



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

FLUID MECHANICS AND MACHINERY
(313309)

यंत्र अभियांत्रिकी गट

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम
(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञान तिसरे सत्र पदविका)

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

फ्लूड मेकॅनिक्स ऍड मशीनरी
Fluid Mechanics and Machinery
(313309)

मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यम
(अभियांत्रिकी व तंत्राज्ञानातील तिसरे सत्र
पदविका)



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

**एम.एस. बी. टी. ई.
मार्गदर्शक**

श्री. एस. एस. हरीप

निवड श्रेणी अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

संकलक

श्री. बी. जे. जुगळे

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. एस. एस. कोथळे

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. पी. बी. पाटील

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. जे. जे. फारणे

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. ए. आर. लांडे

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

समीक्षक

श्री.डी. व्ही. लोहार

विभागप्रमुख, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

मुख्य समन्वयक

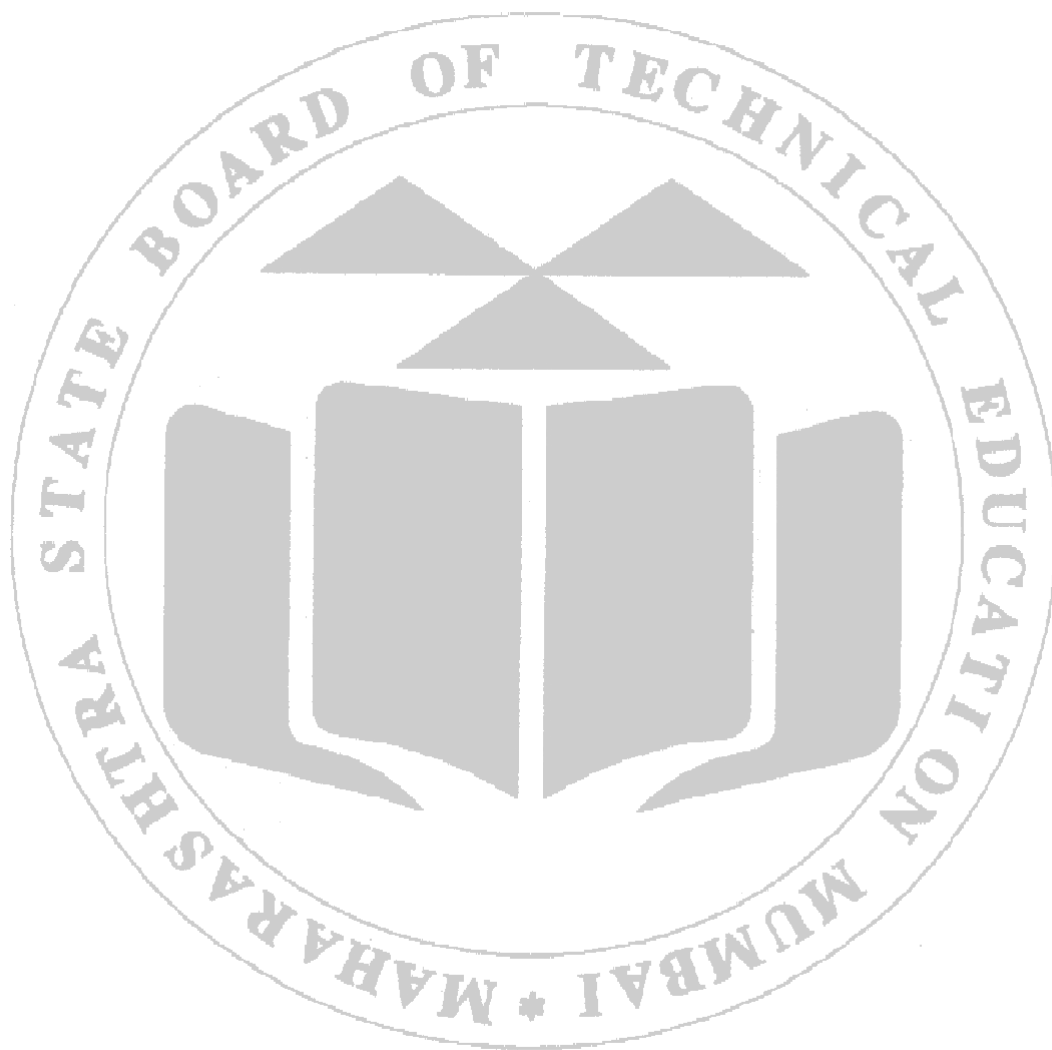
श्री. बी. एस. ताशिलदार

प्राचार्य

संस्था समन्वयक

श्री. एन. एस. पाटील

विभागप्रमुख, यांत्रिकी अभियांत्रिकी





महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ

(स्वायत्त) (ISO: ९००१:२०१५) (ISO/IES: २७००१-२०१३)

शासकीय तंत्रनिकेतन इमारत, चौथा मजला, ४९, खेरवाडी, बांद्रा (पूर्व), मुंबई - ४०० ०५१.

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१७० / १६१

Email : director@msbte.com

Web : www.msbte.org.in



प्रास्ताविक

महाराष्ट्र राज्यातील पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षणामध्ये विद्यार्थ्यांचे रोजगार कौशल्य विकसित करून विद्यार्थ्यांचा सर्वांगीण विकास घडवून आणण्याकरिता महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ कटिबद्ध आहे. उद्योगधंद्यातील बदलत्या तंत्रज्ञानाशी संबंधित गरजा लक्षात घेऊन महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाकडून पदविका अभ्यासक्रम वेळोवेळी अद्यावत करण्यात येतो. अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रम शिकत असतांना संकल्पनात्मक ज्ञान, सुसंगत संदर्भ, प्रश्न विचारणे, विश्वसनीय पुरावे, कारणमीमांसा आणि सुस्पष्ट निकष यांचा वापर करून अर्थाची उकल करण्याची, विश्लेषण व मूल्यमापन करण्याची तसेच तकने अनुमान काढण्याची क्षमता म्हणजेच चिकित्सक विचार विद्यार्थ्यांमध्ये अधिक दृढ होतील असा मला विश्वास आहे. जेव्हा विद्यार्थी ज्ञान मिळवण्याच्या माध्यमाशी पूर्णपणे परिचित आणि सोयीस्कर असतात, तेव्हा त्यांच्यासाठी वर्गातील चर्चेत भाग घेणे सोपे होते, संकल्पनात्मक व सैद्धांतिक बाबींचे आकलन परिपूर्ण होते, संज्ञानात्मक क्षमता सुधारते आणि त्यांचा आत्मविश्वास देखील वाढतो या सर्व गोष्टींचा विचार करून मंडळाकडून शैक्षणिक सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आलेली आहे. भारत देश हा खेड्यापाड्यातून विकसित झालेला देश असून ग्रामीण भागातील विद्यार्थ्यांना तांत्रिक शिक्षण घेतांना भाषेचा अडसर न येता तांत्रिक बाबींचा आशय समजून घेणे शक्य होईल या दृष्टिकोनातून महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाने पदविका स्तरावरील तांत्रिक शिक्षणाकरीता विद्यार्थ्यांना मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय शैक्षणिक वर्ष २०२१-२२ पासून उपलब्ध करून दिलेला आहे.

राष्ट्रीय शैक्षणिक धोरण-२०२० प्रादेशिक भाषेतील शिक्षणास प्रोत्साहन देते, ज्यामुळे विद्यार्थ्यांना तांत्रिक अभ्यासक्रमांसाठी प्रादेशिक भाषांतुन शिक्षणाचे माध्यम निवडता येते. सदर धोरणामुळे प्रादेशिक भाषांमध्ये तांत्रिक सामग्री आणि अभ्यास सामग्रीचा विकास आणि भाषांतर निर्माण करण्याची आवश्यकता आहे. त्यास अनुसरून मंडळाने मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय द्वितीय व तृतीय वर्षाकरिताही उपलब्ध करून देण्यात आला आहे. तसेच त्याकरिताची शैक्षणिक सामग्रीही संबंधीत भागधारकरांना उपलब्ध करून देण्यात येत आहे.

पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षण अधिक दर्जेदार करण्यासाठी महाराष्ट्रातील अनुभवी व तज्ञ अध्यापकांनी व्यवहारिक मराठी भाषा व इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावली यांचा वापर करून मराठी - इंग्रजी भाषेचा सुवर्णमध्य साधण्याचा प्रयत्न केलेला आहे. मंडळाच्या स्तरावर गठीत सुकाणू समितीमार्फत सदर शैक्षणिक सामुग्रीचा दर्जा, तसेच इतर बाबींची तपासणी करण्यात आलेली आहे. त्यामुळे सदर शैक्षणिक सामुग्री अधिक सम्पन्न झालेली असून विद्यार्थी त्यांच्या व्यक्तिमत्त्वाचा सुसंवादी आणि सर्वांगीण विकास साधतील. परिणामतः विश्वस्तरीय मनुष्यबळाच्या गरजा पूर्ण करण्यात महाराष्ट्र राज्य अग्रेसर राहील व पर्यायाने राष्ट्रनिर्मिती करीता निश्चितच हातभार लागेल, असा मला विश्वास आहे.

अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रमातील प्रमुख विषयांची मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक शैक्षणिक सामुग्री बनविण्यासाठी अध्यापक व सुकाणू समितीचे सदस्य यांनी दर्शविलेले समर्पण व वचनबद्धता कौतुकास पात्र आहे, या सर्वांचे मी मनःपूर्वक अभिनंदन करतो !


(प्रमोद नाईक)

संचालक

म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई.

अनुक्रमणिका

अ. क्र	युनिटचे नाव	पान क्र.
1	फ्लुइड गुणधर्म आणि फ्लुइड प्रेशर मापन (Properties of Fluid and Fluid Pressure Measurement)	1
2	द्रव प्रवाहाची मूलतत्त्वे आणि प्रवाह मापन (- Fundamentals of Fluid Flow and Flow Measurement)	26
3	पाईप्समधील प्रवाह (Flow Through Pipes)	43
4	हायड्रोलिक टर्बाइन (Hydraulic Turbines)	59
5	सेंट्रीफ्यूगल आणि रेसिप्रोकेटिंग पंप (Centrifugal and Reciprocating Pumps)	103

1. फ्लुइड गुणधर्म आणि फ्लुइड प्रेशर मापन (Properties of Fluid and Fluid Pressure Measurement)

विषय निष्पत्ती : तरल पदार्थाच्या गुणधर्म आणि दाब मापनाशी संबंधित संख्यात्मक उदाहरणे सोडवा. (Solve numerical related to properties of fluid and pressure measurements)

घटक निष्पत्ती

Theory Learning Outcomes

TLO 1.1: द्रवांचे विविध गुणधर्म स्पष्ट करा (Explain various properties of fluids)

TLO 1.2: विविध प्रकारच्या द्रवांचे स्पष्टीकरण (Explain different types of fluids)

TLO 1.3: दिलेल्या द्रवांचे त्यांच्या फिझिकल गुणानुसार फरक करा. (Compare given fluids based on the required physical properties)

TLO1.4: दिलेल्या अनुप्रयोगासाठी योग्य दाब मापन उपकरण निवडा आणि त्याचे न्याय्यकरण द्या. (Select suitable pressure measuring device for the given application with Justification)

TLO 1.5: दिलेल्या स्थितीत व विशिष्ट द्रवामध्ये बुडालेल्या वस्तूवर द्रवदाब, एकूण दाब आणि दाब केंद्र गणना करा. (Calculate fluid pressure, total pressure and center of pressure on given immersed body for given position in specified liquid)

1.0 परिचय

फ्लुइड मेकॅनिक्स ही विज्ञानाची शाखा आहे जी फ्लुइडपदार्थाच्या (द्रव पदार्थ किंवा वायू) स्थिर तसेच गतिमान वर्तनाशी संबंधित आहे अशा प्रकारे विज्ञानाची ही शाखा फ्लुइडपदार्थाच्या स्थिर, गतीशास्त्र आणि गतिशील पैलूंनी संबंधित आहे.

स्थिर फ्लुइडपदार्थाच्या अभ्यासाला फ्लुइड स्टॅटिक्स म्हणतात. गतीतील फ्लुइडपदार्थाचा अभ्यास, जेथे प्रेशर (दबाव) बलांचा विचार केला जात नाही, त्याला फ्लुइड कायनेमॅटिक्स म्हणतात आणि जर गतीतील फ्लुइडपदार्थासाठी प्रेशर (दबाव) बलांचा देखील विचार केला जातो. विज्ञानाच्या त्या शाखेला फ्लुइड डायनेमिक्स म्हणतात.

1.1 द्रवपदार्थाचे महत्वाचे गुणधर्म (वैशिष्ट्ये)

1.1.1 घनता किंवा वस्तुमान घनता (Density or Mass Density)

फ्लुइडपदार्थाची घनता किंवा वस्तुमान घनता ही फ्लुइडपदार्थाच्या वस्तुमानाचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केली जाते. अशा प्रकारे द्रवाच्या प्रति युनिट वॉल्यूमला घनता म्हणतात. हे ρ (rho) द्वारे दर्शविले जाते SI युनिटमधील वस्तुमान घनतेचे एकक किलो प्रति घनमीटर आहे म्हणजे kg/m^3 . प्रेशर आणि तापमान यांच्यामध्ये फरक होत असताना फ्लुइडपदार्थाची घनता स्थिर मानली जाते परंतु वायूंची घनता बदलत असते. गणितीयदृष्ट्या, वस्तुमान घनता याप्रकारे लिहिली जाते

$$\rho = \frac{\text{Mass of Fluid}}{\text{Volume of Fluid}}$$

पाण्याच्या घनतेचे मूल्य 1 gm/cm^3 किंवा 1000 kg/m^3 आहे.

1.1.2 विशिष्ट वजन किंवा वजन घनता (Specific Weight)

फ्लुइडपदार्थाचे विशिष्ट वजन किंवा वजन घनता हे फ्लुइडपदार्थाचे वजन आणि त्याची घनता यांच्यातील गुणोत्तर असते अशा प्रकारे द्रवाच्या वजनाच्या प्रति युनिट वॉल्यूमला वजन घनता असे म्हणतात आणि ते ω चिन्हाने दर्शविले जाते.

$$\text{Specific weight} = \frac{\text{Weight of fluid}}{\text{Volume of Fluid}} = \frac{\text{Mass of fluid} \times \text{Acceleration due to gravity}}{\text{Volume of fluid}}$$

$$= \frac{\text{Mass of fluid} \times g}{\text{Volume of fluid}}$$

$$\omega = \rho \times g$$

पाण्यासाठी विशिष्ट वजन किंवा वजन घनता (ω) चे मूल्य एसआय युनिट्समध्ये $9.81 \times 1000 \text{ N/m}^3$ आहे.

1.1.3 विशिष्ट वॉल्यूम (Specific Volume)

फ्लुइडपदार्थाचा विशिष्ट वॉल्यूम म्हणजे एकक वस्तुमानाने व्यापलेल्या द्रवाचे घनफळ किंवा द्रवाच्या प्रति युनिट वस्तुमानाला विशिष्ट वॉल्यूम असे म्हणतात. गणितीयदृष्ट्या, ते असे व्यक्त केले जाते

$$\text{Specific volume} = \frac{\text{Volume of Fluid}}{\text{Mass of Fluid}} = \frac{1}{\frac{\text{Mass of Fluid}}{\text{Volume of Fluid}}} = \frac{1}{\rho}$$

अशा प्रकारे विशिष्ट वॉल्यूम हे वस्तुमान घनतेचे उलटे (विरुद्ध) आहे. हे m^3/kg म्हणून व्यक्त केले जाते. हे सामान्यतः वायूंवर लागू होते.

1.1.4 विशिष्ट गुरुत्व (Specific Gravity)

विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण हे फ्लुइडपदार्थाच्या वजनाच्या घनतेचे (किंवा घनता) गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते. प्रमाणित फ्लुइडपदार्थाचे वजन घनता (किंवा घनता) काढण्यासाठी फ्लुइडपदार्थासाठी, मानक फ्लुइड (Standard Fluid) पाणी घेतले जाते आणि वायूंसाठी, मानक फ्लुइड (Standard Fluid) पदार्थ हवा घेतले जाते. विशिष्ट गुरुत्वाकर्षणाला सापेक्ष घनता असेही म्हणतात. विशिष्ट गुरुत्व हे परिमाण (unit) नसलेले प्रमाण आहे आणि S या चिन्हाने दर्शविले जाते.

$$\text{फ्लुइडपदार्थासाठी} \quad S = \frac{\text{Weight density of liquid}}{\text{Weight density of water}}$$

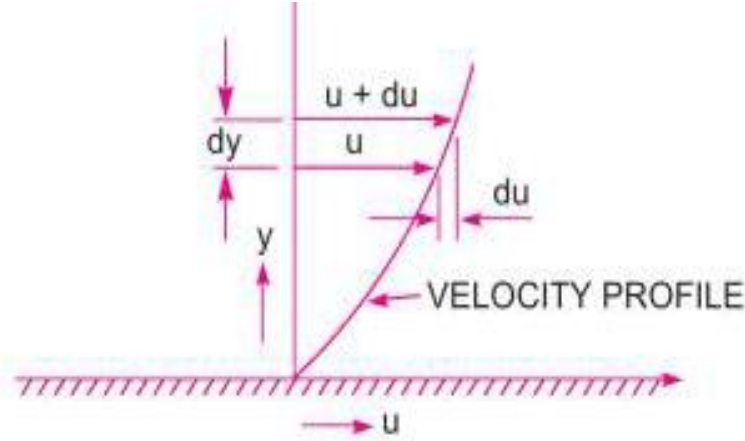
$$\text{वायूंसाठी} \quad S = \frac{\text{Weight density of gas}}{\text{Weight density of air}}$$

जर फ्लुइडपदार्थाचे विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण ज्ञात असेल, तर द्रवाची घनता ही द्रवाच्या विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण व पाण्याची घनता यांच्या गुणाकाराएवढी असते. उदाहरणार्थ, विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण पाण्याचे 13.6 आहे, म्हणून पाण्याची घनता = $13.6 \times 1000 = 13600 \text{ kg/m}^3$.

1.1.5 व्हिस्कॉसिटी (viscosity) चिकटता

व्हिस्कॉसिटी हे वाहत्या द्रवाच्या प्रतिकाराचे मोजमाप आहे **व्हिस्कॉसिटी** हा फ्लुइडपदार्थाचा गुणधर्म आहे जो द्रवांना पसरण्यापासून प्रतिबंधित करतो. **व्हिस्कॉसिटी** मुळे निर्माण होणाऱ्या बलाला व्हिस्कस फोर्स (viscous force) म्हणतात. हे बल फ्लुइडपदार्थाच्या थरांमध्ये असल्याने त्याला अंतर्गत घर्षण असेही म्हणतात.

व्हिस्कॉसिटी हा कोणत्याही द्रवाचा गुणधर्म आहे जो गुरुत्वाकर्षणाच्या प्रभावाखाली फ्लुइड कसा प्रवाहित होतो हे सांगते. कमी **व्हिस्कॉसिटी** असलेला कोणताही फ्लुइड सहज वाहतो तर जास्त **व्हिस्कॉसिटी** असलेला फ्लुइड मोठ्या प्रतिरोधाने वाहतो.



घन सीमेजवळ वेग भिन्नता

आकृती 1.1.1

$$\tau \propto \frac{du}{dy}$$

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

जेथे μ (ज्याला μ म्हणतात) समानुपातिकतेचा (constant of proportionality) स्थिरांक आहे आणि त्याला कोइफिसिएंट ऑफ डायनॅमिक व्हिस्कॉसिटी किंवा व्हिस्कॉसिटी असे म्हणतात. du/dy शिअर स्ट्रेनचा दर दर्शवतो. **व्हिस्कॉसिटी**चे SI एकक Ns/m^2 आहे.



व्हिस्कोसिटी
आकृती 1.1.2

व्हिस्कोसिटीचे प्रकार

आपण दोन पद्धतींनी व्हिस्कोसिटी मोजू शकतो

व्हिस्कोसिटीचे दोन प्रकार आहेत:

- डायनॅमिक व्हिस्कोसिटी (अॅबसोल्युट व्हिस्कोसिटी)
- कायनेमॅटिक व्हिस्कोसिटी

एक प्रकारे म्हणजे जेव्हा बाह्य शक्ती लागू केली जाते तेव्हा फ्लुइडपदार्थाचा प्रवाह प्रतिरोधकपणा मोजणे याला डायनॅमिक व्हिस्कोसिटी असे म्हणतात आणि दुसऱ्याप्रकारे म्हणजे गुरुत्वाकर्षणाच्या वजनाखाली फ्लुइडपदार्थाचा प्रतिरोधक प्रवाह मोजणे फ्लुइड व्हिस्कोसिटीच्या या मापाला आपण कायनेमॅटिक व्हिस्कोसिटी म्हणतो

कायनेमॅटिक व्हिस्कोसिटी

डायनॅमिक व्हिस्कोसिटी आणि फ्लुइडपदार्थाची घनता यांच्यातील गुणोत्तर म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते. डायनॅमिक व्हिस्कोसिटी हे 'nu' नावाच्या ग्रीक चिन्हाने (ν) दर्शविले जाते., गणितीयदृष्ट्या अशा प्रकारे दर्शविले जाते

$$\nu = \frac{\text{Viscosity}}{\text{Density}} = \frac{\mu}{\rho}$$

MKS आणि SI मध्ये कायनेमॅटिक व्हिस्कोसिटीचे एकक m^2/sec आहे CGS युनिटमध्ये ते cm^2/s असे लिहिले जाते. CGS युनिट्समध्ये, कायनेमॅटिक व्हिस्कोसिटीला स्टोक असेही म्हणतात.

$$1 \text{ stroke} = \frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} = \left(\frac{1}{100}\right)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{centistroke} = \frac{1}{100} \text{ stroke}$$

न्यूटनचा व्हिस्कोसिटीचा नियम

या नियम प्रमाणे फ्लुइड घटक स्तरावरील शियर स्ट्रेस (τ) हे शियर स्ट्रेन शी थेट प्रमाणात बदलत असते. प्रोपोरशनेलिटीचा स्थिरांकाला व्हिस्कोसिटीचा स्थिरांक म्हणतात. गणितीयदृष्ट्या, ते असे व्यक्त केले जाते

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

1.1.6 कॉम्प्रेसिबिलिटी आणि बल्क मॉड्यूलस

कॉम्प्रेसिबिलिटी हे लवचिकतेच्या बल्क मॉड्यूलसचे उलटे (विरुद्ध) आहे, K ज्याची व्याख्या संकुचित ताण (Compressive stress) आणि वॉल्यूमेट्रिक स्ट्रेनचे गुणोत्तर म्हणून केली जाते.

