



Επιλογή Υλικών στο Μηχανολογικό Σχεδιασμό

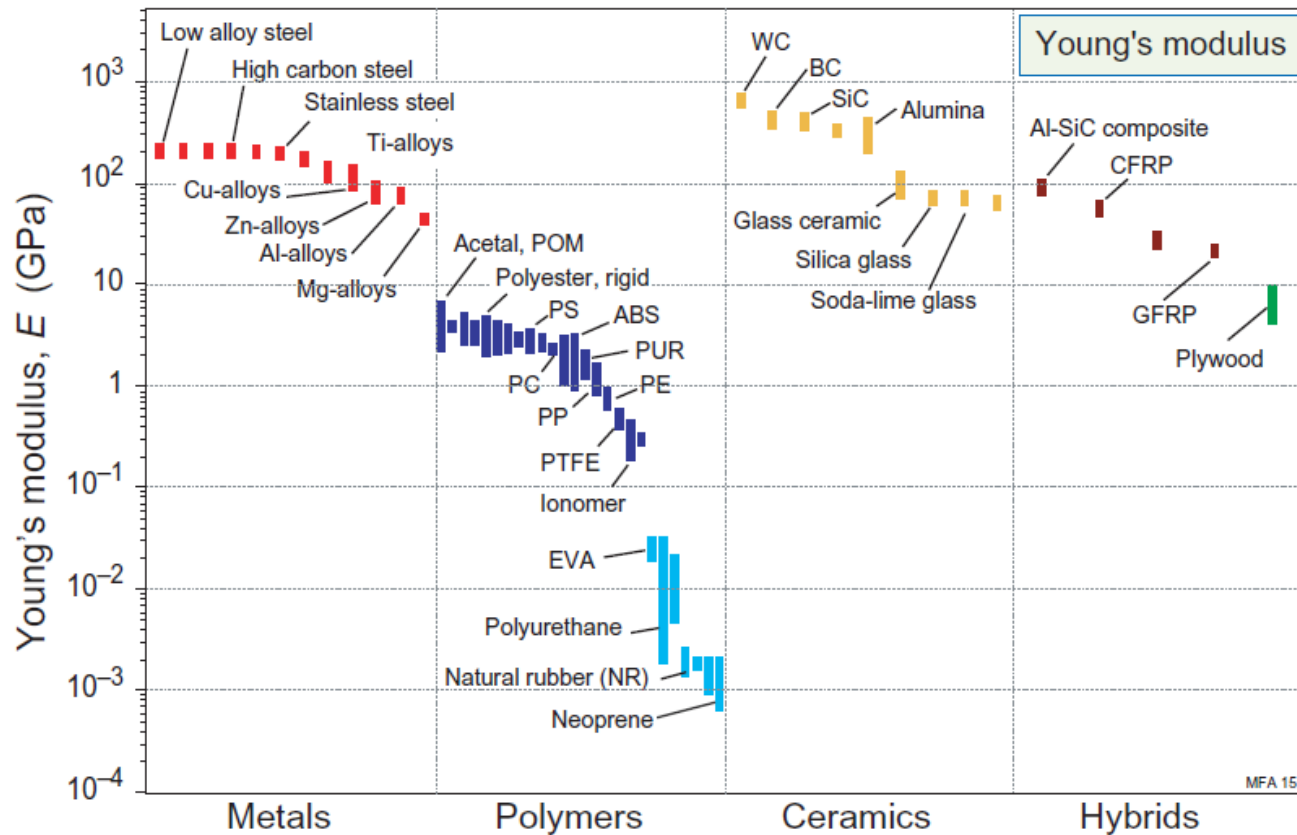


Διδάσκουσα: Δρ. Ε. Καμούτση

Χάρτες Υλικών

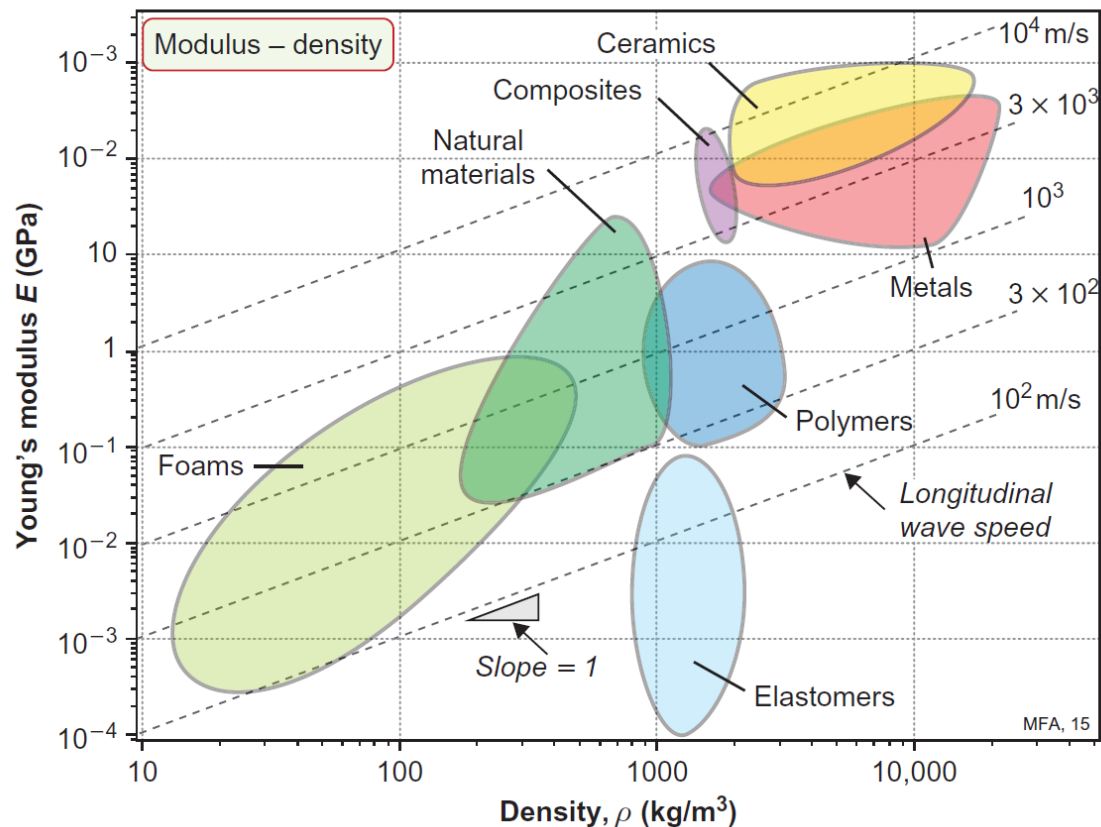
- Οι ιδιότητες των υλικών περιορίζουν την απόδοση των εξαρτημάτων. Σπάνια όμως η απόδοση ενός εξαρτήματος εξαρτάται αποκλειστικά από μία μόνο ιδιότητα
Π.χ σχεδιασμός με στόχο μικρό βάρος εξαρτήματος σ_y / ρ , E / ρ
- Κατασκευή χαρτών αλληλοσυσχέτισης ιδιοτήτων
- Οι χάρτες περιέχουν μεγάλο αριθμό πληροφοριών σε συμπυκνωμένη μορφή και δείχνουν με ποιο τρόπο αλληλεξαρτώνται οι ιδιότητες.
- Ανάπτυξη μεθοδολογίας επιλογής υλικών με βάση τους χάρτες αυτούς

Χάρτες Υλικών



Ένα ραβδόγραμμα που δείχνει το μέτρο ελαστικότητας για οικογένειες υλικών. Κάθε ράβδος δείχνει το εύρος του μέτρου ελαστικότητας που προσφέρει ένα υλικό, μερικά από τα οποία είναι επισημασμένα.

Χάρτες Υλικών



Η ιδέα ενός Διαγράμματος Ιδιοτήτων Υλικών: Young's modulus, E , απεικονίζεται σε σχέση με την πυκνότητα, ρ , σε log κλίμακες. Κάθε κατηγορία υλικών καταλαμβάνει ένα χαρακτηριστικό πεδίο. Τα περιγράμματα δείχνουν τη διαμήκη ελαστική ταχύτητα κύματος $v = (E/\rho)^{1/2}$.

Χάρτες Υλικών

- Κάθε κατηγορία υλικού (κράματα, κεραμικά κτλ) καταλαμβάνει μία χαρακτηριστική περιοχή του χάρτη
- Χρησιμοποίηση λογαριθμικής κλίμακας -> δυνατότητα απεικόνισης πρόσθετων πληροφοριών στους χάρτες

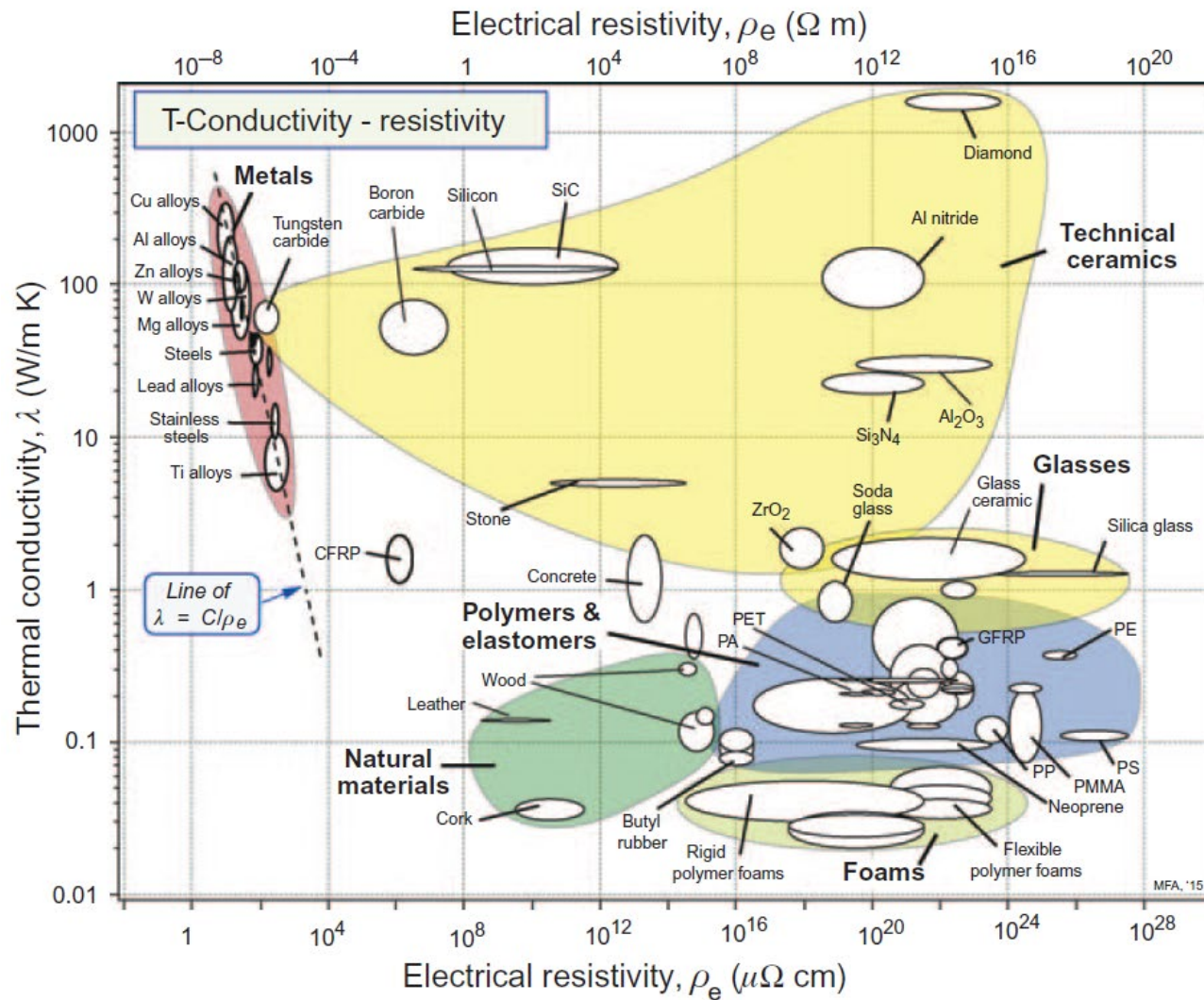
Π.χ. Χάρτης μέτρου ελαστικότητας – πυκνότητας

$$\nu = \left(\frac{E}{\rho} \right)^{1/2} \Rightarrow \log \rho + 2 \log \nu$$

ν = ταχύτητα διάδοσης διαμηκών κυμάτων στο υλικό

- Για διάφορες τιμές του ν προκύπτει μία σειρά από παράλληλες (διαγώνιες) γραμμές. Κάθε μία από τις γραμμές αυτές συνδέει υλικά, στα οποία τα διαμήκη κύματα διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα.

