



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union 

Upravljanje energijom vode (VI semestar, izborni predmet, 2+2, 5 ESPB) Predavanje: Hidrauličke turbine

Jelena Marković - Branković
GAF, Univerzitet u Nišu

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

University of Nis  www.swarm.ni.ac.rs

Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders
Project number: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP





Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union 






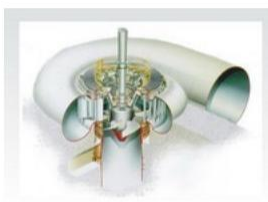
**3
HIDRAULIČKE TURBINE**

Strengthening of master curricula in water resources management
for the Western Balkans HEIs and stakeholders www.swarm.ni.ac.rs

 Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union 	
SADRŽAJ	
SADRŽAJ	2
3.1. TIPOVI TURBINA	4
3.1.1. Impulsne turbine	4
Peltonova turbina	5
Turgo turbina	8
Turbina cross-flow Banki-Michell	11
3.1.2. Reakcione turbine	11
Turbina Francis	12
Turbina Kaplan	15
Turbina Bulb	17
Drugi tipovi reakcionih turbina	20
3.2. SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA I SLIČNOST	21
3.2.1. Izrazi silenosti	21
3.2.2. Specifični broj obrtaja	23
3.3. PRELIMINARNO DIMENZIONISANJE TURBINA	25
3.3.1. Izrazi za dimenzionisanje turbine Francis	25
3.3.2. Izrazi za dimenzionisanje turbine Pelton	26
3.3.2. Izrazi za dimenzionisanje turbine Kaplan	26
3.4. KRITERIJUMI ZA IZBOR TIPOVA TURBINA	27
3.4.1. Izbor turbine u funkciji pada	27
3.4.2. Izbor turbine u funkciji pada i proticaja	28
3.4.2. Izbor turbine u funkciji specifičnog broja obrtaja	28
3.5. FENOMEN KAVITACIJE KOD TURBINA	29
3.6. UČINAK TURBINE	32

Strengthening of master curricula in water resources management
for the Western Balkans HEIs and stakeholders


www.swarm.ni.ac.rs

 Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union 		
HIDRAULIČKE TURBINE	<ul style="list-style-type: none"> ○ IMAJU ZNAČAJAN UTICAJ KOD PROJEKTOVANJA – KOMPONOVANJA HIDROCENTRALE ○ IMAJU ZNAČAJAN UDEO KOD DIMENZIONISANJA KONSTRUKCIJA ○ U SLEDEĆIM POGLAVLJEMA BIĆE PRIKAZANI: <ul style="list-style-type: none"> - TIPOVI TURBINA, - KRITERIJI ZA IZBOR TIPA TURBINE, I - PRINCIPI PRELIMINARNOG DIMENZIONISANJA TURBINA. 	
		

Strengthening of master curricula in water resources management
for the Western Balkans HEIs and stakeholders

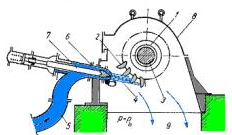
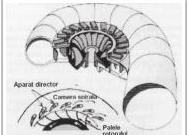

www.swarm.ni.ac.rs

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



3.1. TIPOVI TURBINA


NAČIN TRANSFORMACIJE POTENCIJALNE ENERGIJE	PRVI NAČIN	<ul style="list-style-type: none"> ○ PREKO TURBINA POTENCIJALNA ENERGIJA SE PRETVARA U MEHANIČKU ROTACIONU ENERGIJU NA DVA NAČINA: – POTENCIJALNA ENERGIJA SE TRANSFORMIŠE U KINETIČKU ENERGIJU PRE ULASKA U ROTOR TURBINE, – MLAZ VODE SA VELIKOM BRZINOM UDARA U ŠOLJICE, KOJE SU MONTIRANE PO OBODU ROTORA, I IZAZIVA ROTACIONO KRETANJE. – NAKON KONTAKTA SA ŠOLJICAMA VODA PADA U ODVODNU VADU SA JAKO SMANJENOM ENERGIJOM, – TURBINE KOJE KORISTE OVAJ MEHANIZAM NAZIVAJU SE IMPULSNE TURBINE
	DRUGI NAČIN	<ul style="list-style-type: none"> – PRITISAK VODE SE PRENOŠI NA LOPATICE ROTORA, – ROTOR JE KOMPLETNO POTOPLJEN, – KRETANJE VODE IZMEĐU LOPATICA JE POD PRITISKOM, – PRITISAK I BRZINA VODE U ROTORU OPADA U TRENUTKU KADA VODA OKREĆE ROTOR, – OVE TURBINE SE ZOVU REAKCIONE TURBINE

Strengthening of master curricula in water resources management
for the Western Balkans HEIs and stakeholders

www.swarm.ni.ac.rs

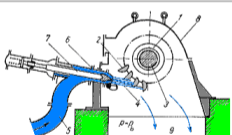
Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



3.1.1. Impulsne turbine

PELTONOVA TURBINA

KARAKTERISTIKE	<ul style="list-style-type: none"> ○ PELTONOVU TURBINU ČINI HIDRAULIČKI TOČAK KOGA TANGENCIJALNO UDARA JEDAN ILI VIŠE MLAZOVA VODE; ○ TANGENCIJALNA SILA (impuls = masa vode x brzina vode) IZAZIVA OBRITNI MOMENAT KOJI SE PREKO OSOVINE PRENOŠI NA GENERATOR; ○ GLAVNI KONSTRUKTIVNI ELEMENTI TURBINE SU: ROTOR, INJEKTOR, DISTRIBUTOR I KANAL ZA EVAKUACIJU VODE.
ROTOR (1)	<ul style="list-style-type: none"> ○ METALNI DISK <ul style="list-style-type: none"> – PO OBODU NA JEDNAKOM ODSTOJANJU IMA LOPATICE OBLIKA KAŠIKE (2); – DISK JE SPOJEN SA GENERATOROM PREKO OSOVINE (3); – OSOVINA MOŽE BITI HORIZONTALNA ILI VERTIKALNA (3); ○ KUČIŠTE, PREDSTAVLJA ZAŠTITU ROTORA (8)
INJEKTOR (6)	<ul style="list-style-type: none"> ○ POSEĐUJE IGLU (7) KOJA REGULIŠE PROTICAJ; ○ SA BROJEM (4) OZNAČEN JE MLAZ VODE;
DISTRIBUTOR (5)	<ul style="list-style-type: none"> ○ USMERAVA VODU PREMA INJEKTORU; ○ UKOLIKO POSTOJI VIŠE INJEKTORA (2 – 6) NJIH PRATI (2 - 6) DISTRIBUTORA.
KANAL ZA EVAKUACIJU VODE (9)	<ul style="list-style-type: none"> ○ EVAKUIŠE VODU IZ TURBINE I ČINI DONJU VODU. ○ PRITISAK NA IZLAZU JE P_1 I ON JE JEDNAK BAROMETARSKOM PRITISKU P_b, PA SE ZATO OVA TURBINA ZOVE TURBINA JEDNAKOG PRITISKA. $P = P_b$



