

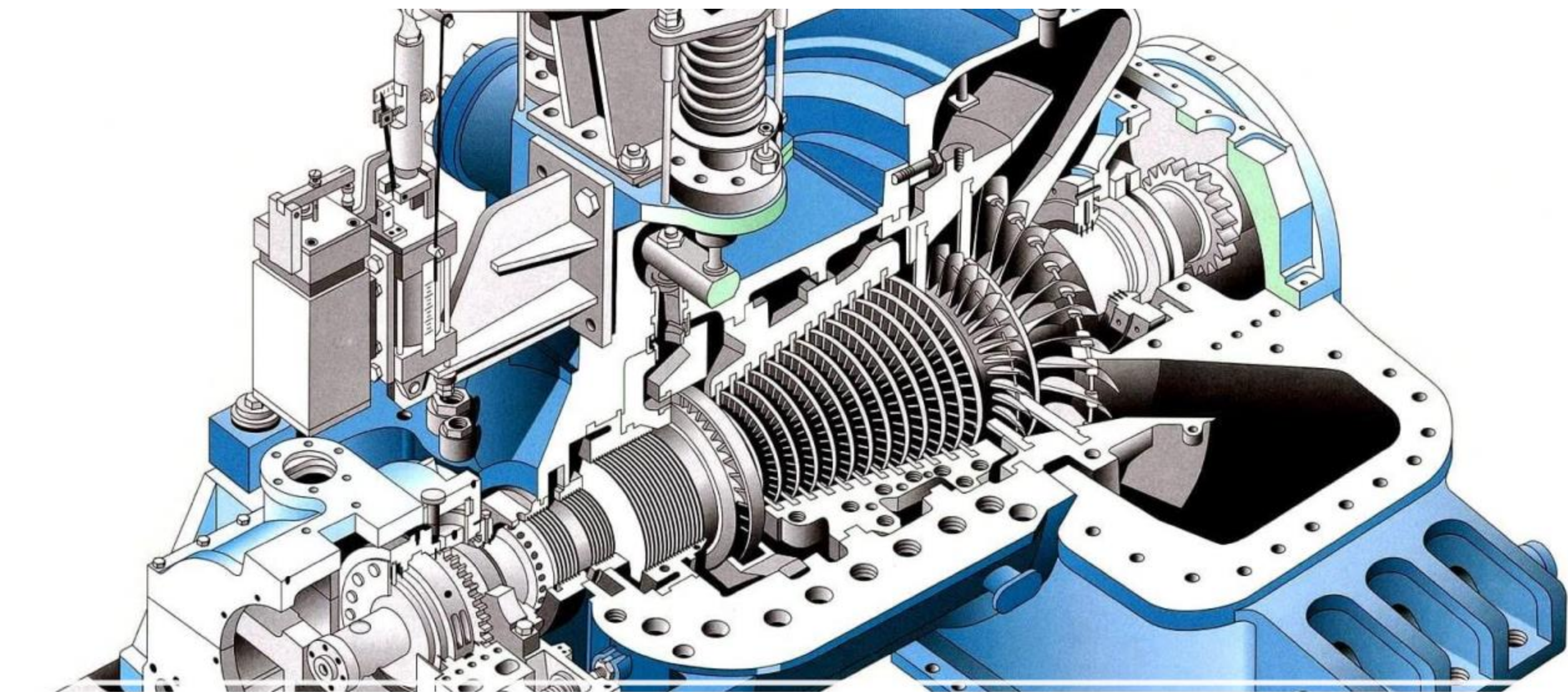


ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ
ΙΣΧΥΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Νίκος Μ. Κατσουλάκος
Αναπληρωτής Καθηγητής
Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.



ΙΣΧΥΣ Ή ΙΠΠΟΔΥΝΑΜΗ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Εισαγωγικά

Η ισχύς των ατμοστροβίλων συμβολίζεται με **P (Power)** και διαφέρει αναλόγως της θέσης μέτρησης.

