

1. ΡΥΘΜΙΣΗ ΜΕ ΣΤΡΑΓΓΑΛΙΣΜΟ ΤΟΥ ΑΤΜΟΥ

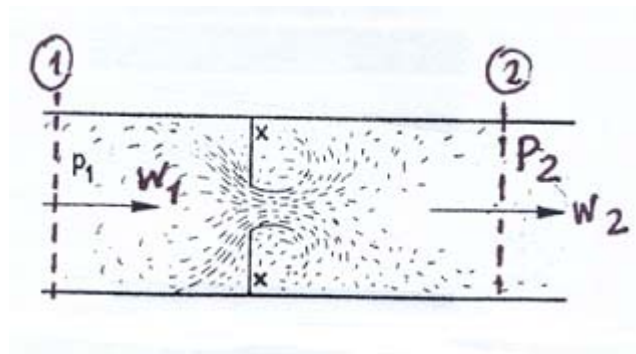
Ο στραγγαλισμός του ατμού υλοποιείται εξαναγκάζοντας τον ατμό, πριν παροχετευθεί στο στρόβιλο, να περάσει μέσα από κατάλληλη βαλβίδα όπου μικραίνει η διατομή διέλευσης της ροής του ατμού, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί πτώση της πίεσης η οποία εξαρτάται από τη θέση του κλείστρου της βαλβίδας.

Ο ατμός εκτονώνεται, η πίεση ελαττώνεται χωρίς ο ατμός να παράγει εξωτερικό έργο. Η μεταβολή αυτή είναι μη αντιστρέψιμη.

Είναι γνωστό ότι σε μια αντιστρέψιμη μεταβολή το σύστημα επιστρέφει στην αρχική (πριν τη μεταβολή) κατάσταση κατά μια αντίθετη ακριβώς πορεία μεταβολής.

Εάν ακολουθηθεί αντίθετη ακριβώς πορεία στο στραγγαλισμό, πρέπει το σύστημα (εδώ ατμός ξηρός ή υγρός δηλαδή μίγμα κάποιου βαθμού ξηρότητας x) να περάσει μέσα από τη στένωση. Αυτό προφανώς θα έχει σαν αποτέλεσμα την εκ νέου μείωση (πτώση) της πίεσης, οπότε το σύστημα δεν πρόκειται να επανέλθει στην αρχική πίεση.

Στη σωλήνωση του σχήματος, φαίνεται μέσα στη ροή, ένα διάφραγμα xx , στο οποίο υπάρχει μια οπή (στένωση) μικρών διαστάσεων σε σχέση με τις διαστάσεις της σωλήνωσης.



ΣΧΗΜΑ 125

Ο ατμός φθάνει με πίεση p_1 και ταχύτητα w_1 . Δεδομένου ότι η παροχή είναι σταθερή σε όλες τις τομές, η στένωση (στο σημείο που υπάρχει το διάφραγμα xx) υποχρεώνει τον ατμό να αυξήσει την ταχύτητά του.

Αυτή η αύξηση της ταχύτητας συνεπάγεται πτώση πίεσης (από AP του xx στα ΔE του xx) στη στένωση.

Εάν p_2 είναι η τιμή της πίεσης μετά τη στένωση, θα είναι $p_2 < p_1$ και η κινητική ενέργεια λόγω αύξησης της ταχύτητας θα είναι αντίστοιχη προς τη μείωση της δυναμικής ενέργειας που οφείλεται στην εκτόνωση από p_1 σε p_2 .

Η ταχύτητα ροής από τη στένωση, δίδεται από τη σχέση :

$$V = \sqrt{2 \times g \times (I_2 - I_1)}$$

Μετά τη στένωση, η διατομή διευρύνεται πάλι και η ροή επιβραδύνεται εξαντλώντας την κινητική ενέργεια με κρούσεις και στροβιλώδεις κινήσεις.

Όταν σε μικρή απόσταση μετά τη στένωση σταματούν οι διαταραγμένες κινήσεις, η μηχανική ενέργεια που ο ατμός είχε αποκτήσει από τη διέλευσή του στη στένωση μετατρέπεται πάλι σε θερμότητα λόγω τριβών.

Έτσι, έγιναν δύο συνεχόμενες μεταβολές :

1. από θερμική ενέργεια σε μηχανική (= κινητική)
2. από μηχανική ενέργεια σε θερμική (= λόγω τριβών).

Στο σημείο που έχει τοποθετηθεί η στένωση, η σωλήνωση έχει μονωθεί κατάλληλα ώστε να μην υπάρχει εναλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον. Επίσης δεν υπάρχει διάταξη για μηχανική μετάδοση στο περιβάλλον.

