

Στοιχεία Μηχανών

Διάλεξη 2

Σχεδιασμός/Επιλογή Υλικών

Παναγιώτης Αλευράς
(palevras@tuc.gr)

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

1

1

1. Μηχανολογικός Σχεδιασμός

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

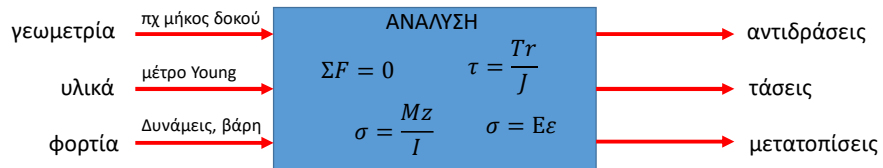
2

2

Μέχρι τώρα...



- Μας δίνονταν δεδομένα – είσοδοι του προβλήματος και υπολογίζαμε τα ζητούμενα –εξόδους



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

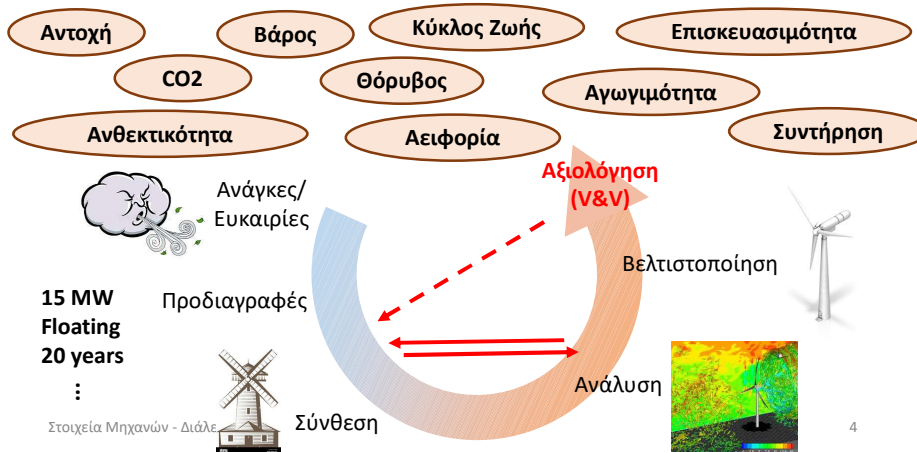
3

3

Στο σχεδιασμό...



- Ξεκινάμε από κάποια ζητούμενα χαρακτηριστικά και επιλέγουμε εισόδους υπολογίζοντας εάν οι μηχανικές έξοδοι (engineering outputs) ικανοποιούν τα ζητούμενα



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

4

4

Στα Στοιχεία Μηχανών...

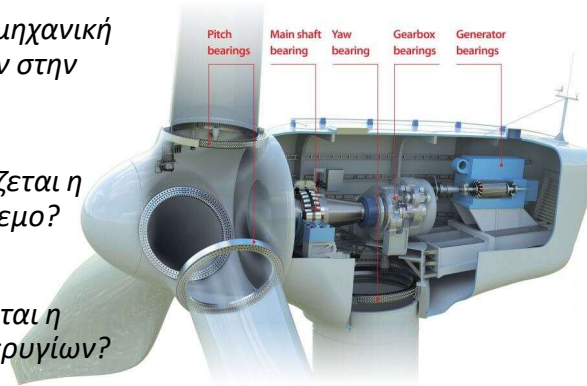


Πως θα μεταφερθεί η μηχανική ισχύς των πτερυγίων στην γεννήτρια?

Πως θα ευθυγραμμίζεται η πτερωτή με τον άνεμο?

Πως θα μεταβάλλεται η αεροδυναμική των πτερυγίων?

Πως θα ακινητοποιείται σε περίπτωση καταστροφικών ανέμων? Σε ποια ταχύτητα ανέμου...?



