

Über die Regulierung der Kaplan Turbinen

Von
Dipl.-Ing. Aurel Bărglăzan

Sonderabdruck aus „Bulletin Scientifique“
de L'école Polytechnique de Timișoara
Band 4. Heft 3—4

1932

ÜBER DIE REGULIERUNG DER KAPLAN TURBINEN

VON

DIPL.-ING. AUREL BÄRGLĂZAN

Die Regulierung der Wasserkraftmaschinen wird im allgemeinen bei konstantem Gefälle H vorgenommen, indem die Durchflussmenge in Übereinstimmung mit der Veränderung des Nutzmomentes variiert wird. Ein Regulierungssystem ist zweckmässig, wenn der Wirkungsgrad der Wasserkraftmaschine bei den verschiedenen Durchflussmengen, respektiv der Maschinenleistung, ungefähr konstant bleibt.

Unter diesen Umständen müsste bei den Turbinen die *Euler'sche* Gleichung:

$$e g H = u_0 v_{u0} - u_a v_{ua}$$

unabhängig von der variablen Durchflussmenge sein, eine Bedingung die von selbst nicht erfüllt werden kann, da den verschiedenen Durchflussmengen verschiedene spezifische Drehzahlen N_s entsprechen, die auf verschiedene, unter den gegebenen Verhältnissen bei maximalem Wirkungsgrad arbeitende Turbinentypen hinweisen.

Um in unmittelbarer Nähe des maximalen Wirkungsgrades zu arbeiten, müssen die Elemente der Dreiecke der Eintritts- und Austrittsgeschwindigkeiten möglichst konstant gehalten werden.

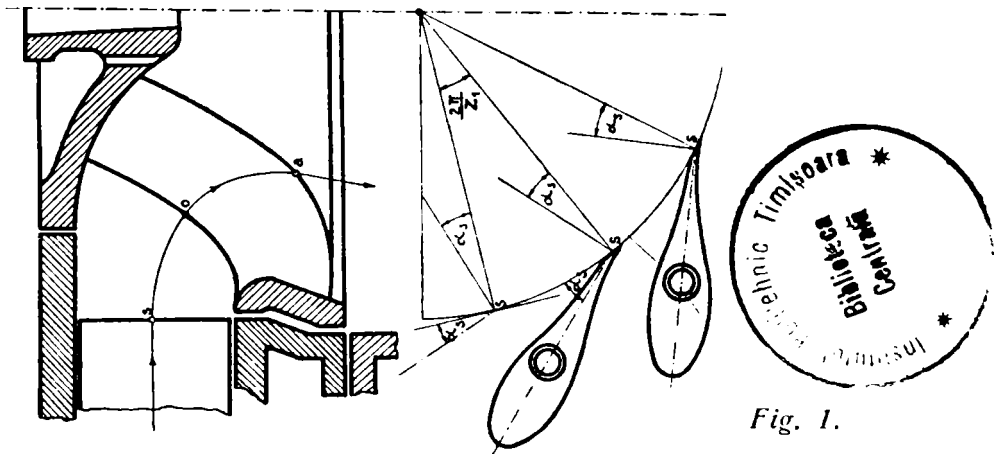


Fig. 1.

Betrachten wir den schematischen Axialschnitt Fig. 1. einer Francis-Turbine. Ihre Laufradschaufeln sind unverstellbar, die Leitrad-schaufeln drehbar (Fink'sche Drehschaufeln). Die Regulierung der Turbine geschieht also nur durch die Drehung der Leitrad-schaufeln um ihre Achse.

Die Figuren 2, 3 und 4 stellen die Geschwindigkeitsdreiecke in den Punkten s , o und a , bei normalem Austritt unter $\theta = 90^\circ$, dar.

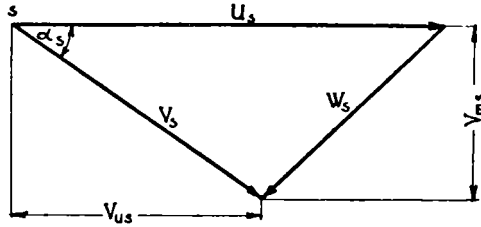


Fig. 2.

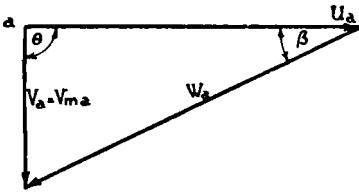


Fig. 3.

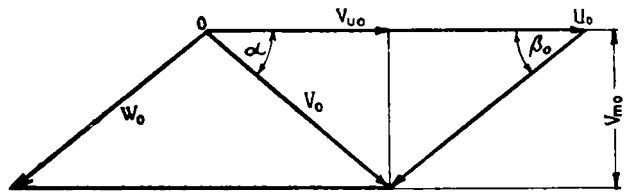


Fig. 4.