Χάρτες Υλικών



Χάρτες Υλικών

- Ιδιότητες που αλληλοσχετίζονται στους χάρτες

<u>Κατηγορία</u>	<u>Ιδιότητα</u>	<u>Σύμβολο</u>	<u>Μονάδες</u>
Γενικές	Σχετικό κόστος (relative cost)	C_R	-----
	Πυκνότητα (density)	ρ	Mg/m^3
Μηχανικές	Μέτρο ελαστικότητας (elastic modulus)	E, G, K	GPa
	Αντοχή σε πλαστική παραμόρφωση (yield strength)	σ_f	MPa
	Δυσθραυστότητα (fracture toughness)	K_{Ic}	$MPa/m^{1/2}$
	Συντελεστής απόσβεσης (damping capacity)	η	-----
	Λόγος κόπωσης (fatigue ratio)	f	-----
Θερμικές	Θερμική αγωγιμότητα (thermal conductivity)	λ	$W/(m \text{ K})$
	Θερμοδιαχυτότητα (thermal diffusivity)	α	m^2/sec
	Ειδική θερμότητα (specific heat)	C_p	$J/(Kg \text{ K})$
	Θερμοκρασία τήξης (melting temperature)	T_m	K
	Θερμοκρασία “υάλωσης” (glass temperature)	T_g	K
	Συντελεστής θερμικής διαστολής (thermal expansion coefficient)	α	K^{-1}
	Αντοχή σε θερμικά σοκ (thermal shock resistance)	ΔT	K
	Αντοχή σε ερπυσμό (creep resistance)	-----	-----
Φθοράς	Σταθερά φθοράς Archard (Archard wear constant)	K_A	MPa^{-1}
Διάβρ./Οξειδ.	Παραβολική σταθερά ρυθμού οξείδωσης (parabolic rate constant)	K_p	m^2/sec

Χάρτες Υλικών

- Κατηγορίες Υλικών που περιλαμβάνονται στους χάρτες

<u>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΥΛΙΚΟΥ</u>	<u>ΥΛΙΚΑ ΤΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ</u>	<u>ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ</u>
Τεχνολογικά κράματα (τα μέταλλα και τα κράματα των μηχ/γικών εφαρμογών)	Κράματα αλουμινίου	Al alloys
	Κράματα χαλκού	Cu alloys
	Κράματα μολύβδου	Lead alloys
	Κράματα μαγνησίου	Mg alloys
	Κράματα μολυβδαινίου	Mo alloys
	Κράματα νικελίου	Ni alloys
	Χάλυβες	Steels
	Κράματα κασσιτέρου	Tin alloys
	Κράματα τιτανίου	Ti alloys
	Κράματα βολφραμίου	W alloys
	Κράματα ψευδαργύρου	Zn alloys
Τεχνολογικά πολυμερή	Εποξικές ρητίνες	EP
	Μελαμίνες	MEL
	Polycarbonate	PC
	Πολυεστέρες	PEST
	Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας	HDPE
	Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας	LDPE

Χάρτες Υλικών

- Κατηγορίες Υλικών που περιλαμβάνονται στους χάρτες

<u>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΥΛΙΚΟΥ</u>	<u>ΥΛΙΚΑ ΤΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ</u>	<u>ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ</u>
Τεχνολογικά πολυμερή	Πολυφορμαλδεΐδη	PF
	Polymethylmethacrylate	PMMA
	Πολυπροπυλένιο	PP
	Πολυτετράφθοροαιθυλένιο	PTFE
	Πολυβινυλοχλωρίδιο	PVC
Τεχνολογικά κεραμικά (ειδικά κεραμικά για φέρουσες κατασκευές)	Αλουμίνα	Al ₂ O ₃
	Διαμάντι	C
	Sialons	Sialons
	Καρβίδιο του πυριτίου	SiC
	Νιτρίδιο του πυριτίου	Si ₃ N ₄
	Ζιρκονία	ZrO ₂
Τεχνολογικά σύνθετα υλικά	Πολυμερή ενισχυμένα με ίνες γραφίτη	CFRP
	Πολυμερή ενισχυμένα με ίνες γυαλιού	GFRP
	Πολυμερή ενισχυμένα με ίνες Kevlar	KFRP
Πορώδη κεραμικά (παραδοσιακά κεραμικά)	Τούβλο	Brick
	Τσιμέντο	Cement
	Πέτρα	Rocks

Χάρτες Υλικών

- Κατηγορίες Υλικών που περιλαμβάνονται στους χάρτες

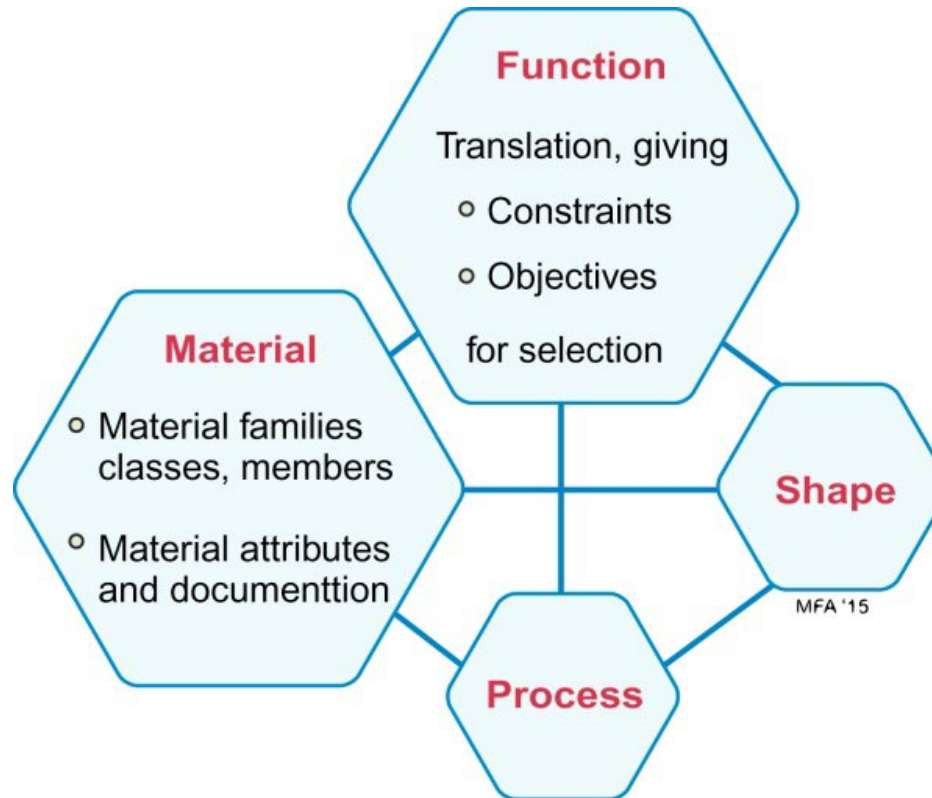
<u>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΥΛΙΚΟΥ</u>	<u>ΥΛΙΚΑ ΤΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ</u>	<u>ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ</u>
Πορώδη κεραμικά (παραδοσιακά κεραμικά)	Πορσελάνη	Pcln
	Κεραμίδι	Pot
Γυαλιά	Borosilicate glass	B-glass
	Soda glass	Na-glass
	Silica	SiO ₂
Ξύλα	Φλαμουριά	Ash
	Μπάλσα	Balsa
	Έλατο	Fir
	Βελανιδιά	Oak
	Πεύκο	Pine
	Προϊόντα ξύλου (κόντρα πλακέ, κ.α.)	Wood products
Ελστομερή (φυσικά και τεχνητά ελαστικά)	Φυσικό λάστιχο	Rubber
	Σκληρό βουτυλικό λάστιχο	Hard butyl
	Πολυουρεθάνες	PU
	Πυριτικό λάστιχο	Silicone
	Μαλακό βουτυλικό λάστιχο	Soft butyl

Χάρτες Υλικών

- Κατηγορίες Υλικών που περιλαμβάνονται στους χάρτες

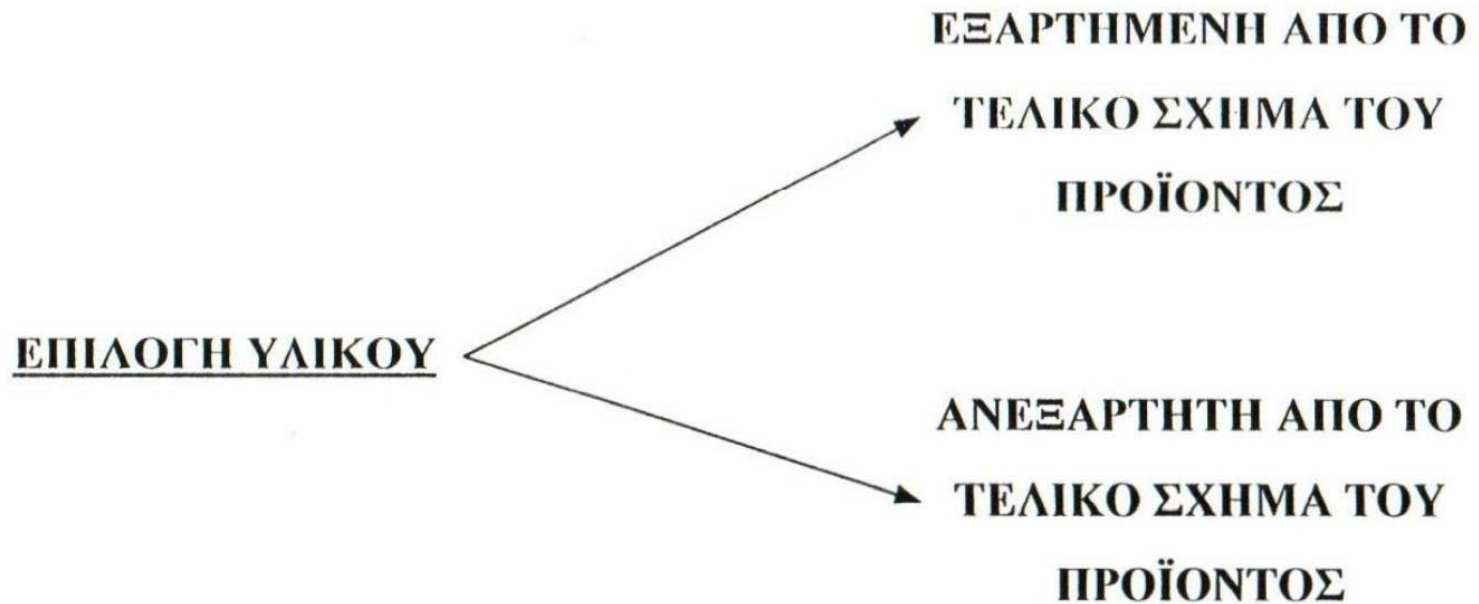
<u>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΥΛΙΚΟΥ</u>	<u>ΥΛΙΚΑ ΤΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ</u>	<u>ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ</u>
Αφρώδη πολυμερή	Φελλός	Cork
	Πολυεστέρας	PEST
	Πολυστυρένιο	PS
	Πολυουρεθάνη	PU

- Συνολικά θεωρούνται 9 κατηγορίες υλικών, αντί για 6 που ήταν αρχικά (κράματα, πολυμερή, ελαστομερή, κεραμικά, γυαλί και σύνθετα υλικά).
- Στους χάρτες επιλογής υλικών εμφανίζονται οι περιοχές που καλύπτει η κάθε κατηγορία υλικού.
- Μέσα σε κάθε περιοχή υπάρχουν μικρότερες περιοχές, οι οποίες δείχνουν τη θέση του κάθε υλικού της αντίστοιχης κατηγορίας.
- Η περιοχή ενός υλικού περιλαμβάνει ένα εύρος τιμών της αντίστοιχης ιδιότητας. Το εύρος αυτό άλλοτε είναι μικρό όπως π.χ. Στο μέτρο ελαστικότητας του χαλκού
- Σε άλλες περιπτώσεις το εύρος των τιμών που παίρνει η ιδιότητα ενός υλικού είναι αρκετά μεγάλο.



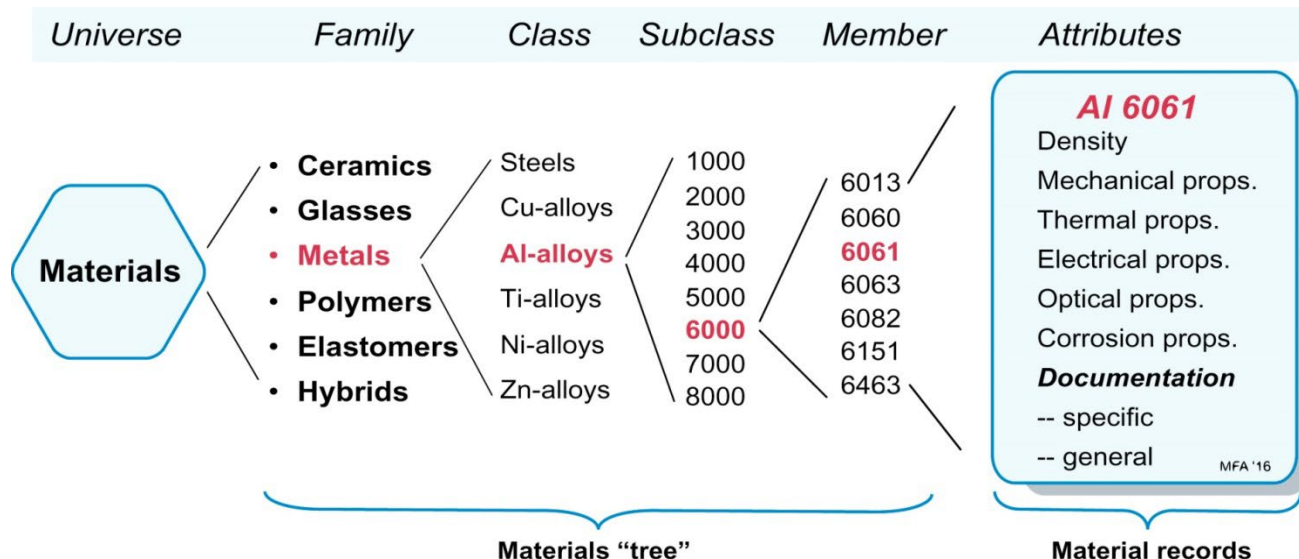
Η επιδιωκόμενη λειτουργία ενός στοιχείου θέτει τους περιορισμούς και καθορίζει τους στόχους για την επιλογή υλικών.

Μεθοδολογία Επιλογής Υλικού



Μεθοδολογία Επιλογής Υλικού

Προφίλ ιδιοτήτων



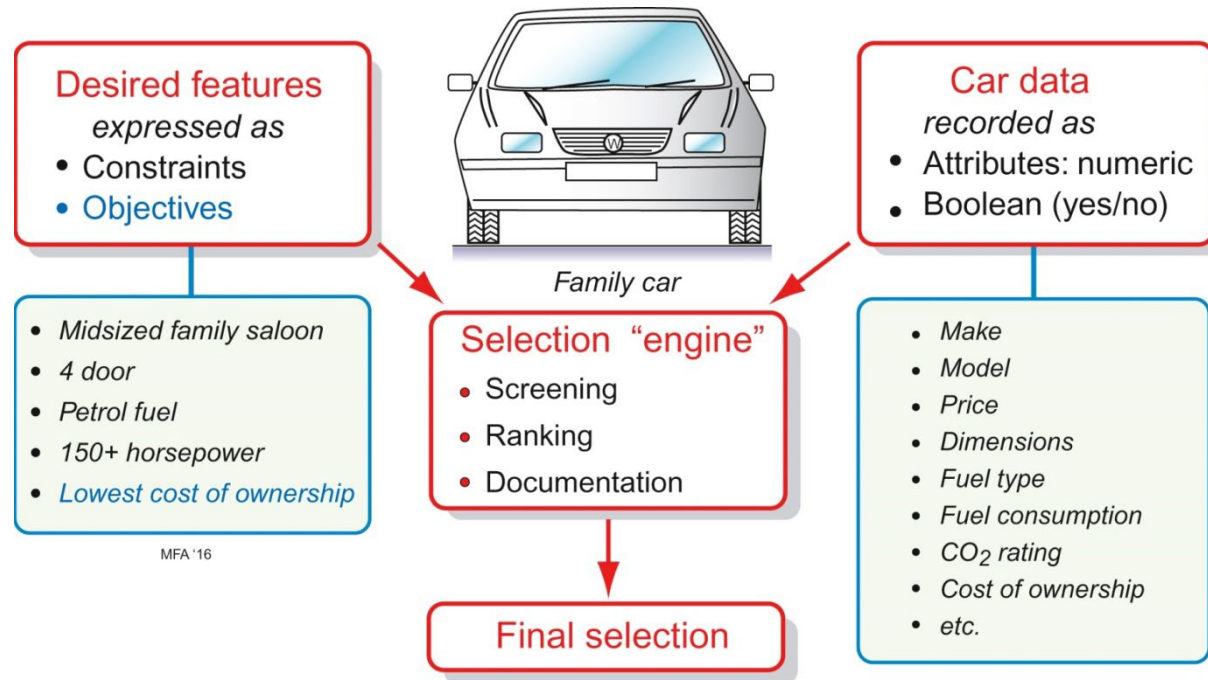
Η ταξινόμηση του πεδίου των υλικών και οι ιδιότητές τους. Τα συστήματα επιλογής που βασίζονται σε υπολογιστή αποθηκεύουν δεδομένα σε μια ιεραρχική δομή όπως αυτή.

