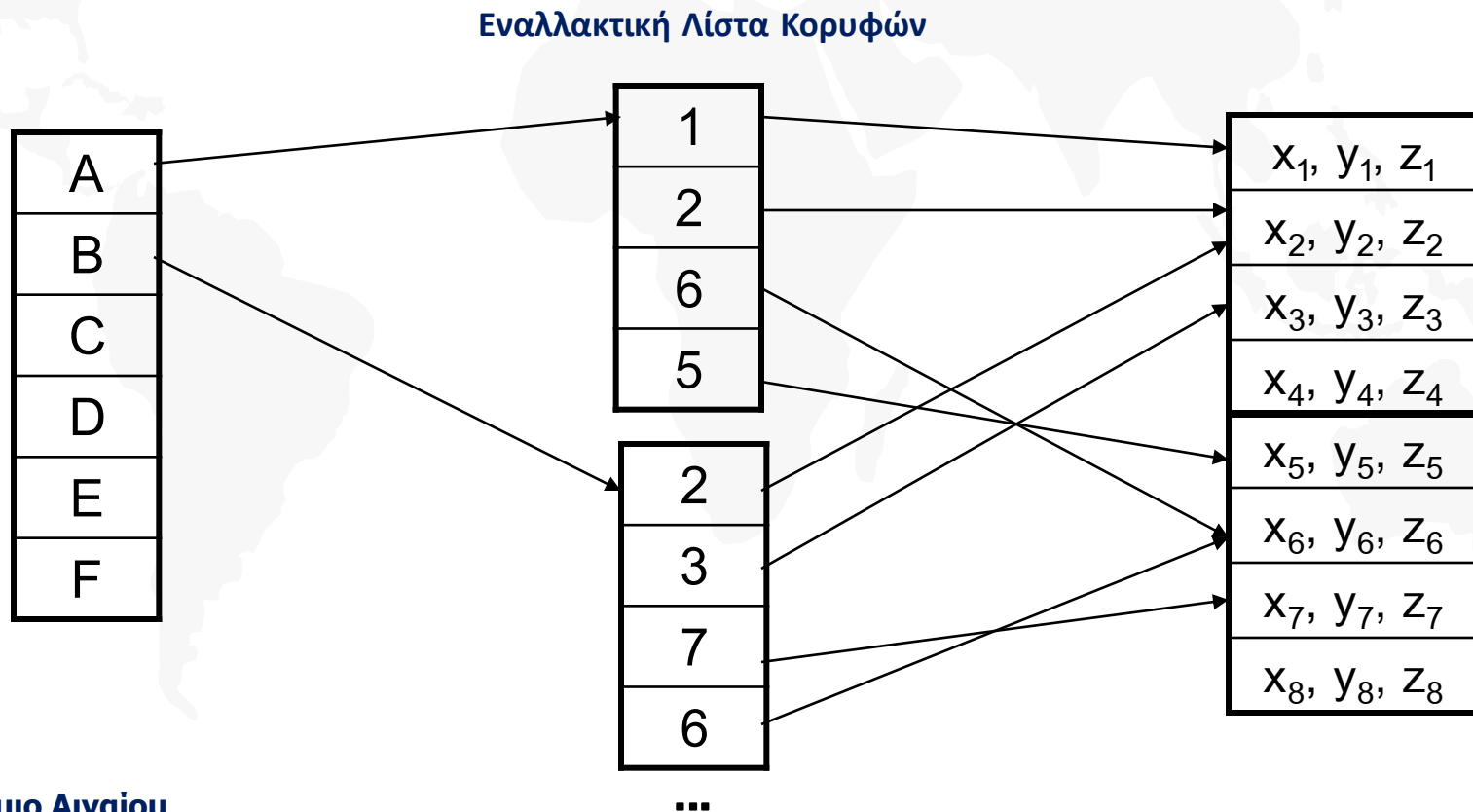
- ◆ Είναι αυτή η πλέον κατάλληλη αναπαράσταση;
 - Είναι δυνατόν να αντληθούν εύκολα πληροφορίες;
 - Ταχύτητα απεικόνισης αλλά και διορθώσεων της γεωμετρίας
- ◆ Πληροφορία: Είναι η έδρα A γειτονική της έδρας B;
 - Θα διερευνηθεί η λίστα κορυφών για την ύπαρξη κοινών ζευγών (γειτονικών) κορυφών σε οιαδήποτε διάταξη
 - Στην περίπτωση αυτή $[(x_2, y_2, z_2), (x_6, y_6, z_6)]$ της A και $[(x_6, y_6, z_6), (x_2, y_2, z_2)]$ της B είναι κοινές ακμές με αντίθετη φορά
 - Η αναζήτηση είναι της τάξης του (πλήθος κορυφών του πολυγώνου A) $\times$ (πλήθος κορυφών του πολυγώνου B)
- ◆ Ταχύτητα απεικόνισης;
 - Όλες οι ακμές ενός πολυγώνου θα πρέπει να σχεδιασθούν. Δηλαδή κάθε ακμή θα σχεδιασθεί 2 φορές
- ◆ Διορθώσεις;
 - Διόρθωση μιας κορυφής απαιτεί την διόρθωση όλων των επαναλήψεων της κορυφής στη δομή δεδομένων