Η ενέργεια του συστήματος, που όπως προαναφέρθηκε αποτελείται από μηχανική (= κινητική) και θερμική (= λόγω τριβών) ενέργεια, είναι :

$$I_A + \frac{1}{2} \times W_A^2 = I_B + \frac{1}{2} \times W_B^2$$

Θεωρώντας αμελητέα την κινητική ενέργεια, τότε προκύπτει ότι :

$$I_A = I_B = \text{σταθερή ενθαλπία}$$

Ο στραγγαλισμός δηλαδή είναι μια μεταβολή της κατάστασης του συστήματος κατά τη διάρκεια της οποίας :

1. δεν εναλλάσσεται θερμότητα από και προς το σύστημα
2. δεν παράγεται έργο
3. παραμένει σταθερή η ενθαλπία, πριν και μετά τη στένωση

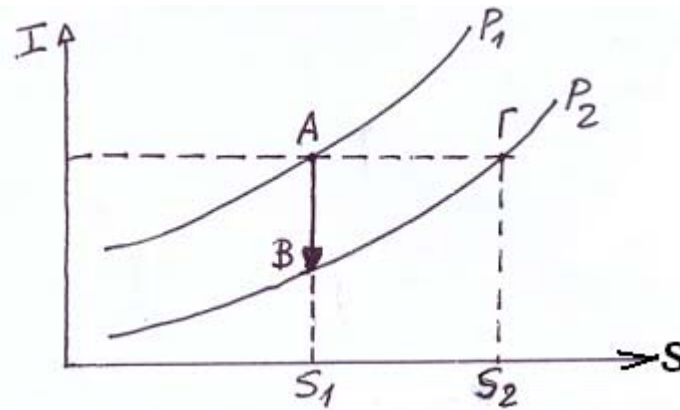
Ο ορισμός επομένως του στραγγαλισμού, περιλαμβάνει και άλλες προϋποθέσεις πλην της διατήρησης στην ίδια τιμή τη ενθαλπίας που μπορεί να διατυπώνεται και σε άλλες περιπτώσεις, ανεξάρτητα του στραγγαλισμού.

Συμπερασματικά λοιπόν, η ενθαλπία 1 kg ατμού πριν και μετά τη στένωση παραμένει σταθερή. Μειώθηκε όμως η πίεση και συνεπώς η θερμοκρασία, οπότε η θερμική ενέργεια του ατμού υποβαθμίστηκε.

Σημειώνεται εδώ ότι, για τα ιδανικά αέρια, ο στραγγαλισμός δεν επιφέρει μείωση της θερμοκρασίας, διότι οι μεταβολές σταθερής ενθαλπίας είναι και ισόθερμες, δεδομένου ότι για τα ιδανικά αέρια $I = f(T)$.

Για τον ατμό (που δεν είναι βέβαια ιδανικό αέριο) υπάρχει και μείωση της θερμοκρασίας. Η μείωση αυτή είναι πολύ μικρή στην περίπτωση του υπέρθερμου ατμού, ειδικά στις χαμηλές πιέσεις.

Η μείωση της πίεσης και της θερμοκρασίας, παρουσιάζονται στο διάγραμμα του MOLLIER, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα της επόμενης σελίδας :



ΣΧΗΜΑ 126

Έστω A η αρχική κατάσταση, με p_1 , t_1 και I_1 αντίστοιχες τιμές πίεσης, θερμοκρασίας και ενθαλπίας.

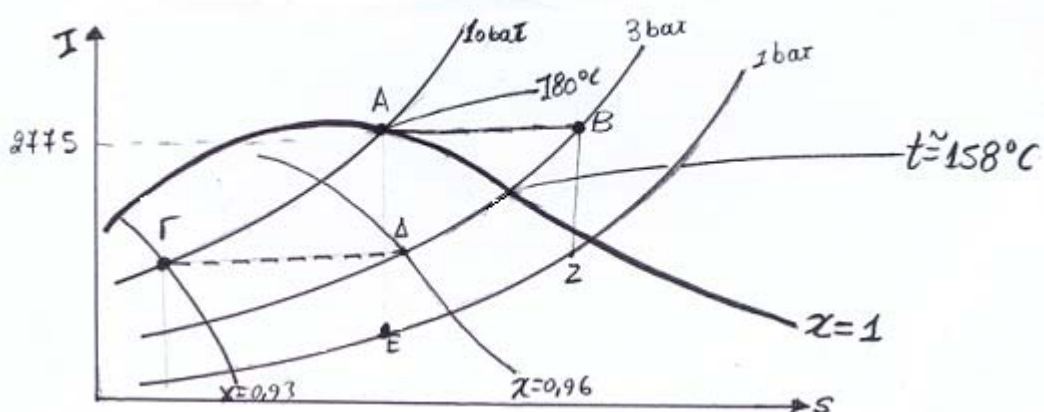
Η πρώτη μεταβολή παριστάνεται από την αδιαβατική εκτόνωση AB (από πίεση p_1 σε πίεση p_2) κατά την οποία ο ατμός αποκτά κινητική ενέργεια ισοδύναμη με την πτώση ενθαλπίας ($I_A - I_B$).