Bei stossfreiem Eintritt hat man $\alpha_s = \alpha$.

Zeichnen wir die Geschwindigkeitsdreiecke für s und o in eine einzige Figur, um die Vorgänge, die sich bei der Variation von α_s abspielen, leichter übersehen zu können (Fig. 5).

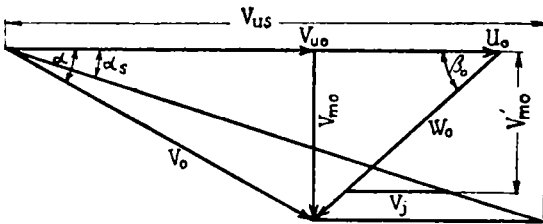


Fig. 5.

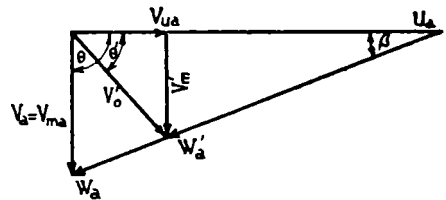


Fig. 6.

Hat man stossfreien Eintritt ins Laufrad, ist also $\alpha_s = \alpha$, so wird die Energie des Wassers auf das Laufrad bei maximalem Wirkungsgrad übertragen. Dreht man die Leitrad-schaufeln, um einen neuen Winkel α_1 zu erhalten und nimmt man an dass die Durchflussmenge unverändert bleibt, und erhält die Geschwindigkeit eine grössere Tangentialkomponente, so würde das bedeuten, dass das Laufrad dem Wasser eine noch grössere Energie entzieht, als es besitzt. Das ist nicht möglich und in Wirklichkeit sinkt die Durchflussmenge bei der Drehung der Leitrad-schaufeln um den Winkel $(\alpha_1 - \alpha_s)$, auf einen der Meridional-kompetente der Wassergeschwindigkeit v'_{mo} entsprechenden Wert. Da die Laufradschaufeln unbeweglich sind, oder, was auf dasselbe hinauskommt, da β_o konstant ist, muss das Wasser mit einer Geschwindigkeit v_j zurücklaufen, was einem Verluste $h' = \frac{v_j^2}{2g}$ entspricht. Damit sind die wich-

tigsten den verschiedenen Durchflussmengen entsprechenden Laufradverluste festgestellt.

Um diese Nachteile zu umgehen, kam *Kaplan*, ausser auf die seine Turbinen charakterisierende Beziehung: $\frac{t}{l} > 1$, auf den Gedanken, drehbare Laufradschaufeln einzuführen, um den Winkel β_0 dem Winkel α_1 jedesmal so anpassen zu können, dass die Tangentialkomponente v_j der absoluten Rücklaufgeschwindigkeit bei allen Durchflussgeschwindigkeiten null wird, wodurch man einen wichtigen Betrag der Laufradverluste ausschaltet.

Um nun die Form der die gleichzeitige Bewegung der Leitrad- und der Laufradschaufeln bewerkstelligenden Organe konstruieren zu können, muss man die zwischen den Winkeln α_1 und β_0 und der variablen Durchflussmenge Q bestehende Beziehung kennen. Deren Ableitung soll in den nachfolgenden Zeilen geschehen.

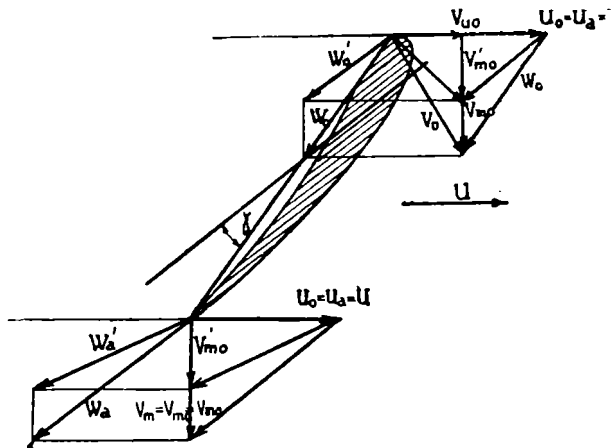


Fig. 7.

Betrachten wir eine Laufradschaufel einer *Kaplan*-Turbine, in einem abgeflachten zylindrischen Schnitt. (Fig. 7). Die Tangentialkomponenten der Ein- und Austrittsgeschwindigkeit sind einander gleich und sollen auch bei variabler Durchflussmenge möglichst konstant gehalten werden.