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

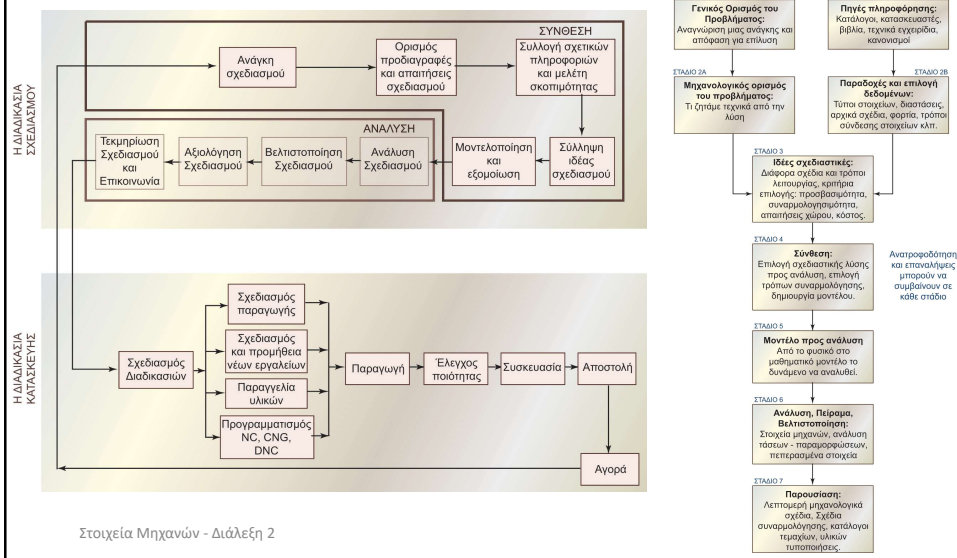
5

5

Στάδια Σχεδιασμού



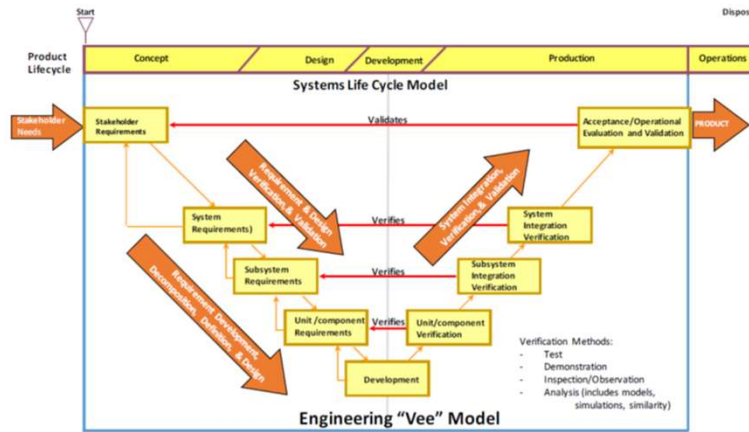
ΤΑ ΕΠΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΜΗΧΑΝΩΝ



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

6

Verification & Validation (V&V)



<https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2017.00427.x>

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

7

7

Sinclair C5



- Δεκαετία 1980, το πρώτο ηλεκτρικό όχημα
- Sir Clive Sinclair (ο Elon Musk της εποχής)
- Ένα προϊόν μπορεί να πληροί τις προδιαγραφές (verified) αλλά όχι τις ανάγκες του χρήστη (not validated)



Class	Battery electric vehicle
Layout	Tricycle
Powertrain	
Electric motor	250 W (0.34 hp)
Battery	12 V lead-acid battery
Range	20 miles (32 km)
Dimensions	
Wheelbase	1,304 mm (51.3 in)
Length	1,744 mm (68.7 in)
Width	744 mm (29.3 in)
Height	795 mm (31.3 in)
Kerb weight	30 kg (66 lb) without battery, approx. 45 kg (99 lb) with battery

https://www.youtube.com/watch?v=x9PivEygh_8

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

8

8

Προδιαγραφές σχεδιασμού



- Product Design Specifications (PDS)
- Μετατροπή των απαιτήσεων του σχεδιασμού σε ποσοτικά μεγέθη

Σχεδιασμός μειωτήρα

Ισχύς: 20 hp
Ταχύτητα εισόδου: 1750 rev/min
Ταχύτητα εξόδου: 85 rev/min
Ομοιόμορφο φορτίο
Χαμηλή συντήρηση
Ανταγωνιστικό κόστος