Η δεύτερη μεταβολή είναι η θέρμανση BΓ υπό σταθερή πίεση p_2 , κατά την οποία όλη η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα, ουσιαστικά την ίδια ολική θερμότητα που είχε πριν τη στένωση. Οπότε το τελικό σημείο Γ βρίσκεται στην οριζόντια I_1 .

Η υποβάθμιση της θερμικής ενέργειας του ατμού, διαπιστώνεται από την αύξηση της εντροπίας από S_1 σε S_2 , με $S_2 > S_1$.

Παράδειγμα

Έστω ότι ατμός στραγγαλίζεται από πίεση $p_1 = 10 \text{ bar}$ σε $p_2 = 3 \text{ bar}$. Έστω ότι αρχικά ο ατμός είναι ξηρός (κεκορεσμένος).



ΣΧΗΜΑ 127

Προσδιορίζοντας το αρχικό σημείο A, η οριζόντια γραμμή μέχρι την πίεση $p_2 = 3 \text{ bar}$ προσδιορίζει το σημείο B, όπου ο ατμός είναι τώρα υπέρθερμος θερμοκρασίας περίπου $\cong 158^\circ \text{ C}$.

Εάν αρχικά ο ατμός ήταν υγρός (= μίγμα) με $x = 0,93$ (αρχικό σημείο Γ) μετά το στραγγαλισμό θα είναι ακόμη υγρός αλλά $x = 0,96$ (σημείο Δ).

Εάν αρχικά ο ατμός είναι υπέρθερμος, έστω σε $t_E = 200^\circ \text{ C}$, τότε μετά το στραγγαλισμό θα είναι πάλι υπέρθερμος αλλά τώρα σε $t_Z \cong 182^\circ \text{ C}$.

Είναι επομένως σαφές ότι εξετάζοντας τη μεταβολή αυτή στο διάγραμμα MOLLIER, προκύπτει ότι η ολική θερμότητα του συστήματος (σε όποια μορφή εξετασθεί) μολονότι παραμένει σταθερή, έχει υποστεί μείωση ποιότητας σε ότι αφορά στη χρήση της σαν μηχανική ενέργεια.

Εκτονώνοντας (στη πρώτη έστω περίπτωση με αρχική κατάσταση A) το σύστημα αδιαβατικά μέχρι $p = 1 \text{ bar}$, ενώ $I_A = 2775 \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}}$ και $x_A = 1,00$ (ξηρός ατμός) και $I_E = 2390 \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}}$. Δηλαδή διατίθενται $\Delta I = (I_A - I_E) = 385 \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}}$, μετά τον στραγγαλισμό (δηλαδή από το σημείο B) από την αδιαβατική εκτόνωση BZ, όπου $I_B = 2775 \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} = I_A$, είναι $I_Z \cong 2580 \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}}$ και $x_Z = 0,96$, ήτοι διατίθενται $\Delta I = (I_B - I_Z) = (2775 - 2580) \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} = 195 \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}}$ και επιπλέον το σύστημα τώρα από υπέρθερμος ατμός έχει μετατραπεί σε μίγμα με $x = 0,96$.

Όσον αφορά λοιπόν στη διατιθέμενη ενέργεια, αυτή υποβαθμίστηκε, κάτι το οποίο φαίνεται και από την αύξηση της εντροπίας από $S_A = S_E = 6,58 \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}}$,

$S_B = S_Z = 7,12 \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}}$, θεωρώντας τις εκτονώσεις αδιαβατικές.

Φαίνεται επομένως ότι με τη μέθοδο του στραγγαλισμού η διατιθέμενη ενέργεια που εκφράζεται σαν μεταβολή ενθαλπίας $\Delta I = (I_B - I_Z)$ από την υψηλή μέχρι τη χαμηλή πίεση (της συμπύκνωσης) είναι μικρότερη από τη διατιθέμενη μεταβολή ενθαλπίας χωρίς το στραγγαλισμό $\Delta I = (I_A - I_E)$.