- **Στόχος:** καθορισμός των απαιτούμενων ιδιοτήτων του υλικού (προφίλ ιδιοτήτων) και σύγκριση με τα υπάρχοντα και διαθέσιμα υλικά



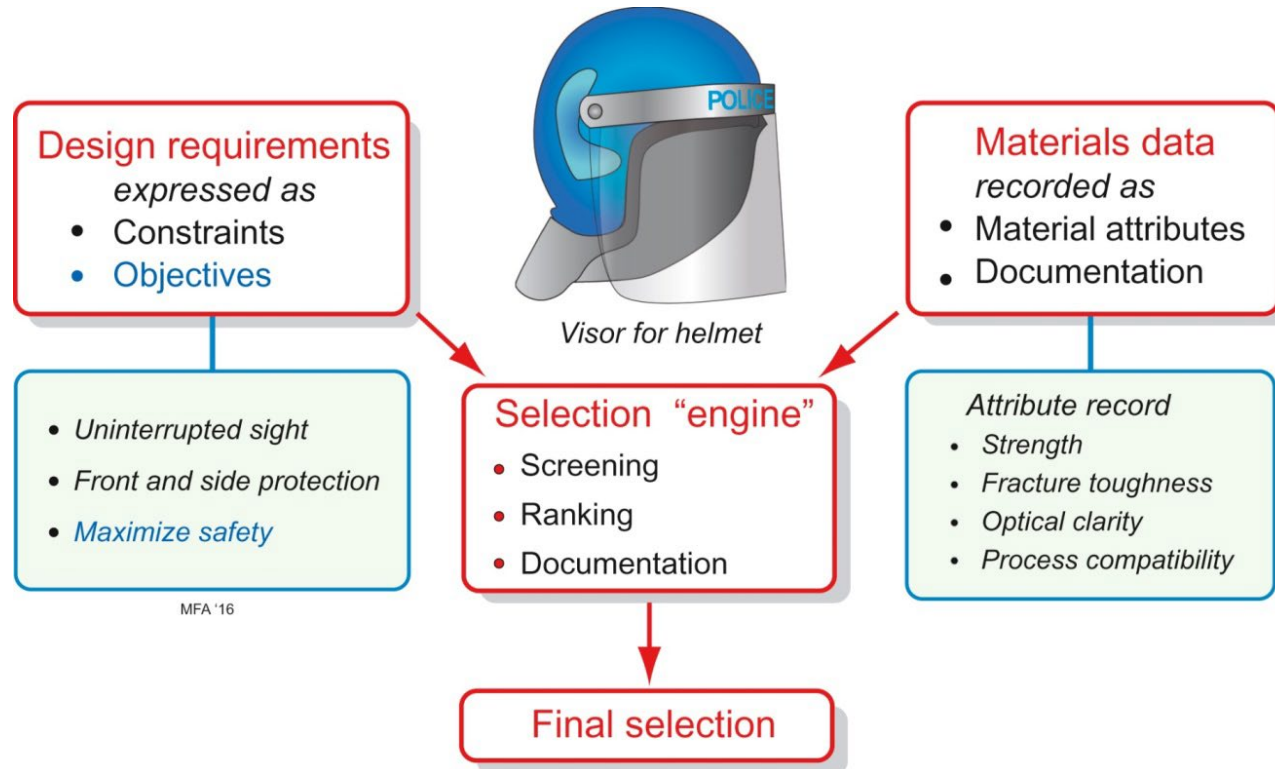
επιλογή του πλησιέστερου στο ιδανικό για την εφαρμογή υλικό.

Παράδειγμα 1



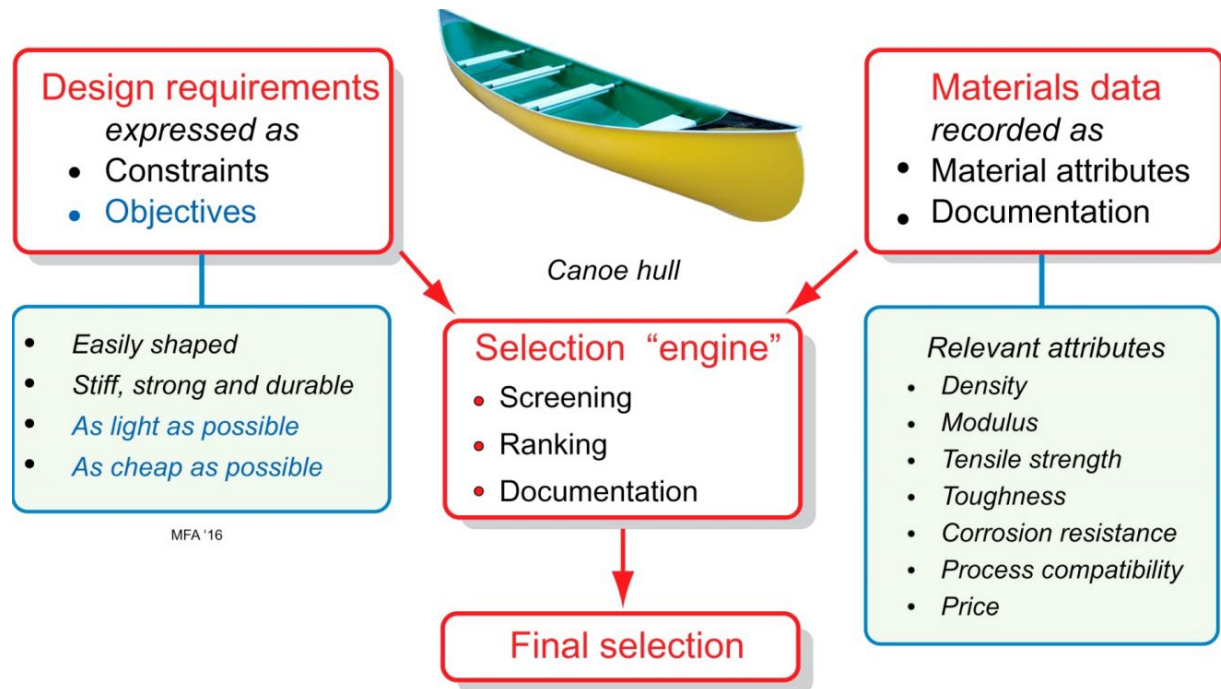
Επιλογή αυτοκινήτου και παράδειγμα στρατηγικής επιλογής. Τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά είναι περιορισμοί (με μαύρο στα αριστερά). Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των ακατάλληλων αυτοκινήτων. Όσα υλικά απομείνουν ταξινομούνται με βάση τον στόχο της ελαχιστοποίησης του κόστους ιδιοκτησίας (με μπλε στα αριστερά).

Παράδειγμα 2



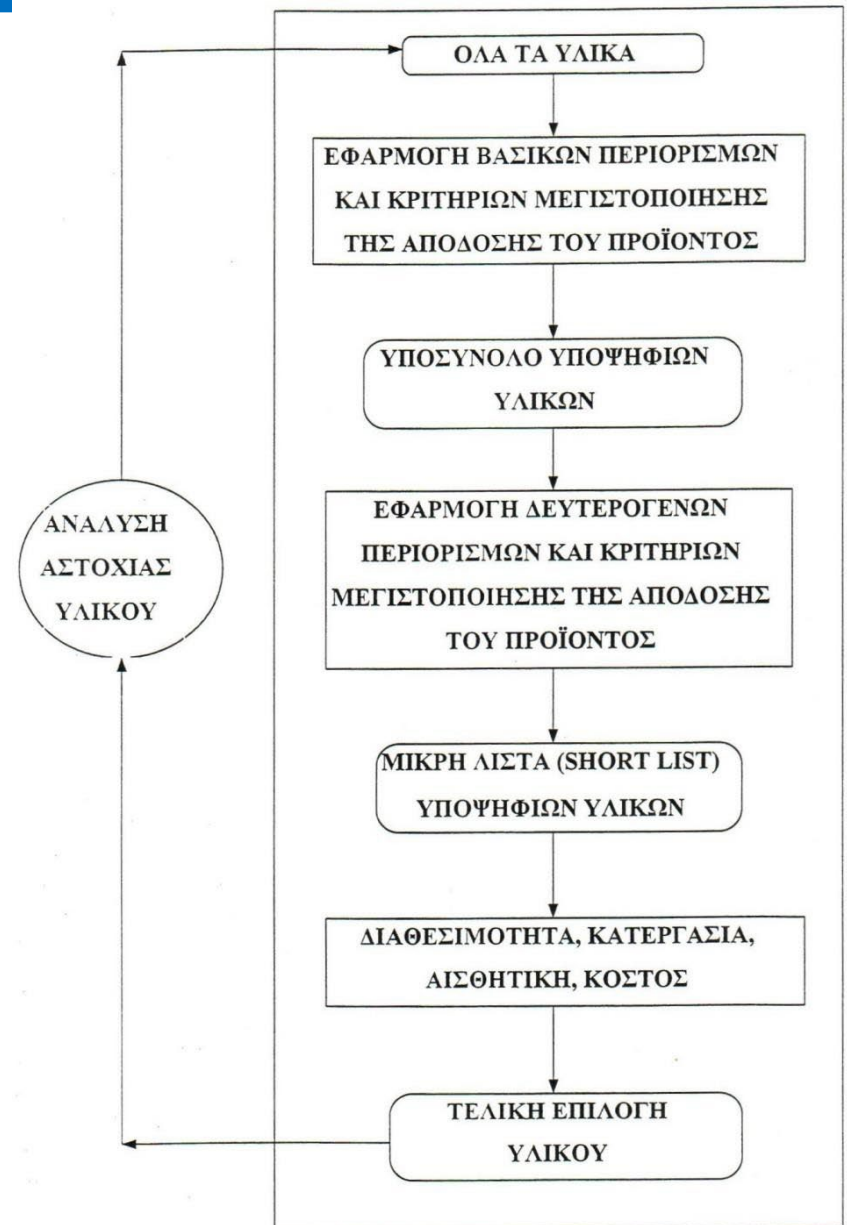
Επιλογή υλικού. Οι απαιτήσεις σχεδιασμού αρχικά εκφράζονται ως περιορισμοί και στόχοι. Οι περιορισμοί χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο. Όσα υλικά απομείνουν ταξινομούνται με βάση τον στόχο το υλικό της προσωπίδας να είναι όσο το δυνατόν πιο ανθεκτικό στη θραύση.

Παράδειγμα 3



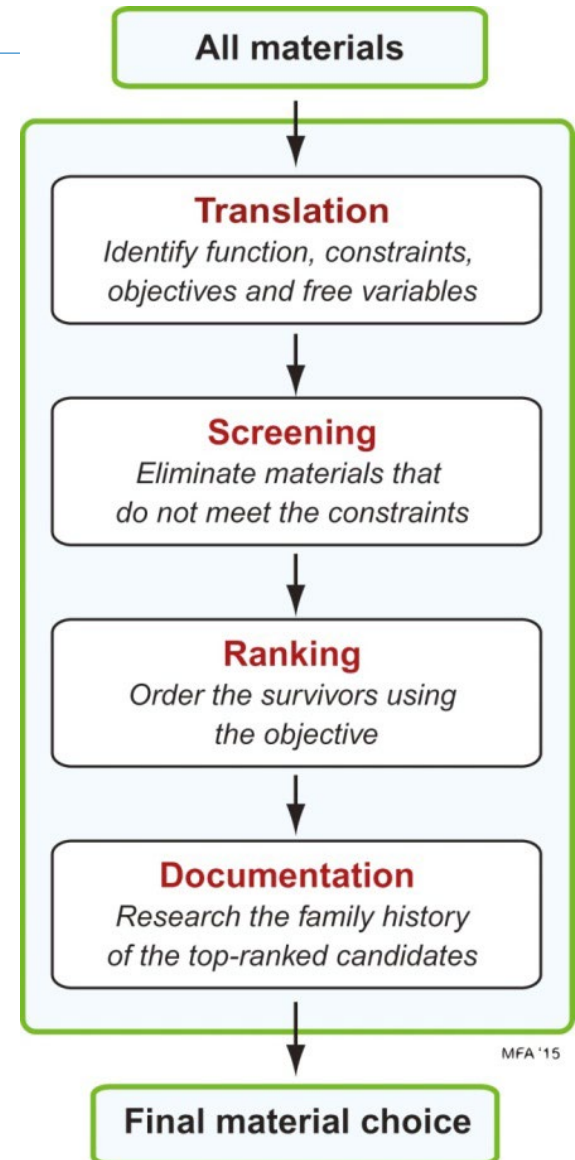
Επιλογή υλικού. Οι απαιτήσεις σχεδιασμού μεταφράζονται αρχικά σε περιορισμούς και στόχους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο και την κατάταξη. Σε αυτό το παράδειγμα υπάρχουν τέσσερις περιορισμοί και δύο στόχοι.

Μεθοδολογία Επιλογής Υλικών Εισαγωγή



Μεθοδολογία Επιλογής Υλικών Εισαγωγή

Η στρατηγική για την επιλογή υλικών. Τα τέσσερα κύρια βήματα μετάφρασης, εξέτασης, κατάταξης και τεκμηρίωσης εμφανίζονται εδώ.