Γεωμετρική Αναπαράσταση: Παράδειγμα

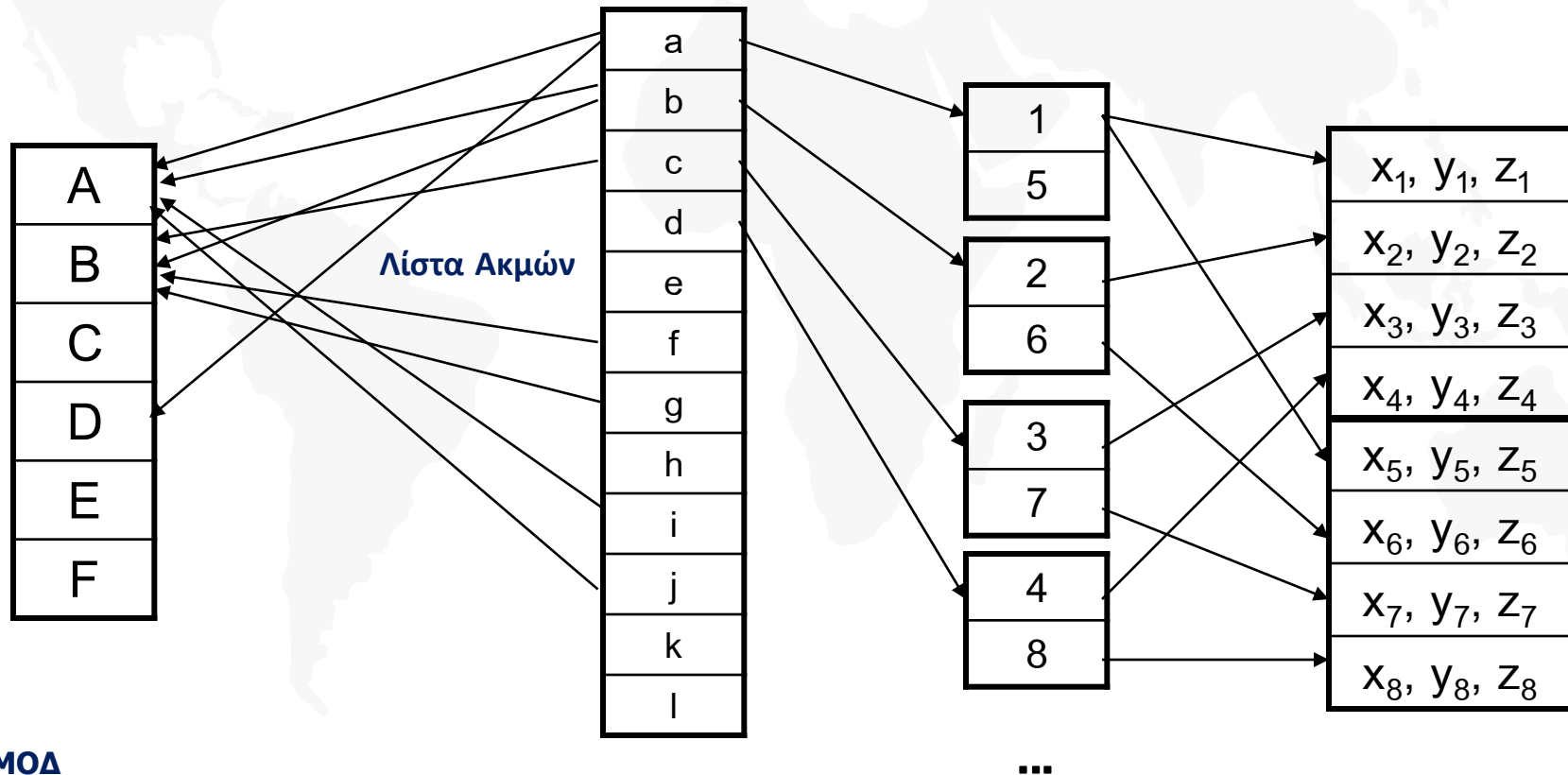
◆ Εναλλακτική δομή δεδομένων

- Κάθε σετ συντεταγμένων εμφανίζεται μία φορά (βοηθάει την διόρθωση)
- Για την ανεύρεση γειτονικών εδρών πρέπει όμως να ευρεθεί κοινό ζεύγος γειτονικών κορυφών
- Κάθε ακμή απεικονίζεται και πάλι δύο φορές



Γεωμετρική Αναπαράσταση: Παράδειγμα

- ◆ Εναλλακτική δομή δεδομένων: Η βασική είσοδος είναι η Λίστα Ακμών
 - Κάθε σετ συντεταγμένων εμφανίζεται μία φορά (βοηθάει την διόρθωση)
 - Η ανεύρεση γειτονικών εδρών αρχίζει από την πρώτη έδρα, ευρίσκονται οι ακμές της, ευρίσκονται οι έδρες που έχουν ίδιες ακμές.
 - Κάθε ακμή απεικονίζεται μία φορά



Γεωμετρική Αναπαράσταση: Καμπύλες

- ◆ Ευθεία

$$y = mx + b$$

- ◆ Κύκλος

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 - r^2 = 0$$

- ◆ Γενική καμπύλη: Παραμετρική εξίσωση με 12 συντελεστές

$$x(t) = a_x t^3 + b_x t^2 + c_x t + d_x$$

$$y(t) = a_y t^3 + b_y t^2 + c_y t + d_y$$

$$z(t) = a_z t^3 + b_z t^2 + c_z t + d_z$$