Αυτό σημαίνει ότι ο στραγγαλισμός είναι μια αντιοικονομική μέθοδος ιδίως στις ναυτικές εγκαταστάσεις.

Η μικρότερη διατιθέμενη πτώση (μεταβολή) ενθαλπίας με εφαρμογή του στραγγαλισμού συνεπάγεται, από τη σχέση της ισχύος το στροβίλου, μείωση της ισχύος του στροβίλου.

Σε μειωμένη πίεση ο ειδικός όγκος του ατμού αυξάνεται και με ίσες όλες τις υπόλοιπες συνθήκες μειώνεται η παροχή του ατμού στο στρόβιλο.

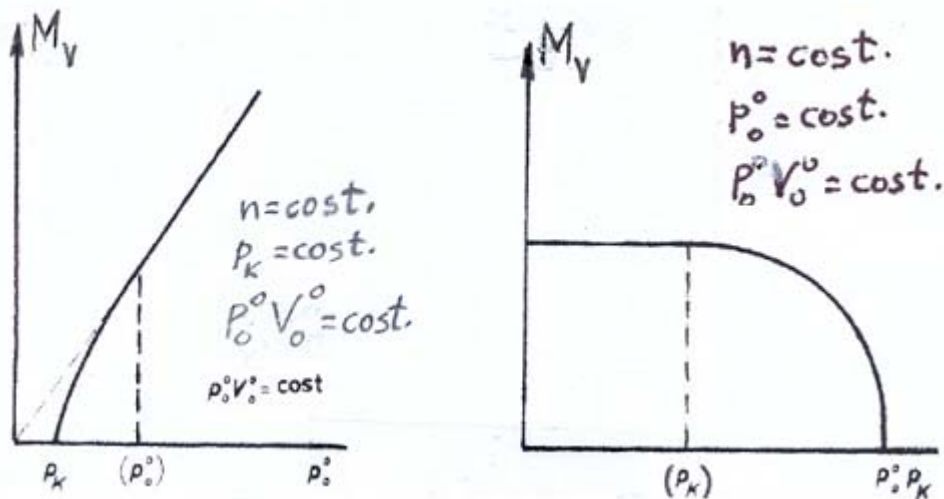
Ο στραγγαλισμός λοιπόν προκαλεί, **και** μείωση ενθαλπίας **και** μείωση παροχής του ατμού.

Όσον αφορά στην παροχή μάζας, όσο η λειτουργία παραμένει στην κρίσιμη κατάσταση, η μείωση της παροχής δίδεται από τη σχέση :

$$\frac{M'_V}{M_V} = \frac{p_0^{\circ}}{p_0^{\circ}}$$

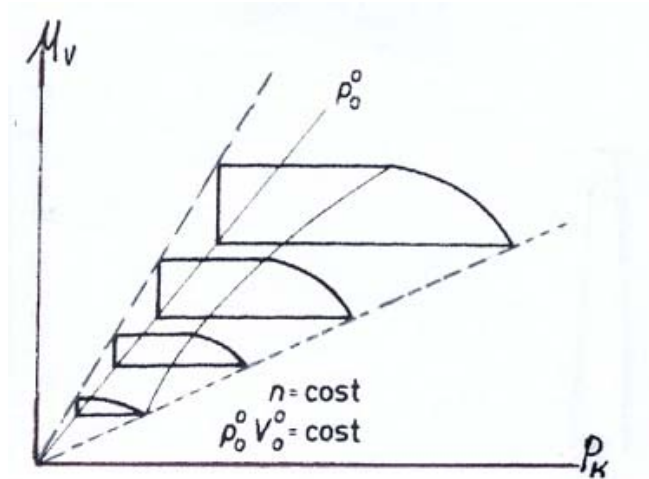
δεδομένου ότι κατά το (ισοενθαλπικό) στραγγαλισμό διατηρείται περίπου σταθερό το γινόμενο $p_0^{\circ} \times V_0^{\circ}$.

Μπορούν να σχεδιαστούν, σε συνθήκες ρύθμισης με στραγγαλισμό, οι καμπύλες $M_V = f(p_0^{\circ})$ για διάφορες τιμές της πίεσης συμπίκνωσης p_K και οι καμπύλες $M_V = f(p_K)$ για διάφορες τιμές της πίεσης p_0° .