आकृती 1.1.2 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे पिस्टनने बसवलेला सिलेंडर विचारात घ्या.

V = सिलिंडरमध्ये बंदिस्त गॅसचे प्रमाण

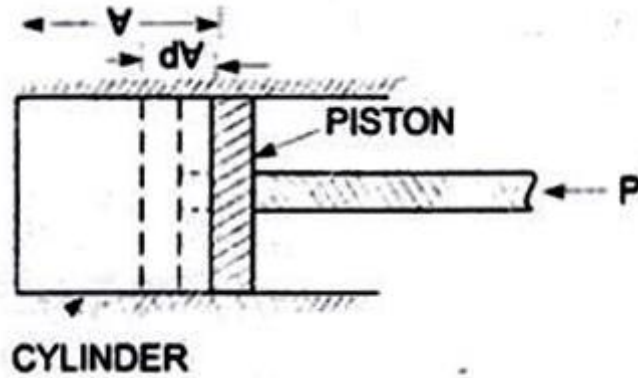
p = वॉल्यूम V असताना वायूचा दाब

प्रेषार P ते $p + dp$ वाढते, वायूचे प्रमाण V ते $V - dV$ पर्यंत कमी होते.

प्रेषार मध्ये वाढ = dp वॉल्यूममध्ये घट = dV

वॉल्यूमेट्रिक स्ट्रेन = $-dV/V$

-ve चिन्ह म्हणजे प्रेशर वाढल्याने आवाज कमी होतो.



कॉम्प्रेसिबिलिटी

आकृती 1.1.3

$$\begin{aligned} \text{Bulk modulus } K &= \frac{\text{Increase of pressure}}{\text{Volumetric strain}} \\ &= \frac{dp}{-dV/V} = -\frac{dp}{dV} V \end{aligned}$$

कॉम्प्रेसिबिलिटी = $1/K$ द्वारे दिली जाते

- 1. A fluid with an absolute viscosity of 0.98 Ns/m^2 and a kinematic viscosity of $3 \text{ m}^2/\text{s}$. calculate a fluid's density?**

Given,

$$\nu = 3 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\mu = 0.098 \text{ Ns/m}^2$$

Using the Kinematic Viscosity Formula,

$$\nu = \mu/\rho$$

Substituting values in the equation,

$$\rho = \nu/\mu$$

$$= 3/0.98$$

$$= 3.0612 \text{ kg/m}^3$$

So, the density of fluid is 3.0612 kg/m^3 .

- 2. Calculate the density of a fluid with a kinematic viscosity of $2 \text{ m}^2/\text{s}$ and absolute viscosity of 0.89 Ns/m^2**

Given,

$$\nu = 2 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\mu = 0.89 \text{ Ns/m}^2$$

Using Kinematic Formula,

$$\nu = \mu/\rho$$

Substituting values in the equation,

$$\rho = \nu/\mu$$

$$= 2/0.89$$

$$= 0.445 \text{ kg/m}^3$$

So, the density of a fluid is 0.445 kg/m^3 .

- 3. Calculate the density, specific weight and weight of one liter of petrol of specific gravity = 0.7**

Sol:

$$\text{Density of a liquid} = S \times \text{Density of water}$$

$$= S \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0.7 \times 1000$$

$$\rho = 700 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Specific weight } w = \rho \times g$$

$$= 700 \times 9.81$$

$$= 6867 \text{ N/m}^3$$

$$\text{Weight (w) Volume} = 1 \text{ liter} = 1 \times 1000 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ m}^3 = 0.001 \text{ m}^3$$

We know that,

$$\text{Specific weight } w = \text{weight of fluid} \times \text{volume of the fluid}$$

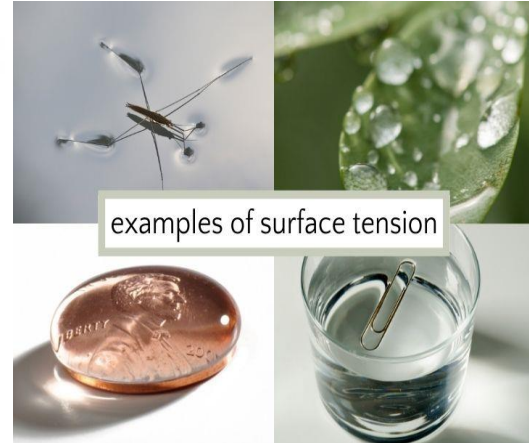
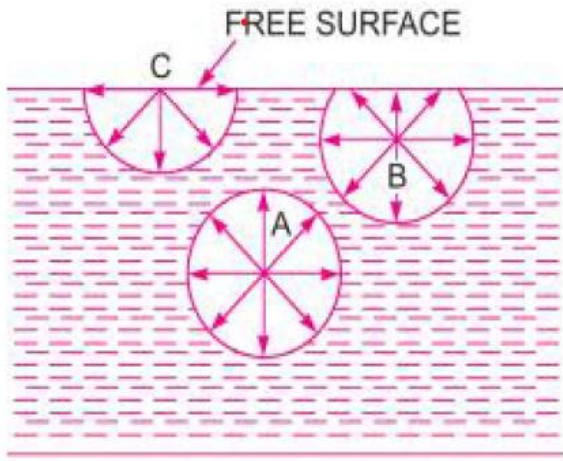
$$= w \times 0.001 = 6867 \times 0.001 = 6.867 \text{ N}$$

1.1.7 पृष्ठभाग तणाव (Surface Tension)

पृष्ठभागावरील ताण म्हणजे वायूच्या संपर्कात असलेल्या द्रवाच्या पृष्ठभागावर किंवा दोन अविचल द्रव्यांच्या दरम्यानच्या पृष्ठभागावर कार्य करणारे तन्य बल म्हणून परिभाषित केले जाते, जसे की संपर्क पृष्ठभाग तणावाखाली एका पडद्याप्रमाणे वागतो.

मुक्त पृष्ठभागाच्या प्रति एकक लांबीच्या या बलाच्या मूल्य प्रति युनिट क्षेत्राच्या पृष्ठभागाच्या ऊर्जेइतकेच असेल. हे ग्रीक अक्षर 'σ' (ज्याला सिग्मा म्हणतात), SI युनिट्समध्ये N/m म्हणून दर्शविले जाते

पृष्ठभागावरील तणावाची घटना आकृती 1.1.3 द्वारे स्पष्ट केली आहे. द्रवाच्या वस्तुमानात द्रवाचे तीन रेणू A, B, C विचारात घ्या. A हा रेणू द्रवाच्या आजूबाजूच्या रेणूंद्वारे सर्व दिशांनी समान रीतीने आकर्षित होतो. अशा प्रकारे A रेणूवर क्रिया करणारी परिणामी शक्ती शून्य आहे. परंतु मोकळ्या पृष्ठभागाजवळ असलेला B रेणू वरच्या आणि खालच्या बाजूने असंतुलित असलेल्या शक्तींद्वारे कार्य करतो. अशा प्रकारे B रेणूवरील निव्वळ परिणामी बल खालच्या दिशेने कार्य करत आहे. द्रवाच्या मुक्त पृष्ठभागावर स्थित C रेणू परिणामी खालच्या बाजूस बल अनुभवतो. मुक्त पृष्ठभागावरील सर्व रेणू एक खालच्या बाजूस बल अनुभवतात. अशा प्रकारे द्रवाच्या पृष्ठभागाच्या तणावाखाली द्रवाचे मुक्त पृष्ठभाग अतिशय पातळ फिल्मसारखे कार्य करतात जसे की ते तणावाखाली एक लवचिक पडदा आहे.



examples of surface tension

पृष्ठभाग तणाव आकृती 1.1.4

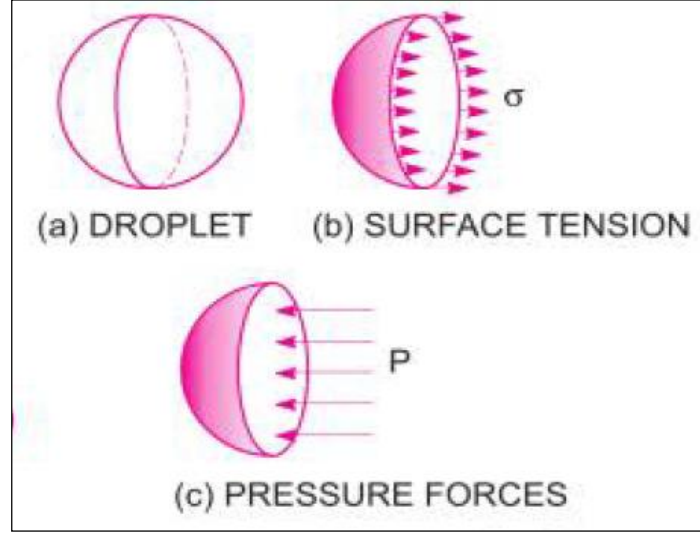
a) द्रव थेंबावरील पृष्ठभागावरील तणाव

त्रिज्या 'r' असलेल्या द्रवाच्या लहान गोलाकार थेंबाचा विचार करा. थेंबाच्या संपूर्ण पृष्ठभागावर, पृष्ठभागावरील ताणामुळे तन्य शक्ती कार्यरत असेल.

σ = द्रवाचा पृष्ठभाग तणाव

P = थेंबाच्या आत दाबाची तीव्रता (बाहेरून जास्त दाब तीव्रता)

d = थेंबाचा व्यास



द्रव थेंबावरील पृष्ठभागावरील तणाव

आकृती 1.1.5

$$p = \frac{4\sigma}{d}$$

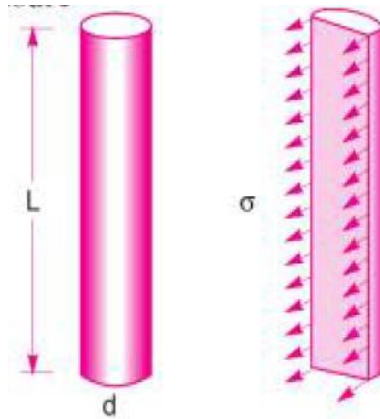
b) पोकळ (बबल) बुडबुडा वर पृष्ठभागावरील तणाव

हवेतील साबणाच्या बुडबुड्यासारख्या पोकळ बबलमध्ये हवेच्या संपर्कात दोन पृष्ठभाग असतात, एक आत आणि दुसरा बाहेर. अशा प्रकारे दोन पृष्ठभाग पृष्ठभाग तणावाच्या अधीन आहेत. अशा परिस्थितीत,

$$p = \frac{8\sigma}{d}$$

c) लिक्विड जेटवर पृष्ठभागावरील तणाव

आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे व्यास 'd' आणि लांबी 'L' च्या द्रव जेटचा विचार करा



लिक्विड जेटवर पृष्ठभागावरील तणाव

आकृती 1.1.6

p = द्रव जेटच्या आतील दाबाची तीव्रता

$\sigma = \text{द्रवाचा पृष्ठभाग तणाव}$

$$p = \frac{2\sigma}{d}$$

- 1) The surface tension of water in contact with air at 20°C is 0.0725 N/m The pressure inside a droplet of water is to be 0.02 N/cm² greater than the outside pressure, Calculate the diameter of the droplet of water.

Surface tension, $\sigma = 0.0725 \text{ N/m}$

Pressure intensity, p in excess of outside pressure is

$$p = 0.02 \text{ N/cm}^2 = 0.02 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

d = diameter of the droplet

$$p = \frac{4\sigma}{d}$$

$$0.02 \times 10^4 = \frac{4 \times 0.0725}{d}$$

$$d = \frac{4 \times 0.0725}{0.02 \times 10^4}$$

$$d = 0.00145 \text{ m} = 1.45 \text{ mm}$$

- 2) Find the surface tension in a soap bubble of 40 mm diameter when the inside pressure is 2.5 N/m² above atmospheric pressure.

Diameter of bubble $d = 40 \text{ mm} = 40 \times 10^{-3} \text{ m}$

$$P = 2.5 \text{ N/m}^2$$

$$p = \frac{8\sigma}{d}$$

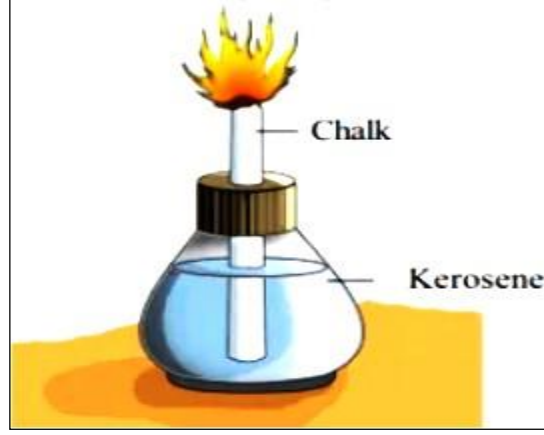
$$2.5 = \frac{8 \times \sigma}{40 \times 10^{-3}}$$

$$\sigma = 0.0125 \text{ N/m}$$

1.1.8 केशिका (Capillarity) –

जेव्हा नलिका द्रवामध्ये उभी असते तेव्हा द्रवाच्या समीप सामान्य पातळीच्या सापेक्ष लहान प्रमाणात द्रव पृष्ठभागाची वाढ किंवा घट होण्याच्या घटनेला केशिका असे संबोधले जाते. द्रव पृष्ठभागाच्या वरती येणे (Capillary rise) याला केशिका वाढ म्हणतात तर द्रव पृष्ठभागाच्या पडण्यास केशिका खाली येणे (Capillary

depression) म्हणून ओळखले जाते. हे द्रवाच्या सेंटी मीटर किंवा मिलिमीटरच्या रूपात व्यक्त केले जाते. त्याचे मूल्य द्रवाचे विशिष्ट वजन, ट्यूबचा व्यास आणि द्रवाच्या पृष्ठभागावरील ताण यावर अवलंबून असते.
उदाहरण: तेलाचा दिवा ज्यात वात ही केशिका तत्व वापरते

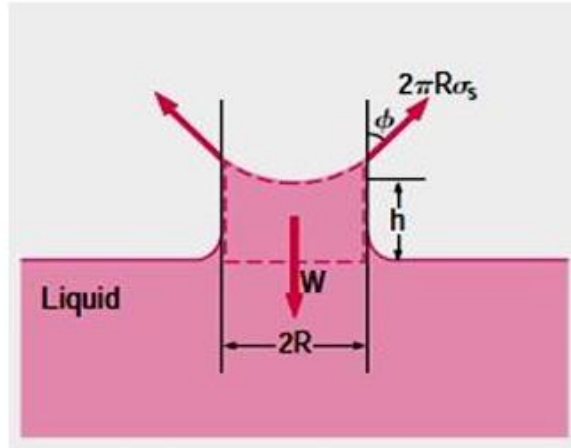


केशिका (Capillarity)

आकृती 1.1.7

a) केशिका उदय साठी अभिव्यक्ती –

दोन्ही टोकांना उघडी असलेली लहान व्यास 'd' असलेली काचेची नळी द्रवामध्ये घातली आहे असे समजा ट्यूबमध्ये द्रव पातळीपेक्षा वर जाईल. समतोल स्थितीत, h उंचीच्या द्रवाचे वजन ट्यूबमधील द्रवाच्या पृष्ठभागावरील बलाने संतुलित केले जाते. परंतु ट्यूबमधील द्रवाच्या पृष्ठभागावरील बल हे पृष्ठभागावरील ताणामुळे असते.



केशिका उदय (Capillary rise)

आकृती 1.1.8

समजा

h = ट्यूबमधील द्रवाची उंची.

σ = द्रवाचा पृष्ठभाग ताण

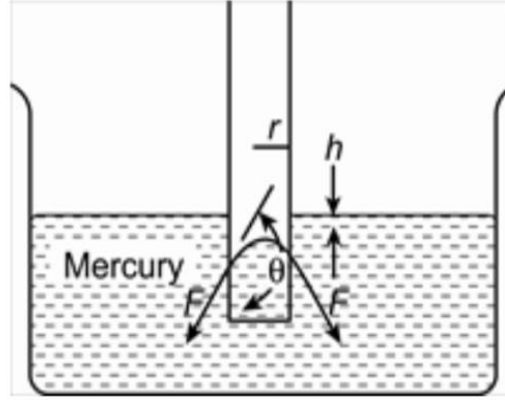
θ = द्रव आणि काचेच्या नळीमधील संपर्काचा कोन

$$h = \frac{4\sigma \cos\theta}{\rho \times g \times d}$$

पाणी आणि स्वच्छ काचेच्या नळीमधील θ चे मूल्य अंदाजे शून्याच्या समान आहे आणि म्हणून $\cos\theta$ एकतेच्या बरोबरीचे आहे. पाण्याची वाढ खालील समीकरणद्वारे दिली जाते

$$h = \frac{4\sigma}{\rho \times g \times d}$$

b) केशिका पतन साठी अभिव्यक्ती



केशिका पतन (Capillary depression)

आकृती 1.1.9

जर काचेची नळी पारामध्ये बुडवली असेल तर, वर दर्शविल्याप्रमाणे ट्यूबमधील पाराची पातळी बाहेरील द्रवाच्या सामान्य पातळीपेक्षा कमी असेल. समजा h = ट्यूबमधील डिप्रेसनची उंची.

समतोल स्थितीत, दोन शक्ती ट्यूबच्या आत पारावर कार्य करतात.

प्रथम एक खालच्या दिशेने कार्य करणार्या पृष्ठभागाच्या तणावामुळे आहे आणि ती खालील समीकरणाद्वारे दाखवली आहे

$$= \sigma \times \pi d \times \cos \theta$$

दुसरे बल हे हायड्रोस्टॅटिक शक्तीमुळे वरच्या दिशेने कार्य करते आणि ते खोली 'h' असताना प्रेशरची तीव्रता $\times$ क्षेत्र एवढी असते

$$h = \frac{4\sigma \cos\theta}{\rho \times g \times d}$$

पारा आणि काचेच्या नळीसाठी θ चे मूल्य 128° आहे

- 1) Calculate the capillary rise in a glass tube of 2.5 mm diameter when immersed vertically in (a) water and (b) mercury. Take surface tensions $\sigma = 0.0725$ N/m for water and $\sigma = 0.52$ N/m for mercury in contact with air. The specific gravity for mercury is given as 13.6 and angle of contact is 130°

Solution-

Dia. of tube, $d = 2.5$ mm = 2.5×10^{-3} m

Surface tension

σ for water = 0.0725 N/m

σ for mercury = 0.52 N/m
 S for mercury = 13.6
 Density $\rho = 13.6 \times 1000 \text{ kg/m}^3$

a) Capillary rise for water ($\Theta = 0^\circ$)

$$h = \frac{4 \times \sigma}{\rho \times g \times d} = \frac{4 \times 0.0725}{1000 \times 9.81 \times 2.5 \times 10^{-3}} = 0.0118 \text{ m} = 1.18 \text{ cm}$$

b) Capillary fall for mercury ($\Theta = 130^\circ$)

$$h = \frac{4 \times \sigma \times \cos \Theta}{\rho \times g \times d} = \frac{4 \times 0.52 \times \cos 130}{13.6 \times 1000 \times 9.81 \times 2.5 \times 10^{-3}} = -0.004 \text{ m} = -0.4 \text{ cm}$$

Negative sign indicates capillary depression

2) Find out the minimum size of glass tube that can be used to measure water level if the capillary rise in the tube is to be restricted to 2 mm Consider Surface tension of water in contact with air as 0.073575 N/m.

$$h = 2.0 \text{ mm} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\sigma = 0.073575 \text{ N/m}$$

$$\Theta = 0^\circ$$

$$h = \frac{4 \times \sigma \times \cos \Theta}{\rho \times g \times d}$$

$$2 \times 10^{-3} = \frac{4 \times 0.073575}{1000 \times 9.81 \times d}$$

$$d = 0.015 \text{ m} = 1.5 \text{ cm}$$

the minimum diameter of tube should be 1.5 cm

1.1.9 बाष्प दाब –(vapour pressure)

द्रव अवस्थेतून वायू अवस्थेत होणाऱ्या बदलाला बाष्पीकरण म्हणतात. मुक्त द्रव पृष्ठभागातून रेणू सतत बाहेर पडल्यामुळे वाष्पीकरण (जे प्रचलित दाब आणि तापमान स्थितीवर अवलंबून असते) होते.