SI.3.1. Turbina Pelton (P)

Strengthening of master curricula in water resources management
for the Western Balkans HEIs and stakeholders



www.swarm.ni.ac.rs

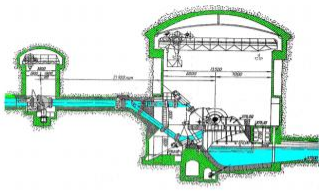
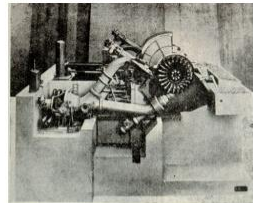

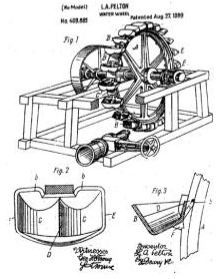
 Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union 


Peltonove turbine




Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders www.swarm.ni.ac.rs


 Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union 

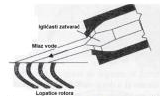

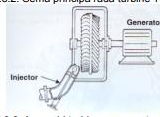
Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders www.swarm.ni.ac.rs



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



TURGO TURBINA

KARAKTERISTIKE	<ul style="list-style-type: none"> ○ IMA ISTE ELEMENTE, KAO I TURBINA PELTON, ○ RAZLIKA JE U: <ul style="list-style-type: none"> - OBLIKU LOPATICA, I - NAČINU USMERAVANJA MLAZA VODE INJEKTORA. ○ MLAZ VODE JE USMER U PRAVCU POVRŠINE ROTORA ○ MLAZ VODE UDARA POVRŠINU ROTORA POD UGLOM OD 20°. ○ VODA ULAZI U ROTOR SA JEDNE STRANE I IZLAZI NA DRUGU STRANU 	  <p style="font-size: small;">Sl.3.2. Šema principa rada turbine Turgo</p>
PRIMENA TURBINE TURGO	<ul style="list-style-type: none"> ○ KORISTI SE ZA MIKROHIDROCENTRALE ○ KORISTI SE ZA PADOVE KOJI SU MANJI OD RASPONA U KOJIMA SE KORISTE TURBINE PELTON ○ KORISTI SE ZA PADOVE DO 30m SA VELIKIM PROTICAJIMA ○ BRZINA ROTORA JE VEĆA I MOŽE DA SE DIREKTNO VEŽE ZA GENERATOR. ○ NISU POTREBNI PRENOSNICI ZA POVEĆANJE BROJA OBRTAJA GENERATORA. ○ DISPOZICIJA REŠENJA JE DATA NA SL.3.3. 	 <p style="font-size: small;">Sl.3.3. Ansambli turbine – generator kod primene Turgo turbine</p>
PREDNOST U ODNOSU NA PELTONOVU TURBINU	<ul style="list-style-type: none"> ○ KOD PELTONOVE TURBINE INSTALISANI PROTICAJ JE USLOVLJEN NEMEŠANJEM VODE JEDNE LOPATICE SA VODOM DRUGE LOPATICE. ○ KOD TURBINE TURGO TAJ PROBLEM NE POSTOJI JER VODA ULAZI SA JEDNE STRANE ROTORA I IZLAZI NA DRUGU STRANU. 	

Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders
www.swarm.ni.ac.rs



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union








Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders
www.swarm.ni.ac.rs

swarm

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union



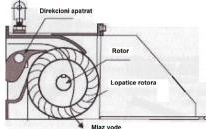
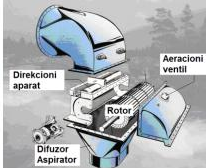
Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders

www.swarm.ni.ac.rs

swarm


Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

TURBINA CROSS-FLOW BANKI-MICHELL


TVORCI TURBINE	<ul style="list-style-type: none"> MICHELL JE TVORAC KONCEPTA TURBINE CROSS-FLOW (UNAKRSNOG TOKA), PATENTIRAN 1903. 1920. DONAT BANKI SA UNIVERZITETA U BUDIMPEŠTI PONOVO OBOVLJA IDEJU MICHELL-A. 	 <p>Sl.3.4. Princip rada turbine cross-flow</p>  <p>Sl.3.5. Blok turbine cross-flow proizvodnje Ossberger</p>
KARAKTERISTIKE TURBINE	<ul style="list-style-type: none"> MLAZ VODE PRLAZI UPRAVNO DVA PUTA PREKO LOPATICA KOJE SU POSTAVLJENE PO OBODU ROTORA, SL.3.4. MLAZ VODE SE USMERAVA DIREKCIJONIM APARATOM KOJI JE POSTAVLJEN UZVODNO OD ROTORA. PRVO MLAZ VODE PROLAZI IZMEĐU LOPATICA I USMERAVA SE UPRAVNO PREMA OSOVINI ROTORA. NAKON ULASKA U PRAZAN PROSTOR ROTORA MLAZ SE USMERAVA PREMA SPOLJAŠNJEM DELU ROTORA PROLAZEĆI PONOVO IZMEĐU LOPATICA, SL.3.4. KINETIČKA ENERGIJA MLAZA DVA PUTA SE PRETVARA U ROTACIONU ENERGIJU. TURBINA JE UVRŠTEN U KATEGORIJU IMPULSNIH TURBINA. AKO JE DIREKCIJONNI APARAT POTPUŠNO OTVOREN, A PROTICAJ RASTE I CEO PROSTOR ROTORA JE ISPUJEN VODOM, TURBINA RADI KAO REAKCIJNA. NEMAČKA FIRMA OSSBERGER IZ NEMAČKE JE GLAVNI PROIZVEĐEĆ OVOG TIPA TURBINE, SA PROIZVEDENIH PREKO 7000 TURBINA. TURBINU ČINI JEDAN MONOBLOK KOJI SE LAKO INSTALIRA U PROJEKTOVANO REŠENJE, SL.3.5. 	
PREDNOST	<ul style="list-style-type: none"> PRIMA VELIKI RASPON PADOVA OD 2 DO 100 m, ODRŽAVA DOBAR UČINAK KOD PROMENE PROTICAJA. 	

Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders

www.swarm.ni.ac.rs

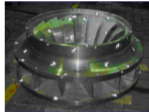
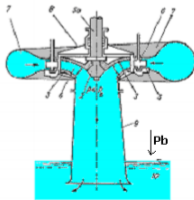


Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union




3.1.2. Reakcione turbine

TURBINA FRANCIS


ROTOR (1)	○ PREDSTAVLJA POKRETNI MEHANIČKI DEO TURBINE		
	○ TRUP (2)		<ul style="list-style-type: none"> - NA TRUPU SU POSTAVLJENA DVA PRSTENA (3). - PRSTENI SU POSTAVLJENI JEDAN ISPOD DRUGOG. - IZMEDJU DVA PRSTENA SE NALAZI ODBEDJENI BROJ LOPATICA (4) KOJE FORMIRAJU KANALE KROZ KOJE TEČE VODA SA SVOJOM HIDRAULIČKOM ENERGIJOM.
	○ OŠOVINA (5A)		<ul style="list-style-type: none"> - ROTOR JE POVEZAN SA GENERATOROM PREKO OŠOVINE. - OŠOVINA MOŽE BITI VERTIKALNA ILI HORIZONTALNA - AKO JE OŠOVINA VERTIKALNA ONDA JE TO VERTIKALNA FRANCISOVA TURBINA I OBRNUTO.
	○ KUČIŠTE ROTORA (8)		<ul style="list-style-type: none"> - ČINI METALNI POKLOPAC.
DIREKCIONI APARAT-STATOR (5)	<ul style="list-style-type: none"> ○ POSTAVLJEN JE KONCENTRIČNO U ODNOSU NA ROTOR (5). ○ DIREKCIONI APARAT POSEDUJE POKRETNE LOPATICE (6). ○ LOPATICE REGULIŠU I USMERAVAJU PROTICAJ U KANALE ROTORA . 	 <p style="text-align: center; font-size: small;">Sl.3.6.Turbina Francis (F)</p>	
SPIRALA (7)	<ul style="list-style-type: none"> ○ PREDSTAVLJA VEŽU IZMEDJU CEVOVODA I ROTORA. ○ SPIRALA USMERAVA RAVNOMERNO PROTICAJ PO OBODU STATORA. 		
DIFUZOR - ASPIRATOR (9)	<ul style="list-style-type: none"> ○ DIFUZOR – ASPIRATOR PRIHVATA VODU KOJA NAPUŠTA ROTOR. ○ EVAKUIŠE VODU U NIZOVNI BAZEN (10). ○ KRETAJNE VODE JE U ZATVORENOM SISTEMU. PRITISAK VODE P NA IZLAZU IZ ROTORA JE MANJI OD BAROMETARSKOG PRITISKA P_0. <p style="text-align: center; margin-top: 5px;">$P < P_0$</p>		

Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders

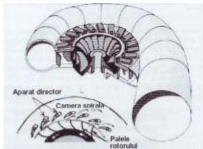
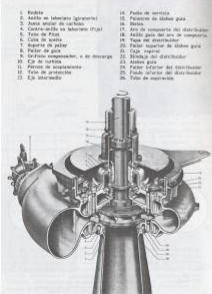
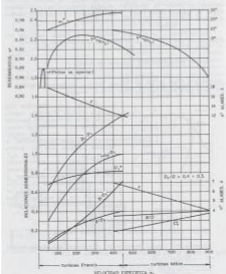
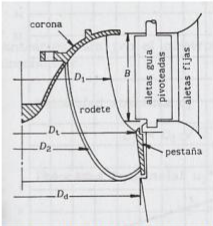
www.swarm.ni.ac.rs



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union





PRIMENA TURBINE FRANCIS

	<ul style="list-style-type: none"> ○ KORISTI SE ZA PADOVE OD 20 DO 700 m ○ KORISTI SE ZA SNAGE OD NEKOLIKO KILOVATA DO 1000 MW ○ DIMENZIJE SE KREĆU OD NEKOLIKO DESETINA cm DO 10 m ○ KORISTI SE ZBOG: <ul style="list-style-type: none"> - VRLDOBROG UČINKA - POKRIVANJA VELIKOG RASPONA PADOVA I PROTICAJA 	 <p style="font-size: small;">Sl.3.7. Elementi turbine Francis</p>
		 <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">Zadatak za dopunu znanja: Sva objašnjenja se mogu naći na internetu vezano za dimenzionisanje Filmovi/Animacija turbina Francis - Funcionamiento.fv</p>

Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders

www.swarm.ni.ac.rs


Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union 



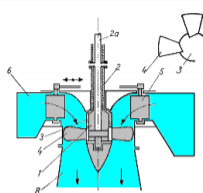
Francisove turbine

Strengthening of master curricula in water resources management
for the Western Balkans HEIs and stakeholders

www.swarm.ni.ac.rs



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union 


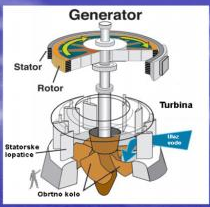
TURBINA KAPLAN

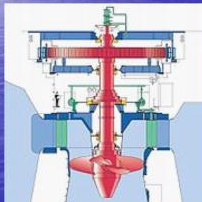
ROTOR (1)	<ul style="list-style-type: none"> ROTOR IMA OBLIK ELISE AVIONA. 	 <p style="text-align: center;">Sl.3.8. Elementi turbine Kaplan</p>
	<ul style="list-style-type: none"> OSOVINA ROTORA (2) TRUP ROTORA (3) 	
DIREKCIONI APARAT-STATOR (5)	<ul style="list-style-type: none"> DIREKCIONI APARAT SA SVOJIM LOPATICAMA USMERAVA VODU PREMA OBOJU LOPATICA ROTORA I REGULIŠE PROTICAJ U FUNKCJI BROJA OBRTAJA GENERATORA; 	
SPIRALA (6)	<ul style="list-style-type: none"> USMERAVA VODU PREMA DIREKCIONOM APARATU (5). SPIRALA IMA SPECIJALNI OBLIK: POLIGONALNI ILI KRUŽNI PRESEK. IZVODI SE OD ARMIRANOG BETONA KOJI JE SA UNUTRAŠNJE STRANE OBLOŽEN ČELIČNIM LIMOM. 	
DIFUZOR - ASPIRATOR (8)	<ul style="list-style-type: none"> PRIHVATA VODU KOJA NAPUŠTA TURBINU I ODVODI JE PREMA DONJOJ VODI. SISTEM JE ZATVOREN. PRITISAK VODE P NA IZLAZU IZ TURBINE JE MANJI OD BAROMETARSKOG P_b. $P < P_b$	
KARAKTERISTIKE	<ul style="list-style-type: none"> KAPLANOVE TURBINE IMAJU VISOK UČINAK, PREKO 90%, ZA PROTICAJE U ŠIROKIM GRANICAMA KAPLANOVE TURBINE SE KORISTE ZA MALE PADOVE, DO 30 m I VELIKE PROTICAJE 	