MFA '15

Πηγές τεκμηρίωσης



Πηγές τεκμηρίωσης: εγχειρίδια, δελτία δεδομένων προμηθευτή, βάσεις δεδομένων και διαδίκτυο.

Μετάφραση απαιτήσεων σχεδίασης

Function	What does component do?
Constraints*	What non-negotiable conditions must be met? What negotiable but desirable conditions . . . ?
Objective	What is to be maximized or minimized?
Free variables	What parameters of the problem is the designer free to change?

- **Λειτουργικές Απαιτήσεις:** να φέρει φορτία, να αντιστέκεται σε μία πίεση, να άγει θερμότητα κ.τ.λ.
- **Βασικοί περιορισμοί:** είναι οι περιορισμοί εκείνοι που τίθενται «μη-διαπραγματεύσιμοι» από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής.
- **Δευτερογενείς περιορισμοί:** είναι οι περιορισμοί εκείνοι που είναι επιθυμητοί χωρίς όμως να είναι και υποχρεωτικοί.
- **Στόχος:** π.χ. ελαχιστοποίηση βάρους ή κόστους.
- **Ελεύθερες μεταβλητές:** μεταβλητές που ο μηχανικός μπορεί να αλλάξει π.χ. εμβαδό διατομής.

Οθόνη με χρήση περιορισμών

- Εφαρμογή των βασικών περιορισμών στην επιλογή υλικού



Αισθητή μείωση του αριθμού των υποψήφιων υλικών

Κατάταξη

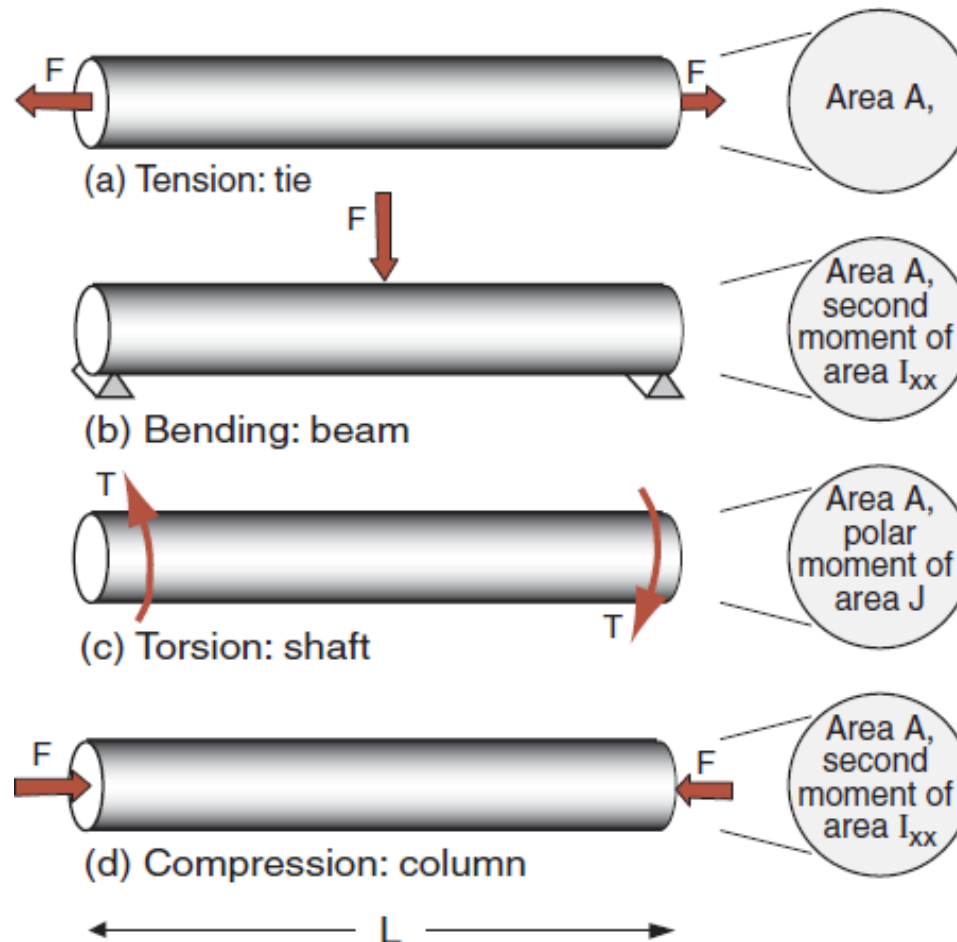
- Κατάταξη σε αξιολογική σειρά των υλικών που απομένουν ανάλογα με το πόσο πολύ μεγιστοποιούν την απόδοση του εξαρτήματος

Υποστηρικτικές πληροφορίες

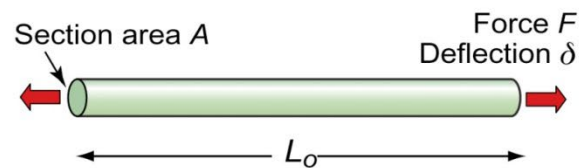
- Η τελική επιλογή του υλικού γίνεται λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τη μεγιστοποίηση της απόδοσης αλλά επιπλέον πληροφορίες π.χ. αντοχή σε διάβρωση, διαθεσιμότητα υλικού και κόστος, περιβαλλοντικές επιπτώσεις κ.α.

Δείκτες Απόδοσης

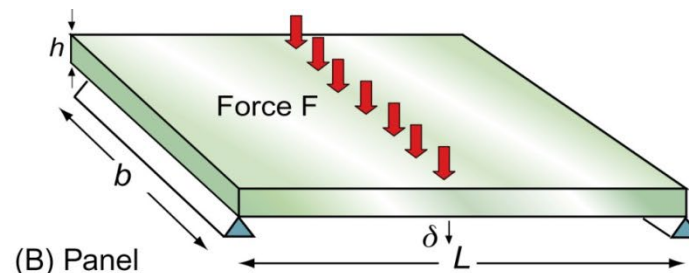
- Η σύνθετη φόρτιση που δέχεται ένα εξάρτημα είναι μπορεί να αναλυθεί σε ένα συνδυασμό εφελκυσμού, κάμψεως, στρέψης και θλίψεως.



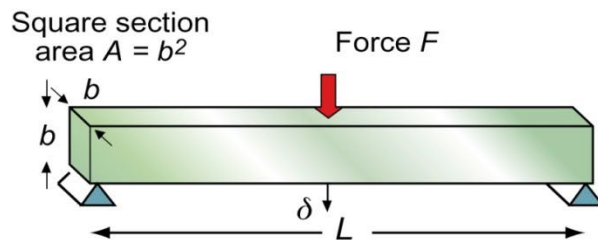
Δείκτες Απόδοσης



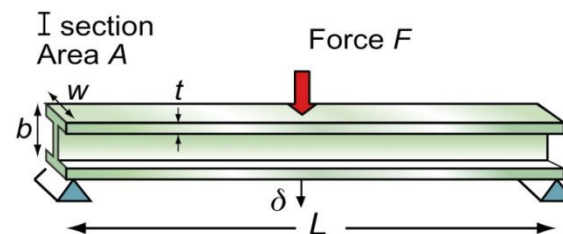
(A) Tie



(B) Panel



(C) Square beam



(D) Shaped beam

MFA '16

Γενικά εξαρτήματα (A) μία ράβδος, ένα στοιχείο εφελκυσμού, (B) ένα πάνελ, με φόρτωση σε κάμψη και (C) και (D) δοκοί, με φόρτιση σε κάμψη.

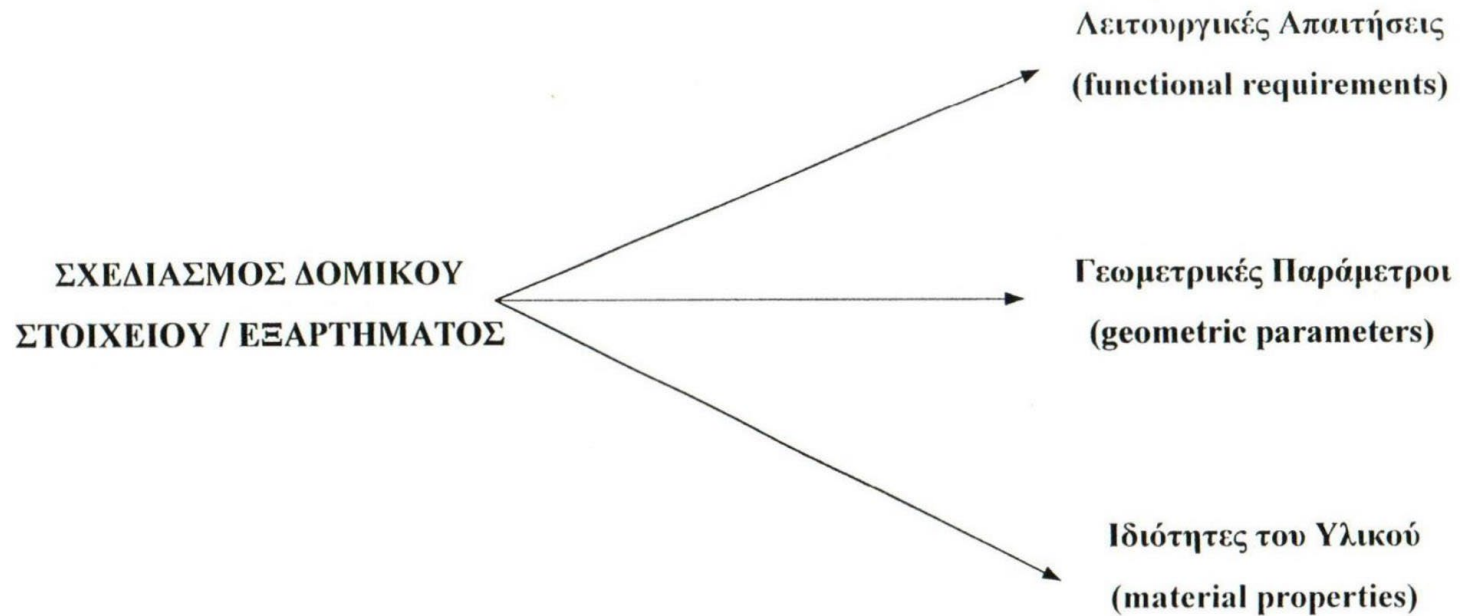
Δείκτες Απόδοσης

- Κάθε συνδυασμός λειτουργίας, στόχου και περιορισμών οδηγεί σε ένα μέτρο της απόδοσης της λειτουργίας του εξαρτήματος που περιέχει μία ομάδα ιδιοτήτων των υλικών η οποία καλείται *δείκτης απόδοσης*.
- Ο δείκτης αυτός είναι χαρακτηριστικός του συγκεκριμένου συνδυασμού.

Function, objective, and constraints	Index
Tie, minimum weight, stiffness prescribed	$\frac{E}{\rho}$
Beam, minimum weight, stiffness prescribed	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$
Beam, minimum weight, strength prescribed	$\frac{\sigma_y^{2/3}}{\rho}$
Beam, minimum cost, stiffness prescribed	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
Beam, minimum cost, strength prescribed	$\frac{\sigma_y^{2/3}}{C_m \rho}$
Column, minimum cost, buckling load prescribed	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
Spring, minimum weight for given energy storage	$\frac{\sigma_y^2}{E \rho}$
Thermal Insulation, minimum cost, heat flux prescribed	$\frac{1}{\lambda C_p \rho}$
Electromagnet, maximum field, temperature rise prescribed	$\frac{C_p \rho}{\rho_e}$

ρ = density; E = Young's modulus; σ_y = elastic limit; C_m = cost/kg λ = thermal conductivity; ρ_e = electrical resistivity; C_p = specific heat.

Δείκτες Απόδοσης



- Απόδοση

$$p = f[(\text{λειτουργικες απαιτησεις } F), (\text{γεωμετρικες παραμετροι } G), (\text{ιδιοτητες υλικου } M)]$$

$$p = f(F, G, M)$$

Δείκτες Απόδοσης

- Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου:

$$p = f_1(F) \cdot f_2(G) \cdot f_3(M)$$

Η απόδοση δηλαδή εξαρτάται από τις λειτουργικές απαιτήσεις, τις γεωμετρικές παραμέτρους και τις ιδιότητες του υλικού, οι οποίες όμως είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους.