बंद भांड्यात बंदिस्त असलेल्या द्रवाचा (पाणी म्हणा) विचार करा. द्रवाचे तापमान 20°C असू द्या आणि दाब वातावरणीय आहे. हे द्रव 100°C वर बाष्पीभवन होईल. जेव्हा बाष्पीकरण होते, तेव्हा रेणू द्रवाच्या मुक्त पृष्ठभागातून बाहेर पडतात. हे वाष्प रेणू मुक्त द्रव पृष्ठभाग आणि भांड्याच्या वरच्या दरम्यानच्या जागेत जमा होतात. या साचलेल्या वाफांचा द्रव पृष्ठभागावर दबाव निर्माण होतो. हा दाब द्रवाचा बाष्प दाब म्हणून ओळखला जातो किंवा हा दबाव असा आहे ज्यावर द्रव बाष्पांमध्ये रूपांतरित होतो.

कॅव्हिटेशन (Cavitation) –

पोकळ्या निर्माण होणे म्हणजे वाहत्या द्रवाचे बाष्प फुगे (बुडबुडे) तयार होणे ज्या प्रदेशात द्रवाचा दाब बाष्प दाबाच्या खाली येतो आणि उच्च दाबाच्या प्रदेशात हे बाष्प फुगे (बुडबुडे) अचानक कोसळतात. जेव्हा बाष्पाचे फुगे (बुडबुडे) कोसळतात तेव्हा खूप उच्च दाब तयार होतो, ज्या धातूच्या पृष्ठभागावर द्रव वाहत असतो, ते या उच्च दाबांच्या अधीन असतात, ज्यामुळे पृष्ठभागावर खड्डे पडतात. अशा प्रकारे धातूच्या पृष्ठभागावर पोकळ्या (खड्डे) तयार होतात आणि म्हणून त्याला पोकळ्या (खड्डे) निर्माण होणे असे नाव आहे.



कॅव्हिटेशन
आकृती 1.1.10

1.1.10 फ्लुइडपदार्थाचे प्रकार -

फ्लुइडपदार्थाचे प्रकार खालीलप्रमाणे आहेत

- आदर्श फ्लुइड (Ideal fluid)
- वास्तविक फ्लुइड (Real fluid)
- न्यूटोनियन फ्लुइड (Newtonian fluid)
- नॉन-न्यूटोनियन फ्लुइड (Non-Newtonian fluid)
- आदर्श प्लास्टिक फ्लुइड (Ideal plastic fluid)

आदर्श फ्लुइड:

फ्लुइडपदार्थ जो दाबण्यायोग्य नसतो आणि ज्याला व्हिस्कॉसिटी नसते, अशा फ्लुइडपदार्थाला आदर्श फ्लुइड किंवा परिपूर्ण फ्लुइड म्हणतात. तसेच पृष्ठभागावर ताण नसलेला आदर्श फ्लुइड.

आदर्श फ्लुइडपदार्थ ज्यामध्ये नगण्य घर्षण असते. आदर्श फ्लुइड वास्तवात अस्तित्वात नाही.

वास्तविक फ्लुइड:

ज्या फ्लुइडपदार्थाला व्हिस्कॉसिटी, पृष्ठभागावरील ताण इत्यादी गुणधर्म असतात. त्याला वास्तविक फ्लुइड म्हणतात. सर्वसाधारणपणे सर्व प्रकारच्या द्रवांना वास्तविक फ्लुइड मानले जाते. उदाहरणे: केरोसीन आणि एरंडेल तेल.

न्यूटोनियन फ्लुइड:

न्यूटनच्या व्हिस्कॉसिटीच्या नियमाचे पालन करणाऱ्या द्रवाला न्यूटोनियन फ्लुइड असे म्हणतात.

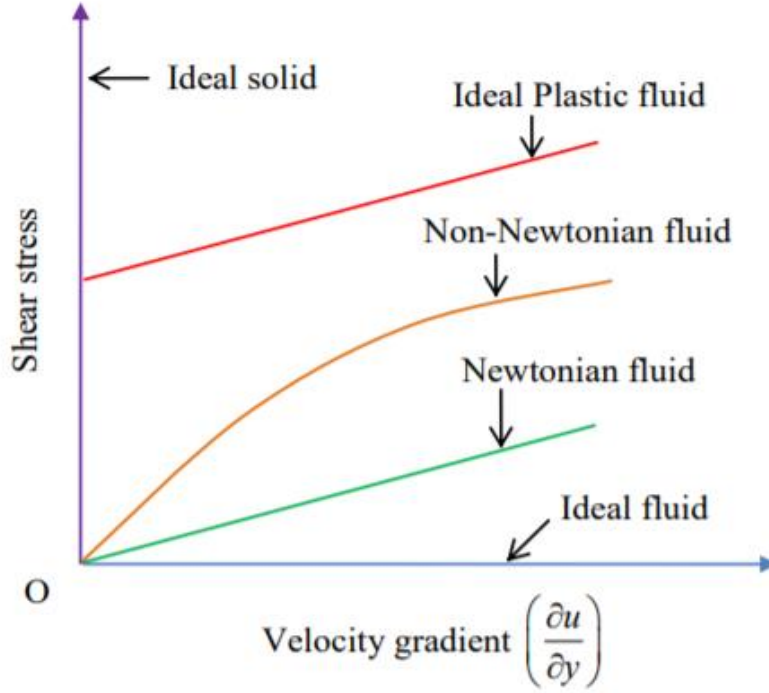
न्यूटोनियन फ्लुइडपदार्थ स्थिर व्हिस्कॉसिटी असते आणि व्हिस्कॉसिटी हे रेट ऑफ डिफॉर्मेशन. वर अवलंबून नाही. प्रसारणाचा दर आणि शीयर स्ट्रेस यांच्यात रेखीय (linear) संबंध असेल. उदाहरणे: गॅसोलीन, हवा, हलके तेल.

नॉन-न्यूटोनियन फ्लुइड:

जो फ्लुइडपदार्थ न्यूटनच्या व्हिस्कॉसिटी नियमाचे पालन करत नाही त्याला नॉन न्यूटोनियन फ्लुइड असे म्हणतात. नॉन न्यूटोनियन फ्लुइडपदार्थातील शीयर स्ट्रेस हे शिअर स्ट्रेन दराशी थेट प्रमाणात नाही. न्यूटोनियन नसलेल्या फ्लुइडपदार्थाच्या अभ्यासाला रिओलॉजी म्हणतात **उदाहरणे :- प्लास्टिक, पेस्ट इ.**

आदर्श प्लास्टिक फ्लुइड:

जर शीयर स्ट्रेस वेगाच्या ग्रेडियंटच्या थेट प्रमाणात असेल आणि जर शीयर स्ट्रेस तणावाचे मूल्य परिणामी पेक्षा जास्त असेल, तर त्याला आदर्श प्लास्टिक फ्लुइड म्हणून संबोधले जाते.



फ्लुइडपदार्थाचे प्रकार
आकृती 1.1.11

1.2.1 फ्लुइड पदार्थाचा दाब

फ्लुइडपदार्थाचा प्रेशर म्हणजे प्रति युनिट क्षेत्रफळाच्या संपर्कात असलेल्या कोणत्याही पृष्ठभागावर फ्लुइड (फ्लुइड किंवा वायू) द्वारे लागू केलेले बल. हे फ्लुइड रेणूंच्या सतत, हालचालीमुळे होते आणि सर्व दिशांनी समान रीतीने कार्य करते. दाबाचे SI एकक पास्कल (Pa) आहे.

1.2.2 प्रेशर हेड

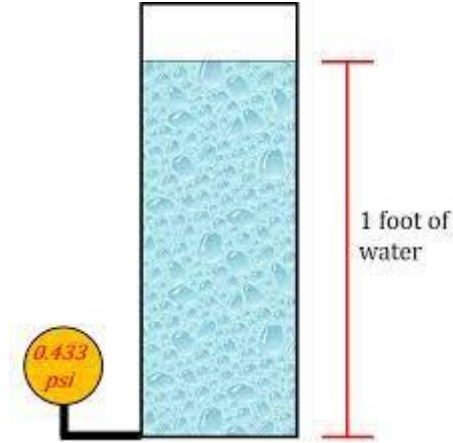
प्रेशर हेड ही द्रव स्तंभाची उंची आहे जी द्रवपदार्थाच्या वजनामुळे स्तंभाच्या पायथ्याशी विशिष्ट दाब निर्माण करते. द्रव यांत्रिकीमध्ये द्रवपदार्थाच्या उंचीमुळे त्याच्या संभाव्य उर्जेचे वर्णन करण्यासाठी त्याचा वापर केला जातो. गणितीयदृष्ट्या, प्रेशर हेड (h_p) खालील समीकरणाद्वारे दाखवली जाते:

$$h_p = \frac{p}{\rho \times g}$$

P = द्रवाचा दाब.

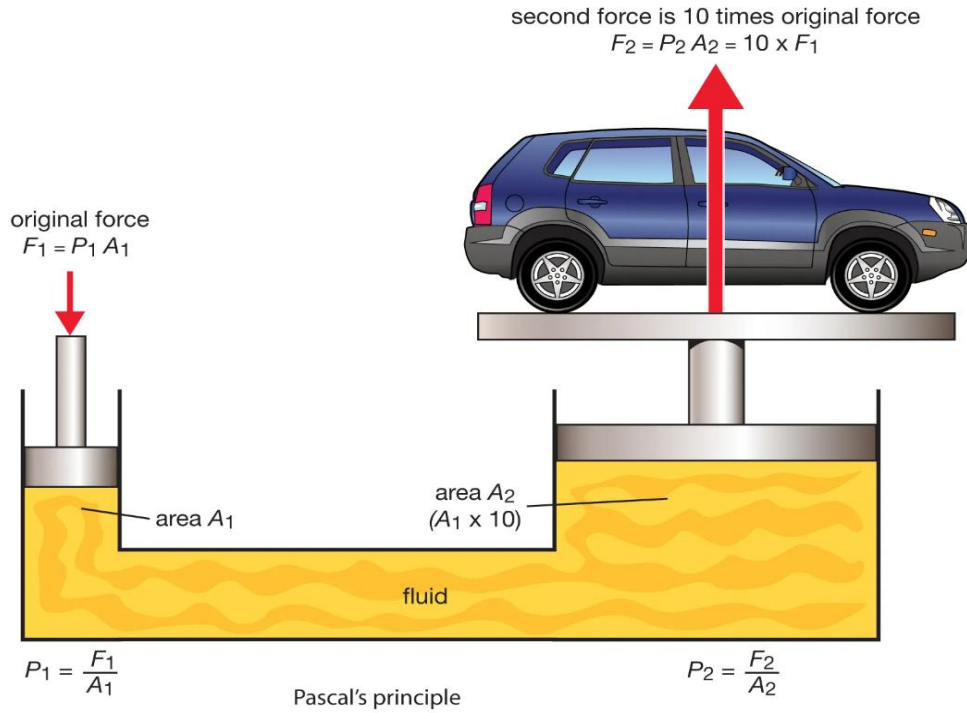
ρ = द्रवाची घनता.

g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारा प्रवेग.



प्रेसर हेड
आकृती 1.2.1

1.2.4 पास्कलचा नियम



पास्कलचा नियम
आकृती 1.2.2

पास्कलच्या नियमानुसार, "बंदिस्त द्रवावर लागू होणारा बाह्य स्थिर दाब सर्व दिशांनी सर्व द्रवामध्ये समान रीतीने वितरित किंवा प्रसारित केला जातो. स्थिर दाब द्रवाच्या संपर्कात असलेल्या कोणत्याही पृष्ठभागावर काटकोनात कार्य करतो. पास्कलला असेही आढळून आले की स्थिर द्रवपदार्थाच्या एका बिंदूवरील दाब त्या द्रवपदार्थातील त्या बिंदूमधून जाणाऱ्या सर्व प्लेनमध्ये सारखाच असतो.

1.2.5 निरपेक्ष व्हॅक्यूमची संकल्पना (Absolute Vacuum)

निरपेक्ष व्हॅक्यूम म्हणजे पूर्णपणे पदार्थ नसलेली जागा, जिथे प्रेशर शून्य असतो. व्यावहारिक दृष्टीने, ही एक आदर्श स्थिती आहे जी पूर्णपणे साध्य केली जाऊ शकत नाही, परंतु व्हॅक्यूम पंप वापरून खूप कमी प्रेशर अंदाजे करता येतो. ही संकल्पना भौतिकशास्त्र आणि अभियांत्रिकीसारख्या क्षेत्रांमध्ये प्रयोग आणि प्रक्रियांसाठी महत्त्वपूर्ण आहे ज्यांना हवेच्या रेणूंचा कमीतकमी हस्तक्षेप आवश्यक आहे.

1.2.6 निरपेक्ष दाब (Absolute Pressure)

निरपेक्ष दाब म्हणजे निरपेक्ष व्हॅक्यूम दाबाच्या संदर्भात मोजले जाणारे दाब

1.2.7 गेज दाब (Gauge Pressure)

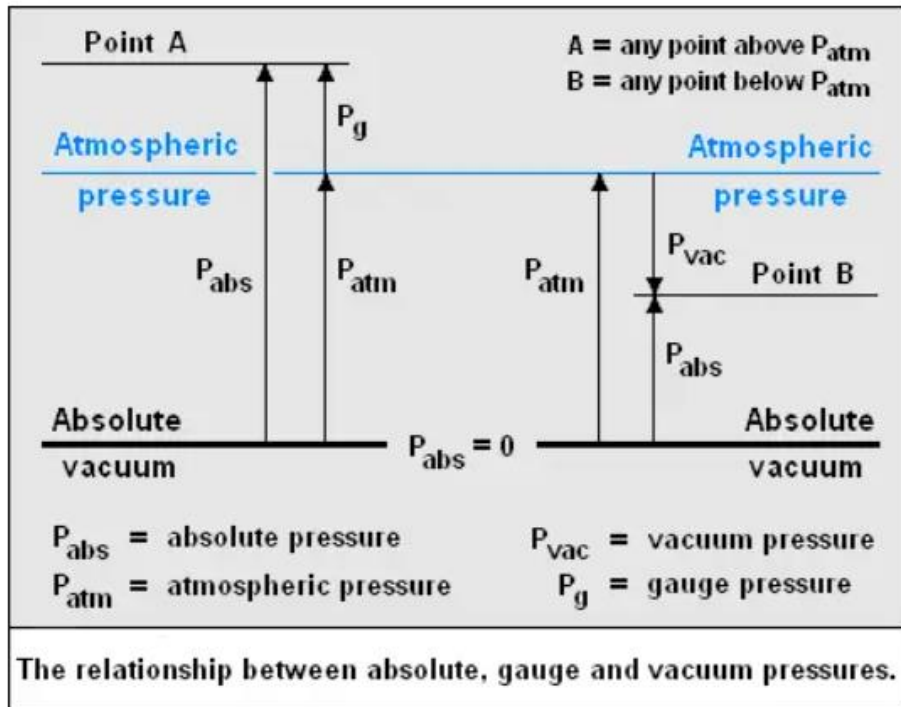
गेज दाब म्हणजे दाब मापन यंत्राच्या साहाय्याने मोजला जाणारा दाब ज्यामध्ये वातावरणाचा दाब डेटम म्हणून घेतला जातो. स्केलवरील वातावरणाचा दाब शून्य म्हणून चिन्हांकित केला जातो

$$P_{\text{gauge}} = P_{\text{absolute}} - P_{\text{atmospheric}}$$

जेथे P_{absolute} हा निरपेक्ष दाब आहे आणि $P_{\text{atmospheric}}$ हा वायुमंडलीय दाब

1.2.8 व्हॅक्यूम प्रेशर (Vacuum Pressure)

व्हॅक्यूम प्रेशरची व्याख्या वायुमंडलीय दाबापेक्षा कमी दाब म्हणून केली जाते.



निरपेक्ष, गेज आणि व्हॅक्यूम प्रेशर यांच्यातील संबंध

आकृती 1.2.2

दाबाची वेगवेगळी एकके आणि त्यांचे आंतरसंबंध

पास्कल (Pa) : दाबाचे SI एकक. $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

वातावरण (एटीएम) : मानक वायुमंडलीय दाब. $1 \text{ atm} = 101,325 \text{ Pa}$

बार : 1 बार = 100,000 Pa

1.3.1 मॅनोमीटर

मॅनोमीटर हे एक यंत्र आहे जे द्रवपदार्थाच्या एका बिंदूवर दाब मोजण्यासाठी समान किंवा दुसऱ्या द्रवाद्वारे द्रवपदार्थाचा स्तंभ संतुलित करते.

मॅनोमीटरचे प्रकार

खालील तीन वेगवेगळ्या प्रकारचे मॅनोमीटर आहेत:

- साधे मॅनोमीटर
- डिफरेन्शियल मॅनोमीटर



मॅनोमीटर
आकृती 1.3.1

1 साधे मॅनोमीटर

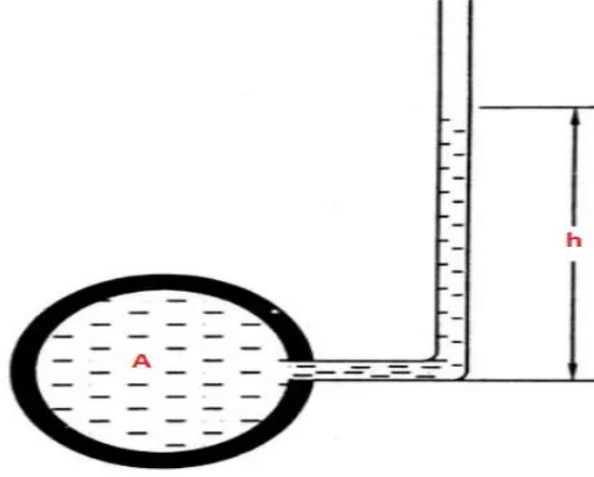
साध्या मॅनोमीटरमध्ये काचेची नळी असते ज्याचे एक टोक अशा बिंदूशी जोडलेले असते जिथे प्रेशर मोजायचा असतो आणि दुसरे टोक वातावरणासाठी खुले असते.

साध्या मॅनोमीटरचे पुढील चार प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले आहे:

- पिझोमीटर
- यू-ट्यूब मॅनोमीटर

a) पिझोमीटर

ज्या भांड्यात किंवा पाईपमध्ये फ्लुइड आहे त्या भांड्यामध्ये प्रेशर मोजण्यासाठी, कंटेनर किंवा पाईपच्या भिंतींना एक ट्यूब जोडली जाते ज्यामध्ये फ्लुइड राहतो जेणेकरून ट्यूबमध्ये फ्लुइड वाढू शकेल. फ्लुइड कोणत्या उंचीवर चढतो हे ठरवून आणि $p = \rho gh$ संबंध वापरून, द्रवाचा गेज प्रेशर निर्धारित केला जाऊ शकतो. असे उपकरण पिझोमीटर म्हणून ओळखले जाते.

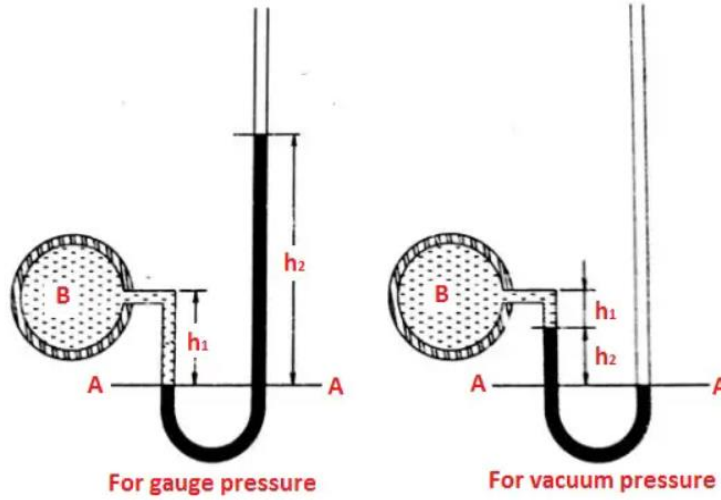


Piezometer

पिझोमीटर

आकृती 1.3.2

b) यू-ट्यूब मॅनोमीटर



यू-ट्यूब मॅनोमीटर

आकृती 1.3.3

आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे यात U-आकारात वाकलेली काचेची नळी असते, ज्याचे एक टोक एका बिंदूशी जोडलेले असते ज्यावर दाब मोजायचा असतो आणि दुसरे टोक वातावरणाला उघडे राहते. ही नळी पारा किंवा इतर कोणतेही द्रव ज्याचे विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण त्या द्रवाच्या विशिष्ट गुरुत्वाकर्षणापेक्षा जास्त असते ज्याचा दाब मोजायचा असतो.