ΣΧΗΜΑ 128

Όλες αυτές οι καμπύλες, σχεδιασμένες σε ένα ενιαίο διάγραμμα τρισδιάστατο, δημιουργούν τον κώνο των καταναλώσεων από όπου μπορεί να υπολογισθεί η πραγματική τιμή της παροχής του ατμού M_V της εγκατάστασης, με γνωστή την πίεση πριν την εκτόνωση και την πίεση συμπίκνωσης (μετά το στρόβιλο) με ίση τη γωνιακή ταχύτητα.

**ΣΧΗΜΑ 129**

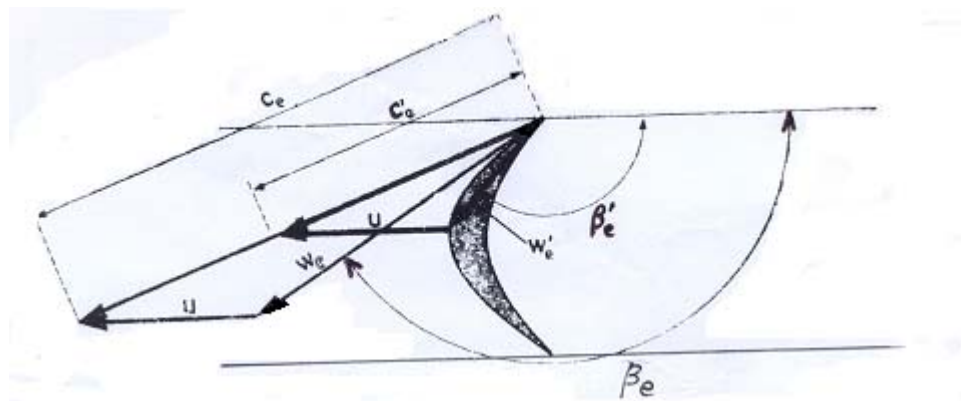
Στη συνέχεια, υπολογίζοντας τη νέα παροχή ατμού M'_V για το στρόβιλο, η νέα ισχύς υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\frac{p'_u}{p_u} = \frac{M'_V}{M_V} \times \frac{I'_0 - I'_K}{I_0 - I_K}$$

Μέχρι τώρα δεν εξετάστηκε ο βαθμός απόδοσης. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (με το στραγγαλισμό) χειροτερεύει δεδομένου ότι με τη μεταβολή της ενθαλπίας μεταβάλλεται η ταχύτητα εισόδου, ενώ παραμένει σταθερή η περιφερειακή ταχύτητα u διότι ο αριθμός στροφών είναι σταθερός, όταν ο στρόβιλος συνδέεται με γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος (alternator).

Έτσι μεταβάλλεται το τρίγωνο των ταχυτήτων στην είσοδο και η νέα σχετική ταχύτητα w'_E δεν σχηματίζει την κατασκευαστική γωνία β_e ως προς την περιφερειακή ταχύτητα u αλλά τη γωνία β'_e συνέπεια κρούσεις με απώλεια ενέργειας και τελικά αρνητική επίδραση στο βαθμό απόδοσης.

Το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίζεται κατασκευάζοντας τις πτερυγώσεις έτσι ώστε να αποδίδουν τη βέλτιστη απόδοση όχι με πλήρες φορτίο αλλά με φορτίο ελαττωμένο.

**ΣΧΗΜΑ 130**

Ο στραγγαλισμός επομένως προκαλεί μείωση και των τριών μεγεθών $\eta_{στρ.}$, M_V , ΔI . που περιλαμβάνονται στη σχέση της ισχύος και η μείωση ισχύος δεν θα είναι ανάλογη της μείωσης πτώσης της ενθαλπίας.

ΡΥΘΜΙΣΗ ΑΚΡΟΦΥΣΙΩΝ (καταμερισμός της παροχής)

Στη ρύθμιση με στραγγαλισμό, ο ατμός διασχίζει ταυτόχρονα όλα τα ακροφύσια της πρώτης βαθμίδας μετά το κεντρικό επιστόμιο ρύθμισης (παροχής του ατμού), όπου διαπιστώνεται πτώση πίεσης λόγω στραγγαλισμού.

Στη ρύθμιση με καταμερισμό της παροχής μεταβάλλεται η παροχή του ατμού χωρίς μεταβολή της πίεσης παροχέτευσης του ατμού, οπότε παραμένει σταθερή η πτώση ενθαλπίας.