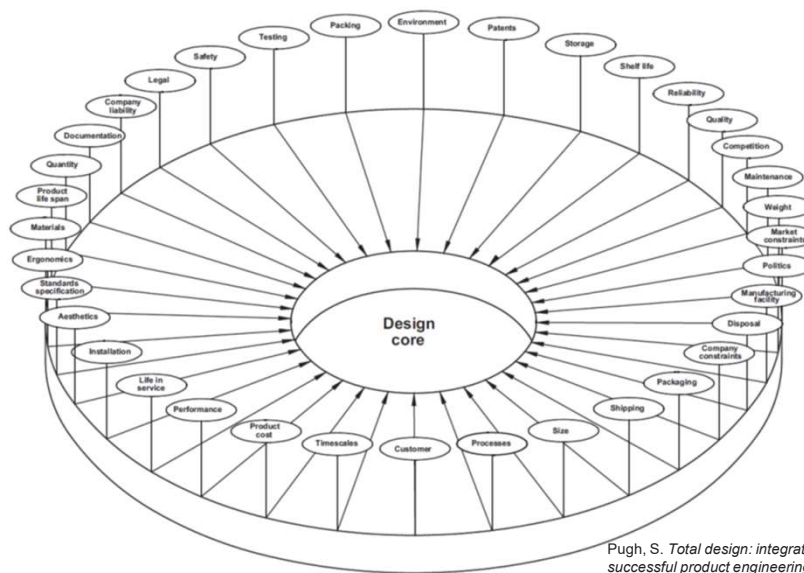
Ισχύς: 20 hp
Απόδοση: >95%
Ονομαστική ταχύτητα εισόδου: 1750 rev/min
Μέγιστη ταχύτητα εισόδου: 2400 rev/min
Ονομαστική ταχύτητα εξόδου: 82–88 rev/min
Κόστος μονάδας: <\$300

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

9

9

Τι περιλαμβάνει?



Pugh, S. *Total design: integrated methods for successful product engineering*. Addison-Wesley, 1991.

10

Κριτήρια Μηχανολογικού Σχεδιασμού



Πραγματοποιήσιμος, λειτουργικός, διαρκής και αποδοτικός

- Αντοχή
- Αξιοπιστία
- Ασφάλεια
- Βάρος
- Διάβρωση
- Έλεγχος ποιότητας
- Επιφανειακή κατεργασία
- Ευκαμψία
- Θερμικές ιδιότητες
- Θόρυβος
- Χρόνος ζωής
- Κατεργασία
- Κόστος
- Λίπανση
- Μέγεθος
- Μορφή
- Όγκος
- Στιβαρότητα
- Στυλ-Εμφάνιση
- Συντήρηση
- Τριβή
- Φθορά

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

11

11

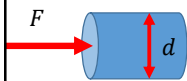
Αντοχή



- Μέγιστες τάσεις σε σχέση με τα όρια αντοχής του υλικού (γραμμικό, ελαστικό, διαρροής, θραύσης)
- Συντελεστής σχεδιασμού & συντελεστής ασφαλείας

$$n = \frac{S}{\sigma}$$

→ Αντοχή υλικού
→ Μέγιστη τάση σχεδιασμού



πχ $S=165 \text{ MPa}$, $F=9 \text{ kN}$, $n=3$

Ο προμηθευτής μου έχει 14 mm και 16 mm

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 9000}{\pi d^2}$$
$$\sigma = \frac{S}{n_d} = \frac{165 \text{ MPa}}{3} = 55 \text{ MPa} = 55 \text{ N/mm}^2$$
$$d^2 = \frac{4 \cdot 9000}{\pi \cdot 55} \Rightarrow d = 14.43 \text{ mm}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$
$$n_s = \frac{S}{\sigma} = \frac{SA}{F} = \frac{S\pi d^2}{4F}$$
$$n_s = 3.69$$

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

12

12

Παράδειγμα Συμπιεστή



Aspect	Objective	Criteria	Test conditions
Performance	Transmit torque	Transmission must transmit 5 kW at 2850 rpm.	Test transmission on a dynamometer
	Speed ratio	The transmission ratio between driving and driven shafts should be $2850/1500 = 1.9$.	If positive drive is employed then assume specified ratio or if a positive drive is not used measure speed of output shaft at design conditions.
	Efficiency	At least 95%.	Dynamometer test.
	Drive	Must connect to specified 1.5" driving shaft and 1.5" driven shaft using flexible couplings.	Use standard coupling methods that are rated for the maximum torque and speed with a factor of safety suitable for the application.
	Temperature	Operation in an internal environment at temperatures between -10 and 50 °C.	Bench test prototype.
	Humidity	Operate in an environment with a humidity of 100% at 20 °C.	Bench test prototype.