$$0 \leq t \leq 1$$

- ◆ Συνήθης καμπύλες σε συστήματα CAD

- Hermite
- Berzier
- B-spline



Γεωμετρική Αναπαράσταση

Καμπύλες Hermite

- ◆ Οι καμπύλες Hermite ορίζονται από 2 σημεία (αρχή $t = 0$) και τέλος ($t=1$) και τις κλίσεις στα σημεία αυτά

$$p(0) = a(0)^3 + b(0)^2 + c(0) + d$$

$$p(1) = a(1)^3 + b(1)^2 + c(1) + d$$

$$p'(0) = 3a(0)^2 + 2b(0) + c$$

$$p'(1) = 3a(1)^2 + 2b(1) + c$$

- ◆ Σε κάθε μία από τις 4 σχέσεις αντιστοιχούν 3 εξισώσεις (για τις τρεις συντεταγμένες του κάθε σημείου ή της κάθε κλίσης)
- ◆ Έτσι έχουμε 12 εξισώσεις με 12 αγνώστους (τις παραμέτρους των κυβικών καμπυλών Hermite)
- ◆ Γνωρίζοντας τις παραμέτρους, χαράζουμε την καμπύλη μεταβάλλοντας το t μεταξύ του 0 και του 1



Γεωμετρική Αναπαράσταση

Καμπύλες Hermite: Παράδειγμα

- ◆ Καμπύλη Hermite από τα σημεία $p(0) = (0,0,0)$, $p(1) = (6,10,8)$ με κλίση $p'(0)=(0,0,10)$, $p'(1) = (-10,0,0)$. Οι κλίσεις δίδονται ως διανύσματα χωρίς θέση. Για τις συντεταγμένες x