Strengthening of master curricula in water resources management
for the Western Balkans HEIs and stakeholders

www.swarm.ni.ac.rs



 Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union 

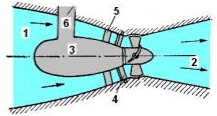







Kaplanove turbine


Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders www.swarm.ni.ac.rs

 Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union 


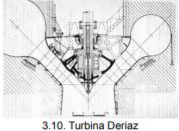


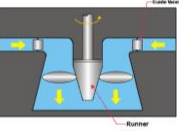

TURBINA BULB		
KARAKTERISTIKE	<ul style="list-style-type: none"> ○ SLIČNA JE KAPLANOVOJ TURBINI – IMA ROTOR U OBLIKU ELISE AVIONA; ○ OSOVINA TURBINE ZAKLAPA VRLA MALI UGAO SA HORIZONTALOM ILI JE HORIZONTALNA; 	
UZVODNA KOMORA (1)	<ul style="list-style-type: none"> ○ JE U OBLIKU CEVI BEZ KRIVINA; ○ ČETVRTASTOG JE POPREČNOG PRESEKA; ○ OMOGUĆUJE DIREKTAN PRISTUP VODE DO STATORA- DIREKCIONOG APARATA I ROTORA BEZ HIDRAULIČKIH GUBITAKA; 	 <p>3.9. Poprečni presek kroz turbinu</p>
ASPIRATOR – DIFUZOR (2)	<ul style="list-style-type: none"> ○ JE TAKODE U OBLIKU CEVI ○ EVAKUIŠE VODU KOJA JE PROŠLA KROZ TURBINE; ○ NALAZI SE U PRODUŽETKU UZVODNE KOMORE; 	
TRUP ROTORA (3)	<ul style="list-style-type: none"> ○ PREKO ZAPTIVNE DILATACIJE SE PRODUŽAVA U UZVODNU KOMORU. ○ ČINI METALNI ŠTIT U OBLIKU KAPI VODE. ○ U UNUTRAŠNOSTI TRUPA SE NALAZI GENERATOR. ○ KONSTRUKCIJA JE SLIČNA TURBINAMA VETRENAJAČA. 	
DIREKCIONI APARAT (4)	<ul style="list-style-type: none"> ○ UŠMERAVA VODU PREMA ROTORU. 	
UKRUĆENJA – NOSAČI TURBINE (5)	<ul style="list-style-type: none"> ○ UKRUĆENJA KOJA DRŽE TURBINU. 	
PRISTUPNI ŠAHT DO GENERATORA (6)	<ul style="list-style-type: none"> ○ KORISTI SE ZA PRISTUP GENERATORU U SLUČAJU REVIZIJE RADA GENERATORA. ○ ULAZ U GENERATOR SE ZAVRŠAVA U BETONSKOJ KONSTRUKCIJI TURBINE. 	

Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders www.swarm.ni.ac.rs

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union 





DRUGI TIPOVI REAKCIONIH TURBINA

TURBINA DERIAZ	<ul style="list-style-type: none"> POSEDUJE ROTOR SA LOPATICAMA KOJE SE MOGU PODEŠAVATI. RAZLIKUJE SE OD TURBINE KAPLAN PO PRAVCU KRETANJA VODE. VODA NAPADA ROTOR POD UGLOM 30°...40° 			
PROPELERNI TURBINA	<ul style="list-style-type: none"> LOPATICE ROTORA SU FIKSNE I NE ZAHITVAJU POSEBNO PODEŠAVANJE. PRIMENJUJE SE KAD JE PAD SKORO KONSTANTAN. ELISA JE SLIČNA VANBRODSKOM MOTORU. 		 	
TURBINA STRAFLO	<ul style="list-style-type: none"> OVA TURBINE JE AKSIJALNA. GENERATOR SE NALAZI VAN PRAVCA STRUJANJA VODE. 			

Strengthening of master curricula in water resources management
for the Western Balkans HEIs and stakeholders

www.swarm.ni.ac.rs

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union 




3.2. SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA I SLIČNOST


PRIMENA SPECIFIČNOG BROJA OBRTAJA n_s	<ul style="list-style-type: none"> SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA TURBINE NE ZAVISI OD GEOMETRIJSKE VELIČINE TURBINE. NA BAZI SPECIFIČNOG BROJA OBRTAJA MOŽE SE IZRADITI NOVA TURBINA UVEĆANJEM DIMENZIJA POZNATE TURBINE. SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA JE GLAVNI KRITERIJUM ZA IZBOR TIPA TURBINE ZA POZNATE ENERGETSKE KARAKTERISTIKE HIDROCENTRALE. POLAZEĆI OD POZATIH VELIČINA : <ul style="list-style-type: none"> PADA, NOMINALNOG PROTICAJA TURBINE, I POZNATOG BROJA OBRTAJA GENERATORA (o/min). ZA NAVEDENE PODATAKE SRAČUNAVA SE SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA I BIRA TIP TURBINE.
DEFINICIJA SPECIFIČNOG BROJA OBRTAJA	<ul style="list-style-type: none"> SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA JE BROJ OBRTAJA IDEALNE TURBINE KOJA PROIZVODI JEDINIČNU SNAGU NA JEDINIČNOM PADU (1 kW na 1 m). SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA ISPORUČUJE FABRIKA KOJA PROIZVODI TURBINU I ONA JE ODGOVORNA ZA MAKSIMALNI UČINAK TURBINE. NA BAZI SPECIFIČNOG BROJA OBRTAJA U PRELIMINARNIM PRORAČUNIMA MOGU SE ODREDITI GLAVNE DIMENZIJE TURBINE, A NA BAZI NJIH I VELIČINA ZGRADE HC.

Strengthening of master curricula in water resources management
for the Western Balkans HEIs and stakeholders