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

13

13

Παράδειγμα Συμπιεστή



Aspect	Objective	Criteria	Test conditions
Size	Minimize	Must be smaller or similar to competition. Competition best transmission fits within an envelope space of $120 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$.	Measure.
Cost	Minimize cost	The cost for the transmission per unit should be less than 600 Euros assuming 1000 units per year.	Calculate work-cost price.
Life	Maximize	The warranty life of the machine should exceed $2850 \times 60 \times 2 \times 200 \times 1.5 = 1.02 \times 10^8$ cycles.	Test design under accelerated stress conditions.
Weight	Minimize	Must be less than 30 kg.	Weigh it.
Manufacture	Ensure ready supply of components	Use stock machine elements where possible. Design using manufacturing techniques that are readily available from a number of local plants.	Identify components in stock supply inventories. Use established suppliers.
Design time	Minimize	Detailed design of the transmission must take less than a maximum of 6 person months and occur over a 2 month period.	Use standard project management methods to track progress and rectify excursions from the plan.
Patents	Avoid	Do not infringe existing patents.	Patent search.
Transport	Robust design	The transmission must be robust enough for transportation on standard pallets by road.	Vibration test.

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

14

14

Παράδειγμα Συμπιεστή



Aspect	Objective	Criteria	Test conditions
Aesthetics	Attractive design	Design should augment the overall aesthetics of the overall product.	Use focus group on concept graphics model.
Safety	High	Must comply with existing and envisaged legislation.	Check national and international standards and relevant legislation.
	Noise	Must be less than legal limits.	Measure.
Recycling	Compliant	The design should provide recommendations for future recycling of components to comply with expected legislation on sustainability.	Check national and international standards and legislation.
Maintenance	Easy	Provide access to components that might fail to enable their replacement.	Use graphics model of design to verify maintenance access.

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

15

15

Μορφολογική Ανάλυση



- Εξειδίκευση ενός συστήματος σε υπο-συστήματα και λειτουργίες
- Αναζήτηση εναλλακτικών ιδεών και λύσεων για καθένα
- Αξιολόγηση πιθανών συνδυασμών

Μορφολογική ανάλυση συστήματος μεταφοράς παλετών

Feature	Means				
Support	Track	Wheels	Air cushion	Slides	Pedipulators
Propulsion	Driven wheels	Air thrust	Moving cable	Linear induction	Toothed wheel and rack
Power	Electric	Diesel	Petrol	Bottled gas	Steam
Transmission	Belts	Chains	Gears and shafts	Hydraulics	Flexible cable
Steering	Turning wheels	Air thrust	Rails	Magnetism	Drag
Stopping	Brakes	Reverse thrust	Ratchet	Magnetism	Anchor
Lifting	Hydraulic ram	Rack and pinion	Screw	Chain or rope hoist	Telescopic linkage
Operator	Standing	Walking	Seated at front	Seated at rear	Remote control

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

16

16

Μορφολογική Ανάλυση



- Εξειδίκευση ενός συστήματος σε υπο-συστήματα και λειτουργίες
- Αναζήτηση εναλλακτικών ιδεών και λύσεων για καθένα
- Αξιολόγηση πιθανών συνδυασμών

Μορφολογική ανάλυση συστήματος μεταφοράς παλετών

Feature	Means				
Support	Track	Wheels	Air cushion	Slides	Pedipulators
Propulsion	Driven wheels	Air thrust	Moving cable	Linear induction	Toothed wheel and rack
Power	Electric	Diesel	Petrol	Bottled gas	Steam
Transmission	Belts	Chains	Gears and shafts	Hydraulics	Flexible cable
Steering	Turning wheels	Air thrust	Rails	Magnetism	Drag
Stopping	Brakes	Reverse thrust	Ratchet	Magnetism	Anchor
Lifting	Hydraulic ram	Rack and pinion	Screw	Chain or rope hoist	Telescopic linkage
Operator	Standing	Walking	Seated at front	Seated at rear	Remote control