2. डिफरेंशियल मॅनोमीटर

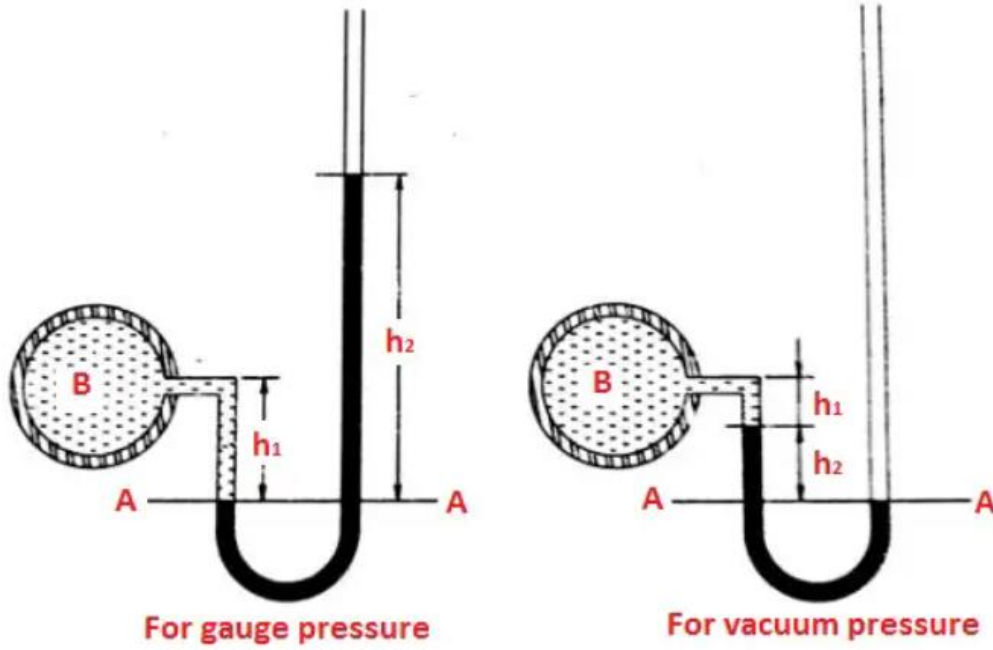
डिफरेंशियल मॅनोमीटर हे पाईपमधील किंवा दोन वेगवेगळ्या पाईप्समधील दोन बिंदूंमधील प्रेशर फरक मोजण्यासाठी वापरले जाणारे उपकरण आहे.

डिफरेंशियल मॅनोमीटरमध्ये यू-ट्यूब असते, ज्यामध्ये जड फ्लुइड असतो, ज्याची दोन टोके अशा बिंदूंनी जोडलेली असतात ज्यांच्या दाबाचा फरक मोजला जातो:

2.1 यू-ट्यूब डिफरेंशियल मॅनोमीटर

हे असे उपकरण आहे जे पाईपमधील दोन बिंदूंमधील किंवा दोन भिन्न पाईप्समधील प्रेशर फरक मोजण्यासाठी वापरले जाते. या मॅनोमीटरमध्ये यू-आकाराची नळी असते ज्यामध्ये भारी फ्लुइड असतो.

दोन टोके पाईपमधील दोन इच्छित बिंदूंची जोडलेली आहेत ज्यांच्या दाबाचा फरक आवश्यक आहे. बिंदू A वरील प्रेशर B बिंदूपेक्षा जास्त असू द्या. नंतर A वरील जास्त प्रेशर U-ट्यूबमधील जड फ्लुइड खाली जाण्यास भाग पाडेल. डाव्या अंगातील जड द्रवाच्या या खालच्या दिशेने हालचालीमुळे उजव्या अंगातील जड फ्लुइड समान प्रमाणात वाढेल.



यू-ट्यूब डिफरेंशियल मॅनोमीटर
आकृती 1.3.3

मॅनोमीटरचे फायदे

- ते वापरणे सोपे आहे.
- यात उत्तम अचूकता आहे.
- दाब, तापमान, प्रवाह आणि इतर प्रक्रिया बाबी मोजण्यासाठी वापरले जाते.

मॅनोमीटरचे तोटे

- मॅनोमीटरला कमी प्रमाणात डायनॅमिक स्थितीत प्रतिसाद असतो.
- ते नाजूक आहेत आणि म्हणून त्यांना जागा बदल साठी हालचाल कमी प्रमाणात करतात.
- मॅनोमेट्रिक फ्लुइडपदार्थाची घनता तापमानावर अवलंबून असते. त्यामुळे तापमानातील बदलामुळे चुका होऊ शकतात.

मॅनोमीटरचा वापर

- एअर कंडिशनिंग आणि गॅसच्या देखभालीसाठी वापरले जाते
- याचा उपयोग पूल, जलतरण तलाव आणि इतर अभियांत्रिकी उद्देशांसाठी केला जातो.

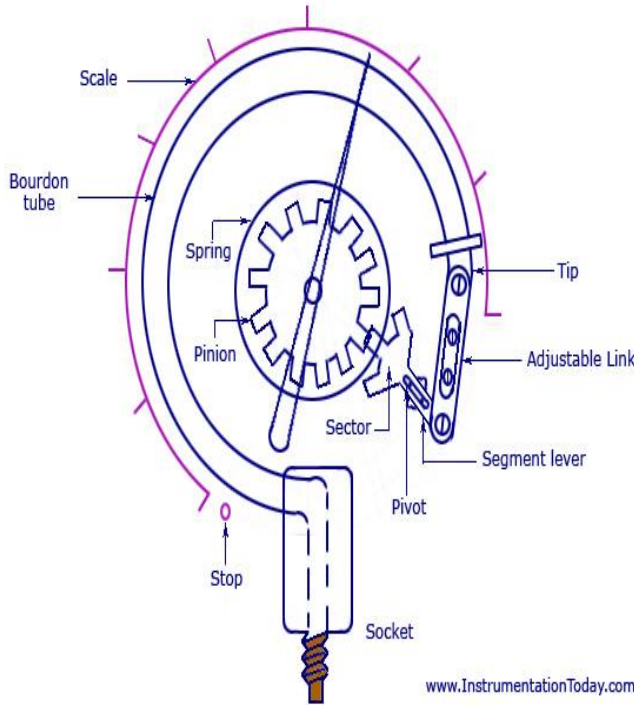
c) क्लिनिकल ऍप्लिकेशन्समध्ये जसे की रक्त दाब मोजणे आणि फिजिओथेरेपी यासाठी केला जातो.

1.3.2 बॉर्डन ट्यूब प्रेशर गेज

बॉर्डन ट्यूब प्रेशर गेजमध्ये एक लवचिक ट्यूब असते जी एका बाजूला सॉकेटमध्ये बांधली जाते किंवा वेल्डेड केली जाते. बॉर्डन ट्यूब प्रेशर गेज आत दाबलेल्या द्रवाने भरलेल्या गुंडाळलेल्या किंवा अर्धवर्तुळाकार धातूच्या ट्यूबमध्ये किती बदल होतो याचा अंदाज घेऊन कार्य करते. हे या तत्त्वामुळे आहे की प्रेशर दिल्यावर चपटी नळी सामान्यतः तिची गोलाकार रचना परत मिळवते.

0.6 - 7,000 बार दरम्यानच्या सापेक्ष दाबांच्या मापनासाठी बॉर्डन ट्यूब प्रेशर गेजचा वापर केला जातो. हे यांत्रिक प्रेशर मोजणारी उपकरणे म्हणून वर्गीकृत आहेत आणि म्हणून ते कोणत्याही विद्युत उर्जेचा वापर न करता कार्य करतात

रचना आणि कार्य



Bourdon Tube Pressure Gauge



बॉर्डन ट्यूब प्रेशर गेज

आकृती 1.3.4

यात मूलतः सी-मोल्डेड पोकळ नळी असते, ज्याचा एक टोक स्थिर असतो आणि प्रेशर टॅपिंगशी जोडलेला असतो, तर दुसरे टोक मोकळे सोडले जाते, आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे. ट्यूबचा क्रॉस-सेक्शनल भाग लंबवर्तुळाकार आहे. जेव्हा दाब लागू केला जातो तेव्हा लंबवर्तुळाकार नलिका (किंवा बॉर्डन ट्यूब) गोलाकार क्रॉस-सेगमेंट मिळविण्याचा प्रयत्न करते. अशा प्रकारे, तणाव निर्माण होतो आणि ट्यूब सरळ होण्याचा प्रयत्न करते. त्यानंतर, दाबाच्या विशालतेवर अवलंबून, ट्यूबचा मुक्त टोक वरच्या दिशेने फिरतो. लागू केलेला दाब नळीच्या मुक्त-बंद टोकाच्या विस्थापनाशी आनुपातिक संबंधात असतो. एक विक्षेपित (deflection) आणि सूचित करणारी यंत्रणा फ्री एंडशी जोडलेली असते जी पॉइंटर फिरवते आणि दबाव रिडींग दर्शवते वापरलेली सामग्री सामान्यतः फॉस्फर कांस्य, पितळ आणि बेरिलियम कॉपर असते. सी-ट्यूबच्या दोन-इंच एकूण व्यासासाठी, मुक्त टोकाचा उपयुक्त

लांबी अंदाजे $\frac{1}{8}$ इंच आहे. तथापि, सी-टाइप ट्यूब या सर्वात सामान्यपणे वापरल्या जातात, वेगवेगळ्या आकाराच्या नळ्या, उदाहरणार्थ, हेलिकल, वाकलेल्या किंवा सर्पिल नळ्या देखील वापरल्या जातात.

- 1) The right limb of a simple U tube manometer containing mercury is open to the atmosphere while the left limb is connected to a pipe in which a fluid of specific gravity of 0.9 is flowing. The center of pipe is 12cm below the level of mercury in right limb. Find pressure of fluid in the pipe if the difference of mercury level in the two limbs is 20cm.

Given-

Sp.Gravity of fluid $S_1 = 0.9$

Density of fluid $\rho_1 = S_1 \times 1000 = 0.9 \times 1000 = 900 \text{ kg/m}^3$

Sp.Gravity of mercury $S_2 = 13.6$

Density of mercury $\rho_2 = S_2 \times 1000 = 13.6 \times 1000 = 13600 \text{ kg/m}^3$

Difference of mercury level $h_2 = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$

Height of fluid from A-A $h_1 = 20 - 12 = 8 \text{ cm} = 0.08 \text{ m}$

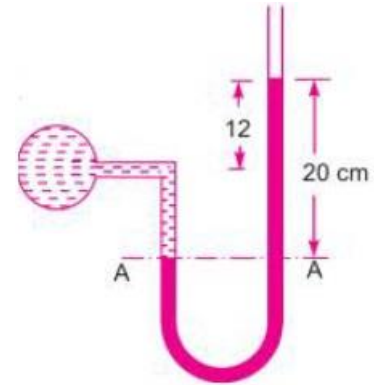
Let p = pressure of fluid in pipe

Equating the pressure above A-A we get

$$p + \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$$

$$p + 900 \times 9.81 \times 0.08 = 13.6 \times 1000 \times 9.81 \times 2$$

$$p = 25977 \text{ N/m}^2 = 2.597 \text{ N/cm}^2$$



- 2) A simple U-tube manometer containing mercury is connected to a pipe in which a fluid of sp. gr. 0.8 and having vacuum pressure is flowing. The other end of the manometer is open to atmosphere. Find the vacuum pressure in pipe, if the difference of mercury level in the two limbs is 40 cm and the height of fluid in the left from the centre of pipe is 15 cm below.

Given-

Sp.gravity of fluid $S_1 = 0.8$

Sp.gravity of mercury $S_2 = 13.6$

Density of fluid $\rho_1 = 800$

Density of mercury $\rho_2 = 13.6 \times 1000$

Difference of mercury level $h_2 = 40 \text{ cm} = 0.4 \text{ m}$

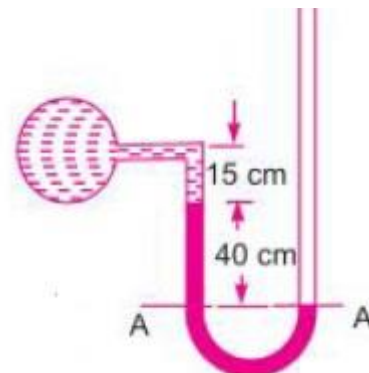
Height of liquid in left limb $h_1 = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$

Let the pressure in pipe = p

Equating pressure above datum line A-A

$$p + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 = 0$$

$$p = - [\rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2]$$



$$= - [13.6 \times 1000 \times 9.81 \times 0.4 + 800 \times 9.81 \times 0.15]$$

$$= -[53366.4 + 1177.2]$$

$$= -54543.6 \text{ N/m}^2 = -5.454 \text{ N/cm}^2$$

1.4.1 एकूण दबाव (Total Pressure)

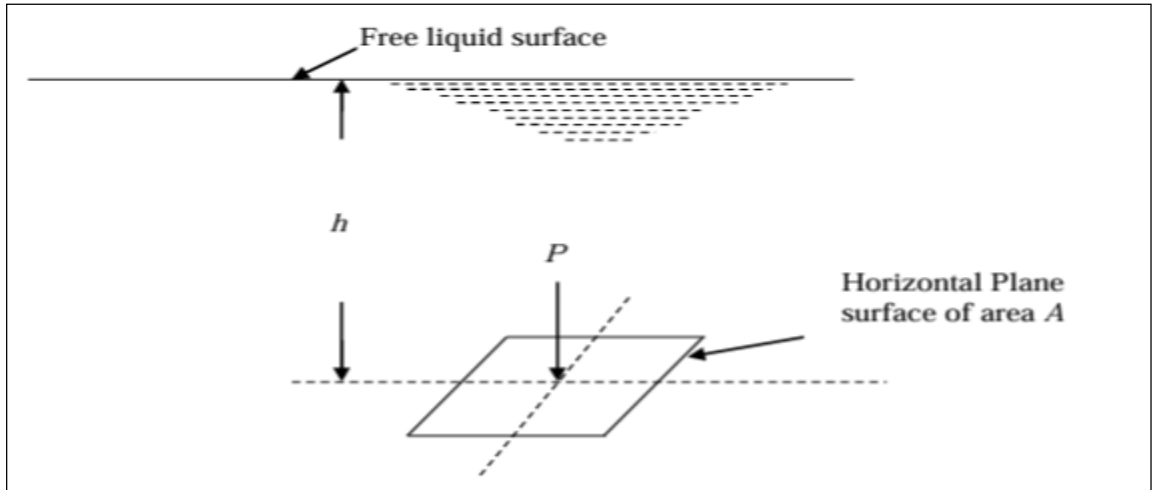
जेव्हा द्रव पृष्ठभागाच्या संपर्कात येतो तेव्हा एकतर समतल किंवा वक्र पृष्ठभागावर स्थिर द्रवपदार्थाद्वारे लागू केलेले बल म्हणून एकूण दाब परिभाषित केला जातो. हे बल नेहमी पृष्ठभागावर सामान्य कार्य करते

1.4.2 दबाव केंद्र (Pressure Center)

पृष्ठभागावर एकूण दाब लागू करण्याच्या बिंदूला दाब केंद्र म्हणतात.

1.4.3 आडव्या स्थितीत फ्लुइड मध्ये विसर्जित नियमित पृष्ठभाग (प्लेटवर) एकूण दबाव

विशिष्ट वजन w च्या द्रवाच्या स्थिर वस्तुमानात पूर्णपणे बुडलेले क्षेत्र A च्या समतल पृष्ठभागाचा विचार करूया. समतल पृष्ठभाग आकृतीमध्ये दर्शविलेल्या द्रवाच्या मुक्त पृष्ठभागाच्या खाली h खोलीवर आडव्या स्थितीत (मुक्त फ्लुइड पृष्ठभागाच्या समांतर) ठेवला जातो.



आडव्या समतल पृष्ठभागावरील एकूण दाब

आकृती 1.4.1

आडव्या पृष्ठभागावरील प्रत्येक बिंदू द्रवाच्या मुक्त पृष्ठभागाच्या खाली h समान खोलीवर असल्याने, संपूर्ण पृष्ठभागावरील प्रेशर तीव्रता p च्या बरोबरीने स्थिर आहे.

म्हणून, पृष्ठभागावर कार्य करणारे एकूण दाब बल F द्वारे दिले जाते

$F = \text{पृष्ठभागाच्या संपूर्ण पृष्ठभागावरील दाब तीव्रता} \times \text{क्षेत्रफळ}$

$$= p \times A$$

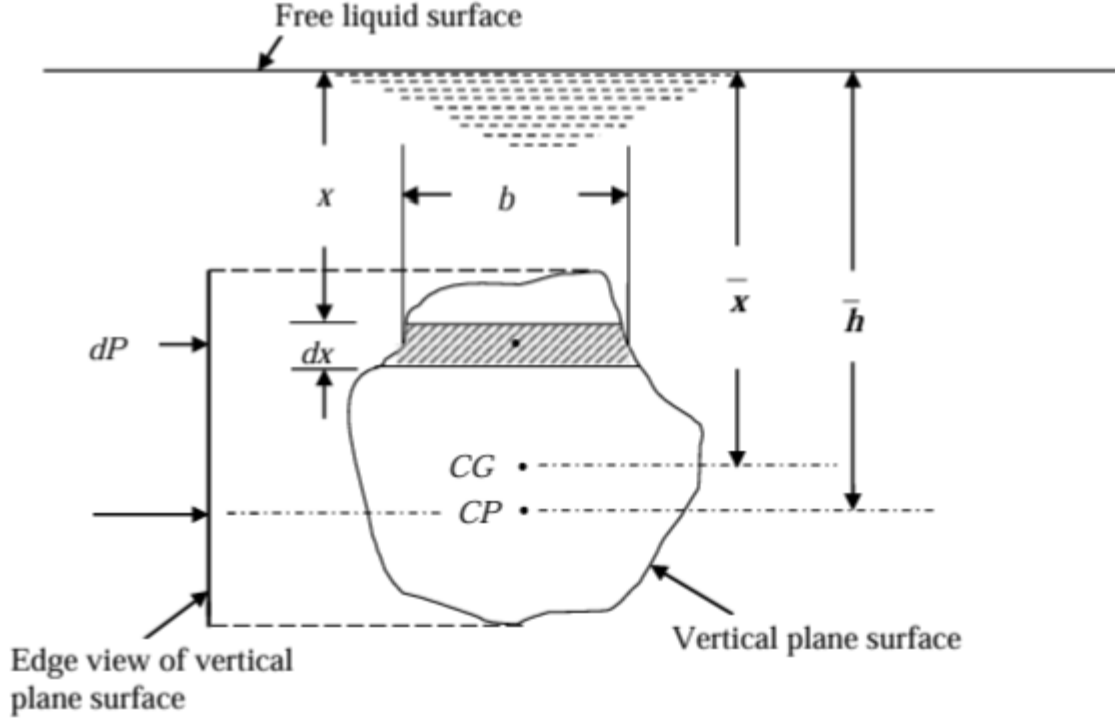
$$= (wh)A = wAh$$

$$F = \rho gAh$$

एकूण दाब शक्ती क्षैतिज समतल पृष्ठभागाच्या सामान्य (लंब) दिशेने कार्य करते. हे पृष्ठभागाच्या मध्यभागी उभ्या खालच्या दिशेने कार्य करते.

1.4.4 उभ्या स्थितीत फ्लुइड मध्ये विसर्जित नियमित पृष्ठभाग (प्लेटवर) एकूण दाबाव

खालील आकृती अनियंत्रित आकार आणि क्षेत्रफळ A चे समतल पृष्ठभाग दर्शविते, विशिष्ट वजन w च्या द्रवाच्या स्थिर वस्तुमानात पूर्णपणे बुडलेले आहे. समतल पृष्ठभाग उभ्या अशा प्रकारे धरला जातो की पृष्ठभागाचा केंद्रबिंदू फ्लुइड मुक्त पृष्ठभागाच्या खाली उभ्या खोलीवर स्थित असतो. उभ्या समतल पृष्ठभागावर कार्य करणाऱ्या एकूण प्रेशर बलाच्या वापराच्या बिंदूचे परिमाण आणि स्थान निश्चित करू.



उभ्या समतल पृष्ठभागावरील एकूण प्रेशर द्रवात पूर्णपणे बुडवून
आकृती 1.4.2

येथे, संपूर्ण पृष्ठभागावरील दाबाची तीव्रता स्थिर नसते, म्हणजेच ती पृष्ठभागावरील बिंदूपासून बिंदूपर्यंत बदलते. द्रवाची खोली पृष्ठभागावरील बिंदूपासून बिंदूपर्यंत बदलत असल्याने, दाबाची तीव्रता संपूर्ण पृष्ठभागावर स्थिर नसते.

- 1) A Rectangular plane surface is 2 m wide and 3m deep It lies in vertical plane in water. Determine the total pressure and position of center of pressure on plane surface when upper edge is horizontal and coincides with water surface

Width of plane surface $b = 2$ m

Depth of plane surface $d = 3$ m

Total pressure is given by

$$F = \rho g A \bar{h}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$A = 3 \times 2 = 6 \text{ m}^2$$

$$\bar{h} = \frac{1}{2} \times 3 = 1.5 \text{ m}$$

$$F = 1000 \times 9.81 \times 6 \times 1.5$$

$$= 88290 \text{ N}$$

Depth of center of pressure is given by equation

$$h^* = \frac{IG}{Ah} + \bar{h}$$

where I_G = M.O.I about C.G of the area of surface

$$= \frac{b \times d^3}{12} = \frac{2 \times 3^3}{12} = 4.5 \text{ m}^4$$

$$h^* = \frac{4.5}{6 \times 1.5} + 1.5 = 2 \text{ m}$$

- 2) Determine the total pressure on a circular plate of diameter 1.5 m which is placed vertically in water in such a way that center of plate is 3 m below the free surface of water

Find the position of center of pressure also.