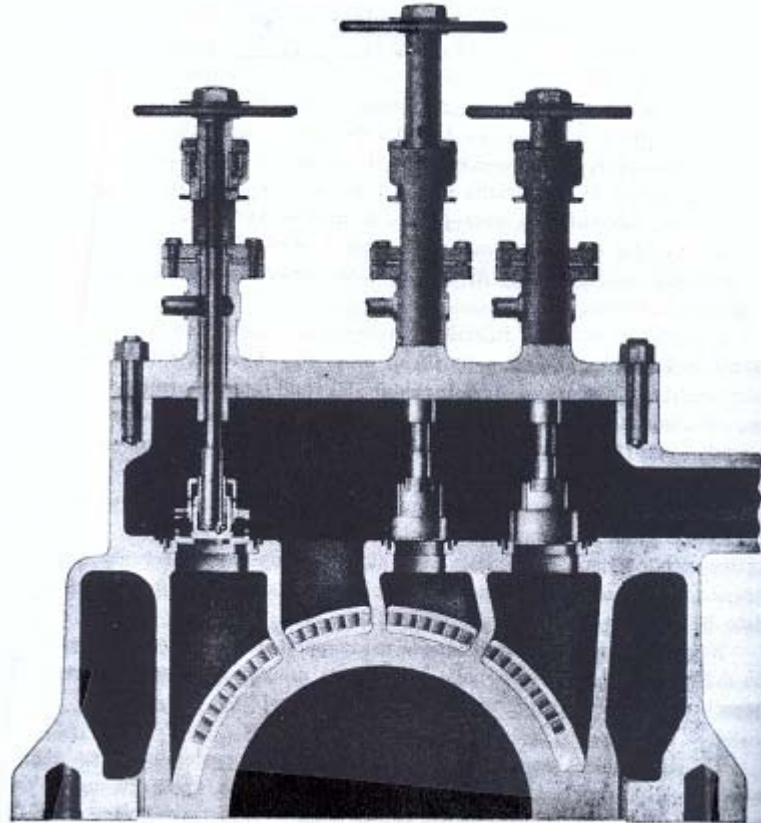
Υλοποιείται, χωρίζοντας σε τομείς το στέλεχος που περιλαμβάνει τα ακροφύσια, τα οποία τοποθετούνται περιφερειακά σε ομάδες.

Κάθε τομέας τροφοδοτείται από σωλήνωση που ελέγχεται από κατάλληλο επιστόμιο ρύθμισης.

Στη ρύθμιση με καταμερισμό της παροχής, τα ακροφύσια του πρώτου διανομέα διαιρούνται σε περισσότερες ομάδες, συνήθως από 2 έως 8, και κάθε ομάδα ελέγχεται από ξεχωριστό επιστόμιο. Σε μέγιστο φορτίο λειτουργούν όλες οι ομάδες των ακροφυσίων, ενώ η ισχύς μειώνεται όταν λόγω αναγκών κλείσει κάποια ομάδα επιστομίων.

Αυτή η μέθοδος ρύθμισης χρησιμοποιείται στους στροβίλους δράσης ή στους στροβίλους δράσης - αντίδρασης με πρώτη περυγώση δράσης. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί σε ένα μικτό σύστημα με ρύθμιση με στραγγαλισμό στα χαμηλότερα φορτία και ρύθμιση με καταμερισμό παροχής στα υψηλότερα φορτία.

Στο παρακάτω σχήμα ο τομέας διανομής με ένα σύνολο 26 ακροφυσίων περιλαμβάνει



ΣΧΗΜΑ 131

τέσσερις ομάδες, με 5 ακροφύσια οι δύο και 8 ακροφύσια οι άλλες δύο.

Τρεις ομάδες ελέγχονται από επιστόμια, ενώ η τέταρτη ομάδα είναι σε απευθείας σύνδεση με το κεντρικό επιστόμιο ελέγχου και παροχέτευσης του ατμού.

Στα χαμηλότερα φορτία όλα τα επιστόμια καταμερισμού είναι κλειστά και το φορτίο ρυθμίζεται με στραγγαλισμό από το κεντρικό επιστόμιο παροχέτευσης του ατμού.

Για αύξηση της ισχύος θα είναι εντελώς ανοικτό το επιστόμιο στραγγαλισμού και θα αυξηθεί ο αριθμός ακροφυσίων ανοίγοντας τα αντίστοιχα επιστόμια της κάθε ομάδας ακροφυσίων ανάλογα με το φορτίο. Προφανώς, με ανοικτά όλα τα επιστόμια επιτυγχάνεται η μέγιστη ισχύς.

Στη ρύθμιση με καταμερισμό παροχής του ατμού, με σταθερές τιμές σε πίεση λέβητα και πίεση στο συμπυκνωτή, προκύπτει περίπου σταθερή η αδιαβατική πτώση ενθαλπίας ανά kg ατμού, ενώ μεταβάλλεται η ποσότητα. Με τη μεταβολή του αριθμού των ακροφυσίων σε χρήση, μεταβάλλονται και οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας του ατμού στο θάλαμο εισόδου του ατμού.