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

17

17

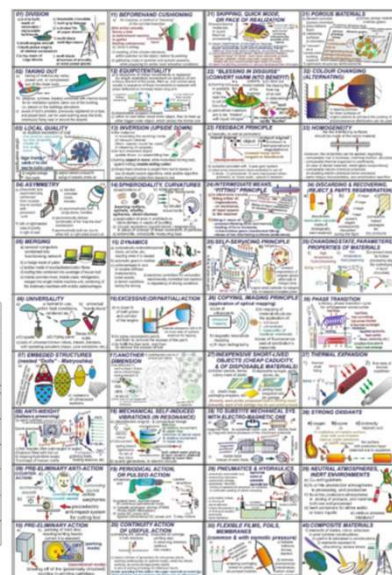
TRIZ – Εύρεση ιδεών



- Κατηγοριοποίηση χαρακτηριστικών σχεδιασμού σε κάποια από τα 39 γενικά χαρακτηριστικά (Altshuller, 1946)
- Δημιουργία πίνακα αντιθέσεων
- Αναγνώριση κατάλληλης μεθόδου αντιμετώπισης από τις διαθέσιμες 40.

1 Weight of moving object	24 Power
2 Weight of non-moving object	25 Waste of energy
3 Length of moving object	26 Waste of substance
4 Length of non-moving object	27 Loss of information
5 Area of moving object	28 Waste of time
6 Area of non-moving object	29 Amount of substance
7 Volume of moving object	30 Reliability
8 Volume of non-moving object	31 Accuracy of measurement
9 Speed	32 Accuracy of manufacturing
10 Force	33 Harmful factors acting on object
11 Vibration, pressure, stress	34 Harmful side effects
12 Shape	35 Manufacturability
13 Usability of object	36 Convenience of use
14 Strength	37 Repairability
15 Usability of moving object	38 Adaptability
16 Usability of non-moving object	39 Complexity of device
17 Temperature	40 Complexity of control
18 Brightness	41 Level of automation
19 Energy spent by moving object	42 Productivity
20 Energy spent by non-moving object	

No.	1	2	3	4	5	6
1						
2						
3						
4						
5						
6						



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

18

2. Επιλογή Υλικών

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

19

19



20

Ποικιλία Επιλογών (πχ χάλυβες)



Metal & Alloy Composition Search

Try these other methods of searching:

- Metal Alloy UNS Number** - Select from the list of UNS numbers in MatWeb's database and find the matching data sheets.

Choose a Material Category (Optional)

Choose up to 3 Material Compositions (Optional)

Set the range by entering the minimum and/or maximum values for each selected property

Submit the Query (Required)

Click on the Find button below to submit the query

Found 2758 Results - Page 1 of 56 - (Show Page) - View 15 per page

<https://matweb.com>

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

21

AISI 1046



AISI 1046 Steel, hot rolled, 19-32 mm (0.75-1.25 in) round

Categories: Metal / Ferrous Metal / Carbon Steel / AISI 1000 Series Steel / Medium Carbon Steel

Material Notes: Respond to heat treatment, and flame and induction hardening, but not recommended for carburizing or cyaniding. Die forging and hot upsetting are good to excellent. Typical uses include gears, shafts, axles, bolts, studs, and machine parts.

Key Words: UNS G10460, ASTM A29, ASTM A510, ASTM A576, SAE J403, SAE J412, SAE J414, carbon steels

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

[Printer friendly version](#) [Download as PDF](#) [Download to Excel](#) (requires Excel and Windows)

[Export data to your CAD/FEA program](#)

Physical Properties	Metric	English
Density	7.87 g/cc	0.284 lb/in³

Mechanical Properties	Metric	English
Hardness, Brinell	170	170
Hardness, Knoop	191	191
Hardness, Rockwell B	86	86
Hardness, Vickers	178	178
Tensile Strength, Ultimate	585 MPa	84800 psi
Tensile Strength, Yield	325 MPa	47100 psi
Elongation at Break	15 %	15 %
Reduction of Area	40 %	40 %
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi
Poisson's Ratio	0.29	0.29
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi

Electrical Properties	Metric	English
Electrical Resistivity [A]	0.000163 ohm-cm @ Temperature 20.0 °C	0.000163 ohm-in @ Temperature 68.0 °F
	0.000224 ohm-cm @ Temperature 100 °C	0.000224 ohm-in @ Temperature 212 °F