Given-

Dia of plate, $d = 1.5 \text{ m}$

$$A = \frac{\pi}{4} \times 1.5^2 = 1.767 \text{ m}^2$$

$$\bar{h} = 3 \text{ m}$$

$$F = \rho g A \bar{h}$$

$$= 1000 \times 9.81 \times 1.767 \times 3$$

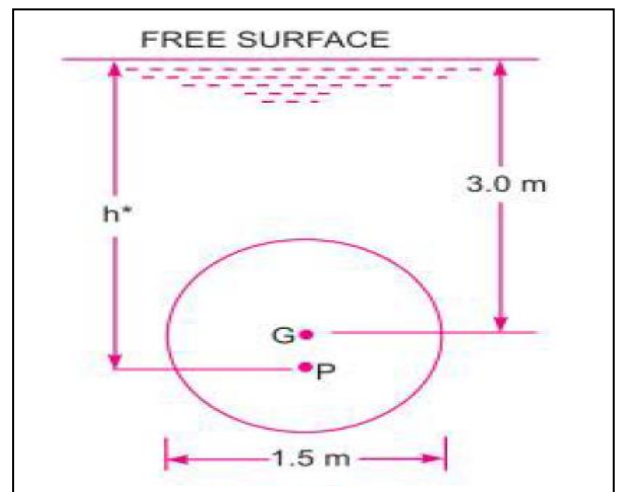
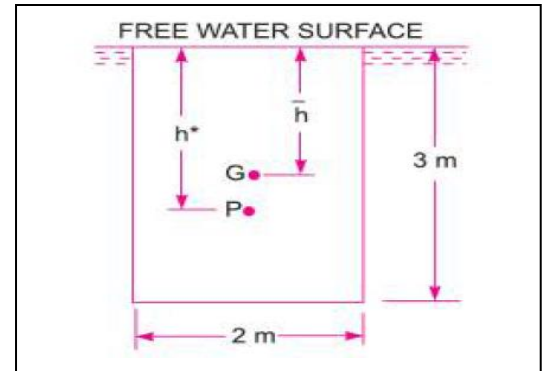
$$= 52002.81 \text{ N}$$

$$h^* = \frac{IG}{Ah} + \bar{h}$$

$$I_G = \frac{\pi \times d^4}{64} = \frac{\pi \times 1.5^4}{64} = 0.2485 \text{ m}^4$$

$$h^* = \frac{0.2485}{1.767 \times 3} + 3.0$$

$$h^* = 3.0468 \text{ m}$$



Exercise:

TLO 1.1 Explain various properties of fluids

1. Define mass density and write its SI unit. (R)
2. Define specific weight of fluid along with its unit. (R)
3. Explain the concept of specific volume. (U)
4. Define compressibility and the bulk modulus of elasticity (R)

TLO 1.2 Explain different types of fluids

5. List and define the different types of fluids (R)
6. Compare Newtonian fluid and Non Newtonian fluid (U)

TLO 1.3 Compare given fluids based on the required physical properties

7. Compare physical properties such as Density, specific weight, viscosity, specific gravity of water and mercury (U)

TLO 1.4 Select suitable pressure measuring device for the given application with Justification

8. Choose suitable pressure measuring device for given application (A)
a) blood pressure b) pressure of water in pump

TLO 1.5 Calculate fluid pressure, total pressure and center of pressure on given immersed body for given position in specified liquid

9. Determine the total pressure, center of pressure on a circular plate of diameter 1.5m which is placed vertically in water in such way that the center of plate is 3m below the free surface of water. (A)
10. A rectangular plate surface is 2m wide and 3m deep. It lies in vertical plane in water. Determine total pressure and center of pressure on the plane surface when its upper edge is horizontal and coincides with water surface. (A)

2. द्रव प्रवाहाची मूलतत्त्वे आणि प्रवाह मापन (Fundamentals of Fluid Flow and Flow Measurement)

विषय निष्पत्ती: वेंचुरीमीटर, ऑरिफिस मीटर आणि पिटोट ट्यूब यांसारख्या विविध प्रवाह मापन उपकरणांवर बर्नोलीच्या सिद्धांताची लागू करा. (Apply Bernoulli's theorem to various flow measuring devices like venturimeter, orifice meter and pitot tube, etc).

घटक निष्पत्ती:

TLO 2.1: विविध प्रकारच्या द्रव प्रवाहांचे वर्गीकरण करा. (Classify different types of fluid flows).

TLO 2.2: विविध प्रवाह मापन उपकरणांवर सातत्य समीकरण (Continuity Equation) आणि बर्नोली समीकरण (Bernoulli's Equation) लागू करा. (Apply Continuity equation and Bernoulli's equation to the various flow measuring devices).

TLO 2.3: दिलेल्या प्रवाह मापन उपकरणाचा वापर करून प्रवाह विसर्ग (Discharge) गणना करण्याची प्रक्रिया वर्णन करा. (Describe procedure to calculate discharge using the given flow measuring device)

TLO 2.4: दिलेल्या प्रवाह मापन उपकरणाचा वापर करून प्रवाह दर (Flow Rate) गणना करा. (Calculate the flow rate using given flow measuring device).

2.1 द्रव प्रवाह(Fluid Flow):

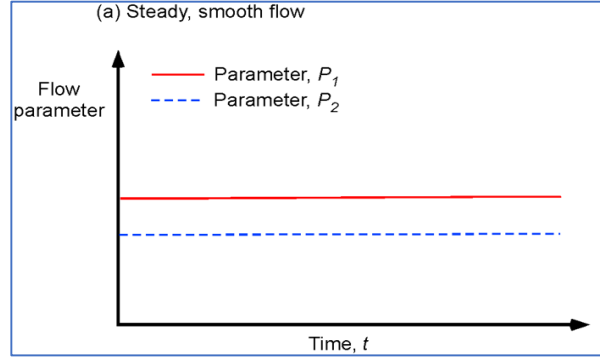
परिचय(Introduction): द्रव प्रवाह ही भौतिकशास्त्र आणि अभियांत्रिकीमधील एक मूलभूत संकल्पना आहे. जी द्रव आणि वायूंच्या हालचालींचे वर्णन करते. यांत्रिक, नागरी, रासायनिक आणि पर्यावरण अभियांत्रिकी, तसेच भौतिकशास्त्र, जीवशास्त्र आणि औषध यासह विविध क्षेत्रांमध्ये द्रव प्रवाह समजून घेणे महत्त्वपूर्ण आहे.

द्रव प्रवाहाचे प्रकार: विविध प्रकारचे द्रव प्रवाह आहेत जे खालीलप्रमाणे आहेत:

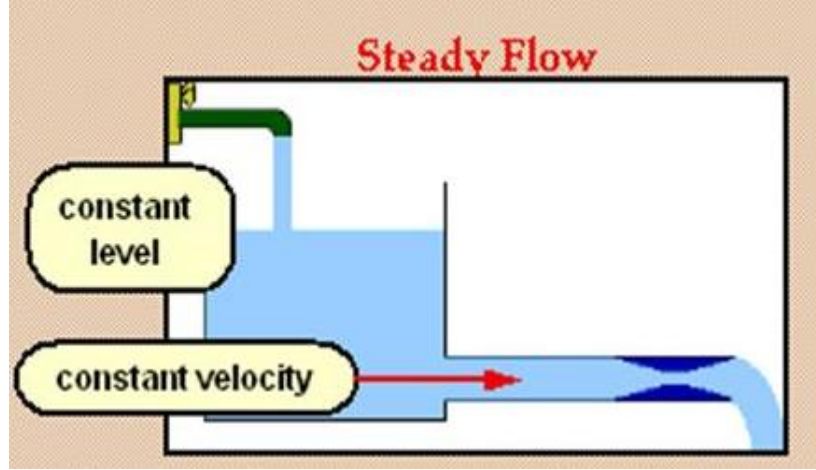
1. स्थिर आणि अस्थिर(Steady and Unsteady)
2. युनिफॉर्म आणि नॉन-युनिफॉर्म(Uniform and Non-uniform)
3. रोटेशनल आणि इरोटेशनल(Rotational and Irrotational)
4. एक, दोन आणि त्रिमितीय(One, two and three dimensional)
5. लॅमिनार आणि टर्ब्युलंट(Laminar and Turbulent)

1. स्थिर आणि अस्थिर प्रवाह:(Steady and Unsteady)

स्थिर प्रवाह : ज्या प्रवाह मध्ये वेग, दाब आणि क्रॉस सेक्शनल एरिया या स्थिती किंवा प्रवाहानुसार बदलत नाहीत , अशा प्रवाहाला स्थिर प्रवाह म्हणतात

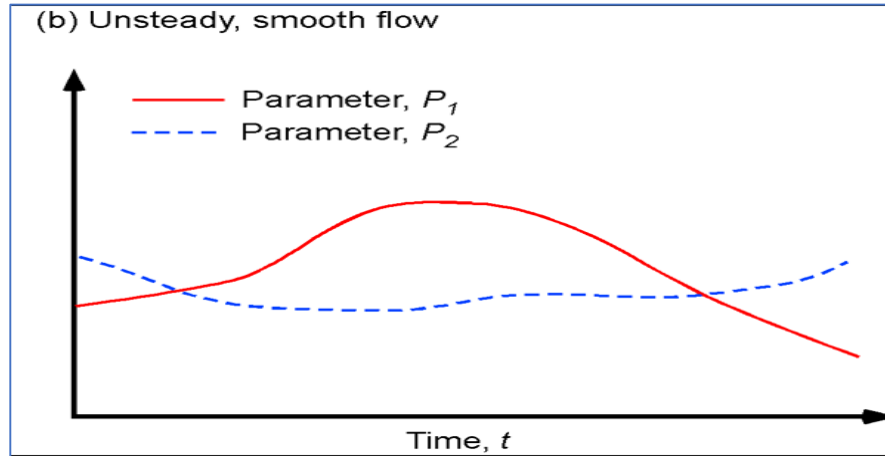


स्थिर प्रवाह
आकृती 2.1.1

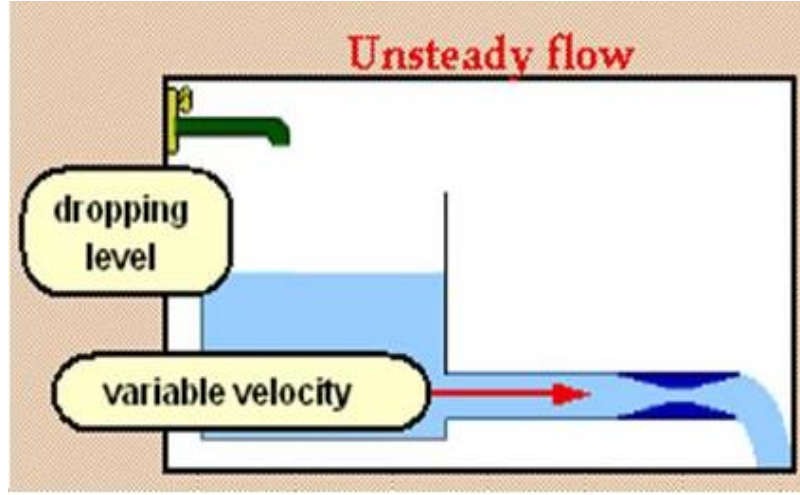


पाण्याचा स्थिर प्रवाह
आकृती 2.1.2

अस्थिर प्रवाह: अस्थिर प्रवाह हा प्रवाहाचा एक प्रकार आहे, ज्याचा वेग, दाब किंवा घनता वेळेनुसार बदलते.



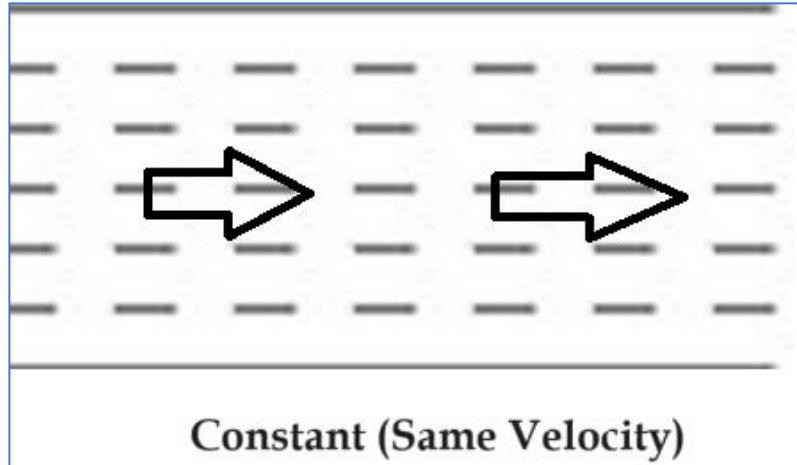
अस्थिर प्रवाह
आकृती 2.1.3



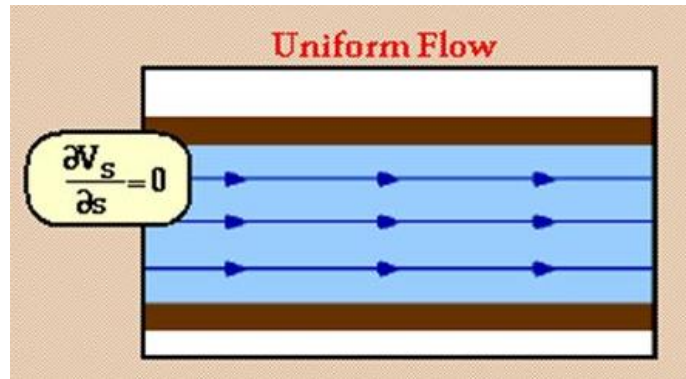
पाण्याचा अस्थिर प्रवाह
आकृती 2.1.4

2. युनिफॉर्म आणि नॉन-युनिफॉर्म प्रवाह:

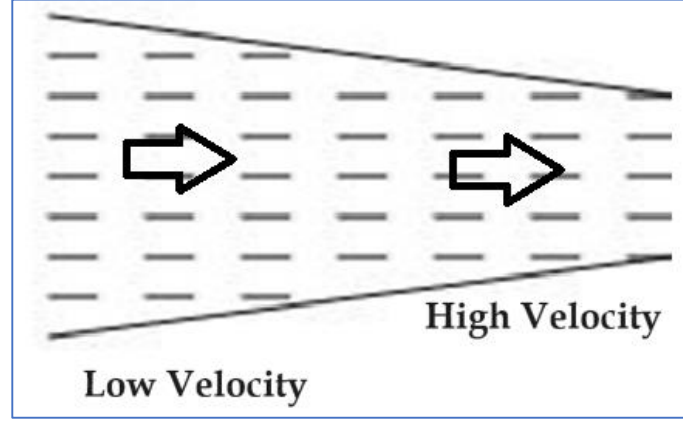
युनिफॉर्म प्रवाह: ज्या प्रवाहात प्रवाहाच्या दिशेच्या लांबीच्या संदर्भात कोणत्याही वेळी वेग बदलत नाही त्याला युनिफॉर्म प्रवाह म्हणतात. उदाहरण : जेव्हा द्रव प्रवाह एकसारख्या व्यास असलेल्या पाईप मधून जातो.



युनिफॉर्म प्रवाह
आकृती 2.1.5



पाण्याचा युनिफॉर्म प्रवाह
आकृती 2.1.6

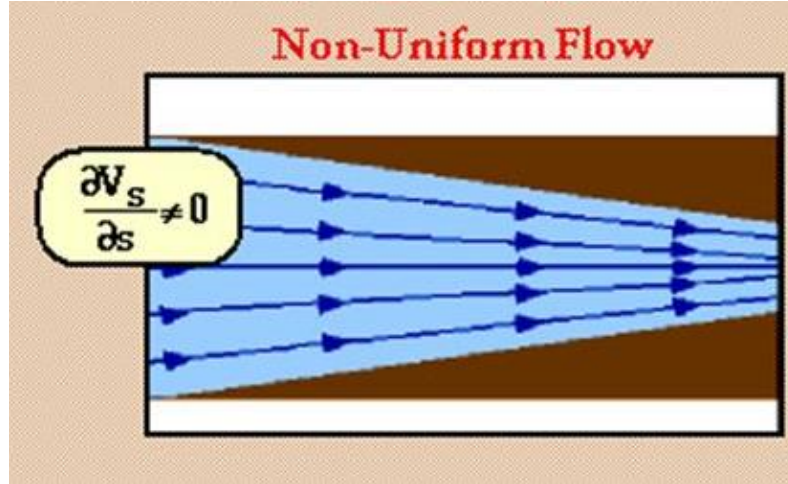
नॉन-युनिफॉर्म फ्लो:

नॉन-युनिफॉर्म प्रवाह

आकृती 2.1.7

ज्या प्रवाहात प्रवाहाच्या दिशेच्या लांबीच्या संदर्भात कोणत्याही वेळी वेग बदलतो त्याला नॉन-युनिफॉर्म फ्लो म्हणतात.

उदाहरण : जेव्हा द्रव प्रवाह निमुळत्या किंवा वेगवेगळ्या व्यास असलेल्या पाईप मधून जातो.



पाण्याचा नॉन-युनिफॉर्म प्रवाह

आकृती 2.1.8

3. रोटेशनल आणि इरोटेशनल:

रोटेशनल फ्लो: ज्या प्रवाहात द्रव कण प्रवाहाच्या रेषांवरून वाहतो, त्याच्या स्वतःच्या अक्षाभोवती देखील फिरतो त्याला रोटेशनल फ्लो म्हणतात.

उदाहरण : जेव्हा द्रव प्रवाह बेसिन मध्यभागी गोलाकार फिरत जातो किंवा पंपच्या केसिंग मध्ये गोलाकार फिरतो.



रोटेशनल फ्लो
आकृती 2.1.9

इरोटेशनल फ्लो: ज्या प्रवाहात द्रव कण प्रवाहाच्या रेषांवरून वाहतात , त्यांच्या स्वतःच्या अक्षाभोवती फिरत नाहीत त्याला इरोटेशनल फ्लो म्हणतात.

4. एक, दोन आणि त्रिमितीय:

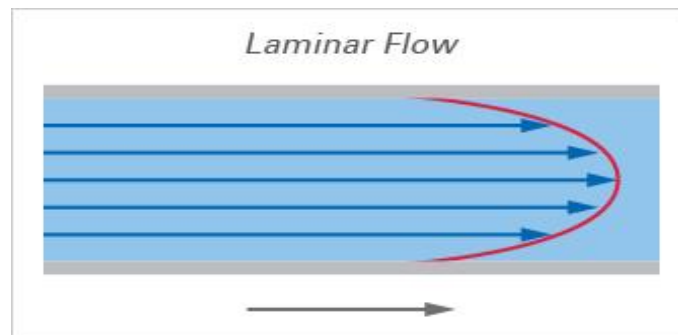
एक-आयामी द्रव प्रवाह(One-dimensional fluid flow): जेव्हा द्रवाचे गुणधर्म जसे: वेग, घनता आणि दाब एका दिशेने बदलतात तेव्हा त्याला एक-आयामी द्रव प्रवाह म्हणतात.

द्विमितीय द्रव प्रवाह(two-dimensional fluid flow): जेव्हा द्रव गुणधर्म जसे: वेग, घनता आणि दाब दोन दिशांमध्ये बदलतात तेव्हा त्याला द्विमितीय द्रव प्रवाह म्हणतात

त्रिमितीय द्रव प्रवाह(three-dimensional fluid flow): जेव्हा द्रव गुणधर्म जसे: वेग, घनता आणि दाब तीन दिशांमध्ये बदलतात तेव्हा त्याला त्रिमितीय द्रव प्रवाह म्हणतात.

5. लॅमिनर आणि टर्ब्युलंट :

लॅमिनर फ्लो: जेव्हा द्रव समांतर स्तरांमध्ये वाहतो, ज्यामध्ये थरांमध्ये कोणतेही मिश्रण होत नाही त्याला लॅमिनर फ्लो म्हणतात. उदाहरण : रक्ताचा नलिकेतील प्रवाह , मधाचा प्रवाह

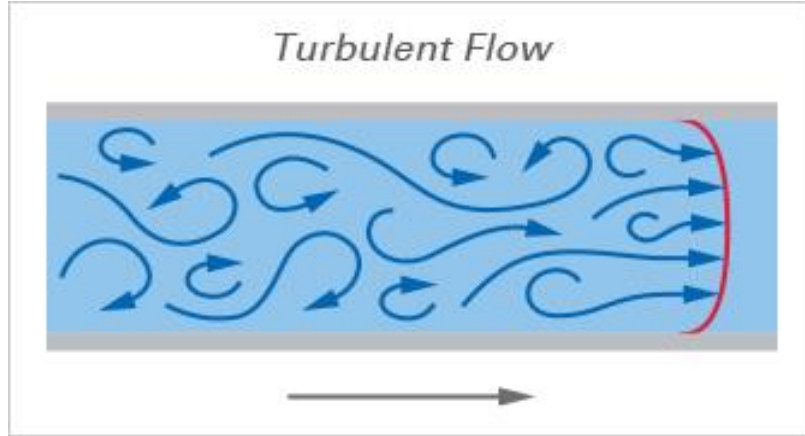


लॅमिनर फ्लो
आकृती 2.1.10



मधाचा प्रवाह
आकृती 2.1.11

टर्ब्युलंट फ्लो: टर्ब्युलंट प्रवाहामध्ये जेव्हा द्रव थरांमध्ये मिसळून वेगाने फिरत असतो तेव्हा त्याला टर्ब्युलंट फ्लो म्हणतात. उदाहरण : पूर किंवा पाईप फुटलेल्या भागातून मधून पाण्याचा प्रवाह.



टर्ब्युलंट फ्लो
आकृती 2.1.12



पूर प्रवाह
आकृती 2.1.13

2.1 रेनॉल्डच्या क्रमांकाची संकल्पना- Concept of Reynold's number

व्याख्या- वाहत्या द्रवाचे जडत्व बल आणि द्रवपदार्थाचे चिकट बल यांचे गुणोत्तर म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते. प्रवाह लॅमिनार कि टर्ब्युलंट ठरवण्यासाठी रेनॉल्डच्या क्रमांकाची संकल्पना वापरली जाते. जर रेनॉल्डची संख्या 2000 पेक्षा कमी असेल तर प्रवाहाला लॅमिनार प्रवाह म्हणतात. जर रेनॉल्डची संख्या 4000 पेक्षा जास्त असेल तर प्रवाहाला टर्ब्युलंट प्रवाह म्हणतात.