$$x(0) = 0 = d_x$$

$$x(1) = 6 = a_x + b_x + c_x + d_x$$

$$x'(0) = 0 = c_x$$

$$x'(1) = -10 = 3a_x + 2b_x + c_x$$

- ◆ Γράφοντας παρόμοιες εξισώσεις για τις τιμές y και z και επιλύοντας

$$a_x = -22, \quad a_y = -20, \quad a_z = -6$$

$$b_x = 28, \quad b_y = 30, \quad b_z = 4$$

$$c_x = 0, \quad c_y = 0, \quad c_z = 10$$

$$d_x = 0, \quad d_y = 0, \quad d_z = 0$$

- ◆ Που δίνει

$$x(t) = -22t^3 + 28t^2$$

$$y(t) = -20t^3 + 30t^2$$

$$z(t) = -6t^3 + 4t^2 + 10t$$



Γεωμετρική Αναπαράσταση

Καμπύλες Berzier

- ◆ Καθότι ο καθορισμός των κλίσεων αποτελεί «τέχνη», μπορούμε να επιλέξουμε τέσσερα σημεία ελέγχου $p(0)$, $p(1/3)$, $p(2/3)$, $p(1)$ που καταλήγουν σε 12 εξισώσεις και 12 αγνώστους)
- ◆ Η μορφή των εξισώσεων Berzier είναι (με $p=x,y,z$):

$$p(t) = (1-t)^3 p_0 + 3t(1-t)^2 p_1 + 3t^2(1-t) p_2 + t^3 p_3$$

Όπου $p_0=p(0)$, $p_1=p(1/3)$, $p_2=p(2/3)$, $p_3=p(1)$

- ◆ Τα σημεία $p(0)$ και $p(1)$ είναι η αρχή και το τέλος της καμπύλης (όπως είναι εύκολο να επαληθευτεί)
- ◆ Τα σημεία $p(1/3)$ και $p(2/3)$ δεν ανήκουν στην καμπύλη, αλλά βοηθούν στη διαμόρφωση του σχήματος της καμπύλης
- ◆ Η κλίση της καμπύλης στο κάθε άκρο ορίζεται ενώνοντας το άκρο με το πλησιέστερο σημείο ελέγχου.

Γεωμετρική Αναπαράσταση

Δι-κυβικές Επιφάνειες

- ◆ Οι δι-κυβικές επιφάνειες $p(s,t)$, $p=x,y,z$ καθορίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως οι κυβικές καμπύλες. Χρησιμοποιούνται σημεία ελέγχου ή συνδυασμοί σημείων ελέγχου και κλίσεων
- ◆ Τα τέσσερα όρια της επιφάνειας καθορίζονται από τέσσερις κυβικές καμπύλες
- ◆ Σε κάθε διεύθυνση (t ή s) καθορίζονται δύο εσωτερικές καμπύλες.
- ◆ Συνολικά ορίζονται 8 καμπύλες
 - 4 ορίζουν το όριο και 4 το εσωτερικό
 - 4 στην κατεύθυνση s και 4 στην κατεύθυνση t
- ◆ Η γενική μορφή της δι-κυβικής εξίσωσης είναι

$$p(s,t) = a_{33}s^3t^3 + a_{32}s^3t^2 + a_{31}s^3t + a_{30}s^3 + a_{23}s^2t^3 + a_{22}s^2t^2 + \dots$$

- ◆ Όπου $p=x,y,z$ και a_{ij} είναι 16 συντελεστές ($3 \times 16 = 48$ άγνωστοι)
- ◆ Η επιφάνεια ορίζεται από 16 σημεία, ή από 4 σημεία (κορυφές του ορίου) και πολλές κλίσεις.



Αναπαράσταση Στερεών

Παράδειγμα

- ◆ Η αναπαράσταση στερεών είναι η απάντηση σε όλους τους περιορισμούς της γεωμετρικής αναπαράστασης
 - Αναπαρίστανται μόνο στερεά που είναι πραγματοποιήσιμα (ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΑΤΟ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ)
 - Υποστηρίζουν τον υπολογισμό ιδιοτήτων των στερεών, όπως μάζα, όγκος, ροπές, κλπ.)
 - Υποστηρίζουν εφαρμογές της παραγωγής
- ◆ Παράδειγμα
 - Δημιουργία του στερεού εκ περιστροφής: Σχεδίαση του $\frac{1}{2}$ προφίλ και περιστροφή (SPIN) κατά 360°
 - Δημιουργία κουτιού
 - Ένωση κουτιού με στερεό εκ περιστροφής (Boolean)