Thermal Properties	Metric	English
CTE, linear [A]	11.5 µm/m-°C @ Temperature 20.0 °C	6.39 µm/in-°F @ Temperature 68.0 °F
	12.2 µm/m-°C @ Temperature 0.000 - 500 °C	6.78 µm/in-°F @ Temperature 32.0 - 932 °F
	13.9 µm/m-°C @ Temperature 0.000 - 500 °C	7.72 µm/in-°F @ Temperature 32.0 - 932 °F
Specific Heat Capacity	0.486 J/g-°C @ Temperature 100 °C	0.116 BTU/lb-°F @ Temperature 212 °F
Thermal Conductivity	51.9 W/m-K	360 BTU-in/hr-ft²-°F

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

22

Ιδιότητες υλικών



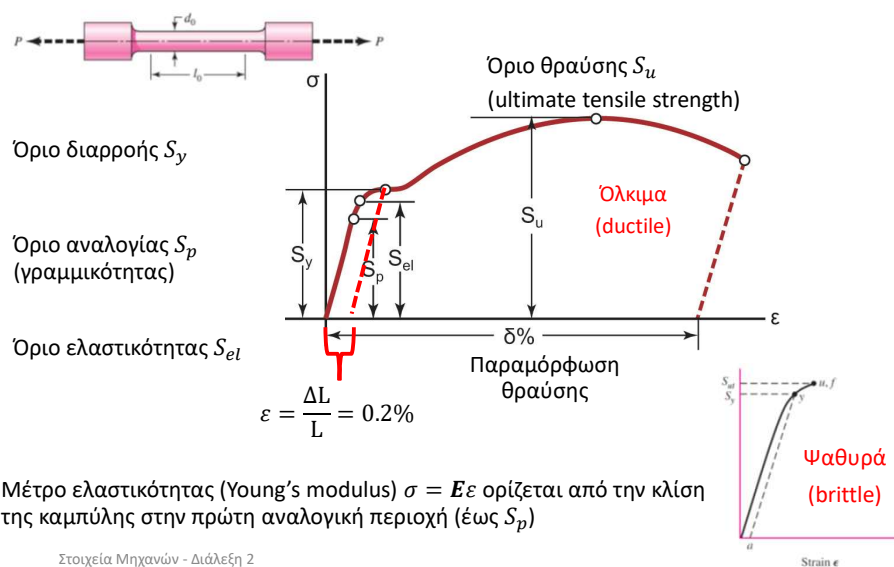
- Φυσικές ιδιότητες
 - Πυκνότητα
 - Θερμοκρασία αλλαγής φάσεων
- Μηχανικές ιδιότητες
 - Όριο διαρροής
 - Όριο θραύσης
 - Μέτρο ελαστικότητας
 - Μέτρο διάτμησης
 - Λόγος Poisson
- Άλλες
 - Θερμικές
 - Μαγνητικές

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

23

23

Πείραμα εφελκυσμού



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

24

Πίνακας ορίων χάλυβα



Υλικό Χάλυβα	S_u N/mm ²	S_y N/mm ²
St37	370	220
St42	420	260
St50	500	320
St60	600	370
St70	700	420

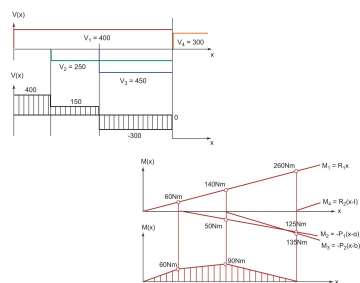
Κωδικοποίηση βάσει DIN17100

- Θερμικές κατεργασίες: βαφή (quenching), επαναφορά (tempering), ανόπτηση (annealing)