2.2 सातत्य समीकरण(continuity equation): सातत्य समीकरण वस्तुमानाच्या संरक्षणाच्या नियमावर आधारित आहे. निरंतरतेच्या नियमाला सातत्य समीकरण असेही म्हणतात.

आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे पाईपच्या दोन क्रॉस-सेक्शनचा विचार करा

जर, V_1 = क्रॉस-सेक्शन 1-1 वर सरासरी वेग

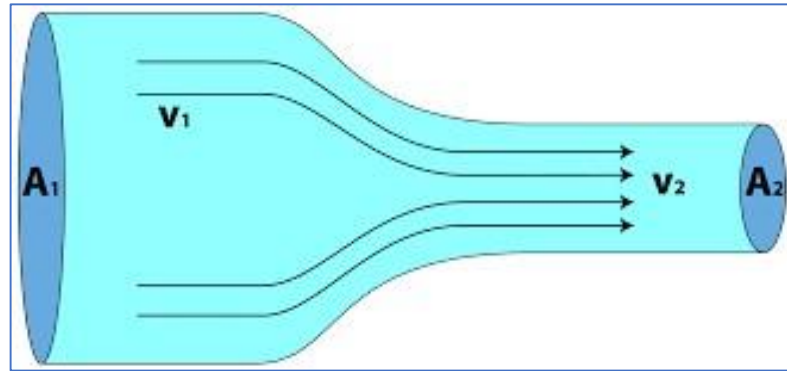
ρ_1 = विभाग 1-1 वर घनता

A_1 = विभाग 1-1 येथे पाईपचे क्षेत्रफळ

आणि $\rho_2 A_2 V_2$ हे कलम 2-2 मधील संबंधित मूल्ये आहेत

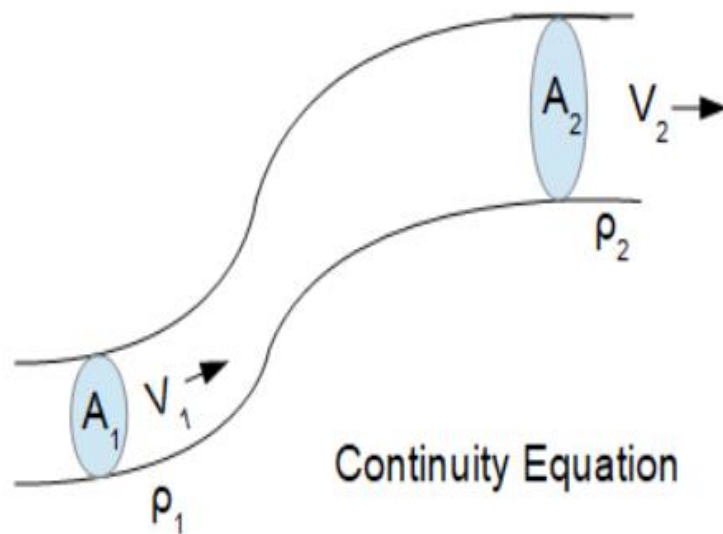
1 : $\rho_1 A_1 V_1$ मध्ये द्रवपदार्थाचा दर

विभाग 2-2 मध्ये द्रव सोडण्याचा दर : $\rho_2 A_2 V_2$



पाईपमधून वाहणारा प्रवाह

आकृती 2.2.1



सातत्य समीकरण

आकृती 2.2.2

वस्तुमानाच्या संवर्धनाच्या नियमानुसार ,

विभाग 1-1 मध्ये द्रवपदार्थाचा दर = विभाग 2-2 मध्ये द्रवपदार्थ सोडण्याचा दर

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

वरील समीकरण हे कॉम्प्रेसिबल (दाबण्यायोग्य) तसेच कॉम्प्रेसिबल (दाबण्यायोग्य) नसलेल्या द्रव प्रवाहासाठी सातत्य समीकरण आहे.

कॉम्प्रेसिबल (दाबण्यायोग्य) नसलेल्या द्रवासाठी, $\rho_1 = \rho_2$ आणि सातत्य समीकरण कमी केले आहे

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

बर्नोलीचे प्रमेय: जेव्हा दाबता न येणारा आणि चिकट नसलेला द्रव एका ठिकाणाहून दुस-या ठिकाणी प्रवाहित गतीने वाहतो, तेव्हा त्याच्या मार्गाच्या प्रत्येक बिंदूवर एकूण ऊर्जा प्रति युनिट घनफळ स्थिर असते.

त्यामुळे,

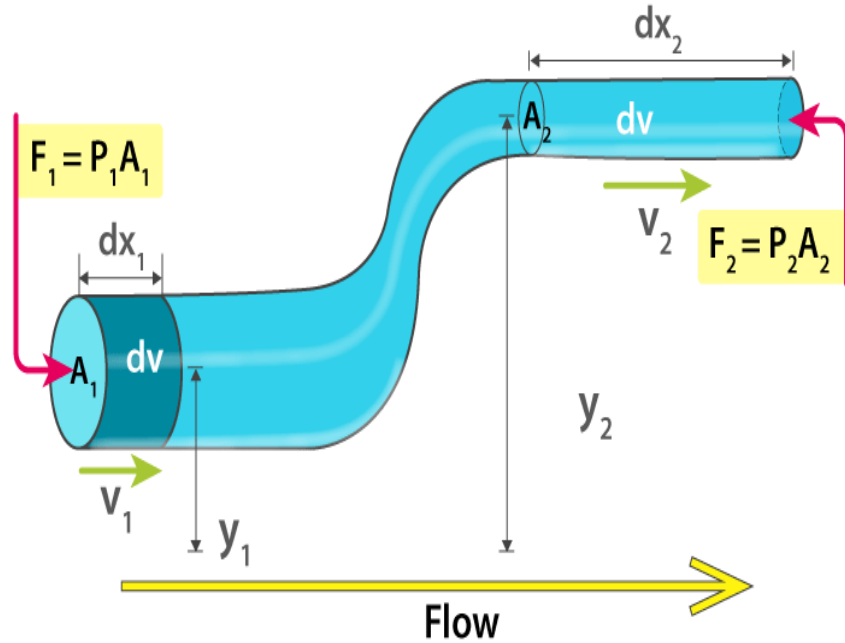
$$\text{एकूण ऊर्जा, } \frac{\rho}{w} + \frac{V^2}{2g} + Z = \text{स्थिर (Constant)}$$

जसे कि, Z = potential energy per unit weight or potential head.

$$\frac{V^2}{2g} = \text{Kinetic energy per unit weight or kinetic head}$$

$$\frac{\rho}{w} = \text{pressure energy per unit weight or pressure head}$$

बर्नोलीचे समीकरण:



बर्नोलीचे समीकरण

आकृती 2.2.3

दोन विभाग (1-1) आणि (2-2) विचारात घ्या, विभाग (1-1) पासून विभाग (2-2) कडे जाणारा प्रवाह म्हणजे डावीकडून उजवीकडे,

आता बर्नोलीचे प्रमेय वापरून -

विभागातील एकूण प्रमुख (1-1) ऊर्जा = विभागातील एकूण प्रमुख (2-2) ऊर्जा

$$\frac{P_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

बर्नोलीच्या प्रमेयातील गृहीत धरलेल्या बाबी:

- द्रव आदर्श आहे म्हणजे स्निग्धता (व्हिस्कॉसिटी) शून्य आहे.
- प्रवाह स्थिर आहे.
- प्रवाह असंकुचित आहे. कॉम्प्रेसिबल (दाबण्यायोग्य) नाही.
- प्रवाह एक मितीय आहे.
- गुरुत्वाकर्षण बल आणि दाब बल यांचाच विचार केला जातो.

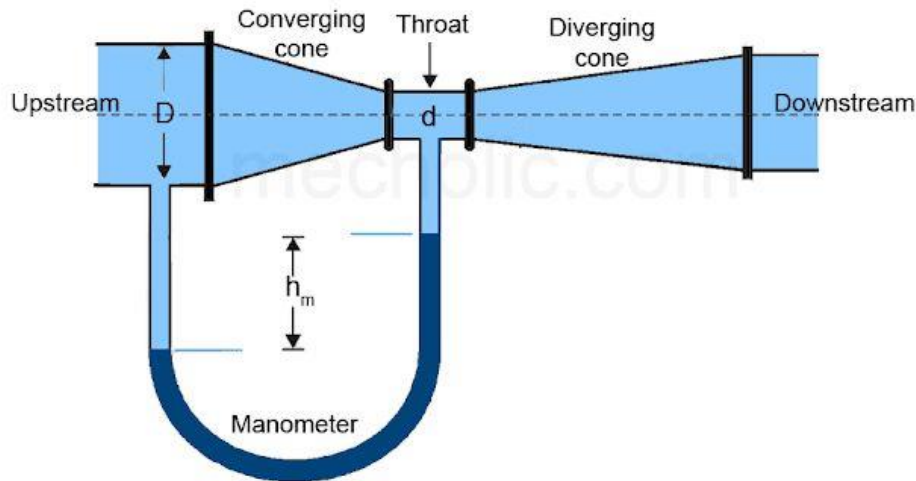
बर्नोलीच्या प्रमेयची मर्यादा:

- हे आदर्श नॉन कॉम्प्रेसिबल (न दाबण्यायोग्य) प्रवाहासाठी लागू आहे.
- द्रव मध्ये किंवा बाहेर उष्णता हस्तांतरण शून्य असावे.
- तापमान स्थिर राहते जेणेकरून अंतर्गत ऊर्जा बदलत नाही.

बर्नोलीच्या प्रमेयाचा उपयोग: बर्नोलीच्या प्रमेयाचे काही उपयोग खालीलप्रमाणे आहेत,

- व्हॅचुरीमीटर
- ओरिफीस मीटर
- पिटोट ट्यूब

2.3 व्हॅचुरीमीटर : व्हॅचुरी मीटर हे प्रवाह मापन यंत्र आहे जे बर्नोलीच्या समीकरणाच्या तत्वावर चालते, जे द्रवाचा वेग त्याच्या दाबाशी संबंधित आहे. व्हॅचुरी मीटर हे पाईपद्वारे पाणी किंवा हवेसारख्या द्रवपदार्थाचा प्रवाह मोजण्यासाठी वापरले जाणारे उपकरण आहे. यात कॉन्वेर्जिंग विभाग, थ्रोट आणि डिवेर्जिंग विभाग असतो.

रचना:

व्हॅचुरीमीटर

आकृती 2.3.1

व्हॅचुरी मीटर तीन भागांमध्ये विभागले गेले आहे जसे की:

कॉन्वेर्जिंग विभाग, थ्रोट आणि डायवर्जिंग विभाग.

I) कॉन्वेर्जिंग विभाग: हे व्हॅचुरी मीटरचे प्रवेशद्वार आहे जिथे द्रव प्रवेश करतो. या विभागाचा व्यास हळूहळू कमी होतो, ज्यामुळे वाहताना द्रवाचा वेग वाढतो.

ii) **थ्रोट: हा** व्हेंचुरी मीटरचा सर्वात अरुंद भाग आहे , जिथे द्रवाचा वेग जास्तीत जास्त पोहोचतो आणि किमान दाब असतो. सुरवातीच्या आणि शेवटच्या व्यासांपेक्षा थ्रोट चा व्यास कमी असतो

iii) **डायवरजिंग विभाग :** याच्यामध्ये व्हेंचुरी मीटर पुन्हा रुंद होतो. हा विभाग द्रवपदार्थाचा वेग कमी करण्यास आणि दाब परत मिळविण्यास मदत करतो.

कार्यतत्वे:

- ज्या द्रवपदार्थाचा प्रवाह दर मोजला जाणार आहे तो दाब P_1 सह व्हेंचुरीमीटरच्या ऊर्जा विभागात प्रवेश करतो.
- व्हेंचुरीमीटरच्या प्रवेश विभागातील द्रवपदार्थ अभिसरण विभागातील दाब कमी होत राहतो आणि थ्रोट मध्ये प्रवेश केल्यावर P_2 किमान मूल्य गाठतो, तेव्हा द्रवपदार्थाचा दाब P_2 कमीत कमी असेल.
- व्हेंचुरीमीटरच्या एंट्री आणि थ्रोट विभागामध्ये जोडलेले डिफरेंशियल प्रेशर सेन्सर दबाव फरक (P_1-P_2) नोंदवतो जे कॅलिब्रेट केल्यावर पाईपमधून द्रव प्रवाहाचा दर दर्शविते.

फायदे:

- व्हेंचुरी मीटर प्रवाह मापनात उच्च अचूकता देतात.
- ऑरिफिस प्लेट्स सारख्या इतर प्रवाह मापन उपकरणांच्या तुलनेत त्यांच्याकडे कमी-दाबाचे नुकसान होते.

व्हेंचुरीमीटरच्या डिस्चार्जचे गुणांक (सहगुणक) (C_d):

व्हेंचुरी मीटरच्या डिस्चार्जचे गुणांक(सहगुणक) हे परिमाणहीन पॅरामीटर आहे .

गुणांक(सहगुणक) म्हणजे द्रवाच्या वास्तविक डिस्चार्ज आणि थेरॉटिकल डिस्चार्जचे गुणोत्तर.

$$\text{डिस्चार्जचे गुणांक(सहगुणक)} (C_d) = \frac{Q_{\text{actual}}}{Q_{\text{Theoretical}}}$$

$$\text{वास्तविक डिस्चार्ज} = Q_{\text{क्ती}} = \frac{\text{Volume of Water collected}}{\text{Time}} = \frac{V}{t}$$

$$\text{थेरॉटिकल डिस्चार्ज} = Q_{\text{th}} = \frac{a_1 a_2 \sqrt{2gh}}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}}$$

V = मोजण्याच्या टाकीची मात्रा

t = टाकी भरण्यासाठी लागणारा वेळ

a_1 = पाईपचे क्षेत्रफळ ,

a_2 = थ्रोट क्षेत्र

h = मॅनोमीटरमधील उंचीचा फरक

g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारा प्रवेग.

1. A venturimeter 100mm × 50mm size is used to measure the flow of liquid of specific gravity 0.8, if the mercury differential manometer head is 200mm. find discharge through the venturimeter.

Given- $d_1 = 100\text{mm} = 0.1\text{m}$

$$a_1 = \frac{\pi}{4} 0.1^2 = 7.854 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$d_2 = 50\text{mm} = 0.05\text{m}$$

$$a_2 = \frac{\pi}{4} 0.05^2 = 1.963 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_L = 0.8, \quad S_M = 13.6$$

$$X = 200 \text{ mm} = 0.2 \text{ m}$$

$$S_M > S_L$$

$$\begin{aligned} \text{Pressure head } h &= \chi \times \left(\frac{S_M}{S_L} - 1 \right) \\ &= 0.2 \times \left(\frac{13.6}{0.8} - 1 \right) \\ h &= 3.2 \text{ m of oil} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Discharge } Q &= C_d \times \frac{a_1 a_2 \sqrt{2gh}}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \\ &= 0.98 \times \frac{7.854 \times 10^{-3} \times 1.963 \times 10^{-3} \sqrt{2 \times 9.81 \times 3.2}}{\sqrt{(7.854 \times 10^{-3})^2 - (1.963 \times 10^{-3})^2}} \\ Q &= 0.98 \times 0.016 \\ Q &= 0.01574 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}} \\ Q &= 157.4 \text{ lit./sec.} \end{aligned}$$

2. A venturimeter having throat diameter 6.3 cm is provided on a pipe of 15 cm diameter if oil of specific gravity 0.88 is flowing in the upward direction, determine the ventury head and the discharge if the manometer shows 12.80 cm of mercury deflection. if the vertical distance between inlet and throat is 22 cm. determine the actual head of the venturimeter. assumed $C_d = 0.65$

Given- dia. Of throat, $d_2 = 6.3 \text{ cm} = 6.3 \times 10^{-2} \text{ m}$

$$a_2 = \frac{\pi}{4} (6.3 \times 10^{-2})^2 = 3.117 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

dia. Of pipe, $d_1 = 15 \text{ cm} = 15 \times 10^{-2} \text{ m}$

$$a_1 = \frac{\pi}{4} (15 \times 10^{-2})^2 = 0.0176 \text{ m}^2$$

$$\text{soil} = 0.88$$

Manometric reading $\chi = 12.8 \text{ cm of H}_g$

$$\chi = 12.8 \times 10^{-2} \text{ m of H}_g$$

$$\begin{aligned} h &= \chi \times \left(\frac{S_2}{S_1} - 1 \right) \\ &= 12.8 \times 10^{-2} \left(\frac{13.6}{0.88} - 1 \right) \end{aligned}$$

$$h = 1.85 \text{ m of oil}$$

$$\text{Discharge } Q = C_d \times \frac{a_1 a_2 \sqrt{2gh}}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}}$$

$$= 0.65 \times \frac{0.0176 \times 3.117 \times 10^{-3} \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 1.85}}{\sqrt{(0.0176)^2 - (3.117 \times 10^{-3})^2}}$$

$$Q = 0.0124 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

Actual venturi head if $Z_2 - Z_1 = 22\text{cm} = 22 \times 10^{-2} \text{ m}$

$$h = \left(\frac{P_1}{w} - \frac{P_2}{w} \right) + (Z_1 - Z_2) = h$$

$h = 1.85\text{m}$ of oil

$$Z_2 - Z_1 = 22\text{cm} = 22 \times 10^{-2} \text{ m}$$

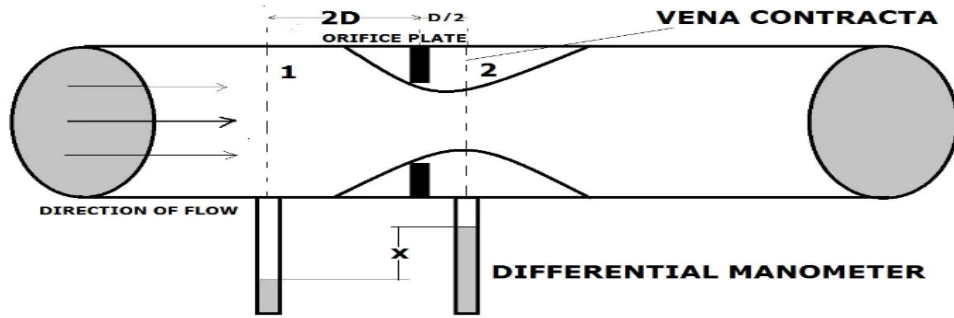
$$h = \left(\frac{P_1}{w} - \frac{P_2}{w} \right) + (Z_1 - Z_2)$$

$$\left(\frac{P_1 - P_2}{w} \right) = h + Z_2 - Z_1$$

$$= 1.85 + (22 \times 10^{-2})$$

$$\left(\frac{P_1 - P_2}{w} \right) = 2.07 \text{ m of oil}$$

2.4 ओरिफिस मीटर: द्रवपदार्थाचा प्रवाह दर मोजण्यासाठी द्रव यांत्रिकीमध्ये एक ओरिफिस मीटर हे सामान्यतः वापरले जाणारे उपकरण आहे.



ओरिफिस मीटर
आकृती 2.4.1

रचना:

ओरिफिस मीटरमध्ये खालील चार भाग असतात:

- i) इनलेट सेक्शन
- ii) ओरिफिस प्लेट
- iii) फ्लो कंडिशनर
- iv) आउटलेट विभाग

i) इनलेट विभाग: इनलेट सेक्शनच्या नावाचा अर्थ असा आहे की द्रव इनलेट विभागाद्वारे ओरिफिस मीटरमध्ये प्रवेश करतो.

- ii) **ओरिफिस प्लेट:** ओरिफिस प्लेट, इनलेट आणि आउटलेट दरम्यान स्थित आहे आणि या प्लेटचा वापर दबाव ड्रॉप निर्माण करण्यासाठी केला जातो ज्यामुळे प्रवाह दर सक्षम होतो. ओरिफिस प्लेटचे रचना हे पातळ आकाराचे असते ज्यामध्ये एक छिद्र असते ज्यातून पाणी निघून जाते.
- iii) **फ्लो कंडिशनर :** फ्लो कंडिशनरचा वापर मीटर ट्यूबच्या इनलेट विभागात रेखीय प्रवाह(linear flow) वाढवण्यासाठी केला जातो. फ्लो कंडिशनर मीटर ट्यूबच्या जवळजवळ इनलेट विभागात बसवले जाते
- iv) **आउटलेट विभाग:** आउटलेट विभागात, द्रवपदार्थाचा दाब सोडला जातो आणि निर्धारित केला जातो.

कार्यतत्वे: जसे आपण आकृतीत पाहू शकतो कि एक पाईप आहे ज्यामध्ये द्रव एका बाजूने दुसऱ्या बाजूने जात आहे जो एक इनलेट टू आउटलेट आहे. दोन-बिंदूमधील(two-point) दाबातील फरक मोजण्यासाठी मॅनोमीटर येथे जोडलेले आहे. आता आम्ही एक छिद्र प्लेट ठेवतो जी आकाराने पातळ आहे आणि त्यामध्ये एक लहान छिद्र आहे ज्यातून द्रव जाईल. आता जेव्हा वेग वाढतो तेव्हा दाब कमी होतो आणि ते उलट होते. पाईपमधील छिद्र प्लेटचे स्थान केवळ त्या ठिकाणी प्रवाह दर किंवा डिस्चार्ज निर्धारित करते. डिस्चार्जची गणना सूत्राद्वारे केली जाऊ शकते.