www.swarm.ni.ac.rs



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union




3.2.1. IZRAZI SLIČNOSTI


PROJEKTOVANJE TURBINA	<ul style="list-style-type: none"> o VEĆINA HIDROTEHNIČKIH KONSTRUKCIJA BAZIRA NA ANALIZAMA KOJE SE IZVODE NA MODELU MANJIH RZMERA. o TEORIJA SLIČNOSTI PREDSTAVLJA OSNOVU ZA PRLAZAK SA MODELA NA PROTOTIP (KONSTRUKCIJA PRIRODNE VELIČINE). 	
PRVI USLOV SLIČNOST	<ul style="list-style-type: none"> o MODEL I PROTOTIP MORAJU BITI GEOMETRIJSKI SLIČNI 	<ul style="list-style-type: none"> - GEOMETRIJSKA SLIČNOST MODELA DOBLJA SE AKO SE SVE DIMENZIJE PROTOTIPA PODELE SA KOEFICIJENTOM RAZMERE (k); - AKO SE KOEFICIENT RAZMERE (k) ODNOSI NA DUŽINE, ONDA JE KOEFICIJENT RAZMERE ZA PLOŠTINU (k^2); - KOEFICIJENT RAZMERE ZA ZAPREMINU JE (k^3).
DRUGI USLOV SLIČNOST	<ul style="list-style-type: none"> o IDENTIČNOST KOEFICIJENTA PROTICAJA KOD TURBINA 	<ul style="list-style-type: none"> - KOEFICIJENT PROTICAJA DEFINISAN JE IZRAZOM: $\frac{Q}{A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}$, GDE JE: Q - PROTICAJ; A - POVRŠINA PROTICAJNOG PROFILA; H - PAD
KOEFICIJENT PROTICAJA	<ul style="list-style-type: none"> o USLOV DA I MODEL I PROTOTIP IMAJU ISTI KOEFICIJENT PROTICAJA DEFINISAN JE IZRAZOM: 	$\frac{Q}{Q_m} = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot H}}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_m}} \cdot \frac{A}{A_m} = \left(\frac{H}{H_m}\right)^{1/2} \cdot k^2$ <p style="text-align: center;">..... 3.1.</p> <p style="text-align: center;">m - INDEKS KOJI OZNAČAVA MODEL</p>
ODNOS SNAGE PROTOTIPA I MODELA	$\frac{P}{P_m} = \frac{H \cdot Q}{H_m \cdot Q_m} = \left(\frac{H}{H_m}\right)^{3/2} \cdot k^2$ <p style="text-align: center;">..... 3.2.</p>	JEDINICE MERE ZA PROTICAJ SU SI SISTEMU, A SNAGA U KW
ODNOS BRZINE TEČENJA	$\frac{V}{V_m} = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot H}}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_m}} = \left(\frac{H}{H_m}\right)^{1/2}$ <p style="text-align: center;">..... 3.3.</p>	
ODNOS BROJA OBRTAJA	$\frac{n}{n_m} = \frac{V}{V_m} = \left(\frac{H}{H_m}\right)^{1/2} \cdot \frac{1}{k}$ <p style="text-align: center;">..... 3.4.</p>	 <p>IZ 3.4 SLEDI DA JE :</p> $k^2 = \left(\frac{H}{H_m}\right) \cdot \frac{n_m^2}{n^2}$

Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders

www.swarm.ni.ac.rs



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



ODNOS SNAGE PREKO BROJA OBRTAJA	<ul style="list-style-type: none"> o AKO U IZRAZ 3.2 UVRSTIMO VREDNOST ZA K IZ IZRAZA 3.4, DOBIJAMO ODNOS SNAGE U FUNKCiji BROJA OBRTAJA: $\frac{P}{P_m} = \left(\frac{H}{H_m}\right)^{3/2} \cdot \left(\frac{H}{H_m}\right) \cdot \left(\frac{n_m}{n}\right)^2 = \left(\frac{H}{H_m}\right)^{5/2} \cdot \left(\frac{n_m}{n}\right)^2$ <p style="text-align: center;">..... 3.5.</p>	
--	---	--


3.2.2. SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA

DEFINICIJA SPECIFIČNOG BROJA OBRTAJA	<ul style="list-style-type: none"> o AKO TESTIRANI MODEL IMA PAD $H_m = 1\text{ m}$ I PROTICAJ Q_m KOJI OMUGUĆUJE DA TURBINA MODEL IMA SNAGU OD $P_m = 1\text{ kW}$, ONDA SE BROJ OBRTAJA TURBINE MODEL NAZIVA SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA $n_m = n_s$ (o/min), ODNOSNO IZ 3.5., SLEDI: $n_s = n \cdot \frac{\sqrt{P}}{H^{5/4}} \quad [\text{o/min}]$ <p style="text-align: center;">..... 3.6.</p> <ul style="list-style-type: none"> o SVAKA TURBINA KOJA UVAŽAVA ODNOS IZ IZRAZA, BEZ OBRZIRA NA ABSOLUTNE DIMENZIJE IMAĆE ISTI SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA. o AKO SE NAKON STALNIH ISPITIVANJA I KOREKCIJA NA MODELU DOBIE MAKSIMALNI UČINAK, ONDA ĆE I SVE OSTALE TURBINE PROTOTIP TOG MODELA IMATI ISTI MAKSIMALNI UČINAK. o ALTERNATIVNA FORMULA ZA SRAČUNAVANJE SPECIFIČNOG BROJA OBRTAJA SE DOBIA AKO SE U IZRAZU 3.5 UMESTO P/P_m UVRSTI $P = 9.81 \cdot Q \cdot H$; $P_m = 9.81 \cdot Q_m \cdot H_m = 1\text{ kW}$, $H_m = 1$, $n_m = n_s$, SLEDI: $\frac{9.81 \cdot Q \cdot H}{1} = \left(\frac{H}{H_m}\right)^{5/2} \cdot \left(\frac{n_s}{n}\right)^2 \Rightarrow n_s = 0.319 \cdot n \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad [\text{o/min}]$ <p style="text-align: center;">..... 3.7.</p>	
---	--	--


- o NA SL.3.11. DATE SU VREDNOSTI SPECIFIČNOG BROJA OBRTAJA U FUNKCiji TIPA TURBINE.
- o ZAVISNOST IZMEĐU SPECIFIČNOG BROJA OBRTAJA I ROTORA REAKCIONIH TURBINE JE PRIKAZAN NA SL.3.12.
- o MOŽE SE ZAKLJUČITI DA FRANCISOV SPORI ROTOR ODGOVARA VRELO VELIKOM PADU.
- o ZA PADOVE OD cca 100 m PRIMENJUJE SE NORMALNI FRANCISOV ROTOR.
- o KORELACIJOM SLIKE 3.11. I 3.12. MOŽE SE ZAKLJUČITI DA ZA PADOVE IZMEĐU 20 I 30 m MOŽE SE KORISTITI TURBINE KAPLAN SA ULTRA BRZIM ROTOROM (VRELO BRZIM).

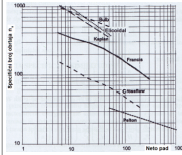
Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders

www.swarm.ni.ac.rs

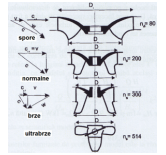


Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

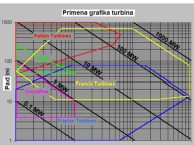




Sl.3.11. Specifični broj obrtaja nekih tipova turbina



Sl.3.12. Zavisnost specifičnog broja obrtaja i oblika rotora turbina



Prema knjiz Dorin Pavel, za ruske turbine raspon broja obrtaja

Tip turbine	Pad (m)	H (m)	n_0 (1/s)
Pelton	300-2000	250-1000	45.7
Francis	100-500	300-60	70-1500
Kaplan	10-80	860-300	70-750

SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA NEKIH TURBINA (n_s)

- SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA DEFINIŠE PROIZVODAČ.
- OBRASCI SU EMPIRISKOG KARAKTERA I ZASNIVAJU SE STATISTIČKIM ANALIZAMA.
- OVI OBRASCI SE KORISTE U FAZI PRELIMINARNOG DIMENZIONISANJA TURBINE.