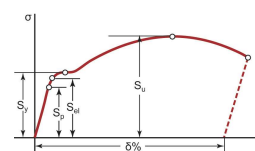
Σημαντική Διάκριση



Τάσεις σ / τ



Όρια αντοχής S

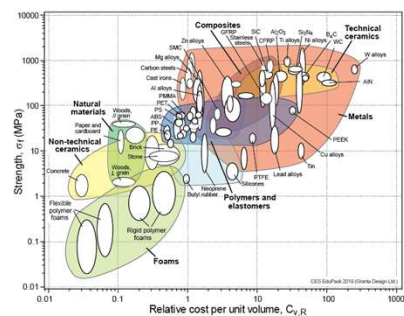
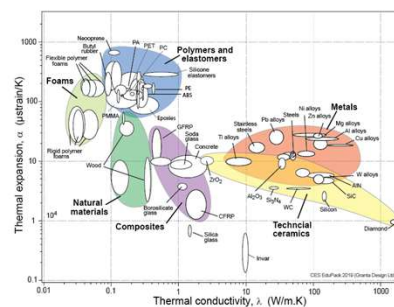
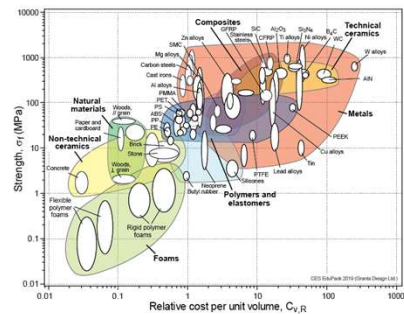


Τα ψωνίζουμε από τον προμηθευτή, έρχεται με το υλικό που χρειαζόμαστε. Τα επιλέγουμε!!

Προκύπτουν στην κατασκευή λόγω των φορτίσεων. Τα υπολογίζουμε!!



27



Στοιχεία Μηχανών Διάλεξη 2

<https://www.grantadesign.com/>

40

14

Παράδειγμα



- Ράβδος μήκους L , εφελκυστικό φορτίο F . Επιλέγω υλικό για ελαχιστοποίηση βάρους

$$m = \frac{\rho AL}{\sigma}$$

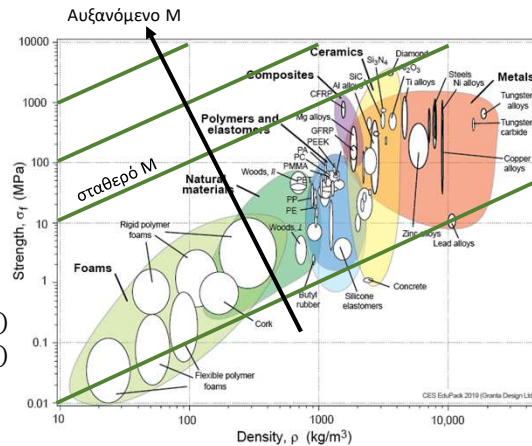
$$m = \frac{\rho LF}{S_y}$$

$$m = NLF \left(\frac{\rho}{S_y} \right)$$

- Μεγιστοποίηση $M = S_y/\rho$

$$\log(M) = \log(S_y) - \log(\rho)$$

$$\log(S_y) = \log(M) + \log(\rho)$$



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

31

31

Παράδειγμα



- Ράβδος μήκους L , εφελκυστικό φορτίο F . Επιλέγω υλικό για ελαχιστοποίηση βάρους

$$m = \frac{\rho AL}{\sigma}$$

$$m = \frac{\rho LF}{S_y}$$

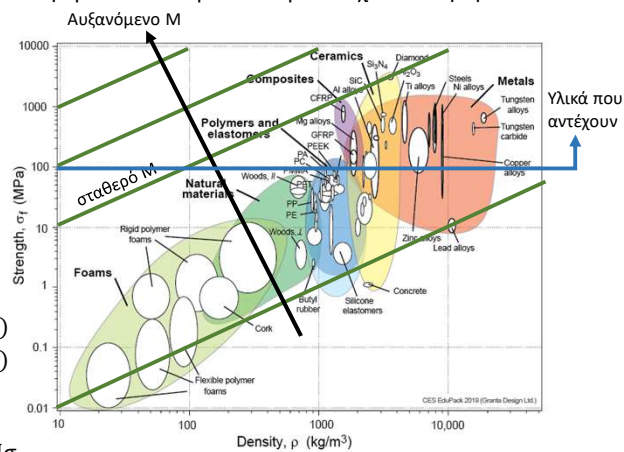
$$m = NLF \left(\frac{\rho}{S_y} \right)$$