Διακρίνεται σε:

- Θεωρητική ισχύ P_{θ}
- Περιφερειακή ισχύ P_u
- Εσωτερική ή Ενδεικτική ισχύ P_{ε}
- Πραγματική ισχύ P_{π}

Η θεωρητική ισχύς

- Υπολογίζεται χωρίς να ληφθούν υπ' όψιν οι απώλειες λειτουργίας.
- Αντιστοιχεί στην **ισεντροπική πτώση της ενθαλπίας του ατμού** που διέρχεται από τον στρόβιλο, δηλαδή στο θεωρητικό έργο L_{θ} .

$$\Delta h_{\theta} = h_1 - h_2$$

- Έστω ότι από τον ατμοστρόβιλο διέρχονται G kp ατμού ανά ώρα και η πτώση ενθαλπίας μετριέται σε kcal/kg, τότε η θεωρητική ισχύς είναι:

$$P_{\theta} = \frac{G \cdot \Delta h_{\theta}}{632,3} \quad \text{Σε μετρικούς ίππους - PS}$$

- Έστω ότι από τον ατμοστρόβιλο διέρχονται G kg ατμού ανά ώρα και η πτώση ενθαλπίας μετριέται σε kJ/kg, τότε η θεωρητική ισχύς είναι:

$$P_{\theta} = \frac{G \cdot \Delta h_{\theta}}{3600} \quad \text{Σε kW}$$

ΑΣΚΗΣΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Ένας ατμοστρόβιλος καταναλώνει 15.000 kp ατμού ανά ώρα, με πίεση 15kp/cm² και θερμοκρασία 300°C. Η εξαγωγή γίνεται σε συμπυκνωτή, όπου επικρατεί κενό 95%.

Ποια είναι η θεωρητική ισχύς του ατμοστροβίλου;

Βήμα 1^ο: μετατροπή μονάδων στο μετρικό σύστημα

1kp = 1kg, συνεπώς 15.000 kp/h = 15.000 kg/h

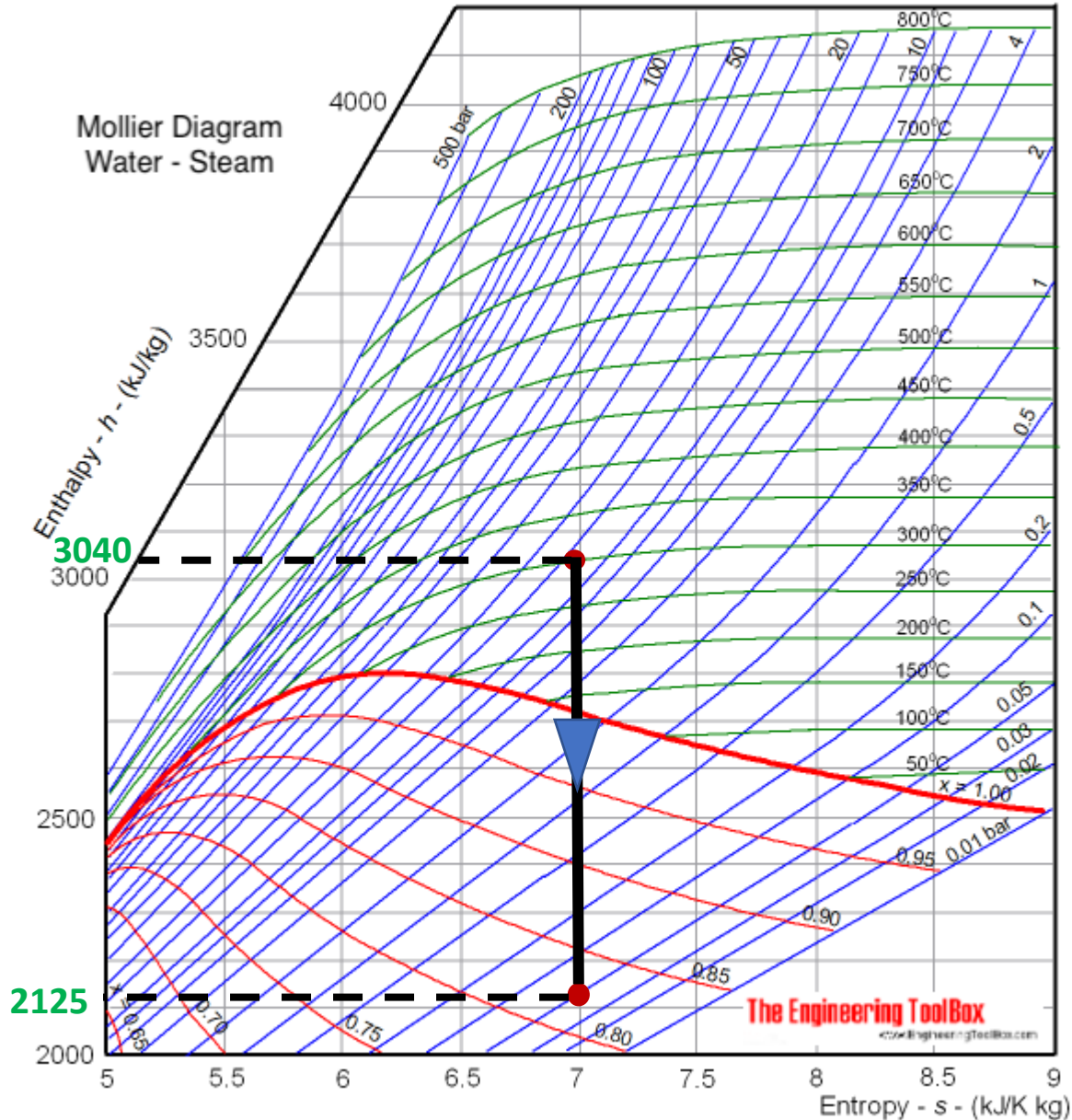
15 kp/cm² = 15*9,81 N/cm² = 147,15*10⁴ Pa (N/m²) = 1471,50 kPa = 14,71 bar