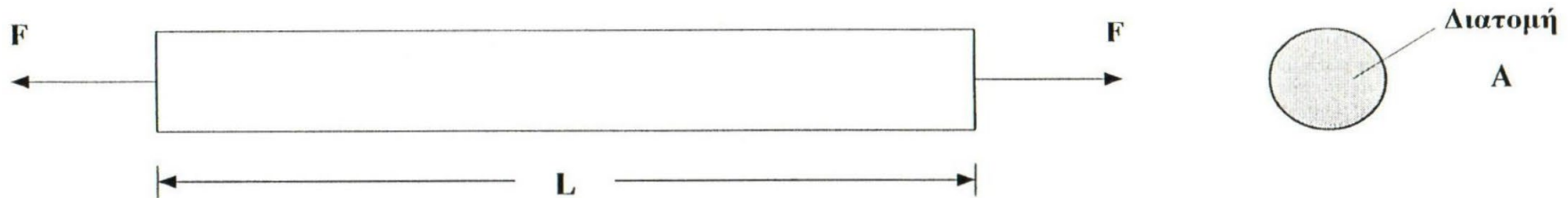
- Στις περιπτώσεις αυτές,

Μεγιστοποίηση της απόδοσης $\rightarrow$ μεγιστοποίηση του $f_3(M)$ ανεξαρτήτως των $f_1(F)$ και $f_2(G)$

$f_3(M)$: **δείκτης απόδοσης**

Δείκτες Απόδοσης

- **Παράδειγμα 1:** Δείκτης απόδοσης για ελαφριά και ανθεκτική ράβδο σε εφελκυσμό



Δεδομένα / Απαιτήσεις	Στόχος	Περιορισμός
• Ράβδος μήκους L	Να επιλεγεί υλικό για τη κατασκευή της ράβδου, με το οποίο να ελαχιστοποιείται το βάρος της	Η ράβδος δεν πρέπει να αστοχήσει με πλαστική παραμόρφωση
• Εφελκυστικό φορτίο F		
• Συντελεστής ασφαλείας σ_F		

Δείκτες Απόδοσης

- **Παράδειγμα 1:** Δείκτης απόδοσης για ελαφριά και ανθεκτική ράβδο σε εφελκυσμό

ελεύθερη μεταβλητή

$$\rho = \frac{m}{A \cdot L} \Leftrightarrow m = \rho \cdot A \cdot L$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma \leq \frac{\sigma_f}{S_f}$$

$$A = \frac{S_f F}{\sigma_f}$$

$$m = \rho \cdot \frac{S_f F}{\sigma_f} \cdot L$$

$$\Rightarrow m = (S_f F) \cdot (L) \cdot \left(\frac{\rho}{\sigma_f} \right) \quad \textbf{\underline{Αντικειμενική Συνάρτηση}}$$

Ελαχιστοποίηση βάρους $\rightarrow$ ελαχιστοποίηση $\frac{\rho}{\sigma_f} \rightarrow$ μεγιστοποίηση $\frac{\sigma_f}{\rho}$

δείκτης απόδοσης: $\frac{\sigma_f}{\rho}$

$$m \geq (F^*) (L) \left(\frac{\rho}{\sigma_f} \right)$$

Functional constraint *Geometric constraint* *Material properties*

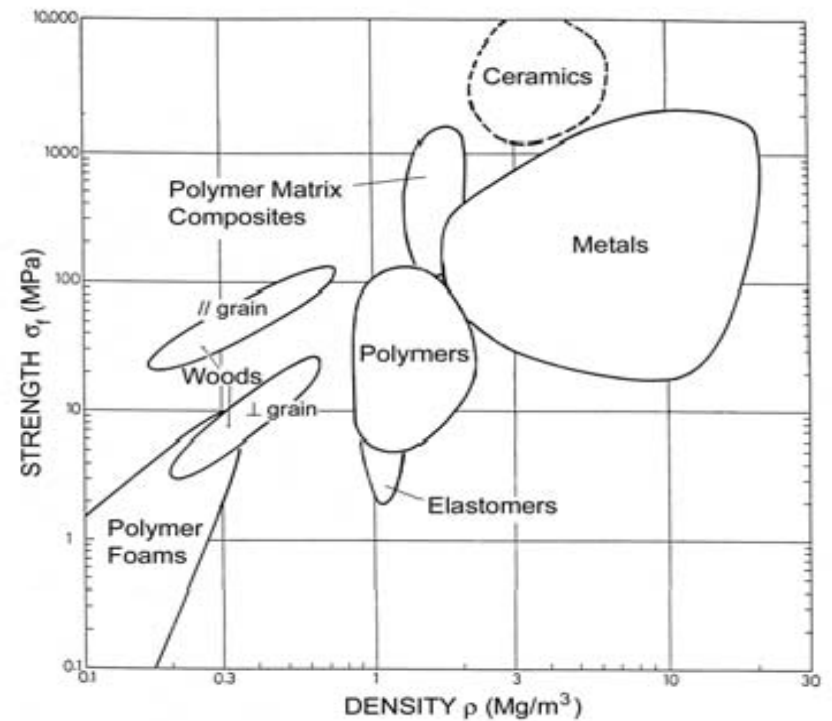
Maximize $M = \sigma_f / \rho$

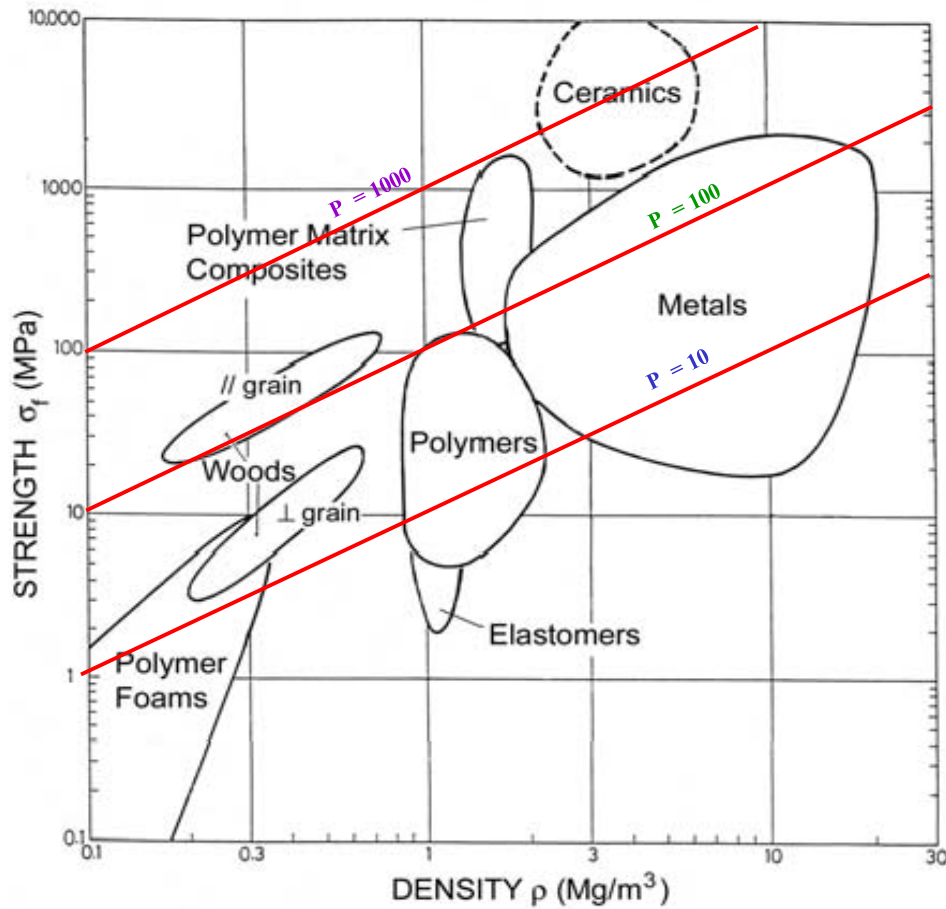
Δείκτης απόδοσης όπου ένας υψηλότερος αριθμός δίνει καλύτερη απόδοση

P είναι ο δείκτης απόδοσης

Θεωρώ $\log \sigma_f$ vs $\log \rho$

Για σταθερό P: $\log M = \log \sigma_f - \log \rho = \text{constant} = C$





• Για σταθερό M , δείτε

$$\log \sigma_f = \log \rho + C$$

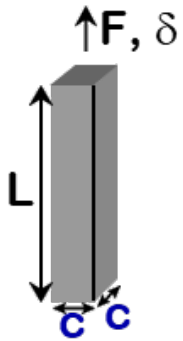
• Για σταθερό P , ψάχνετε για Γραμμές Κλίσης = 1.

Κάθε γραμμή κλίσης = 1 έχουν τις ίδιες τιμές M !

Αλλά ΟΧΙ οι ίδιες ιδιότητες υλικών (σ_f **or** ρ)
π.χ. κάποια λιγότερο πυκνά (ελαφρύτερα).

Δείκτες Απόδοσης

- **Παράδειγμα 2:** Δείκτης απόδοσης για ελαφριά και δύσκαμπτη ράβδο σε εφελκυσμό



Η μπάρα δεν πρέπει να επιμηκύνεται περισσότερο από δ υπό τη δύναμη F ; πρέπει να έχει αρχικό μήκος L .

Σχέση ακαμψίας:

$$(\sigma = E\varepsilon) \quad \frac{F}{c^2} = E \frac{\delta}{L}$$

Μάζα ράβδου:

$$M = \rho L c^2$$

Πρέπει να φύγει η 'ελεύθερη' παράμετρο c :

$$M = \frac{FL^2}{\delta} \frac{\rho}{E}$$

minimize for small M

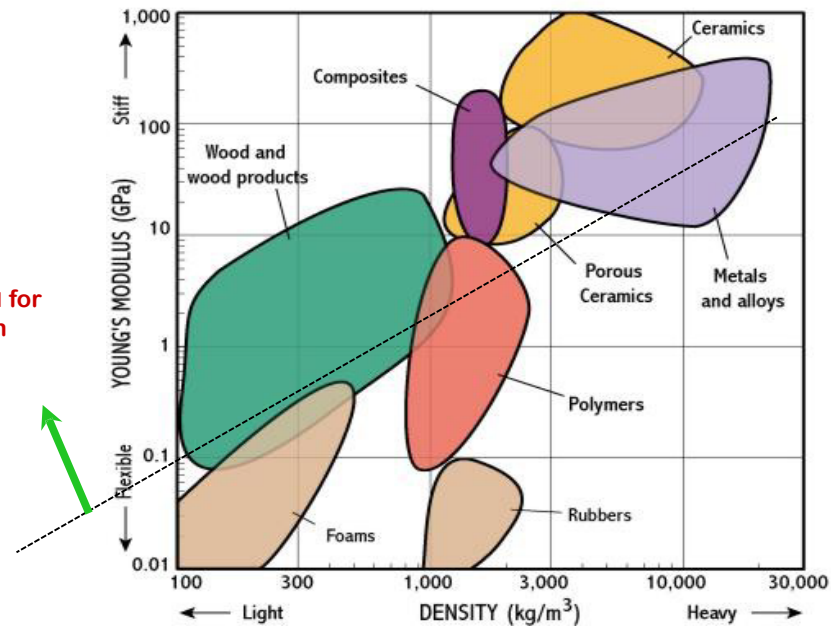
καθορίζεται από την εφαρμογή

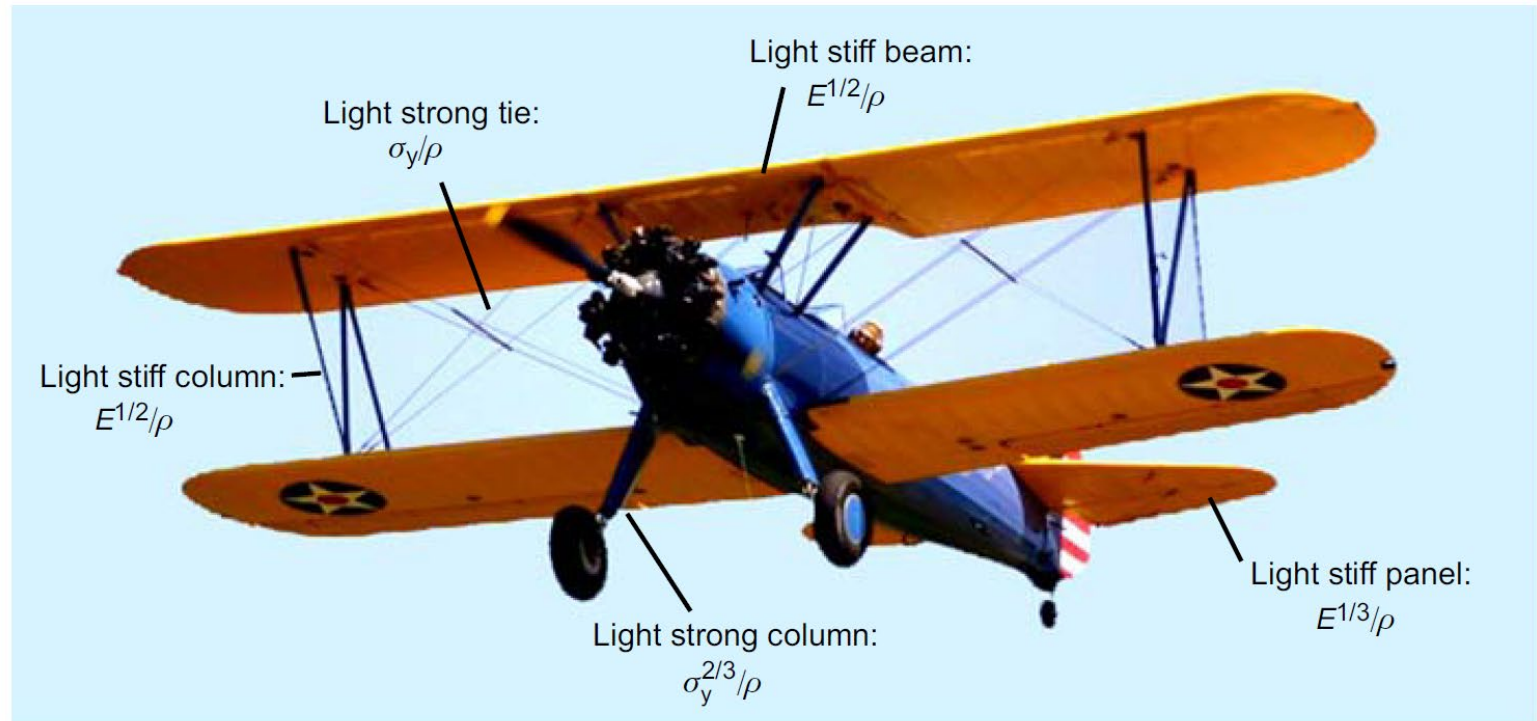
Μεγιστοποιήστε τον δείκτη απόδοσης: $P = \frac{E}{\rho}$
(δύσκαμπτα μέλη ελαφριάς τάσης)