– TURBINA PELTON $n_s = 85.49 / H^{0.243}$
 – TURBINA FRANCIS..... $n_s = 85.49 / H^{0.243}$
 – TURBINA KAPLAN..... $n_s = 85.49 / H^{0.243}$
 – TURBINA CROSS-FLOW... $n_s = 85.49 / H^{0.243}$
 – TURBINA BULB..... $n_s = 85.49 / H^{0.243}$


BROJ OBRTAJA TURBINE (n)

- BROJ OBRTAJA TURBINE JEDNAK JE BROJU OBRTAJA GENERATORA ($n = n_2$).
- BROJ OBRTAJA GENERATORA ZAVISI OD BROJA POLOVA (p) I FREKVENCIJE RAZVODNE MREŽE $f = 50$,
 $n_2 = 60 \cdot f / p$


p	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	24	28	30	32	36	40	48
n	1500	1000	750	600	500	428	375	300	250	214	187	166	150	125	107	100	93	83	75	62.5

Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders

www.swarm.ni.ac.rs



Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union



3.3. PRELIMINARNO DIMENZIONISANJE TURBINA

NAPOMENA

- U OKVIRU OVOG PARAGRAFA DATI SU IZRAZI ZA **PRELIMINARNO DIMENZIONISANJE TURBINA PREMA PRIRUČNIKU ESHA (EUROPEAN SMALL HYDROPOWER ASSOCIATION) IZ 2004.**
- IZRAZI SU PO PRIRODI EMPIRIJSKI I BAZIRAJU NA STATISTIČKOJ ANALIZI.
- TREBA NAPOMENITI, DA JE DIMENZIONISANJE TURBINE ITERATIVNI POSTUPAK, KOJI BAZIRA NA STUDIJU MODELA.
- DIMENZIONISANJE TURBINE VODI RAČUNA O VELIKOM BROJU DODATNIH KRITERIJUMA, KAO ŠTO SU: KAVITACIJA, PERIFERNA BRZINA ROTORA, NOMINALNI BROJ OBRTAJA ITD.
- **STANDARD IEC 60139 (HYDRAULIC TURBINES, STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES – MODEL ACCEPTANCE TESTS)** DEFINIŠE ZA DIMENZIONISANJE TURBINA ALTERNATIVNI BROJ OBRTAJA:

$$n_{0E} = \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{E^{3/4}} \dots\dots\dots 3.9.$$

GDE JE E SPECIFIČNA HIDRAULIČKA ENERGIJA U ODNOSU NA MASU VODE U (J/kg), $E = g \cdot H$.
- IZRAZI ZA SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA, KOJI JE DEFINESAM U PRETHODNOM PARAGRAFU I SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA DEFINISAN NOVIM ASTANDARDOM JE:

$$n_s = 995 \cdot n_2 \dots\dots\dots 3.10.$$

3.3.1. IZRAZI ZA DIMENZIONISANJE TURBINE FRANCIS

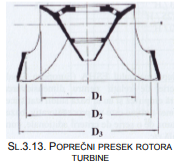
IZRAZI

- OZNAKE SE ODNOSU NA **POPREČNI PRESEK ROTORA TURBINE, SL. 3.13.**

$$D_3 = 84.5 \cdot (0.31 + 2.488 \cdot n_{0E}) \cdot \frac{\sqrt{H}}{60 \cdot n} \dots\dots\dots 3.11.$$

$$D_1 = \left(0.4 + \frac{0.095}{n_{0E}} \right) \cdot D_3 \dots\dots\dots 3.12.$$


$$D_2 = \frac{D_3}{0.96 + 0.3781 \cdot n_{0E}} \dots\dots\dots 3.13.$$




Sl.3.13. POPREČNI PRESEK ROTORA TURBINE

Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders

www.swarm.ni.ac.rs

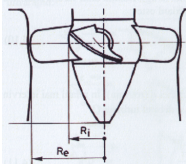


Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union
 

3.3.2. IZRAZI ZA DIMENZIONISANJA TURBINE PELTON

IZRAZI	<ul style="list-style-type: none"> ○ IZRAZI SU DATI U FUNKCJI BROJA OBRTAJA n (o/min). ○ U IZRAZIMA SE JOŠ POJAVLJUJE BROJ INJEKTORA n_{inj}, NOMINALNI PAD H I PROTICAJ JEDNE TURBINE Q. ○ PREČNIK KOJI OPISUJE OSOVINA LOPATICA: $D_1 = 0.68 \cdot \frac{\sqrt{H}}{n}$ 3.14. ○ ŠIRINA LOPATICA ROTORA: $B_2 = 1.68 \cdot \sqrt{\frac{Q}{n_{inj}} \cdot \frac{1}{\sqrt{H}}}$ 3.15. ○ PREČNIK INJEKTORA: $D_{inj} = 1.178 \cdot \sqrt{\frac{Q}{n_{inj}} \cdot \frac{1}{\sqrt{g \cdot H}}}$ 3.16. ○ MORA BITI ISPUNJEN USLOV DA JE: $D_1/B_2 > 2.7$, UKOLIKO NLE PREDLAŽE SE DRUGI BROJ OBRTAJA n.
---------------	---

3.3.2. IZRAZI ZA DIMENZIONISANJE TURBINE KAPLAN

IZRAZI	<ul style="list-style-type: none"> ○ OZNAKE ODGOVARAJU POPREČNOM PRESEKU KROZ ROTOR TURBINE, SL. 3.14. ○ SPOLJAŠNI PREČNIK: $D_e = 2 \cdot R_e = 84.5 \cdot (0.79 + 1.602 \cdot n_{ge}) \cdot \frac{\sqrt{H}}{60 \cdot n}$ 3.17. ○ PREČNIK TRUPA ROTORA: $D_i = 2 \cdot R_i = \left(0.25 + \frac{0.0951}{n_{ge}} \right) \cdot D_e$ 3.18. ○ ALTERNATIVNI IZRAZ ZA SPOLJAŠNI PREČNIK: $D_e = \sqrt{\frac{Q}{2.2 \cdot \sqrt{H}}}$ 3.19. 	 <p style="font-size: x-small;">Sl.3.14. Poprečni presek kroz rotor turbine Kaplan.</p>
---------------	--	---

Strengthening of master curricula in water resources management
for the Western Balkans HEIs and stakeholders

www.swarm.ni.ac.rs



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union
 

3.4. KRITERIJUMI ZA IZBOR TIPOVA TURBINA


NAPOMENA	<ul style="list-style-type: none"> ○ TIP, GEOMETRIJA I DIMENZIJE TURBINE SE ODREĐUJU NA BAZI: <ul style="list-style-type: none"> - NETO PADA, - RAZLIČITI PROTICAJA, I - BROJA OBRTAJA TURBINE. ○ DODATNI KRITERIJUM JE: <ul style="list-style-type: none"> - KAVITACIJA, I - CENA
-----------------	---