Και στην περίπτωση αυτή με τη μεταβολή της ποσότητας σε σχέση με το βαθμό καταμερισμού, μεταβάλλονται οι συνθήκες ροής στο στρόβιλο και μεταβάλλονται τα τρίγωνα των ταχυτήτων. Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης επιτυγχάνεται μόνο στη μέγιστη ισχύ, ενώ στα μειωμένα (χαμηλότερα) φορτία ο βαθμός απόδοσης μειώνεται.

Πάντως, σε ότι αφορά στο βαθμό απόδοσης, το περιγραφόμενο σύστημα ρύθμισης είναι περισσότερο συμφέρον από ότι είναι η μέθοδος του στραγγαλισμού, αλλά χρησιμοποιείται στις μεγάλες εναλλαγές της ισχύος.

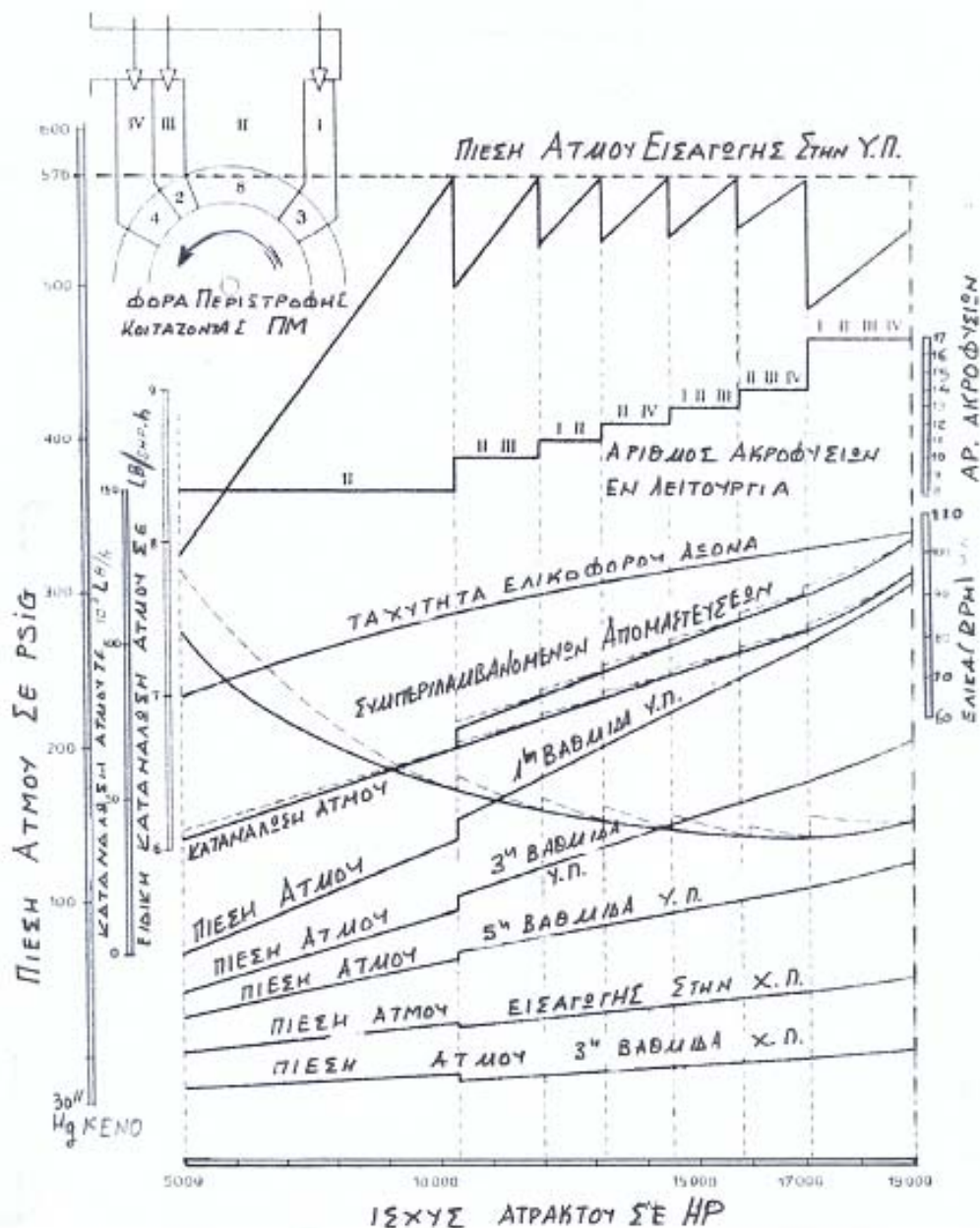
Στο σχήμα της επόμενης σελίδας, είναι χαραγμένα τα διαγράμματα για μια εγκατάσταση πρόωσης ενός στροβιλοκίνητου πλοίου με μια έλικα 47.000 τόνων, κανονικής ισχύος 17.100 SHP σε 101,4 στροφές ανά λεπτό. Οι συνεχείς γραμμές αναφέρονται στη ρύθμιση με καταμερισμό παροχής (ρύθμιση ακροφυσίων) με ανοικτό το επιστόμιο ρύθμισης και χρήση απομαστεύσεων από ισχύ 10.200 SHP χωρίς στραγγαλισμούς. Οι διακεκομμένες γραμμές παριστάνουν τις καταναλώσεις σε συνθήκες στραγγαλισμού όταν συνδυάζονται οι διάφορες ομάδες ακροφυσίων.