Βήμα 2^ο: εύρεση πίεσης εξόδου

Ο συμπυκνωτής λειτουργεί σε κενό 95%. Αυτό σημαίνει ότι η πίεσή του είναι το 100 - 95=5% της ατμοσφαιρικής.

Η ατμοσφαιρική πίεση είναι 1,01325 bar. Συνεπώς η πίεση εξόδου είναι 0,05*1,01325 = 0,0506 bar

ΑΣΚΗΣΗ (συνέχεια)



Βήμα 3^ο: Χρήση διαγράμματος h-S νερού - ατμού (Mollier)

A) Εύρεση σημείων εισόδου και εξόδου

Είσοδος: συνδυάζω καμπύλη πίεσης και καμπύλη θερμοκρασίας

Έξοδος: κινούμαι στον κατακόρυφο άξονα (ισεντροπικά) από τον πρώτο σημείο μέχρι να «κόψω» την καμπύλη πίεσης εξόδου

B) Εύρεση ενθαλιών εισόδου και εξόδου

Από τα σημεία εισόδου και εξόδου φέρω παράλληλες στον οριζόντιο άξονα μέχρι να «κόψω» τον άξονα της ενθαλπίας

Γ) Εύρεση διαφοράς ενθαλπίας

$$\Delta h_{\Theta} = 3040 - 2125 = 915 \text{ kJ/kg}$$

ΑΣΚΗΣΗ (συνέχεια)

Βήμα 4^ο: Εφαρμογή του τύπου της ισχύος

$$P_{\Theta} = \frac{G \cdot \Delta h_{\Theta}}{3600} = \frac{15000 \cdot 915}{3600} = \mathbf{3812,5kW}$$

Εάν θέλω να βρω την ισχύ σε μετρικούς ίππους, θα πρέπει να έχω υπ' όψιν ότι $1 \text{ PS} = 1,36 \text{ kW}$

Συνεπώς: $P_{\Theta} = 5185 \text{ PS}$

ΠΑΡΕΝΘΕΣΗ:
ΜΟΝΑΔΕΣ...



Μονάδες

Ενέργεια

Calorie (cal): Η ενέργεια που απαιτείται για να ανέβει η θερμοκρασία 1 gr νερού κατά 1 °C

Στον ηλεκτρισμό χρησιμοποιούνται:

Joule (J): $1 \text{ N m} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$

1 cal = 4.187 J

British thermal unit (Btu):

1 Btu = 0.252 kcal

1 kWh = 3.6 MJ = 860 kcal = 3412 Btu

Τα ορυκτά καύσιμα μετρούνται σε τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (*TIOI*) ή *toe* (tones oil equivalent). Ακόμη 1 barrel = 159 lt = 136 kg

1 toe προσεγγιστικά ισοδυναμεί με:

10^6 kcal ή 42 GJ ή $40 \cdot 10^6 \text{ Btu}$ ή 11.6 MWh

Ισχύς

Ίππος (hP): Η ισχύς ενός αλόγου όπως εκτιμήθηκε από τον James Watt τον 18^ο συγκρίνοντας την ατμομηχανές.