3.4.1. IZBOR TURBINE U FUNKCJI PADA

NAPOMENA	<ul style="list-style-type: none"> ○ PRVI KRITERIJUM ZA IZBOR TIPA TURBINE JE NETO PAD. ○ U TABELI 3.1. ZA SVAKI TIP TURBINE DAT JE RASPON PADOVA NA KOJIMA SE ODGOVARAJUĆA TURBINA KORISTI. ○ NETO PAD SE DOBILA AKO OD GEODETSKE VISINE ODUZMEMO GUBITKE. ○ KOD MALIH PADOVA SE KORISTI, KAO NETO PAD, ODNOS SPECIFIČNE HIDRAULIČKE ENERGIJE I UBRZANJA ZEMLJINE TEŽE. ○ U GRANICAMA MALOG PADA OD 2 do 20 m KORISTI SE BULB TURBINA. ○ TURBINA BULB IMA PREDNOST JER DAJE DOBRE UČINKE KOD VELIKOG RASPONA PROTICAJA ○ KONSTRUKCIJA BULB TURBINE JE JEDNOSTAVNA KOD VELIKIH NOMINALNIH PROTICAJA. 	<p style="font-size: x-small;">Tabela 3.1</p> <table style="font-size: x-small; margin: auto;"> <tr> <th style="text-align: left;">Tip turbine</th> <th style="text-align: left;">Raspon pada (m)</th> </tr> <tr> <td>Kaplan</td> <td>2<H<40</td> </tr> <tr> <td>Francis</td> <td>25<H<350</td> </tr> <tr> <td>Pelton</td> <td>50<H<1300</td> </tr> <tr> <td>Turgo</td> <td>50<H<250</td> </tr> <tr> <td>Cross-flow</td> <td>5<H<200</td> </tr> </table>	Tip turbine	Raspon pada (m)	Kaplan	2<H<40	Francis	25<H<350	Pelton	50<H<1300	Turgo	50<H<250	Cross-flow	5<H<200
Tip turbine	Raspon pada (m)													
Kaplan	2<H<40													
Francis	25<H<350													
Pelton	50<H<1300													
Turgo	50<H<250													
Cross-flow	5<H<200													

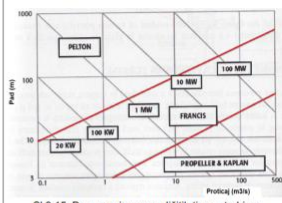
Strengthening of master curricula in water resources management
for the Western Balkans HEIs and stakeholders

www.swarm.ni.ac.rs



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union
 


3.4.2. IZBOR TURBINE U FUNKCJI PADA I PROTICAJA


NAPOMENA	<ul style="list-style-type: none"> ○ DOMEN PRIMENE RAZLIČITIH TIPOVA TURBINE U FUNKCJI NOMINALNOG PROTICAJA I PADA JE DATO NA SL.3.15. ○ AKO JE TAČKA SA KOORDINATAMA (Q,H) LOCIRANA NA VIŠE DOMENA KOJOJ ODGOVARA VIŠE TIPOVA TURBINE, ONDA SE: <ul style="list-style-type: none"> – VODI RAČUNA O INSTALISANOJ SNAZI , I – CENI TURBINE. ○ RADI BOLJEG UKLAPANJA NA DIAGRAMU, INSTALISANI PROTICAJ HIDROCENTRALE SE MOŽE PODELITI NA DVE ILLI VIŠE TURBINA. ○ NEKADA JE BOLJE IMATI VIŠE MANJIH TURBINA NEGO JEDNU ILLI DVE VELIKE, ○ CENTRALA PO PRAVILU TREBA DA IMA MINIMUM DVE TURBINE DA BI EKSPLOATACIJA HIDROCENTRALE BILA RACIONALNA. 	 <p style="font-size: x-small;">Sl.3.15. Domen primene različitih tipova turbine.</p>
----------	--	---

3.4.2. IZBOR TURBINE U FUNKCJI SPECIFIČNOG BROJA OBRTAJA

NAPOMENA	<ul style="list-style-type: none"> ○ IZBOR TIPA TURBINE NA BAZI SPECIFIČNOG BROJA OBRTAJA JE NAJSIGURNIJA METODA. ○ OSNOVNI PODACI SU: NOMINALNA SNAGA TURBINE, PAD I BROJ OBRTAJA GENERATORA . ○ KORISTI SE GRAFIK 3.11, KOJI KORELIŠE PAD I SPECIFIČNI BROJ OBRTAJA ZA RAZLIČITE TIPOVE TURBINA. 	<p>PRVI PRIMER: HC ima pad 620 m, snagu 160 MW sa dve turbine i broj obrtaja generatora 420 o/min.</p> $n_s = \frac{n \cdot \sqrt{P}}{H^{1.25}} = \frac{420 \cdot \sqrt{80000}}{620^{1.25}} = 38 \Rightarrow$ <p style="text-align: right; color: red;">TURBINA PELTON,</p> <p>UKLAPA SE U TABELU 3.1 I GRAFIK 3.11</p> <p>DRUGI PRIMER: HC ima pad 200 m, snagu od 120 MW, tri turbine, broj obrtaja generatora 600 o/min.</p> $n_s = \frac{n \cdot \sqrt{P}}{H^{1.25}} = \frac{600 \cdot \sqrt{40000}}{200^{1.25}} = 160 \Rightarrow$ <p style="text-align: right; color: red;">TURBINA FRANCIS,</p> <p>UKLAPA SE U TABELU 3.1 I GRAFIK 3.11.</p>
----------	--	---

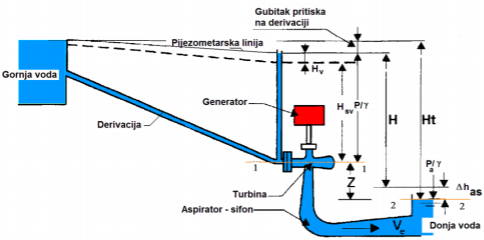
Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders
www.swarm.ni.ac.rs



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union
 


3.5. FENOMEN KAVITACIJE KOD TURBINA


NAPOMENA	<ul style="list-style-type: none"> ○ KADA HIDROSTATIČKI PRITISAK FLUIDA KOJI TEČE PADNE ISPOD PARNOG PRITISKA JAVLJAJU SE MEHURIĆI PUNI VAZDUHA I VODENE PARE. ○ OVI MEHURIĆI SE KREĆU KROZ CEVOVOD I IZAZIVAJU NERAVNOMERNO STRUJANJE I SMANJENJE PROTICAJNOG PROFILA. ○ NA MESTIMA GDE SU BRZINE VODE MALE (UZ ZIDOVE CEVOVODA) VODENA PARA SE KONDEZUJE. ○ KONDEZACIJA IZAZIVA VELIKE UDARE I RAZARANJA NA POVRŠINI NA KOJU NAIDE. ○ KISEONIK OSTAJE U MEHURIĆIMA I IZAZIVA KOROZIJU CEVOVODA. ○ KAVITACIJA PRATI: JAKA BUKA, VIBRACIJE, SMANJENJE UČINKA TURBINE I PRESTANAK RADA TURBINE. ○ PONAVLANJE FENOMENA KAVITACIJE, U KRATKOM VREMENU DOVODI DO ČUPANJA METALA IZ TURBINE, ZATIM DO POJAVE PUKOTINA NA TURBINI I KONAČNO DO NESTANKA POVRŠINE TURBINE. ○ KONAČNO TURBINA ĆE IMATI TEŠKA OŠTEĆENA I ZAHTEV ZA POPRAVKU ILLI ZAMENU. 	
----------	--	--