Η εγκατάσταση περιλαμβάνει δυο λέβητες F.W. , ο στρόβιλος Υ.Π. αποτελείται από διπλό τροχό Curtis και επτά απλά στάδια και ο στρόβιλος Χ.Π. επτά απλά στάδια με διπλή ροή δράσεως.

Ο θάλαμος εισόδου – υποδοχής του ατμού είναι παρόμοιος με το θάλαμο του σχήματος στη σελίδα 151, με τέσσερις ομάδες που περιλαμβάνουν 3, 8, 2 και 4 ακροφύσια αντίστοιχα. Η ομάδα με 8 ακροφύσια είναι σε απευθείας επικοινωνία με το κεντρικό επιστόμιο παροχέτευσης του ατμού και οι άλλες ομάδες ελέγχονται από επιστόμια καταμερισμού της παροχής του ατμού.

Με μόνη την ομάδα των 8 ακροφυσίων, στο σχήμα σημειώνεται με το II, η ισχύς φθάνει σε 10.300 HP στις $86 \frac{\text{στρ.}}{\text{λεπτό}}$ με όλες τις απομαστεύσεις κλειστές και στις $60 \frac{\text{στρ.}}{\text{min}}$ σε ισχύ 3.500 HP με ατμό σε 260 psig.

Οι απομαστεύσεις περιλαμβάνονται ξεκινώντας με 10 ακροφύσια σε λειτουργία (ομάδες II και III), η κανονική ισχύς επιτυγχάνεται με τις ομάδες II, III και IV (14 ακροφύσια) και μέγιστη ισχύς των 19000 HP με όλα τα 17 ακροφύσια ανοικτά.

**ΣΧΗΜΑ 132**

Σε συνθήκες κανονικής πορείας προβλέπονται οι παρακάτω απομαστεύσεις :

1. από την τρίτη εκτόνωση του στροβίλου Υ.Π. για γεννήτρια Χ.Π.
2. από την πέμπτη εκτόνωση του στροβίλου Υ.Π. για τον θερμαντήρα τροφοδοσίας της τρίτης βαθμίδας
3. από την εκκένωση του στροβίλου Υ.Π. ο εξαγόμενος ατμός προωθείται στο θερμαντήρα τροφοδοσίας της δεύτερης βαθμίδας και στον προθερμαντήρα αέρα
4. από την τρίτη εκτόνωση του στροβίλου Χ.Π. για το θερμαντήρα πρώτης βαθμίδας και για τον αποστακτήρα χαμηλής πίεσης.

Το κενό στον συμπυκνωτή είναι 28 inch Hg με θαλάσσιο νερό σε 75 °F στην είσοδο και 88 °F στην έξοδο.

Ο στρόβιλος της κίνησης “ανάποδα” είναι ενσωματωμένος στο στρόβιλο Χ.Π. και αποτελείται από τροχό Curtis δύο βαθμίδων και ένα ρότορα μιας βαθμίδας και αυτό τύπου δράσεως. Η πορεία “ανάποδα” είναι σχεδιασμένη να παράγει μια ροπή ίση με το 80 % της κανονικής σε πρόσω πορεία, με αριθμό στροφών στο ήμισυ του κανονικού, και είναι ικανός να προσφέρει συνεχή ισχύ περίπου 6.400 HP για περίπου μισή ώρα στις $71 \text{ στρ}/\text{min}$.