Watt (W): $1 \text{ N m s}^{-1} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3}$

1 hP = 746 W

$$W = J/s$$

$$W h = 3600 J$$

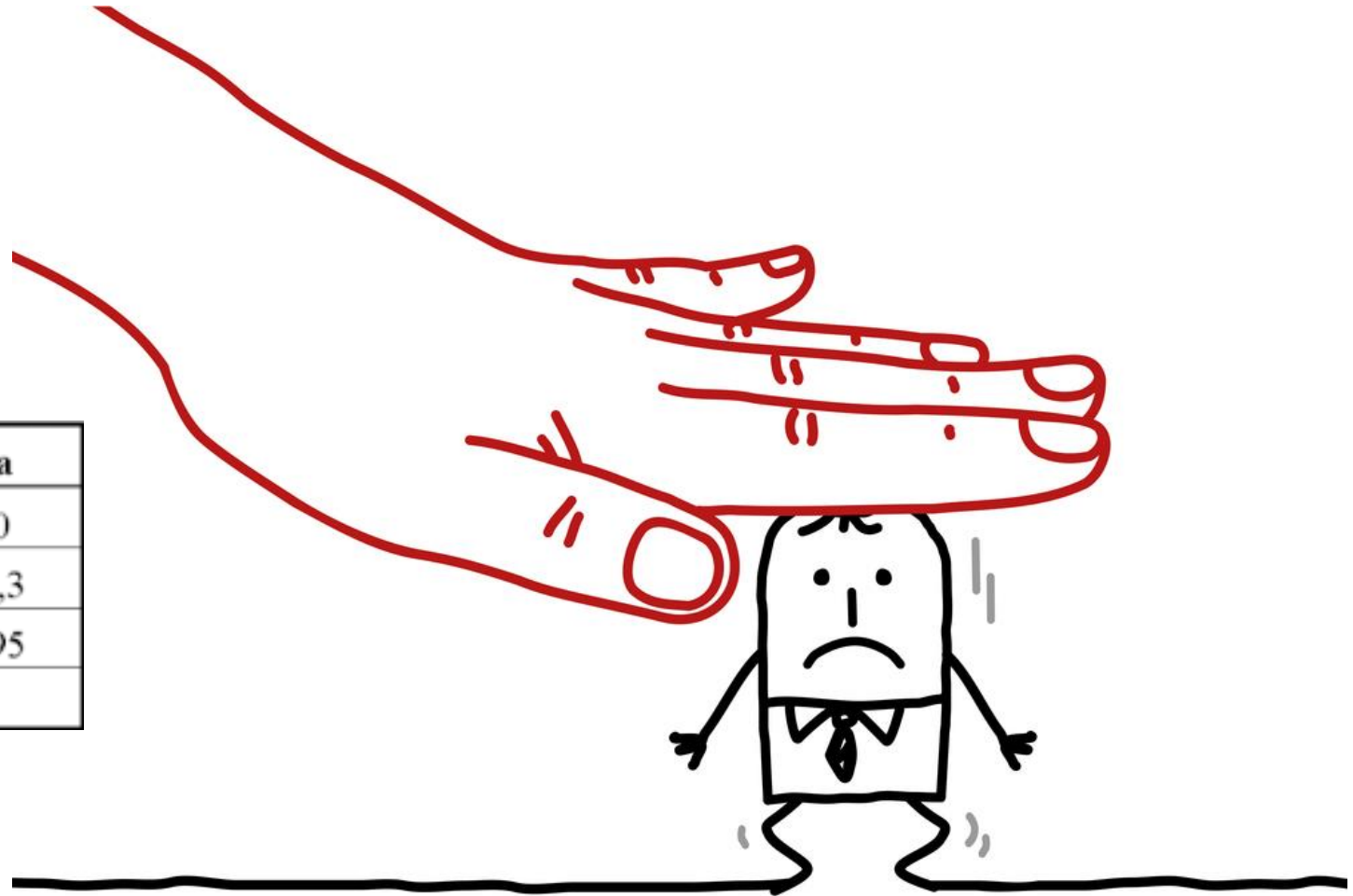
Metric Units			
Mnemonics	Prefix	Symbol	Magnitude
the	tera	T	10^{12}
great	giga	G	10^9
mighty	mega	M	10^6
king	kilo	k	10^3
Hector	hecto	h	10^2
died	deka	da	10^1
unexpectedly	unit	-	1
drinking	deci	d	10^{-1}
chocolate	centi	c	10^{-2}
milk	milli	m	10^{-3}
Monday	micro	μ	10^{-6}
night	nano	n	10^{-9}
pictures	pico	p	10^{-12}