Sl.3.16. Oznake za određivanje visine aspiracije

Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders
www.swarm.ni.ac.rs



Co-funded by the
 Erasmus+ Programme
 of the European Union
 

DEFINISANJE
 POLOŽAJA
 TURBINE U
 FUNKCJI
 KAVITACIJE

- ZA ELIMINACIJU KAVITACIJE *TAHOMA* UVODI UMETNO H_{sv} PROIZVOD $\sigma_T \cdot H$, GDE JE σ_T - KOEFICIJENT KAVITACIJE A H - NETO PAD, ODNOSNO:

$$\sigma_T = \frac{H_{sv}}{H} \dots\dots\dots 3.20.$$
- GDE JE: H_{sv} - POZITIVNA VISINA ASPIRACIJE (NET POSITIV SUCTION HEAD - NPSH).
- AKO PRIMENIMO **BERNULJEVU JEDNAČINU** ZA PRESEK 1 I 2 DOBIJAMO:


$$H_v + H_{sv} + \frac{V_1^2}{2g} + Z = \frac{p_a}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta h_m \dots\dots\dots 3.21.$$
- GDE JE: H_v - VISINA PARNOG PRITISKA; V_1 - BRZINA VODE NA ULAZU IZ TURBINE; V_2 - BRZINA NA IZLAZU IZ TURBINE; Δh_m - GUBITAK PRITISKA U ASPIRATORU.
- AKO U IZRAZU 3.21. ZANEMARIMO ZBOG MALOG UTICAJA: PARNI PRITISAK, RAZLIKU KVADRATA BRZINE NA ULAZU I IZLAZU IZ TURBINE I GUBITAK PRITISKA U ASPIRATORU, SLEDI:


$$H_{sv} + Z = \frac{p_a}{\gamma} \dots\dots\dots 3.22., \text{ ODNOSNO}$$

$$Z = \frac{p_a}{\gamma} - H_{sv} = \frac{p_a}{\gamma} - \sigma_T \cdot H \dots\dots\dots 3.23.$$
- ATMOSFERSKI PRITISAK U ODNOSU NA NIVO MORA JE: $\frac{p_a}{\gamma} = 10.33 - \frac{\text{kota turbine}}{900} \dots\dots\dots 3.24.$
- USLOV ZA ELIMINACIJU KAVITACIJE JE **DA SE OSOVINA TURBINA** NALAZI MINIMUM NA VISINI (Z) U ODNOSU NA NIVO DONJE VODE:

$$z \geq 10.33 - \frac{\text{kota turbine}}{900} - \sigma_T \cdot H \dots\dots\dots 3.25.$$

Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders
www.swarm.ni.ac.rs




Co-funded by the
 Erasmus+ Programme
 of the European Union
 

KOEFICIJENT
 KAVITACIJE
 TAHOMA

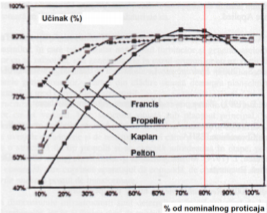
- **KOEFICIJENT KAVITACIJE *TAHOMA* SE ODREĐUJE NA BAZI STUDIJA NA MODELU I NJEGA DEFINIŠE ISPORUČILAC TURBINE.**
- NA BAZI STATISTIČKE ANALIZE DEFINISANI SU **EMPIRISKI IZRAZI** ZA ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA KAVITACIJE:
 - ZA FRANCISOVE TURBINE: $\sigma_T = 7.54 \cdot 10^{-5} \cdot n_s^{1.41} \dots\dots\dots 3.26.$
 - ZA KAPLANOVE TURBINE: $\sigma_T = 6.40 \cdot 10^{-5} \cdot n_s^{1.41}$

	TURBINA F					TURBINA K						
n_s	80	100	200	300	400	500	450	500	550	600	700	800
σ_T	0.045	0.05	0.11	0.20	0.25	0.46	0.40	0.45	0.60	0.65	0.85	1.05

Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders
www.swarm.ni.ac.rs

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union 

3.6. UČINAK TURBINE

DEFINICIJA	<ul style="list-style-type: none"> ○ UČINAK JE ODNOS IZMEĐU MEHANIČKE SNAGE NA OSOVINI TURBINE I APSOLUTNE HIDRAULIČKE ENERGIJE, DOBLIENE KAO PROIZVOD PROTICAJA I NETO PADA. 	
BRUTO PAD	<ul style="list-style-type: none"> ○ BRUTO PAD KOD REAKCIONIH TURBINA PREDSTAVLJA GEODETSKU RAZLIKU IZMEĐU DONJE I GORNJE VODE. ○ BRUTO PAD KOD IMPULSNIH TURBINA JE GEODETSKA RAZLIKA IZMEĐU GORNJE VODE I TAČKE UDARA MLAZA VODE U LOPATICE. ○ GUBITAK ENERGIJE U UNUTRAŠNOSTI TURBINE JE POSLEDICA TREŃJA, PRILIKOM KRETANJA VODE KROZ SPIRALU, DIREKCIONI APARAT I KONAČNO IZMEĐU LOPATICA. ○ KOD REAKCIONIH TURBINA NE MOŽE SE KORISTITI DEO KINETIČKE ENERGIJE VODE KOJI NAPUŠTA TURBINU. 	
UČINAK KOJI GARANTUJE PROIZVOĐAČ	<ul style="list-style-type: none"> ○ SVE TURBINE IMAJU DOBAR UČINAK ZA CC 80% NOMINALNOG PROTICAJA 	 <p>SI.3.17. Promena učinka sa promenom proticaja koji prolazi kroz turbine</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ○ TURBINE KAPLAN I PELTON ○ FRANCISOVE TURBINE 	<ul style="list-style-type: none"> – IMAJU DOBAR UČINAK U ŠIROKOM OPSEGU, ODNOSNO DO PROTICAJA, OD 25%...30% OD NOMINALNOG PROTICAJA – GUBE VELIKI UČINAK AKO PROTICAJ TURBINE PADNE ISPOD 40% NOMINALNOG PROTICAJA.

Strengthening of master curricula in water resources management
for the Western Balkans HEIs and stakeholders www.swarm.ni.ac.rs

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union 



HVALA NA PAŽNJI!

Strengthening of master curricula in water resources management
for the Western Balkans HEIs and stakeholders www.swarm.ni.ac.rs