हायड्रोलिक गुणांक(सहगुणक) :

- डिस्चार्जचे गुणांक(कोइफिसिएंट ऑफ डिस्चार्ज):** डिस्चार्जचे गुणांक(सहगुणक) म्हणजे द्रवाच्या वास्तविक डिस्चार्ज आणि सैद्धांतिक डिस्चार्जचे गुणोत्तर.
 - वेगाचे गुणांक (C_v)(कोइफिसिएंट ऑफ व्हेलॉसिटी) :** हे व्हेना कॉन्ट्रॅक्टावरील जेटच्या वास्तविक वेगाचे सैद्धांतिक वेगाचे गुणोत्तर आहे .
 - आकुंचन गुणांक (C_c) :** हे वेना कॉन्ट्रॅक्टावरील जेटचे क्षेत्रफळ आणि छिद्राच्या क्षेत्राचे गुणोत्तर आहे.
- वेना कॉन्ट्रॅक्टा :** "व्हेना कॉन्ट्रॅक्टा " हा शब्द सामान्यतः द्रव प्रवाहातील त्या बिंदूला सूचित करतो जेथे प्रवाहाचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र कमीतकमी असते.

1. An orificemeter with orifice diameter 10 cm is inserted in a pipe of 20 cm diameter. the pressure gauges fitted upstream and downstream of the orifice meter shows readings 19.62 N/cm^2 and 9.81 N/cm^2 respectively. The coefficient of discharge for meter is 0.6. Find the discharge of water through pipe.

Given- $d_2 = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$ (orifice), $d_1 = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$ (pipe)

$$P_2 = 9.81 \text{ N/cm}^2, P_1 = 19.62 \text{ N/cm}^2, C_d = 0.6$$

$$\begin{aligned} \text{Pressure difference, } h &= \frac{P_1 - P_2}{w} = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} \\ &= \left(\frac{(19.62 - 9.81) \times 10^4}{1000 \times 9.81} \right) \\ &= 10 \text{ m} \end{aligned}$$

$$a_1 = \frac{\pi}{4} 0.2^2 = 0.03142 \text{ m}^2$$

$$a_2 = \frac{\pi}{4} 0.1^2 = 0.007854 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Discharge} = Q &= C_d \times \frac{a_1 a_2 \sqrt{2gh}}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \\
 &= 0.6 \times \frac{0.03142 \times 0.007854 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 10}}{\sqrt{(0.03142)^2 - (0.007854)^2}} \\
 Q &= 0.0682 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}
 \end{aligned}$$

2. An orifice with orifice diameter 12 cm is inserted in a pipe of 20 cm diameter. The pressure difference between upstream and downstream of the orifice is 9.81 N/cm^2 . The coefficient of discharge for meter is 0.6. Find the discharge of water through pipe.

Given- $d_2 = 12 \text{ cm} = 0.12 \text{ m}$ (orifice), $d_1 = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$ (pipe)

$$P_1 - P_2 = 9.81 \text{ N/cm}^2 = 9.81 \times 10^4, C_d = 0.6$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pressure difference, } h &= \frac{P_1 - P_2}{w} = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} \\
 &= \frac{9.81 \times 10^4}{1000 \times 9.81} \\
 &= 10 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$a_1 = \frac{\pi}{4} 0.2^2 = 0.03142 \text{ m}^2$$

$$a_2 = \frac{\pi}{4} 0.12^2 = 0.0113 \text{ m}^2$$

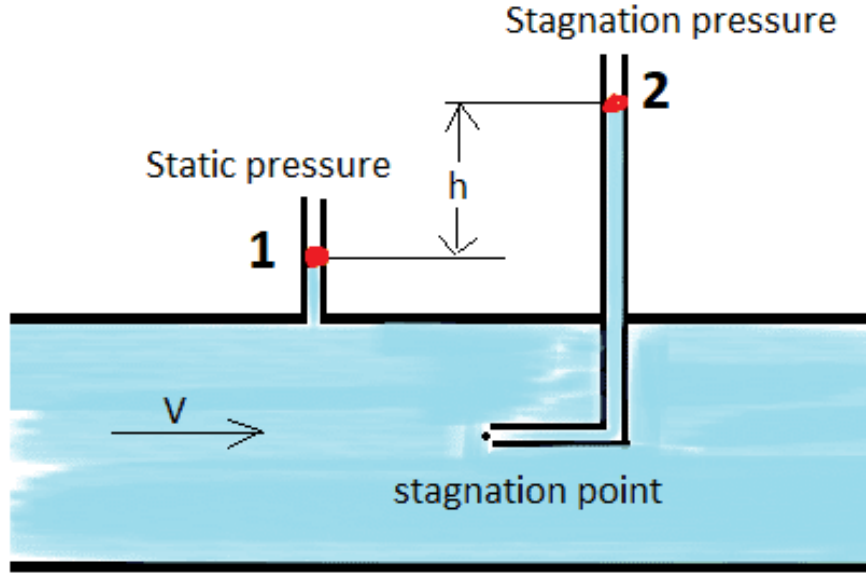
$$\begin{aligned}
 \text{Discharge} = Q &= C_d \times \frac{a_1 a_2 \sqrt{2gh}}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \\
 &= 0.6 \times \frac{0.03142 \times 0.0113 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 10}}{\sqrt{(0.03142)^2 - (0.0113)^2}} \\
 Q &= 0.1018 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}
 \end{aligned}$$

2.5 पिटोट ट्यूब: पिटोट ट्यूब हे एक साधे पण प्रभावी साधन आहे जे द्रव प्रवाहाचा वेग मोजण्यासाठी वापरले जाते, विशेषतः हवा आणि वायूंमध्ये.

रचना

- ट्यूब :** पिटोट ट्यूबमध्ये एक पातळ ट्यूब असते, सामान्यतः स्टेनलेस स्टील किंवा इतर टिकाऊ सामग्रीपासून बनलेली असते. त्याला दोन ओपनिंग्स आहेत: एक **स्टॅग्नेशन पोर्ट** किंवा प्रभाव पोर्ट थेट प्रवाहादिकडे आणि **स्टॅटिक पोर्ट** प्रवाहाच्या काटकोनात उभ्या दिशेने
- स्टॅग्नेशन पोर्ट :** हे उघडणे, ट्यूबच्या टोकावर स्थित आहे, थेट प्रवाहाच्या प्रवाहाकडे तोंड करते. हे द्रवपदार्थाचा एकूण दाब मोजण्यासाठी डिझाइन केलेले आहे, ज्याला स्टॅग्नेशन प्रेशर देखील म्हणतात.

3. **स्टॅटिक पोर्ट** : स्टॅटिक पोर्ट ट्यूबच्या बाजूला, प्रवाहाच्या दिशेपासून दूर स्थित आहे. हे द्रवपदार्थाचा स्थिर दाब मोजतो, जो द्रवाचा वेग कितीही असला तरी स्थिर राहतो.
4. **कनेक्शन** : पिटॉट ट्यूब दाब मापन यंत्राशी जोडलेली असते, जसे की मॅनोमीटर किंवा प्रेशर ट्रान्सड्यूसर, जे स्थिरता आणि स्थिर पोर्टमधील दाब फरक मोजते.



पिटोट ट्यूब
आकृती 2.5.1

■ **कार्यतत्वे :**

1. **एकूण दाब मापन** : स्थिरता बंदर थेट येणाऱ्या प्रवाहाला तोंड देतो, द्रवपदार्थाचा पूर्ण प्रभाव अनुभवतो. याचा परिणाम स्टॅग्नेशन पॉईंटवर दबाव निर्माण होतो, ज्याला एकूण दाब म्हणतात. हा दाब डायनॅमिक दाब (द्रवाच्या वेगामुळे) आणि स्थिर दाब (द्रवाच्या संभाव्य ऊर्जेमुळे) यांची बेरीज दर्शवतो.
2. **स्टॅटिक प्रेशर मापन** : स्टॅटिक पोर्ट, प्रवाहाच्या दिशेला लंब काटकोनात असल्यामुळे, द्रवाचा फक्त स्थिर दाब अनुभवतो. द्रवाचा वेग कितीही असला तरी हा दाब स्थिर राहतो.
3. **प्रेशर डिफरन्स मेजरमेंट** : पिटोट ट्यूबला प्रेशर मापन यंत्राशी जोडून, एकूण दाब (स्टॅग्नेशन पोर्टवर मोजले जाणारे) आणि स्टॅटिक प्रेशर (स्टॅटिक पोर्टवर मोजले जाणारे) यांच्यातील फरक निर्धारित केला जातो.

1.A pitot tube directed into a water stream having a velocity of 2.7 m/sec. it has gauge difference of 30 mm on the mercury manometer, find it's coefficient.

Given- $V=2.7$ m/sec., $h=30$ mm of Hg

$$h_{hg} = 30 \times \left(\frac{13.6}{1} - 1 \right)$$

$$= 378 \text{ mm of water}$$

$$= 0.378 \text{ m of water}$$

$$V_{act} = C_v \times \sqrt{2gh}$$

$$C_v = \frac{V_{act}}{\sqrt{2gh}}$$

$$= \frac{2.7}{\sqrt{2 \times 9.81 \times 0.378}}$$

$$C_v = \frac{2.7}{2.7}$$

$$C_v = 1$$

2.If the pitot tube shows 15.5 cm of water determine the velocity of water.If area of flow is 5.88 cm²,determine the discharge of water in lit/sec.

$$\text{Given- } h=15.5 \text{ cm} = 0.155 \text{ m}, A= 5.88 \text{ cm}^2 = 5.88 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$C_v = 0.98 \dots \text{assume}$$

$$V_{act} = C_v \times \sqrt{2gh}$$

$$= 0.98 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.155}$$

$$V_{act} = 1.7089 \text{ m/sec}$$

Discharge, $Q=AV$

$$= 5.88 \times 10^{-4} \times 1.71$$

$$= 10.055 \times 10^{-4}$$

$$= 1.005 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

Exercise:

TLO 2.1: Classify different types of fluid flows.

1. List types of fluid flow (R)
2. Define Laminar and Turbulent flow (R)
3. Explain Different types of fluid flow. (U)
4. Define and distinguish between (R)
 - i) Steady and unsteady flow ii) Uniform and non-uniform flow.

TLO 2.2: Apply Continuity equation and Bernoulli's equation to the various flow measuring devices

1. Explain Continuity Equation (U)
2. Explain Bernoulli's Theorem. (U)
3. List the Various flow measuring devices (R)

TLO 2.3: Describe procedure to calculate discharge using the given flow measuring device

1. Explain with sketch, construction and working principle of venturimeter. (U)
2. Illustrate the equation for coefficient of discharge [Cd] for Venturimeter. (U)
3. Solve Derivation for discharge through Venturimeter (A)

TLO 2.4: Calculate the flow rate using given flow measuring device.

1. Explain with neat sketch construction and working of pitot tube. (U)
2. Illustrate equation for actual discharge through Orifice meter by applying Bernoulli's equation. (U)
3. Define Vena-contracta in orifice. (R)
4. Explain the working principle of orifice meter with a neat sketch. (U)
5. Define Hydraulic Coefficient. Name them. (R)

3. पाईप्समधील प्रवाह (Flow Through Pipes)

विषय निष्पत्ती: पाईपमधील प्रवाहातील विविध ऊर्जा तोटे (Losses) गणना करा. (Calculate the various losses in flow through pipes).

घटक निष्पत्ती

TLO 3.1: लॅमिनार आणि टर्ब्युलंट प्रवाहासाठी द्रव घर्षणाचे नियम नमूद करा. (State laws of fluid friction for laminar and turbulent flow).

TLO 3.2: डार्सी समीकरण (Darcy's Equation) आणि शेझी समीकरण (Chezy's Equation) वापरून घर्षणामुळे होणारे तोटे (Frictional Losses) गणना करा. (Calculate frictional losses using Darcy's equation and Chezy's equation).

TLO 3.3: द्रव प्रवाहातील विविध लघु तोटे (Minor Losses) वर्णन करा. (Describe various minor losses in fluid flow.)

TLO 3.4: हायड्रॉलिक ग्रेडियंट लाइन आणि एकूण ऊर्जा रेषा ची व्याख्या करा. (Interpret hydraulic gradient line and total energy line).

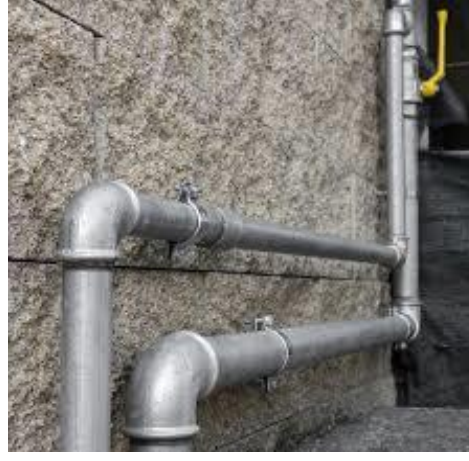
TLO 3.5: पाईपमधून हायड्रॉलिक शक्ती प्रसारण (Hydraulic Power Transmission) आणि हायड्रॉलिक कार्यक्षमता (Hydraulic Efficiency) गणना करा. (Calculate hydraulic power transmission, hydraulic efficiency through pipes.)

TLO 3.6: वॉटर हॅमर घटनेचे वर्णन करा आणि त्याच्या प्रतिबंधक उपायांची माहिती द्या. (Describe water hammer phenomenon with remedial measures.)

3.0 प्रस्तावना:

द्रव घर्षण: पाईप ही दाबाखाली द्रव वाहून नेण्यासाठी वापरला जाणारी बंद नळी आहे. सामान्यतः पाईप्सचा आडवा छेद गोलाकार असतो. जेव्हा पाईपमधून द्रव वाहतो तेव्हा पाईपच्या आतील पृष्ठभाग आणि द्रव यांच्यातील घर्षण प्रवाहास प्रतिकार करतो. द्रव प्रवाहाच्या या प्रतिकाराला घर्षण प्रतिरोध म्हणतात. घर्षण प्रतिकारामुळे, प्रवाहाच्या दिशेने काही ऊर्जा नष्ट होते आणि या ऊर्जेच्या हानीस "घर्षणात्मक नुकसान" असे म्हणतात. ही हानी मात्र प्रवाहाच्या प्रकारावर अवलंबून असते. पाईपमधील द्रवपदार्थाचा प्रवाह एकतर लॅमिनार किंवा अशांत (टर्बुलंट) असू शकतो.

हायड्रॉलिक किंवा न्यूमॅटिक्स (वायू/हवा) सिस्टीममध्ये पाईप्सद्वारे द्रव प्रसारित करताना, पाईप्स हे पाइपिंग किंवा प्लंबिंग लेआउटमध्ये रिड्यूसर, कपलिंग, बेंड व इतर कनेक्टिंग ऍक्सेसरीजसह जोडलेले असतात. क्रॉस सेक्शनमधील बदल किंवा प्रवाहाच्या वेग/दिशेतील बदलांमुळे ऊर्जेची हानी होते आणि त्याचा परिणाम हायड्रॉलिक मशीन्स/सिस्टीमच्या कार्यक्षमतेवर होऊ शकतो.



पाईप्सचा वापराची उदाहरणे

आकृती 3.0.1

3.1 लॅमिनार आणि अशांत (टर्बुलंट) प्रवाहासाठी द्रव घर्षणाचे नियम:

3.1.1 लॅमिनार प्रवाहासाठी द्रव घर्षणाचे नियम:

लॅमिनार प्रवाहासाठी, घर्षण प्रतिकार (Frictional resistance):

1. प्रवाहाच्या वेगाच्या प्रमाणात असतो.
2. दबावाचा परिणाम होत नसतो.
3. संपर्कातील पृष्ठभागाच्या क्षेत्रफळाच्या प्रमाणात असतो.
4. संपर्कातील पृष्ठभागाच्या स्वरूपाचा परिणाम होत नसतो.
5. वाहत्या द्रवपदार्थाच्या तापमानाच्या भिन्नतेमुळे मुख्यतः प्रभावित होतो.

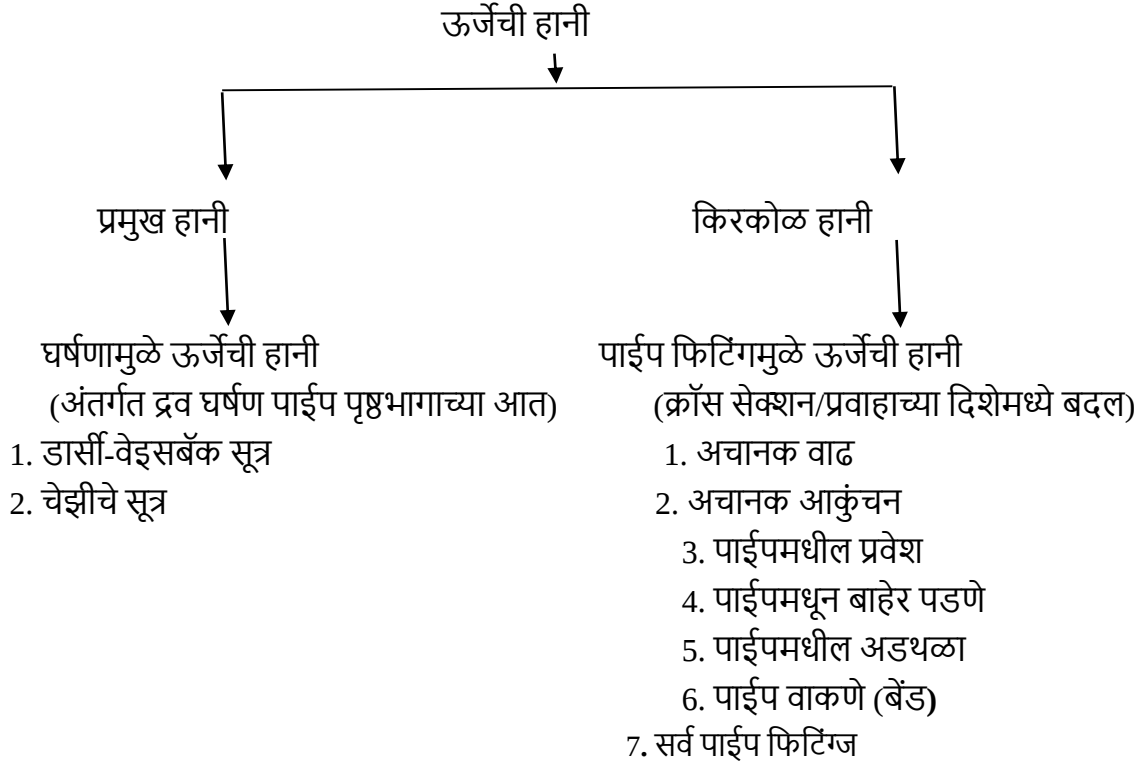
3.1.2 अशांत (टर्बुलंट) प्रवाहासाठी द्रव घर्षणाचे नियम:

अशांत प्रवाहासाठी, घर्षण प्रतिकार (Frictional resistance):

1. वेग वर्गाच्या प्रमाणात असतो.
2. दबावाचा परिणाम होत नसतो.
3. संपर्कातील पृष्ठभागाच्या क्षेत्रफळाच्या प्रमाणात असतो.
4. वाहत्या द्रवाच्या घनतेच्या प्रमाणात असतो.
5. संपर्कातील पृष्ठभागाच्या स्वरूपावर अवलंबून असतो.
6. वाहत्या द्रवाच्या तापमानाच्या फरकाने कमी प्रभावित होतो.

3.2 पाईप्समधील उर्जा कमी होणे:

जेव्हा पाईपमधून द्रव वाहत असतो, तेव्हा द्रवपदार्थाला काही प्रतिकार होतो ज्यामुळे द्रवपदार्थाची काही ऊर्जा नष्ट होते. ऊर्जेची ही हानी खालीलप्रमाणे वर्गीकृत केली आहे:



3.2.1 प्रमुख ऊर्जा हानी:

प्रमुख ऊर्जा हानी हे पाण्याचे थर आणि पाईपच्या आतील पृष्ठभाग यांच्यातील घर्षणामुळे होते. ही हानी पाईपच्या आतील भाग किंवा पृष्ठभागावर असलेल्या शीअर ताणामुळे (स्ट्रेसमुळे) होते. खालील पद्धतीने ही हानी मोजली जाऊ शकते:

1. डार्सी-वेइसबॅक सूत्र
2. चेझीचे सूत्र

1. डार्सी-वेइसबॅक सूत्र:

घर्षणामुळे पाईप्समधील ऊर्जेच्या हानीची गणना डार्सी-वेइसबॅक सूत्रानुसार केली जाते. हे समीकरण कोणत्याही व्यासाच्या पाईप्ससाठी आणि लॅमिनार आणि अशांत (turbulent) प्रवाहांसाठी वापरले जाते.

$$h_f = \frac{4flv^2}{2gd}$$

इथे,

h_f = घर्षणामुळे ऊर्जा हानी (m)

f = घर्षण घटक

l = पाईपची लांबी (m)

v = पाईपमधून प्रवाहाचा वेग (m/s)

d = पाईपचा व्यास (m)

2. चेझीचे सूत्र:

$$V = C \sqrt{mi}$$

इथे,

V = पाइपमधून प्रवाहाचा वेग (m/s)

C = चेझीचा स्थिरांक.

m = हायड्रोलिक सरासरी खोली (m)

= परिमितीच्या प्रवाहाच्या क्रॉस-विभागीय क्षेत्राचे गुणोत्तर.

$$= \frac{A}{P} = \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{\pi d} = \frac{d}{4}$$

i = ऊर्जेची हानी प्रति युनिट लांबी (m)

$$= \frac{hf}{l}$$

त्या कारणामुळे,

$$V = C \sqrt{\frac{d}{4} \frac{hf}{l}}$$

Example 1: A pipe is used for energy transmission. Length and diameter of pipe are 80 m and 50 cm respectively. Flow rate is 105 lit/s. Calculate friction loss using Darcy's formula. Take $f = 0.03$.