Αναπαράσταση Στερεών

Τεχνικές Οικοδόμησης

- ◆ Μετατόπιση καμπύλης ή πολυέδρου (Sweeping)
 - Το στερεό δημιουργείται από τη μετατόπιση καμπύλης ή πολυέδρου σε καθορισμένη τροχιά. Περιγράφονται η γεωμετρία του πολυέδρου (καμπύλης) και της τροχιάς
- ◆ Δημιουργική στερεομετρία (Constructive Solid Geometry: CSG)
 - Το στερεό δημιουργείται από Boolean πράξεις μεταξύ στοιχειωδών στερεών. Οι πράξεις είναι: Πρόσθεση ή Ένωση (+), Αφαίρεση (-), Τομή (*)
 - Οι πράξεις αυτές μπορούν αν γίνουν και μεταξύ «υπερ-στοιχειωδών» στερεών
 - Τα στοιχειώδη στερεά προσομοιάζουν μηχανουργικές κατεργασίες
 - Τα περισσότερα εξαρτήματα που παράγονται από μηχανουργικές κατεργασίες μπορούν να οικοδομηθούν από μόνο 4 στοιχειώδη στερεά (κώνος, σφαίρα, παραλληλεπίπεδο και κύλινδρος)
 - Τα στοιχειώδη στερεά δημιουργούνται είτε μέσω μαθηματικής αναπαράστασης των επιφανειών (εξισώσεων), είτε μέσω συνδυασμών μισών χώρων.



Αναπαράσταση Στερεών

Τεχνικές Οικοδόμησης

- ◆ Δημιουργική στερεομετρία (συνέχεια)
 - Η πληροφορία που αποθηκεύεται στη βάση δεδομένων πρέπει να είναι ικανή ώστε να μπορούν να σχεδιαστούν οι ακμές και οι έδρες
 - Το σύστημα δημιουργικής στερεομετρίας υποστηρίζεται από λογισμικό υπολογισμού του ορίου του στερεού, που χρησιμοποιεί τις πληροφορίες στη βάση για να αναπαρασταθούν οι κορυφές, οι ακμές και οι έδρες.
- ◆ Οριακή αναπαράσταση (Boundary Representation: B-Rep)
 - Αναπαρίστανται το στερεό δημιουργώντας το από τις οριακές ακμές και έδρες του.
 - Χρειάζεται προσοχή για να δημιουργηθεί ένα πραγματικό στερεό (το σύστημα ελέγχει το αποτέλεσμα και ειδοποιεί τον χρήστη σε περίπτωση παραβάσεων).
- ◆ Έλεγχος εφικτότητας κλειστού πολυέδρου
 - Η εξίσωση του Euler αποτελεί αναγκαία αλλά μη ικανή συνθήκη

$$F - E + V = 2$$

F = έδρες, E = ακμές, V = κορυφές



Αναπαράσταση Στερεών

Τεχνικές Οικοδόμησης

- ◆ Έλεγχος εφικτότητας πολυέδρου με οπές

$$V - E + F - H + 2P - 2S = 0$$

V = κορυφές, E = ακμές, F = έδρες, H = εσωτερικοί βρόχοι,
 P = οπές που διατρέχουν το στερεό, S = κελύφη



Αναπαράσταση Στερεών

Βάσεις Δεδομένων

- ◆ Μετά την κατασκευή του στερεού, δημιουργούνται τα σχετικά στοιχεία και αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων. Υπάρχουν δύο μέθοδοι αποθήκευσης.
- ◆ CGS: Το αντικείμενο αποθηκεύεται σαν δένδρο
 - Φύλλα = στοιχειώδη στερεά
 - Κόμβοι = Boolean πράξεις
- ◆ B-Rep: Το αντικείμενο αποθηκεύεται σαν συνδεδεμένες λίστες των κορυφών, ακμών, των εδρών
- ◆ Οι υπολογισμοί που απαιτούνται για την εύρεση των στοιχείων B-Rep είναι σημαντικότεροι, αλλά τα στοιχεία της αναπαράστασης αυτής είναι περισσότερο βολικά σε πολλές εφαρμογές:
 - B-Rep: Αποθηκεύεται το πραγματικό στερεό
 - CGS: Αποθηκεύονται οι οδηγίες πως οικοδομείται το στερεό

Αναπαράσταση Στερεών

Αποθήκευση CGS

- ◆ Πολύ οικονομική σε μνήμη
- ◆ Το δένδρο αποτελείται από υποδένδρα που σχετίζονται μέσω Boolean πράξεων
- ◆ Τα υποδένδρα αποτελούνται από στοιχειώδη στερεά που σχετίζονται μέσω Boolean πράξεων
- ◆ Το φύλλο περιλαμβάνει
 - Το στοιχειώδες στερεό σε πρότυπο μέγεθος, θέση και προσανατολισμό
 - Συντελεστή κλίμακας (για την αλλαγή του μεγέθους)
 - Στοιχεία θέσης και προσανατολισμού
- ◆ Οι πράξεις για τον υπολογισμό των τοπολογικών και γεωμετρικών στοιχείων γίνονται σε hardware για ταχύτητα.