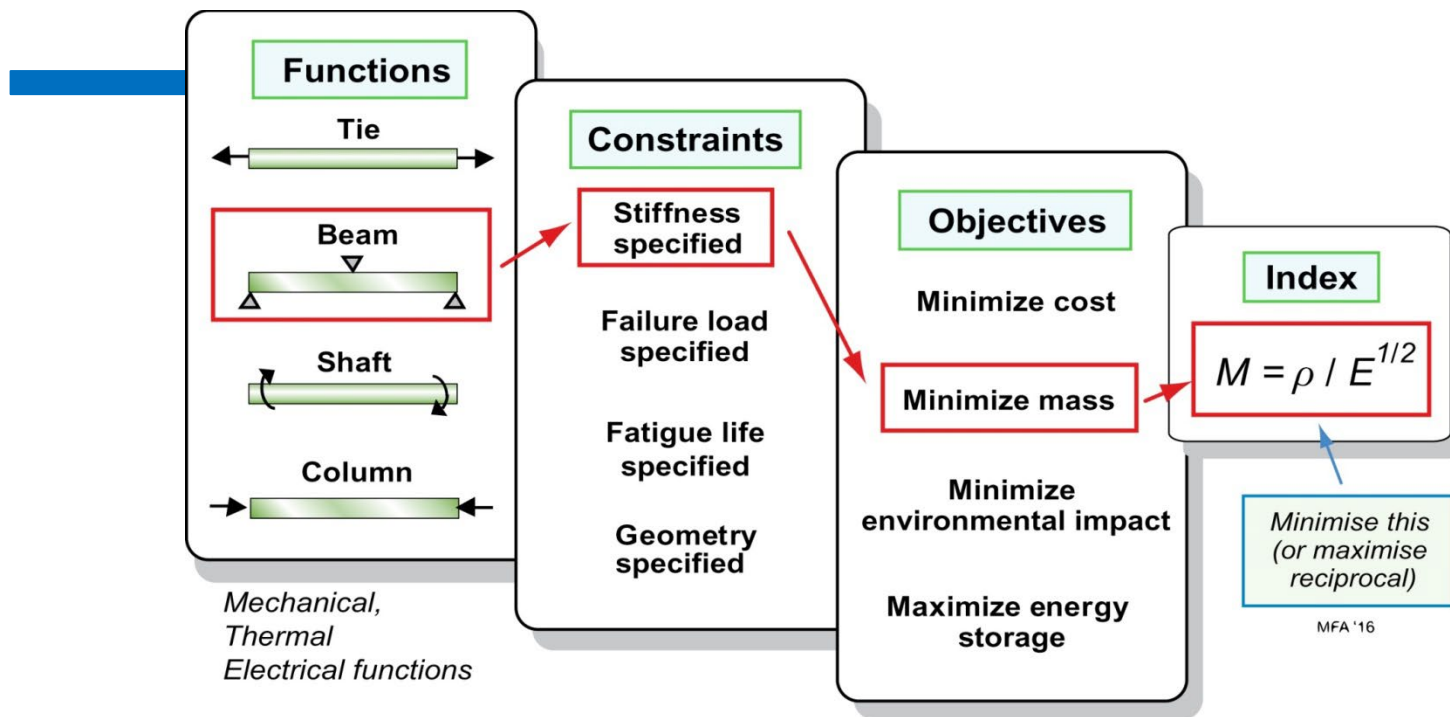
$$\log M = \log E - \log \rho = C$$

$$M = \frac{E}{\rho}$$

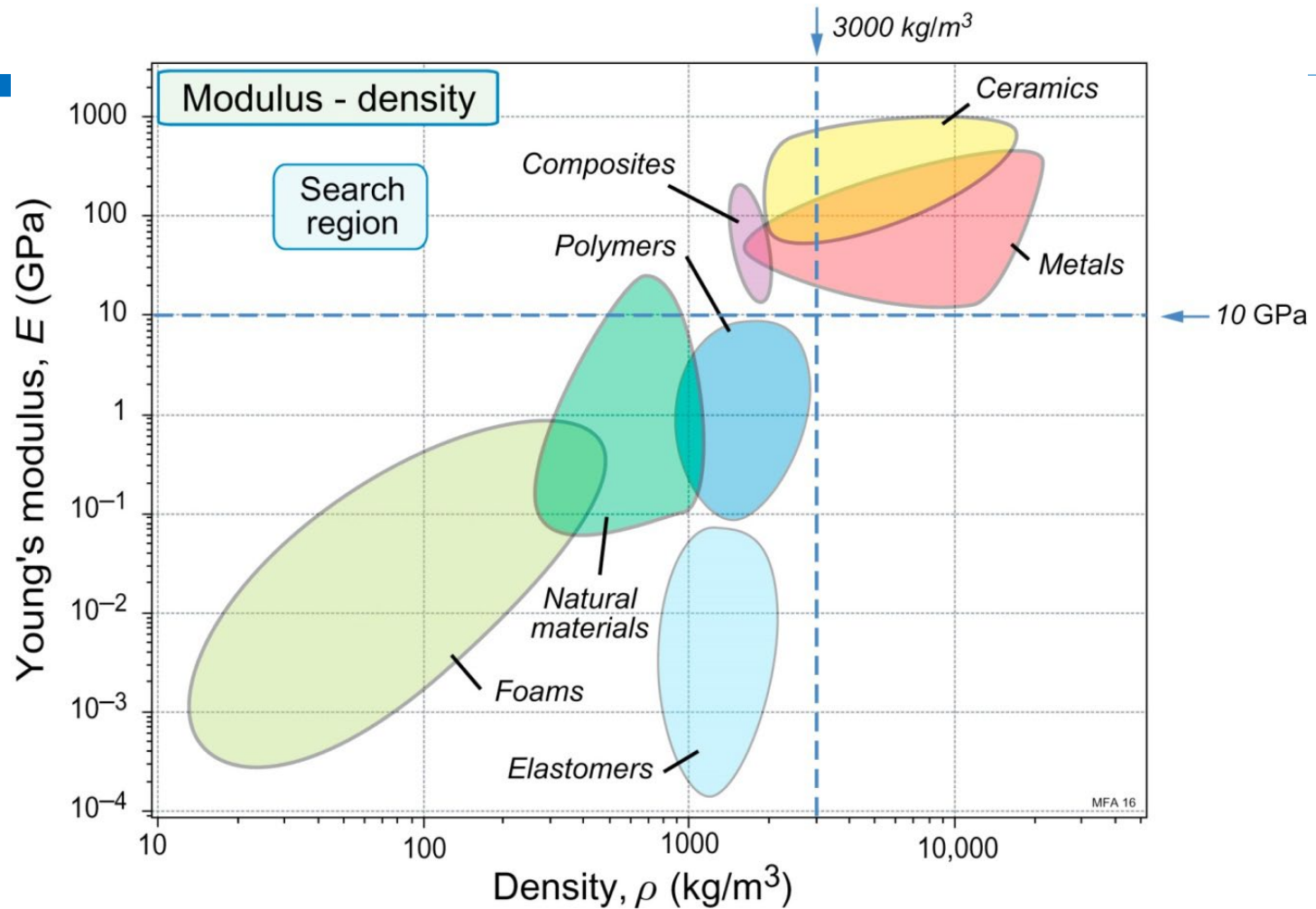
Increasing M for
stiff tension
members



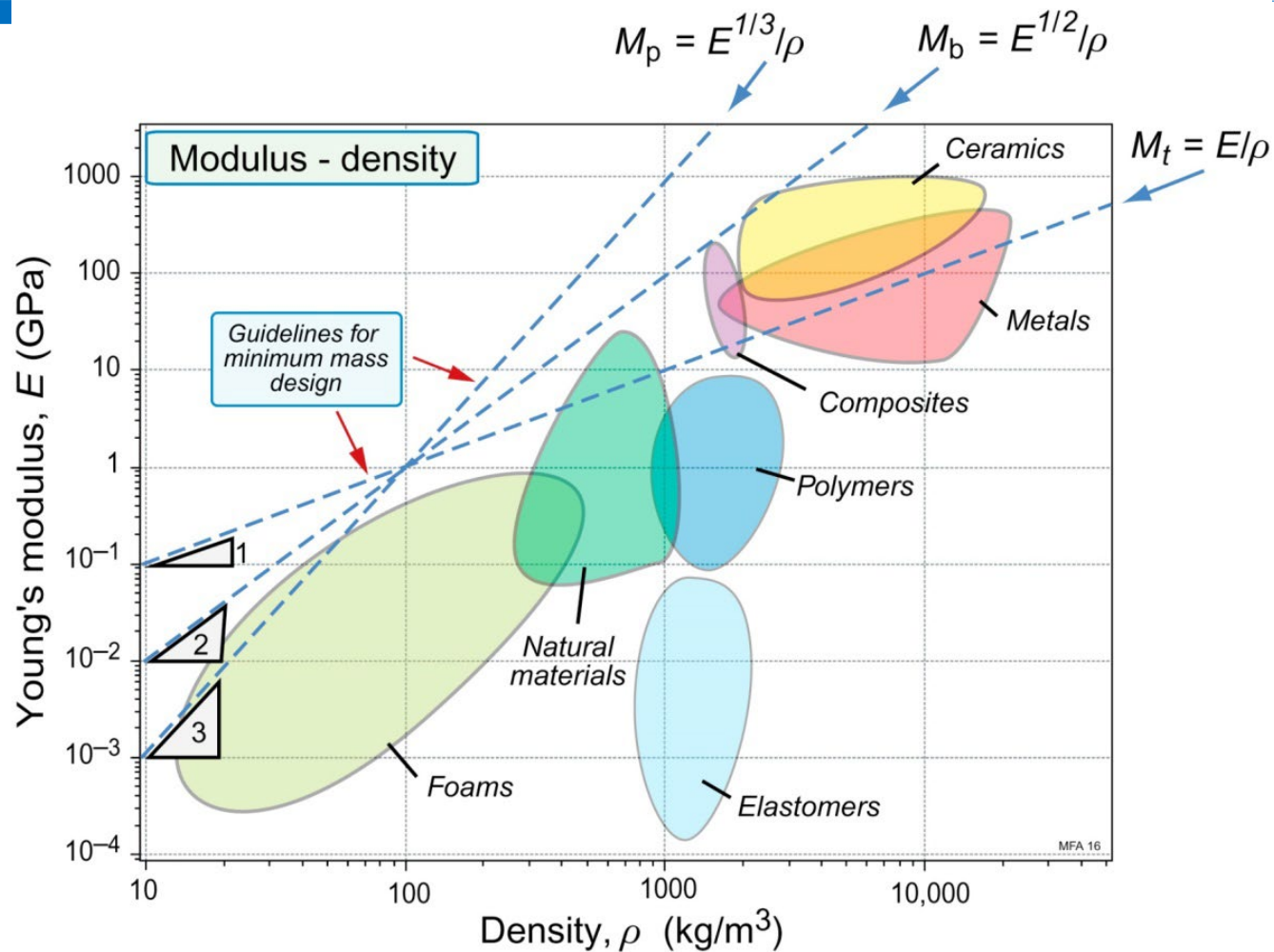




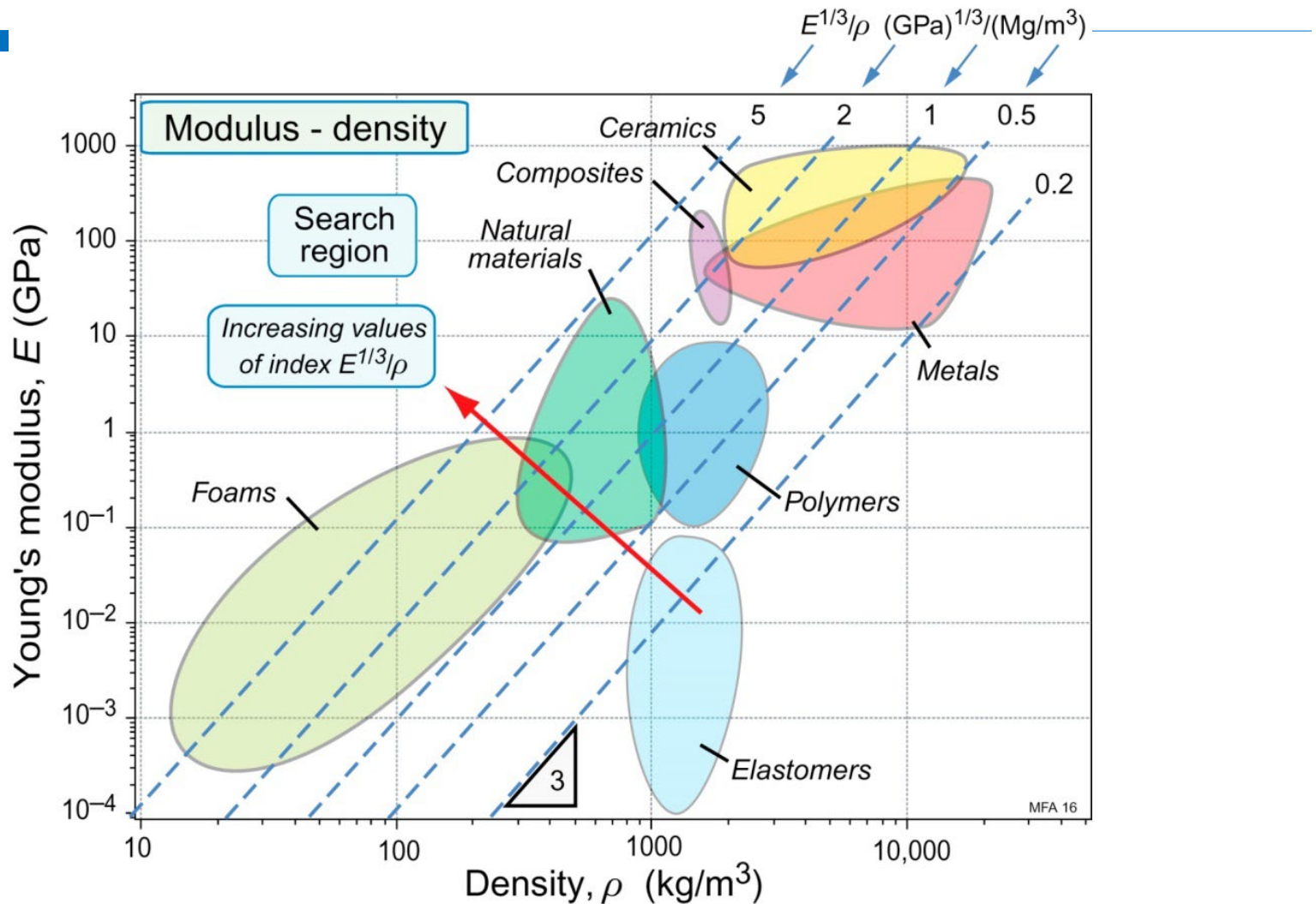
Ο προσδιορισμός της λειτουργίας, του στόχου και του περιορισμού οδηγεί σε έναν δείκτη υλικών. Ο συνδυασμός στα επισημασμένα πλαίσια οδηγεί στο δείκτη απόδοσης $M = \rho / E^{1/2}$.