Aus der *Euler'schen* Gleichung:

$$e g H = u (v_{u0} - v_{ua}) = r \omega v_{u0}$$

folgt in der Tat:

$$HP = \frac{\gamma Q}{75 g} r \omega v_{u0} = \frac{\gamma u v_{u0}}{75 g} \cdot Q_1,$$

woraus geschlossen werden kann, dass die Tangentialkomponente v_{u0} der absoluten Eintrittsgeschwindigkeit konstant gehalten werden muss, wenn die Leistung nur mit der Durchflussmenge variieren soll.

Unter diesen Bedingungen nimmt das Diagramm der Eintrittsgeschwindigkeiten die aus der Fig. 8 ersichtliche Form an.

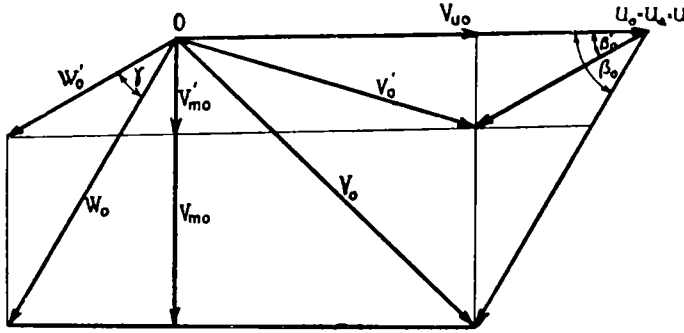


Fig. 8.

Die Hauptgleichung kann wie folgt geschrieben werden:

$$u_o v_{u o} - u_a v_{u a} = e g H$$

Die erste Bedingung für maximalen Wirkungsgrad ist $\theta = 90^\circ$, oder $v_{u a} = 0$. Es wird dann

$$u_o v_{u o} = e g H,$$

und:

$$HP = \frac{\gamma}{g} \frac{1}{75} u_o v_{u o} Q$$

Andererseits besagt das Kontinuitätsgesetz dass:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v_{m o}$$

und es folgt:

$$HP = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{1}{75} \frac{\pi D^2}{4} u_o v_{u o} v_{m o} = C v_{m o},$$

wo C eine Konstante ist.

Für den Winkel γ erhält man aus Fig. 8:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{(u - v_{u o}) \left[\frac{1}{v'_{m o}} - \frac{1}{v_{m o}} \right]}{1 + \frac{(u - u_{n o})^2}{v_{m o} v'_{m o}}}$$

Ist $v_{m o}$ die der normalen Durchflussmenge Q_n entsprechende meridionale Geschwindigkeitskomponente und $v'_{m o}$ die irgend einer Durchflussmenge Q' entsprechende, so hat man

$$\frac{\pi D^2}{4} v_{m o} = Q_n ; \quad \frac{\pi D^2}{4} v'_{m o} = Q'$$

und schreibt man zur Abkürzung:

$$K = \frac{v_{m0}}{v'_{m0}} = \frac{Q_n}{Q'} = \frac{HP}{HP'}$$

so wird:

$$(1) \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{(u - v_{u0}) |K - 1| v_{m0}}{v_{m0}^2 + K (u - v_{u0})^2}$$

Diese Beziehung ergibt die Variation des Drehwinkel der Laufradschaufeln in Funktion der durch K gekennzeichneten Leistungsänderung.

Die Beziehung zwischen dem Leitradschaufelwinkel α_s und der Leistung kann leicht abgeleitet werden, wenn man die Verluste zwischen dem Leit- und Laufrad vernachlässigt. Es ist dann:

$$(v_{us} r) = \frac{Q}{S} \cot \alpha_s r \equiv \frac{e g H}{\omega} = \text{const},$$

wo:

$$S = \pi D_1 B$$

und also:

$$(2) \quad \alpha_s = \arccot \frac{e g H S}{\omega r Q'}$$

Hieraus kann man schliessen, dass man hohe Wirkungsgrade bei einem gegebenen Gefälle auch bei variabler Durchflussmenge und unbeweglichen Leitradschaufeln erzielen kann, indem man die Drehzahl variiert, wenn es nicht notwendig ist, sie konstant zu halten; eine Bemerkung, die sehr gut auf die Kreiselpumpen passt.

Bemerkt man, dass

$$Q_n = K Q',$$

so folgt aus (1) und (2):

$$\cot \alpha_s = \frac{e g H}{\omega} \cdot \frac{S}{r} \cdot \frac{4K}{\pi D^2 v_{m0}}$$

und also:

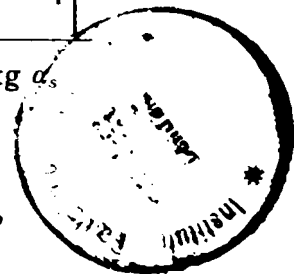
$$\gamma = \arccot \frac{(u - v_{u0}) v_{m0} \left[\frac{\omega D^2 v_{m0} \operatorname{ctg} \alpha_s}{8 e g H B} - 1 \right]}{v_{m0}^2 + (u - v_{u0})^2 \frac{\omega D^2 v_{m0}}{8 e g H B} \operatorname{ctg} \alpha_s}$$