Αναπαράσταση Στερεών

Αποθήκευση B-Rep

- ◆ Εκτεταμένη χρήση μνήμης: Αποθηκεύονται όλες οι κορυφές, ακμές και έδρες
- ◆ Τοπολογικές οντότητες: Κορυφή, ακμή, έδρα
- ◆ Γεωμετρικές οντότητες: Σημείο, καμπύλη επιφάνεια
- ◆ Παράδειγμα
- ◆ Βασική δομή
 - Η δομή δεδομένων είναι ένα γράφημα (ύπαρξη κυκλικών συνδέσμων για την περιγραφή των βρόχων)
 - Οι βρόχοι έχουν τέτοια κατεύθυνση ώστε να περικλείουν την έδρα στα αριστερά τους
 - Κάθε έδρα περικλείεται από ένα ή περισσότερους βρόχους που ορίζουν την έδρα επάνω σε μία επιφάνεια. Η κατεύθυνση του κάθετου μοναδιαίου ανύσματος της έδρας καθορίζεται από την κατεύθυνση των βρόχων
 - Η έδρα έχει μία μόνο πλευρά, την εξωτερική του αντικειμένου
 - Κάθε βρόχος αποτελείται από κλειστή αλληλουχία ακμών.



Αναπαράσταση Στερεών

Αποθήκευση B-Rep

◆ Βασική δομή (συνέχεια)

- Κάθε ακμή αποτελείται από ένα διατεταγμένο ζεύγος κορυφών, που ορίζουν την ακμή επάνω σε μία καμπύλη.
- Κάθε ακμή εμφανίζεται δύο φορές, αλλά με αντίθετες κατευθύνσεις: Μία για κάθε γειτονική έδρα
- Η κατεύθυνση της ακμής καθορίζεται από την διάταξη των κρυφών του
- Κάθε κορυφή ορίζεται μέσω ενός σημείου.

◆ Γεωμετρικές οντότητες

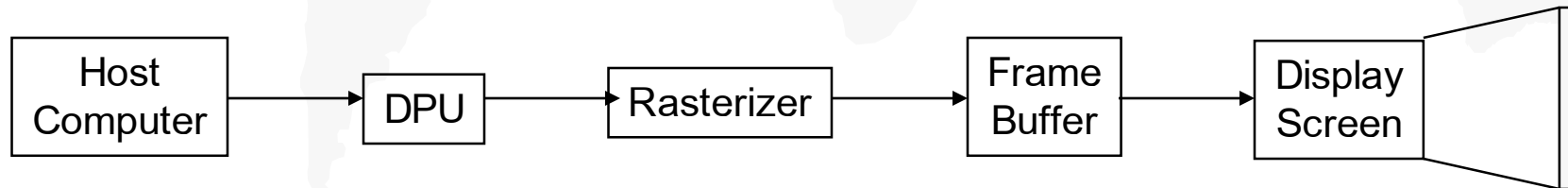
- Σημείο, καμπύλη και επιφάνεια
- Οι γεωμετρικές οντότητες ορίζονται μέσω των γεωμετρικών παραστάσεών τους, όπως έχει ήδη εξηγηθεί