Μονάδες πίεσης

Στοιχειώδης μονάδα

$$\text{Pascal (Pa)} = \text{N/m}^2 = \text{kg/m} \cdot \text{sec}^2$$

	bar	atm	psi	kPa
bar	1	0,9869	14,5	100
atm	1,013	1	14,7	101,3
psi	0,06895	0,06805	1	6,895
kPa	0,01	0,009869	0,145	1



Η περιφερειακή ισχύς

- Είναι η ισχύς που αναπτύσσεται στην περιφέρεια του στροφείου, δηλαδή στα πτερύγια και αντιστοιχεί στο περιφερειακό έργο L_u .
- Προκύπτει από τη θεωρητική, αν από αυτήν αφαιρεθεί η ισχύς των απωλειών στα προφύσια, στα πτερύγια και την εκροή.

$$P_u = P_\theta \cdot \eta_u$$

Περιφερειακός βαθμός απόδοσης



Η εσωτερική ή ενδεικτική ισχύς

- Είναι η ισχύς που αποδίδεται από τις πτερυγώσεις στον άξονα του στροφείου και αντιστοιχεί στο εσωτερικό έργο L_e .
- Προκύπτει από την περιφερειακή αν αφαιρεθεί η ισχύς των απωλειών ανεμισμού και διακένων των πτερυγώσεων
- Η εσωτερική ισχύς αντιστοιχεί προς την ενδεικτική ισχύ των παλινδρομικών μηχανών, αλλά δεν υπάρχει όργανο μέτρησής της στην περίπτωση των ατμοστροβίλων
- Σε συνάρτηση με τη θεωρητική ισχύ, η εσωτερική είναι:

$$P_{\varepsilon} = P_{\Theta} \cdot \eta_{\varepsilon}$$

Εσωτερικός βαθμός απόδοσης

Η πραγματική ή ωφέλιμη ισχύς

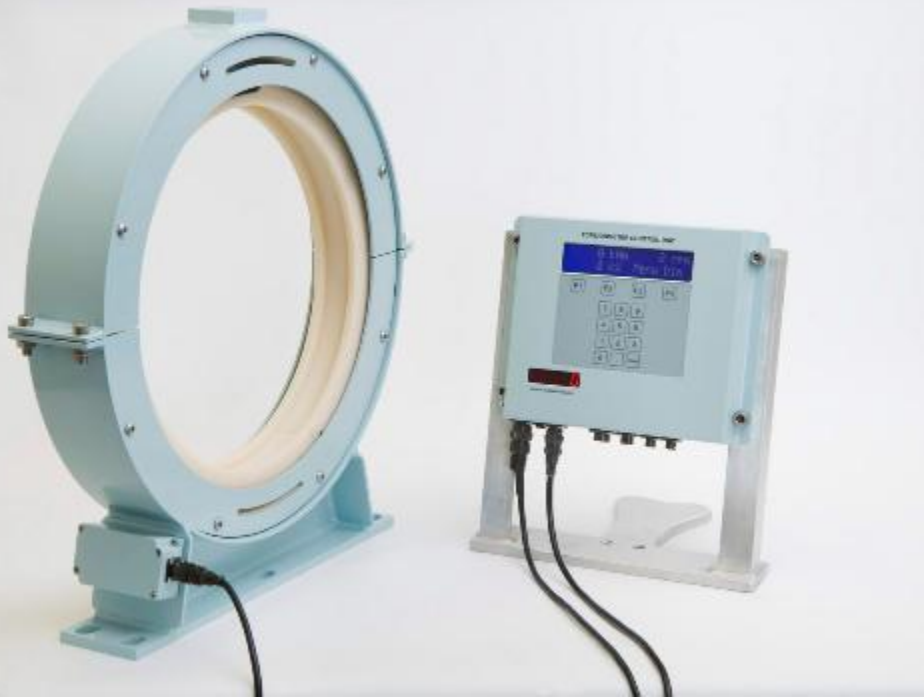
- Αντιστοιχεί στο πραγματικό έργο του ατμοστροβίλου
- Προκύπτει από τη θεωρητική εάν αφαιρεθούν όλες οι απώλειες ισχύος
- Μπορεί να προκύψει και από την εσωτερική εάν αφαιρεθεί η ισχύς των μηχανικών απωλειών, των απωλειών εξωτερικών συσκευών στεγανότητας και των απωλειών ακτινοβολίας
- Οι μαθηματικές εκφράσεις για την πραγματική ισχύ έχουν ως εξής:

$$P_{\Pi} = P_{\varepsilon} \cdot \eta_{\mu}$$

Μηχανικός βαθμός απόδοσης

$$P_{\Pi} = P_{\Theta} \cdot \eta_{\mu} \cdot \eta_{\varepsilon}$$

Μέτρηση πραγματικής ισχύος με στρεψίμετρο



- Πρόκειται για όργανο που προσαρμόζεται στον άξονα και μετρά τη στρέψη που υφίσταται, όταν μεταφέρει ορισμένη ισχύ. Συνήθως η διαδικασία γίνεται με οπτικούς αισθητήρες, ώστε να προσδιοριστεί η γωνία στρέψης.
- Με το στρεψίμετρο προσδιορίζεται η ροπή στρέψης (M_{σ}) και από αυτήν η πραγματική ισχύς, ως γινόμενο της ροπής επί τις στροφές ανά λεπτό (n).



$$P_{\Pi} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot M_{\sigma}}{60 \cdot 1000}$$

Σε kW
Ροπή σε N*m

$$P_{\Pi} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot M_{\sigma}}{60 \cdot 75}$$

Σε PS
Ροπή σε kp*m

ΑΠΛΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Σε άξονα ατμοστροβίλου τοποθετείται στρεψίμετρο. Από τις μετρήσεις προκύπτει ότι η ροπή στρέψης είναι ίση με 1.000 kp*m. Εάν οι στροφές του άξονα είναι 3.500 rpm, να βρεθεί η πραγματική ισχύς του στροβίλου σε PS, σε kW και σε HP.

Εφαρμόζουμε τους τύπους της πραγματικής ισχύος, με ιδιαίτερη προσοχή όταν χρειάζονται μετατροπές μονάδων:

Ισχύς σε PS

$$P_{\Pi} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot M_{\sigma}}{60 \cdot 75} = \frac{2 * \pi * 3500 * 1000}{4500} = 4887PS$$

Μετατροπή της ροπής στο διεθνές σύστημα: 1000 kp*m = 1000*9,81 N*m = 9810 N*m

Ισχύς σε kW

$$P_{\Pi} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot M_{\sigma}}{60 \cdot 1000} = \frac{2 * \pi * 3500 * 9810}{60000} = 3594kW$$

Ισχύς σε HP: 1 HP = 746 W = 0,746 kW. Συνεπώς, αφού η ισχύς είναι 3594 kW, θα ισούται με **4753 HP** (τιμή κοντά στο PS αλλά όχι ίδια)

ΑΣΚΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΙΣΧΥ

Στρόβιλος καταναλώνει ατμό με ρυθμό 12.640 kg/h. Στην είσοδο στο στρόβιλο ο ατμός έχει ενθαλπία 2917 kJ/kg και στην έξοδο η ενθαλπία μειώνεται στα 2080 kJ/kg. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι 82% και ο μηχανικός βαθμός απόδοσης είναι 92%.

Να βρεθεί η εσωτερική και η πραγματική ισχύς.

Αν η πίεση εισόδου είναι 17,5 bar, πόση είναι η θερμοκρασία εισόδου;

Η διαφορά της ενθαλπίας μεταξύ εισόδου και εξόδου είναι:

$$\Delta h_{\theta} = 2917 - 2080 = 837 \text{ kJ/kg}$$

Η θεωρητική ισχύς είναι:

$$P_{\theta} = \frac{G \cdot \Delta h_{\theta}}{3600} = \frac{12640 \cdot 837}{3600} = 2939 \text{ kW}$$

Η εσωτερική ισχύς είναι:

$$P_{\varepsilon} = P_{\theta} \cdot \eta_{\varepsilon} = 2939 \cdot 0,82 = 2410 \text{ kW}$$

Η πραγματική ισχύς είναι:

$$P_{\Pi} = P_{\varepsilon} \cdot \eta_{\mu} = 2410 \cdot 0,92 = 2217 \text{ kW}$$

ΑΣΚΗΣΗ (συνέχεια)