Schreibt man noch zur Abkürzung:

$$(3) \quad A = \frac{v_{m0}}{u - v_{u0}} \quad ; \quad B = \frac{\omega D^2 v_{m0}}{8 e g H B}$$

so wird schliesslich

$$(4) \quad \gamma = \arccot \frac{A [B \operatorname{ctg} \alpha_s - 1]}{A^2 + B \operatorname{ctg} \alpha_s}$$



Diese Gleichung stellt die gesuchte, zwischen γ und α_s bestehende Beziehung dar. Fig. 9 stellt die Abhängigkeit des Winkels α_s von der Durchflussmenge und Fig. 10. die zwischen γ und α_s bestehende Beziehung dar.

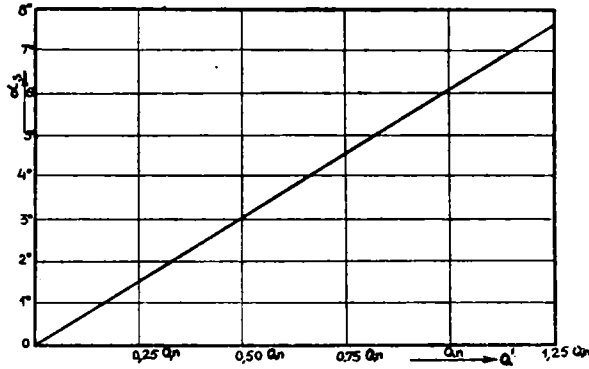


Fig. 9.

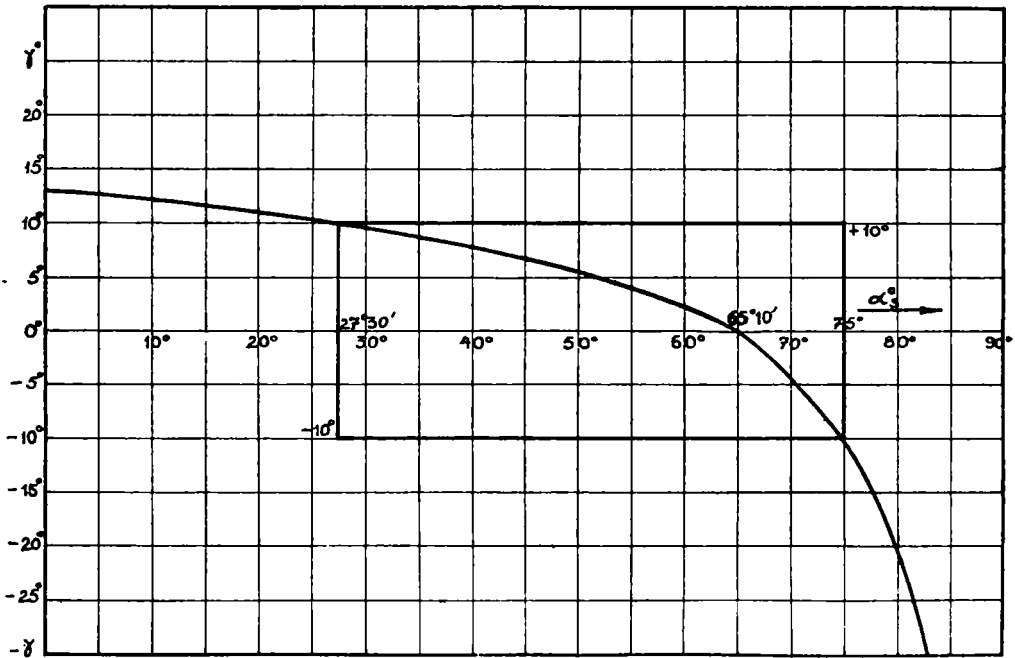


Fig. 10.

Wird die Regulierung einer Kaplan-Turbine durch einen einzigen Servomotor bewerkstelligt, so ermöglichen uns die bevorstehenden Kurven das Profil der Führungsdaumen oder, besser gesagt, des Führungsdaumens zu entwerfen. Der Servomotor wird auf die Schaufeln eines der Räder wirken, während auf die Schaufeln des anderen Rades über den mit nach bevorstehenden Kurven entworfenem Profil versehenen Führungsdaumen eingewirkt wird.

Zieht man verschiedene Werte des Wirkungsgrades e , also der Größe B in Betracht, so werden verschiedene Kurven, z. B. A' und A'' in Fig. 10, erhalten und also auch verschiedene Profile des Führungsdaumens. Da aber der Wirkungsgrad der Kaplan-Turbinen in der Nähe des Betriebspunktes sehr wenig variiert, fällt dieser Umstand nicht ins Gewicht.