Σχεδιασμός με τη Βοήθεια Υπολογιστή

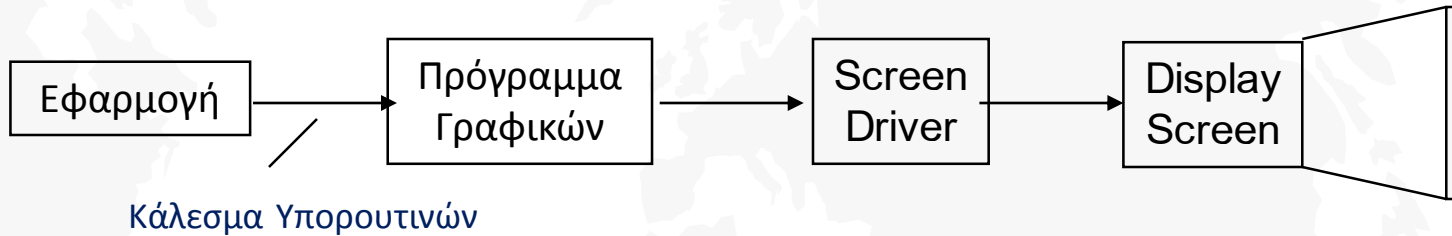
CAD: Θέματα Hardware

- ◆ Μνήμη Αποθήκευσης (Frame buffer)
 - Βασικό στοιχείο οθόνης: Pixel. Το κάθε pixel αντιστοιχεί σε n -bits τα οποία καθορίζουν τα 2^n χρώματα. Με $n=24$ έχουμε περίπου 16 εκ. χρώματα
 - Εάν η οθόνη έχει διακριτότητα 2000x3000 pixels, και η οθόνη έχει $n=10$ bits per pixels (1024 χρώματα), τότε χρειάζονται 60 εκ. bits ανά εικόνα
 - Η οθόνη ανανεώνεται 30 φορές το δευτερόλεπτο, δηλαδή η ροή της πληροφορίας είναι 1,8 δις bits ανά δευτερόλεπτο (baud rate)
 - Οι υπολογισμοί για την προβολή στην οθόνη είναι, επομένως, ιδιαίτερα απαιτητικοί.
- ◆ Hardware: Display Processing Unit αναλαμβάνει τους υπολογισμούς ανεξάρτητα από το CPU. Οι περισσότεροι υπολογισμοί γίνονται σε hardware και όχι σε software



CAD: Γραφικά μέσω Υπολογιστή

- ◆ Το πρόγραμμα γραφικών λαμβάνει γεωμετρικά στοιχεία από την βάση δεδομένων (σημεία, γραμμές, επιφάνειες) και τα σχεδιάζει στην οθόνη



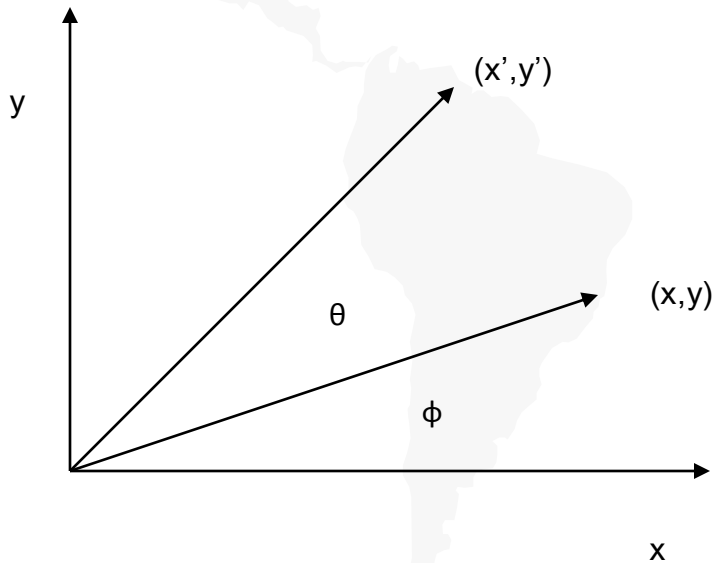
- ◆ Το πρόγραμμα γραφικών πρέπει να έχει τουλάχιστον δύο ρουτίνες
 - MOVE(X,Y)
 - LINE(X,Y)
- ◆ Για την δημιουργία της εικόνας του ίδιου αντικειμένου σε διαφορετικές θέσεις, προσανατολισμούς και μεγέθη, υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις
 - Ο χρήστης υπολογίζει τις συντεταγμένες των κορυφών και μετά χρησιμοποιούνται οι πιο πάνω εντολές για να σχεδιαστούν τα αντικείμενα
 - Αποθήκευση πρότυπης αναπαράστασης του αντικειμένου σε σχέση με το βασικό σύστημα συντεταγμένων
 - Χρήση μετασχηματισμών για την μετατόπιση, προσανατολισμό και μεταβολή του μεγέθους. Έτσι δημιουργούνται εφήμερα αντίγραφα του πρότυπου αντικείμενου στην επιθυμητή θέση, προσανατολισμό και μέγεθος.