- Μεγιστοποίηση $M = S_y/\rho$

$$\log(M) = \log(S_y) - \log(\rho)$$

$$\log(S_y) = \log(M) + \log(\rho)$$

- Περιορισμός τάσης $S_y > N\sigma$



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

32

32

Παράδειγμα



- Ράβδος μήκους L , εφελκυστικό φορτίο F . Επιλέγω υλικό για ελαχιστοποίηση βάρους

$$m = \frac{\rho AL}{\sigma}$$

$$m = \frac{\rho LF}{S_y}$$

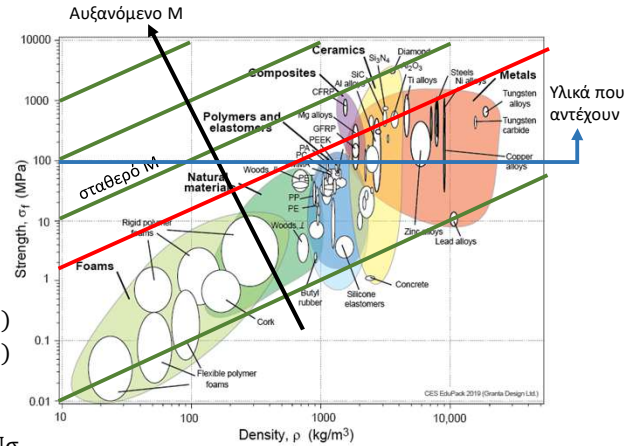
$$m = NLF \left(\frac{\rho}{S_y} \right)$$

- Μεγιστοποίηση $M = S_y / \rho$

$$\log(M) = \log(S_y) - \log(\rho)$$

$$\log(S_y) = \log(M) + \log(\rho)$$

- Περιορισμός τάσης $S_y > N\sigma$

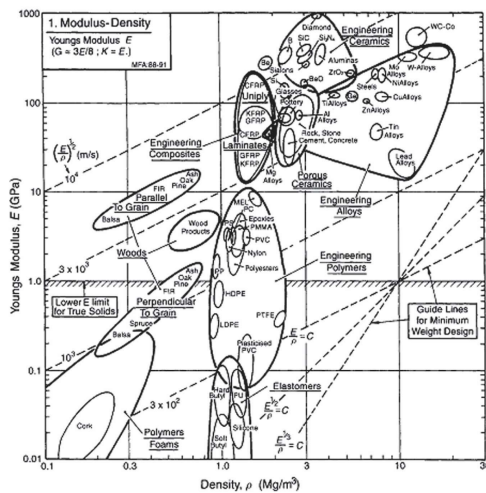


Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

33

33

Γενικά περί Ashby



Παρατηρήστε τις διακεκομμένες γραμμές. Δίνουν γραμμές για τις σχέσεις $\frac{E}{\rho}$, $\frac{E^{1/2}}{\rho}$ και $\frac{E^{1/3}}{\rho}$ οι οποίες είναι χρήσιμες για τον προσδιορισμό μεγεθών βελτιστοποίησης M

Είδος στοιχείου	Αντικειμενική συνθήκη	Περιορισμός	Συντελεστής συμπεριφοράς υλικού, M
Ράβδος	Ελάχιστο βάρος	Σηβαρότητα Καθορισμένη	$\frac{E}{\rho}$
Δοκός	Ελάχιστο βάρος	Σηβαρότητα Καθορισμένη	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$
Δοκός	Ελάχιστο βάρος	Αντοχή καθορισμένη	$\frac{\sigma_y^{1/3}}{\rho}$
Δοκός	Ελάχιστο κόστος	Σηβαρότητα Καθορισμένη	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
Δοκός	Ελάχιστο κόστος	Αντοχή καθορισμένη	$\frac{\sigma_y^{1/3}}{C_m \rho}$
Ράβδος σε λυγισμό	Ελάχιστο κόστος	Κρίσιμο φορτίο λυγισμού καθορισμένο	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
Ελατήριο	Ελάχιστο βάρος	Δυναμική Ενέργεια καθορισμένη	$\frac{\sigma_y^2}{E \rho}$
Θερμική μόνωση	Ελάχιστο κόστος	Ροή ενέργειας καθορισμένη	$\frac{1}{\lambda C_m \rho}$
Ηλεκτρομαγνήτης	Μέγιστο πόδιο	Αύξηση θερμοκρασίας καθορισμένη	$\kappa C_m \rho$

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 2

34

Ερωτήσεις?

35

Σύνοψη Διάλεξης

- Διαδικασία και κριτήρια μηχανολογικού σχεδιασμού
- Επισκόπηση εργαλείων σχεδιασμού.
- Βασικές μηχανικές ιδιότητες υλικών
- Μεθοδολογία επιλογής υλικών

36