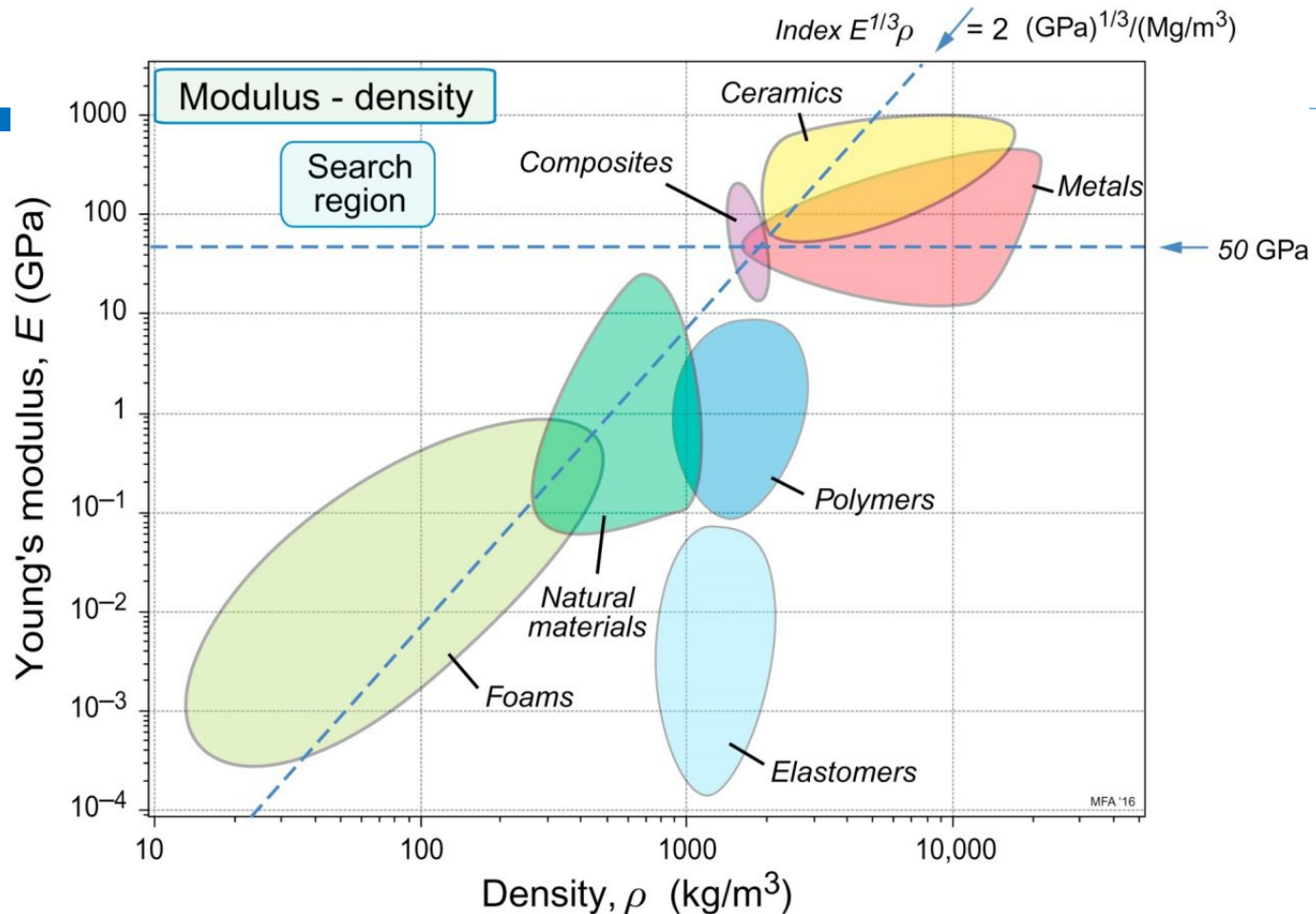
Σχηματικό διάγραμμα E με ρ που δείχνει ένα κατώτερο όριο για το E και ένα ανώτατο όριο για το ρ .



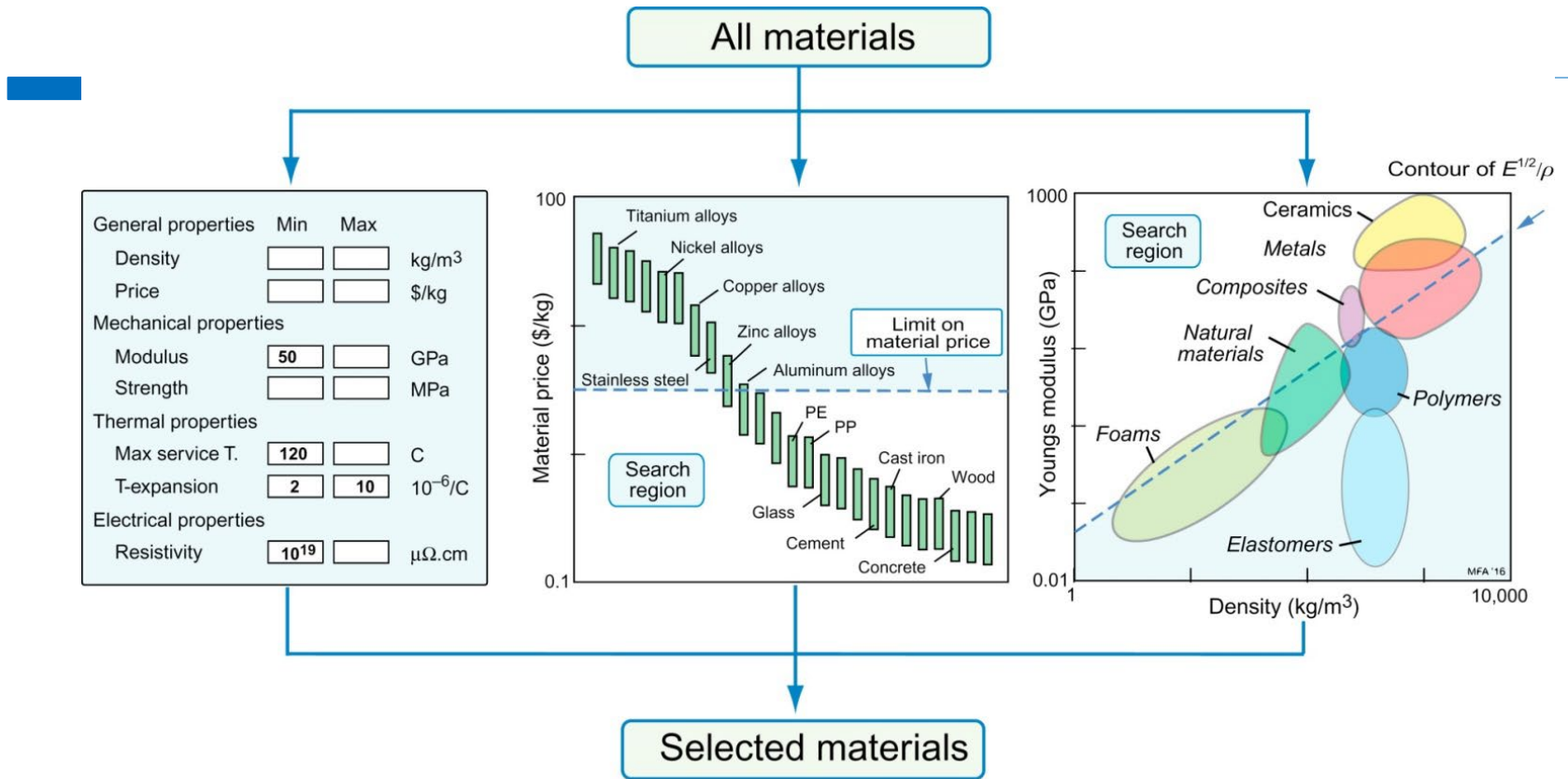
Σχηματικό διάγραμμα E με ρ που δείχνει τις κατευθυντήριες γραμμές για τους τρεις δείκτες υλικών για άκαμπτο, ελαφρύ σχεδιασμό.



Σχηματικό διάγραμμα E με ρ όπου απεικονίζονται ένα πλέγμα γραμμών για το υλικό με δείκτη $M = E^{1/3}/\rho$. Οι μονάδες είναι: (GPa)^{1/3} (Mg/m³).



Μια επιλογή με βάση τον δείκτη $M = E^{1/3}/\rho$ (GPa)^{1/3} (Mg/m³) μαζί με το όριο για το μέτρο ελαστικότητας $E=50$ GPa. Τα υλικά που περιέχονται στην περιοχή αναζήτησης γίνονται υποψήφια για το επόμενο στάδιο της διαδικασίας επιλογής.

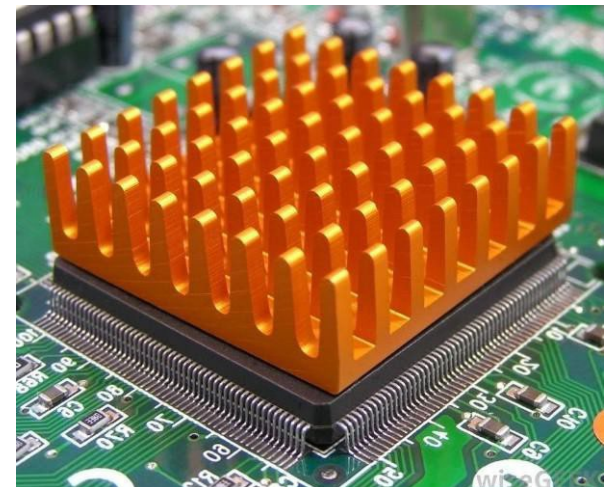
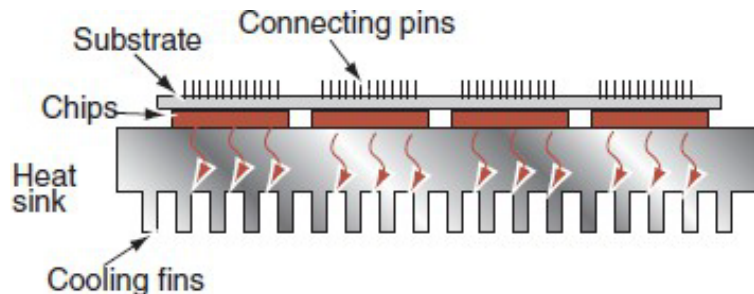


Επιλογή με τη βοήθεια υπολογιστή με χρήση του λογισμικού CES. Το σχήμα δείχνει τους τρεις τύπους παραθύρων επιλογής. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν με οποιαδήποτε σειρά και οποιονδήποτε συνδυασμό. Η μηχανή επιλογής απομονώνει το υποσύνολο υλικού που περνά όλα τα στάδια επιλογής.

Παράδειγμα

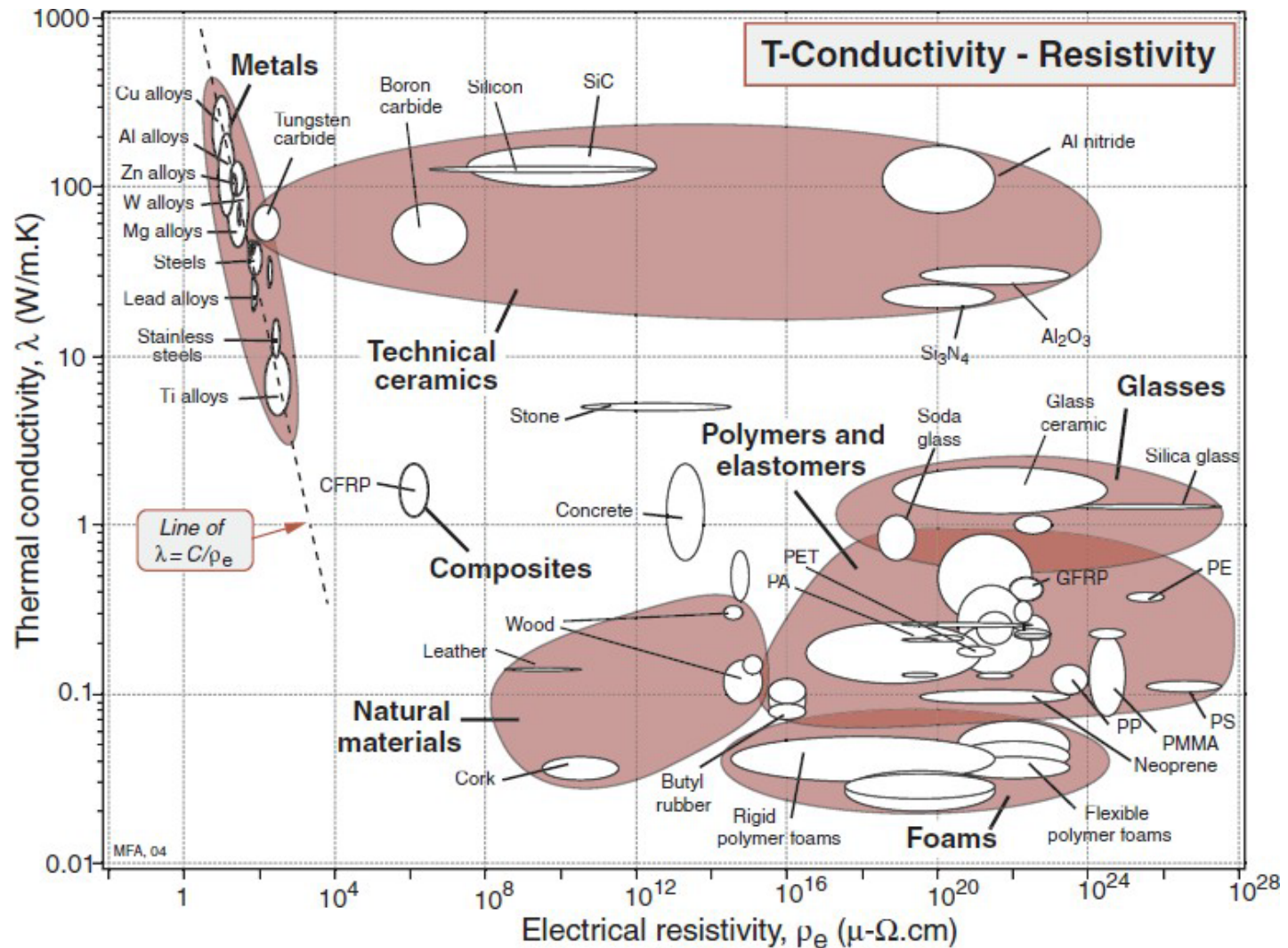
Ψύκτρες επεξεργαστών

- Μια **ενεργή** ψύκτρα αναφέρεται σε μια ψύκτρα με μέσο μεταφοράς αέρα, συνήθως ανεμιστήρα. Αυτός ο τύπος ψύκτρας έχει συνήθως μεταλλικό στοιχείο που κάνει επαφή με το υλικό που πρέπει να ψύχεται. Η μεταλλική μονάδα είναι τοποθετημένη σε ανεμιστήρα που μετακινεί θερμό αέρα μακριά από τη μονάδα.
- Αντιθέτως οι **παθητικές** ψύκτρες δεν διαθέτουν ανεμιστήρα ή άλλα μέσα μεταφοράς θερμού αέρα μακριά από τη μονάδα, γι' αυτό και είναι μεγαλύτερες σε μέγεθος. Μερικοί τεχνικοί προτιμούν παθητικές ψύκτρες επειδή έχουν μια πιο ομοιόμορφη και προβλέψιμη μέθοδο μεταφοράς θερμότητας από μια ενεργή ψύκτρα.