CAD: Διδιάστατοι Μετασχηματισμοί

- ◆ Μετατόπιση σημείου $P = [x, y]^T$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + \Delta x \\ y + \Delta y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \Leftrightarrow P' = P + \Delta P$$

- ◆ Περιστροφή σημείου $P = [x, y]^T$



$$x' = r \cos(\phi + \theta) = r \cos \phi \cos \theta - r \sin \phi \sin \theta$$

$$x' = x \cos \theta - y \sin \theta$$

$$y' = r \sin(\phi + \theta) = r \sin \phi \cos \theta + r \cos \phi \sin \theta$$

$$y' = x \sin \theta + y \cos \theta$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \Leftrightarrow P' = R * P$$

CAD: Διδιάστατοι Μετασχηματισμοί

- ◆ Μεγέθυνση $P = [x, y]^T$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x * x \\ S_y * y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & 0 \\ 0 & S_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \Leftrightarrow P' = S * P$$

CAD: Ομογενοποιημένες Συντεταγμένες

- ◆ Ομογενοποίηση των μετασχηματισμών ως αλληλουχία πολλαπλασιασμών πινάκων
- ◆ Εισαγωγή τρίτης συντεταγμένης w στα ανύσματα και αντίστοιχη μετατροπή των πινάκων

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix}$$

- ◆ Συνήθως $w=1$
- ◆ Πίνακας μεγέθυνσης

$$S = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

CAD: Ομογενοποιημένες Συντεταγμένες

◆ Πίνακας περιστροφής

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

◆ Πίνακας μετάθεσης

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

καθότι

$$P' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + w\Delta x \\ y + w\Delta y \\ w \end{bmatrix} = TP$$

Όταν $w=1$

CAD: Μετασχηματισμός Συντεταγμένων

◆ Με αυτούς τους πίνακες, και εάν είναι γνωστά

- Η μετάθεση ($\Delta x, \Delta y$)
- Η περιστροφή θ
- Η μεγέθυνση (S_x, S_y) τότε

$$P' = MP = S RTP \Leftrightarrow \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix}$$

- ◆ Δηλαδή η μεγέθυνση, περιστροφή και μετάθεση υπολογίζονται ως γινόμενο των αντίστοιχων πινάκων (όταν το κέντρο του αντικειμένου είναι το $(0,0,0)$)
- ◆ Ερώτηση: Εάν το κέντρο του αντικειμένου δεν είναι το $(0,0,0)$ χρειάζεται και άλλος μετασχηματισμός; Εάν ναι, ποιος είναι αυτός;



CAD: Τρισδιάστατοι Μετασχηματισμοί

- ◆ Στις τρεις διαστάσεις, οι πίνακες μετασχηματισμού, έχουν την εξής μορφή
 - Η μετάθεση ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$)
 - Η περιστροφή ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)
 - Η μεγέθυνση (S_x, S_y, S_z) τότε

◆ Πίνακας μεγέθυνσης

$$S = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

◆ Πίνακας μετάθεσης

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & 0 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

CAD: Τρισδιάστατοι Μετασχηματισμοί

◆ Πίνακες Περιστροφής

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_x & -\sin \theta_x & 0 \\ 0 & \sin \theta_x & \cos \theta_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos \theta_y & 0 & -\sin \theta_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_y & 0 & \cos \theta_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z & 0 & 0 \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

CAD: Προβολή

- ◆ Προβολή τρισδιάστατων αντικειμένων σε δισδιάστατη οθόνη
 - Προοπτική προβολή: Από ένα σημείο προβάλλονται ακτίνες προς όλα τα σημεία του αντικειμένου. Τα σημεία τομής των ακτίνων αυτών με το δισδιάστατο πεδίο ενώνονται με την ίδια αλληλουχία όπως και στο τρισδιάστατο αντικείμενο
 - Ορθογραφική προβολή: Οι ακτίνες είναι παράλληλες μεταξύ τους
- ◆ Στο CAD χρησιμοποιείται ορθογραφική προβολή
- ◆ Η προβολή πραγματοποιείται μέσω μετασχηματισμών (δηλαδή πολλαπλασιασμών πινάκων 4x4)