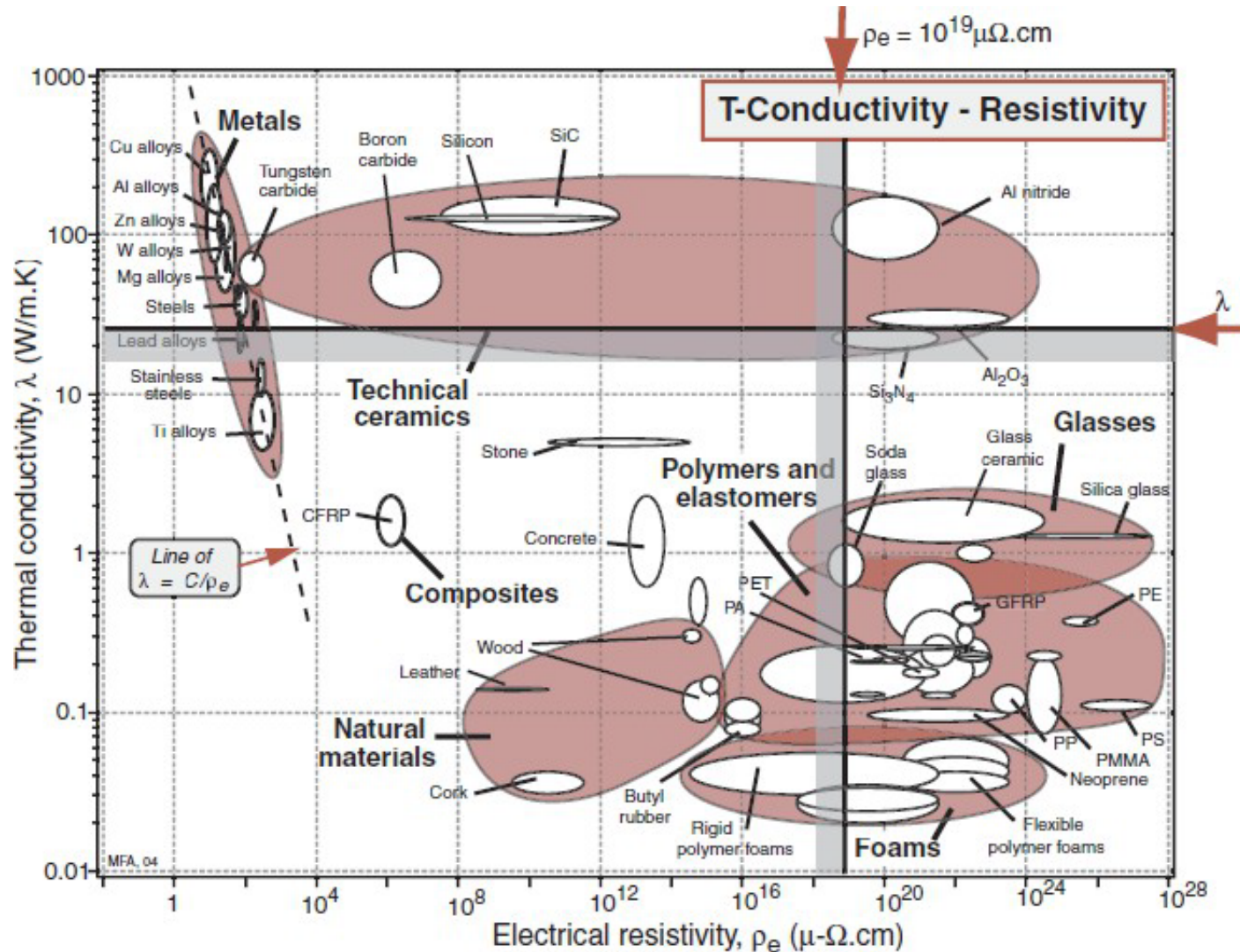
Παράδειγμα

Ψύκτρες επεξεργαστών



Παράδειγμα

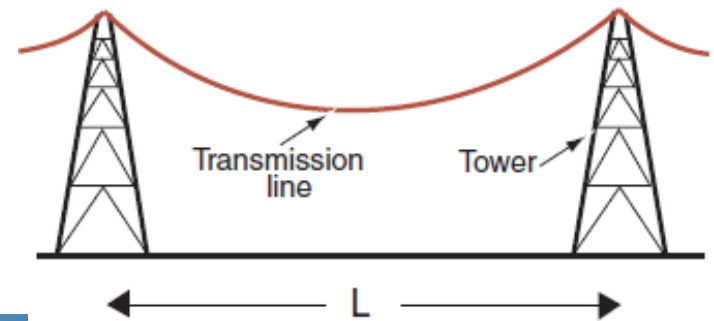
Ψύκτρες επεξεργαστών



Παράδειγμα

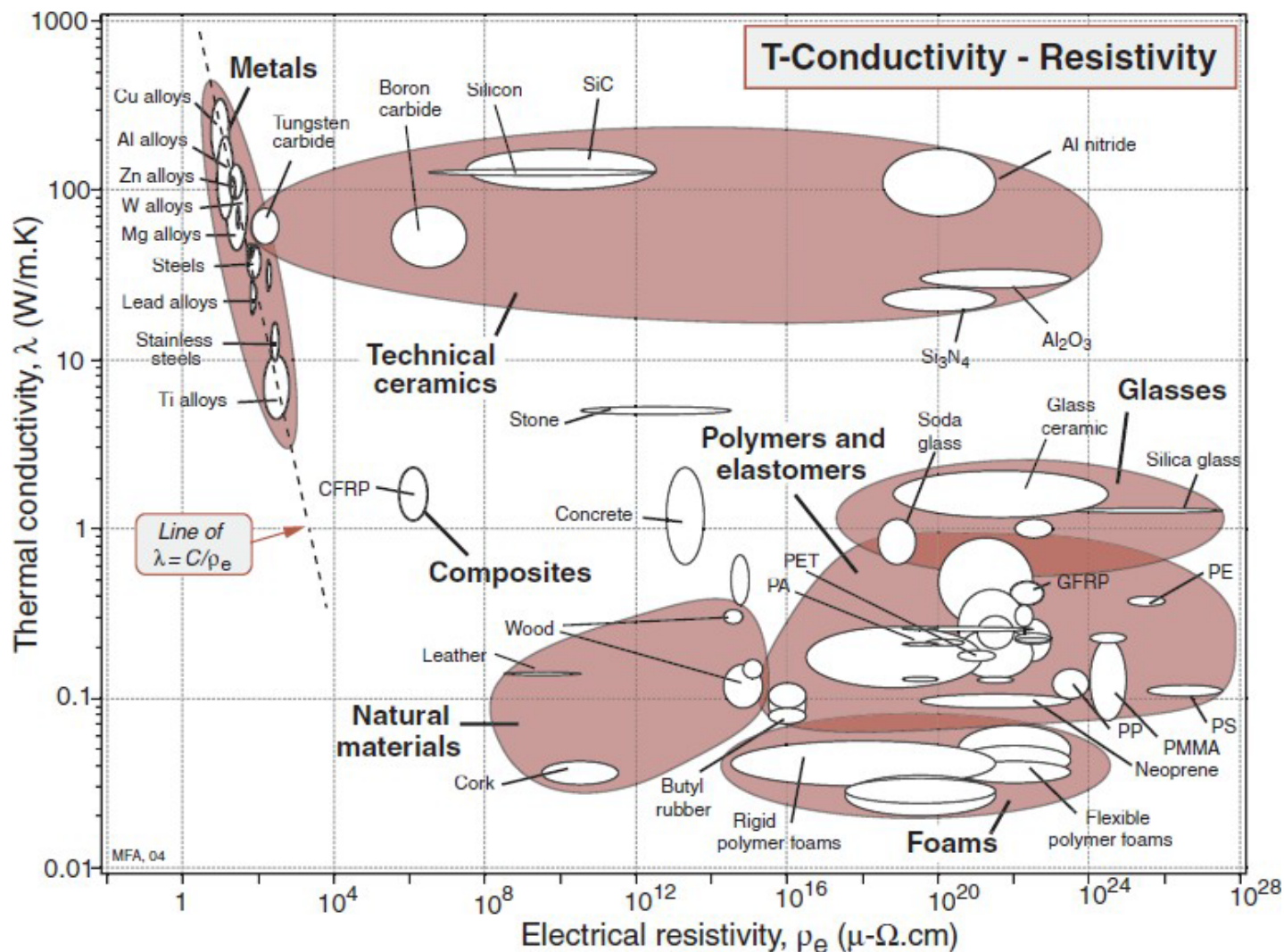
Εναέριο Ενσύρματο Δίκτυο

- Η ηλεκτρική ενέργεια, σήμερα, παράγεται κεντρικά και διανέμεται από εναέρια ή υπόγεια καλώδια. Οι υπόγειες γραμμές είναι δαπανηρές, γι 'αυτό και χρησιμοποιείται ευρέως εναέριο ενσύρματο δίκτυο.



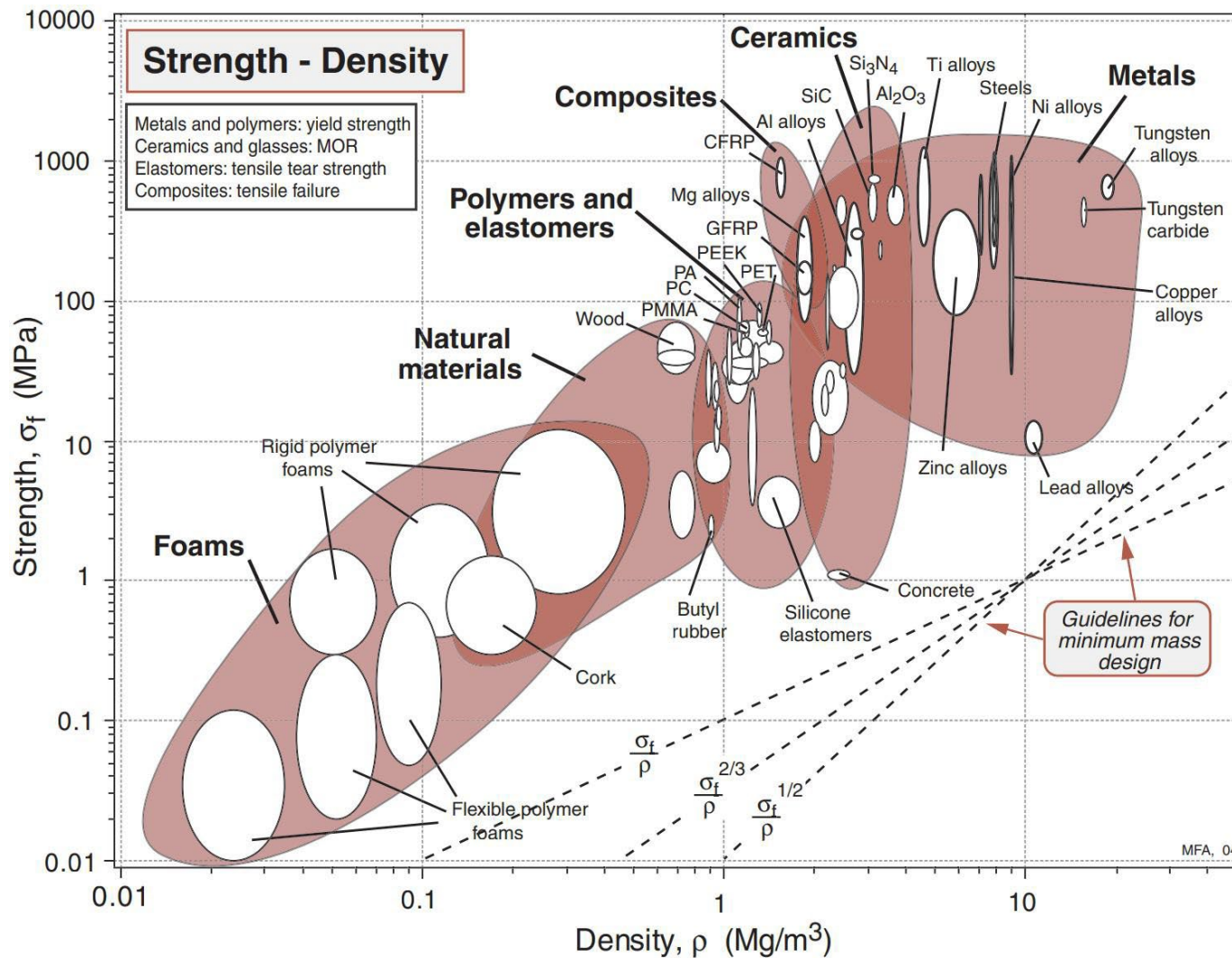
Παράδειγμα

Εναέριο Ενσύρματο Δίκτυο



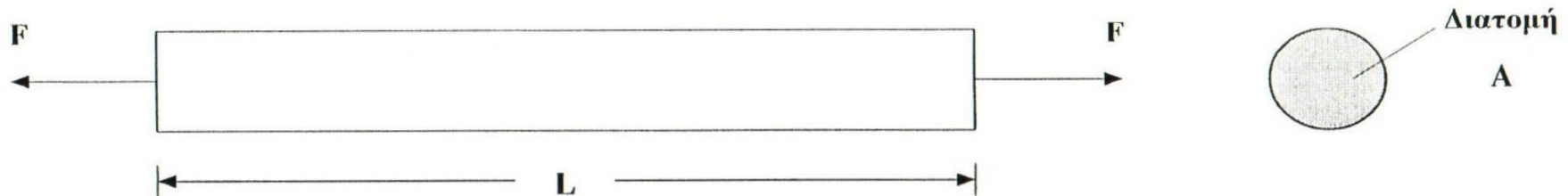
Παράδειγμα

Εναέριο Ενσύρματο Δίκτυο



Δείκτες Απόδοσης

- Παράδειγμα 1:** Δείκτης απόδοσης για ελαφριά και ανθεκτική ράβδο σε εφελκυσμό



Δεδομένα / Απαιτήσεις	Στόχος	Περιορισμός
- Ράβδος μήκους L - Εφελκυστικό φορτίο F - Συντελεστής ασφαλείας S_f	Να επιλεγεί υλικό για τη κατασκευή της ράβδου, με το οποίο να ελαχιστοποιείται το βάρος της	Η ράβδος δεν πρέπει να αστοχήσει με πλαστική παραμόρφωση