Solution:

दिले आहे:

$l = 80 \text{ m}$, $d = 0.5 \text{ m}$, $Q = 105 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $f = 0.03$ Find - h_f

पाईपचे प्रवाह क्षेत्र,

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi}{4} d^2 \\ &= \frac{\pi}{4} (0.5)^2 \\ &= 0.1963 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

स्त्राव (Discharge), $Q = A.v$

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{A} = \frac{105 \times 10^{-3}}{0.1963} \\ &= 0.5347 \text{ m/s} \end{aligned}$$

घर्षण हानी, $h_f = \frac{4flv^2}{2gd}$

$$= \frac{4 \times 0.03 \times 80 \times (0.5347)^2}{0.5 \times 2 \times 9.81}$$

$$h_f = 0.2797 \text{ m}$$

Example 2: Calculate the discharge through a pipe of 200 mm when the difference of pressure head between two ends of pipe 500 m apart is 4 m of water. Take value of $f = 0.009$ in Darcy's formula.

Solution:

दिले आहे:

$d = 0.2 \text{ m}$, $l = 500 \text{ m}$, $h_f = 4 \text{ m}$, $f = 0.009$ Find - Q

डार्सीचे सूत्र, $h_f = \frac{4flv^2}{2gd}$

$$4 = \frac{4 \times 0.009 \times 500 \times v^2}{2 \times 9.81 \times 0.2}$$

$$v = 0.9338 \text{ m/s}$$

स्त्राव, (Discharge)

$$Q = A.v$$

$$= \frac{\pi}{4} d^2 \cdot v$$

$$= \frac{\pi}{4} (0.2)^2 \times 0.9338$$

$$Q = 0.02934 \text{ m}^3/\text{s}$$

Example 3: Calculate the head lost due to friction in a pipe of diameter 25cm and length 65 m through which water is flowing at a velocity of 4 m/s using

i) Darcy's formula. Take $f = 0.009$ ii) Chezy's formula. Take $C = 55$

Solution:

दिले आहे:

$d = 0.25 \text{ m}$, $l = 65 \text{ m}$, $v = 4 \text{ m/s}$, $f = 0.009$, $C = 55$ Find - h_f using both equations

डार्सीचे सूत्र, $h_f = \frac{4flv^2}{2gd}$

$$= \frac{4 \times 0.009 \times 65 \times 4^2}{2 \times 9.81 \times 0.25}$$

$$h_f = 7.633 \text{ m}$$

चेझीचे सूत्र ,

$$V = C \sqrt{mi}$$

$$m = \frac{d}{4} = \frac{0.25}{4} = 0.0625 \text{ m}$$

$$i = \frac{h_f}{l} = \frac{h_f}{65}$$

$$V = 55 \sqrt{0.0625 \times \frac{h_f}{65}}$$

$$h_f = \frac{65 \times 16}{(55)^2 \times 0.0625}$$

$$h_f = 5.5 \text{ m}$$

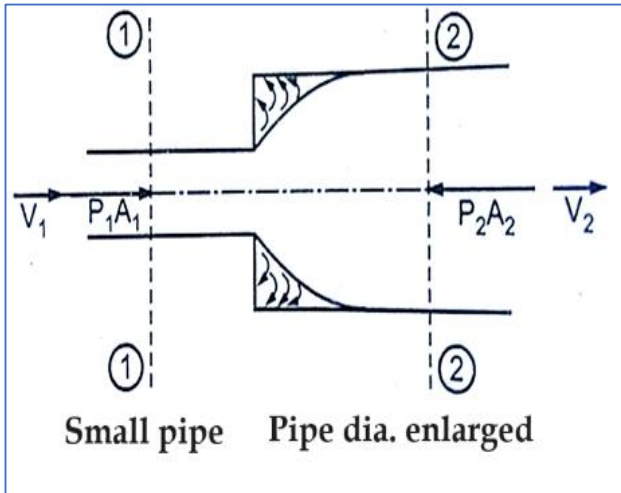
3.2.2 किरकोळ (minor) ऊर्जा हानी:

वाहणाऱ्या द्रवाचा वेग किंवा दिशेत बदल झाल्यामुळे होणाऱ्या ऊर्जेच्या नुकसानीला किरकोळ हानी असे म्हणतात.

विविध किरकोळ हानी खालीलप्रमाणे आहेत. –

1. पाईपच्या व्यासात अचानक वाढ झाल्यामुळे ऊर्जा कमी होणे:

आकृती 3.2.1 दर्शविल्याप्रमाणे लहान व्यासाचा पाईप दुसऱ्या मोठ्या व्यासाच्या पाईपशी जोडली गेल्यास अशा प्रकारची **हानी** होते.



पाईपच्या व्यासात अचानक वाढ

आकृती 3.2.1

$$h_e = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

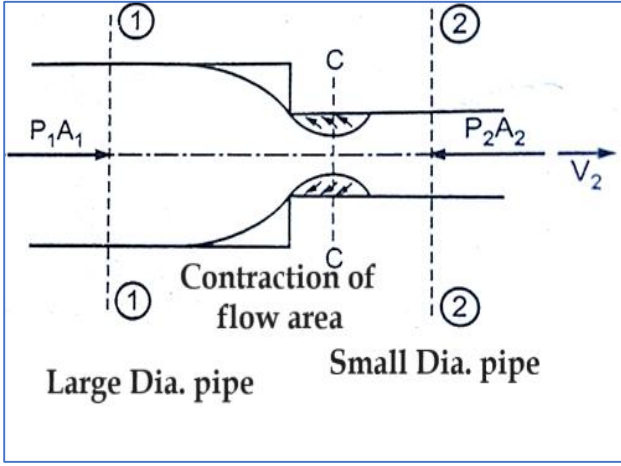
इथे,

v_1 = प्रवाहाचा वेग विभाग 1-1 येथे (m/s)

v_2 = प्रवाहाचा वेग विभाग 2-2 येथे (m/s)

2. पाईपच्या व्यासात अचानक आकुंचन झाल्यामुळे ऊर्जा कमी होणे:

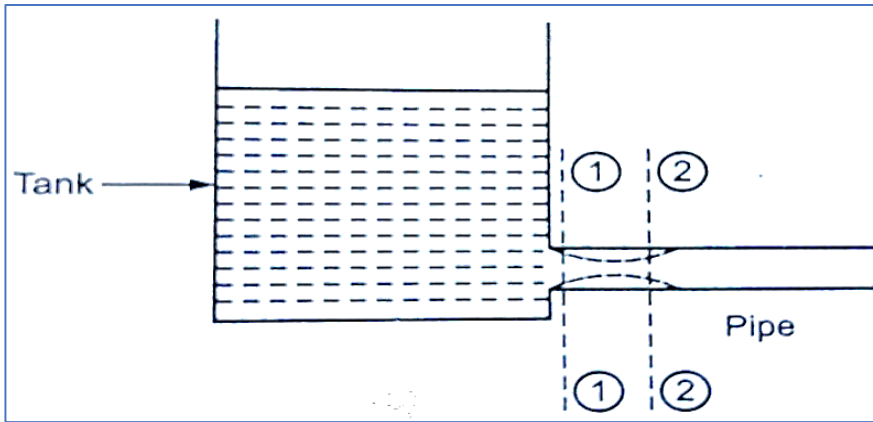
आकृती 3.2.1 दर्शविल्याप्रमाणे मोठ्या व्यासाचा पाईप दुसऱ्या लहान व्यासाच्या पाईपशी जोडली गेल्यास अशा प्रकारची **हानी** होते.



पाईपच्या व्यासात अचानक आकुंचन
आकृती 3.2.2

$$h_c = 0.5 \frac{v^2}{2g}$$

3. पाईपच्या प्रवेशद्वारावर ऊर्जा कमी होणे:



पाईपच्या प्रवेशद्वारावर ऊर्जा कमी होणे
आकृती 3.2.3

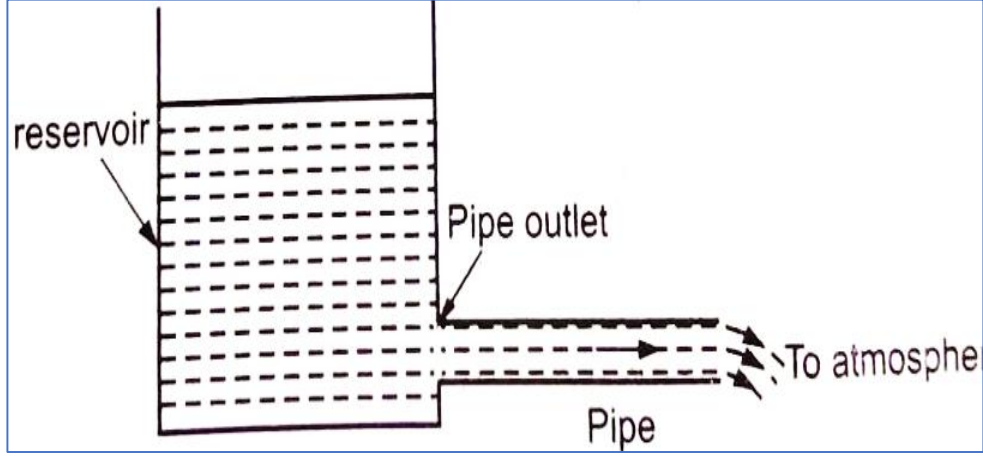
$$h_{ent} = 0.5 \frac{v^2}{2g}$$

इथे,

V = पाईपमधील प्रवाहाचा वेग. (m)

4. पाईपमधून बाहेर पडताना ऊर्जा कमी होणे:

आकृती 3.2.4 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे द्रव प्रवाहासाठी आउटलेट असलेल्या टाकीला द्रव काढून टाकण्यासाठी जेव्हा पाईप जोडलेली असते तेव्हा अशा प्रकारची हानी होते.



पाईपमधून बाहेर पडताना ऊर्जा कमी होणे

आकृती 3.2.4

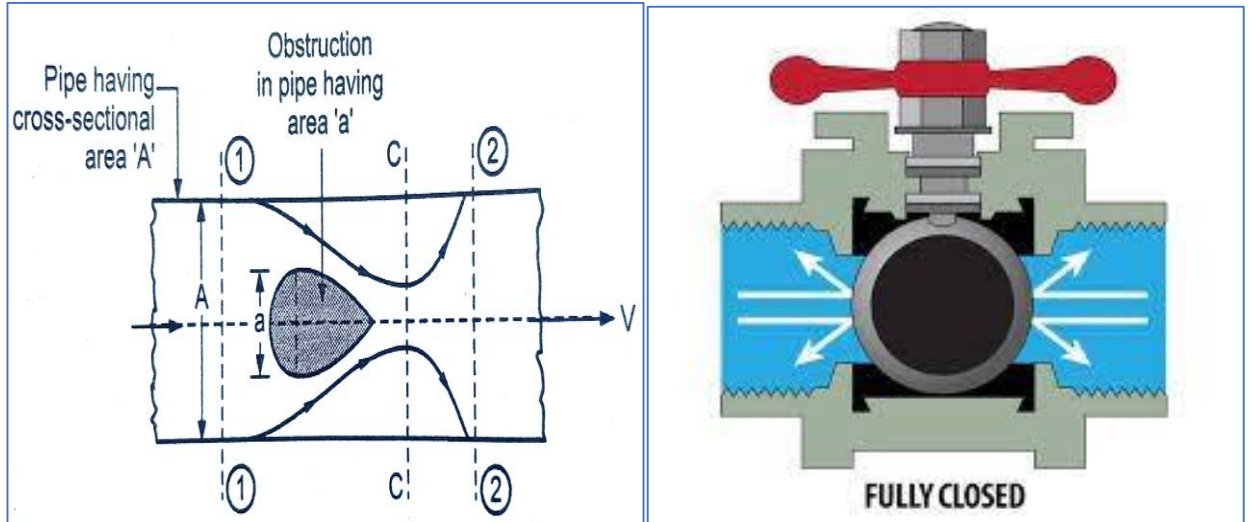
$$h_{\text{exit}} = \frac{v^2}{2g}$$

इथे,

v = पाईपमधून बाहेर पडताना प्रवाहाचा वेग. (m/s)

5. पाईपमधील अडथळ्यामुळे ऊर्जा कमी होणे:

आकृती 3.2.5 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे जेव्हा प्लंबिंग लेआउटमध्ये आवश्यकतेनुसार प्रवाह नियंत्रित करण्यासाठी किंवा प्रतिबंधित करण्यासाठी, पाईप वाल्व किंवा ओरीफीसने जोडलेले असते तेव्हा अशा प्रकारची हानी होते.



पाईपमधील अडथळ्यामुळे ऊर्जा कमी होणे.

आकृती 3.2.5

$$h_{\text{obs}} = \frac{V^2}{2g} \left(\frac{A}{C_c \cdot (A - a)} - 1 \right)^2$$

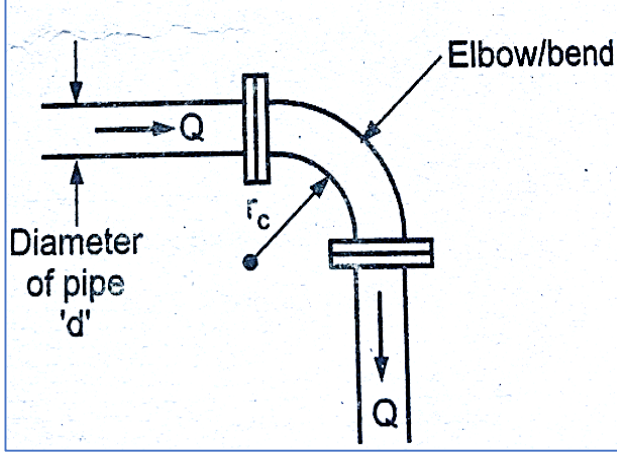
इथे,

A = पाईपचे क्षेत्रफळ (m^2)

a = जास्तीत जास्त अडथळा क्षेत्र (m^2)

C_c = आकुंचन गुणांक

6. पाईपमधील बेंडमुळे ऊर्जा कमी होणे:



पाईप मध्ये बेंड.

आकृती 3.2.6

$$h_b = \frac{kv^2}{2g}$$

इथे,

k = बेंडचा गुणांक - बेंडचा कोन, बेंडच्या वक्रतेची त्रिज्या आणि पाईपचा व्यास यावर अवलंबून असतो.

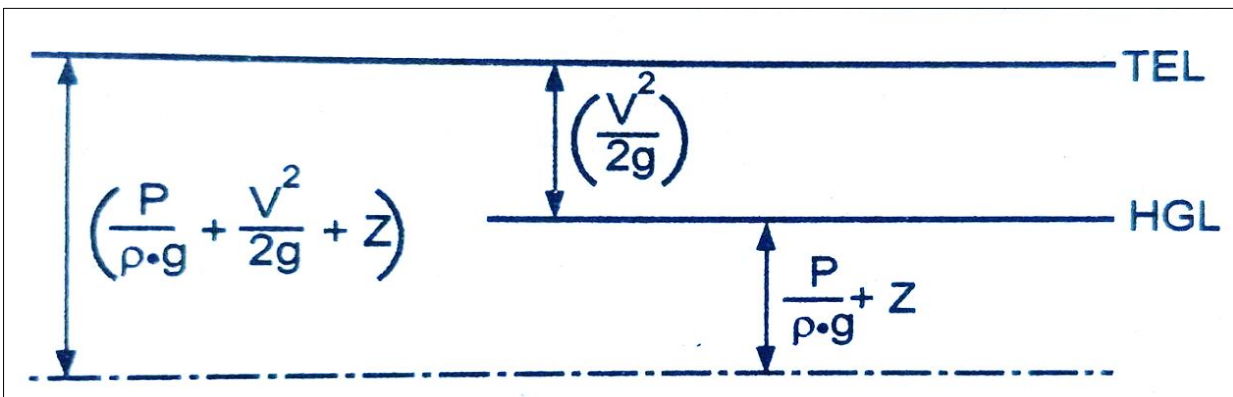
7. विविध पाईप फिटिंगमुळे ऊर्जेचे नुकसान:

$$h_{pf} = \frac{kv^2}{2g}$$

इथे,

k = पाईप फिटिंगचा गुणांक

3.4 हायड्रॉलिक ग्रेडियंट लाइन आणि एकूण ऊर्जा लाइन (रेषा):



हायड्रॉलिक ग्रेडियंट लाइन आणि एकूण ऊर्जा लाइन

आकृती 3.4.1

3.4.1 हायड्रॉलिक ग्रेडियंट लाइन (H.G.L.):

हायड्रॉलिक ग्रेडियंट लाइन ही एक रेषा म्हणून परिभाषित केली जाते जी काही संदर्भ रेषेच्या संदर्भात पाईपमधील प्रवाहित द्रवपदार्थाची दाब ऊर्जा व स्थितिज ऊर्जा यांची बेरीज देते.

हायड्रॉलिक ग्रेडियंट लाइन = दाब ऊर्जा + स्थितिज ऊर्जा

$$\text{H.G.L.} = \frac{P}{\rho g} + Z$$

3.4.2 एकूण ऊर्जा लाइन (T.E.L.):

एकूण ऊर्जा लाइन ही एक रेषा म्हणून परिभाषित केली जाते जी काही संदर्भ रेषेच्या संदर्भात पाईपमधील प्रवाहित द्रवपदार्थाची दाब ऊर्जा, स्थितिज ऊर्जा व वेग ऊर्जा यांची बेरीज देते

एकूण ऊर्जा लाइन = दाब ऊर्जा + वेग ऊर्जा + स्थितिज ऊर्जा

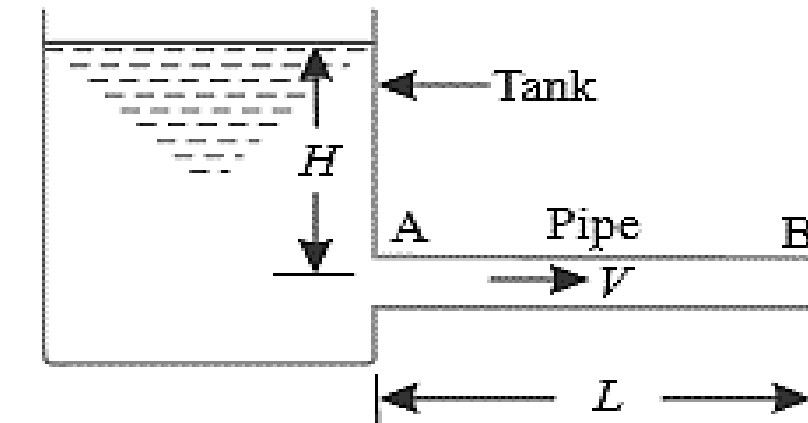
$$\text{T.E.L.} = \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + Z$$

3.5 पाईप्स मधुन द्रव प्रवाहातील शक्ती (पॉवर) प्रसारित करणे:

एका बिंदूपासून दुस-या बिंदूपर्यंत दाबाखाली पाणी वाहून नेणाऱ्या पाईप्सचा वापर हायड्रॉलिक शक्ती प्रसारित करण्यासाठी केला जाऊ शकतो. अनेक हायड्रॉलिक मशिन्सच्या कार्यासाठी सामान्यतः पाणी किंवा इतर द्रव वाहून नेणाऱ्या पाईप्सद्वारे शक्ती प्रसारित केली जाते. पाईपद्वारे प्रसारित होणारी हायड्रॉलिक शक्ती यावर अवलंबून असते-

- (i) पाईपमधून वाहणाऱ्या पाण्याचे वजन.
- (ii) पाईपमधून बाहेर पडताना पाण्याची उपलब्ध एकूण ऊर्जा.

उच्चस्तरीय साठवण टाकीला जोडलेल्या पाईप AB बघा आकृती 3.5.1



आकृती 3.5.1

पाईपमधून द्रव प्रवाहीत होत असताना, प्रवाहाच्या घर्षण प्रतिकारामुळे उर्जेची हानी होते. जर 'H' ही पाईपच्या प्रवेशाजवळील एकूण ऊर्जा, h_f हे घर्षणामुळे होणारे उर्जेची हानी, 'd' व्यासाच्या आणि 'L' लांबीच्या पाईपमधून द्रव प्रवाहित होत असताना असेल तर

पाईपमधून बाहेर पडताना उपलब्ध ऊर्जा = $H - h_f$

जर 'V' हा पाईपमधील प्रवाहाचा वेग असेल, तर घर्षणामुळे होणारे उर्जेची हानी डार्सी-वेइसबॅक सूत्रानुसार दिले जाते.

$$h_f = \frac{4fLv^2}{2gd}$$

पाईपमधून बाहेर पडताना शक्तीची उपलब्धता -

P = वाहणाऱ्या पाण्याचे वजन प्रति सेकंद. $\times$ पाईपमधून बाहेर पडताना निव्वळ उपलब्ध ऊर्जा

$$= (W \times Q) \times h$$

$$= W (A \times V) \times h$$

$$= W (A \times V) H - \frac{4fLv^2}{2gd}$$

3.5.1 जास्तीत जास्त शक्ती प्रसारणासाठीची अट:

$$h_f = \frac{H}{3}$$

इथे,

$$h_f = \text{घर्षणामुळे उर्जेची हानी (m)}$$

$$H = \text{एकूण ऊर्जा (m)}$$

जेव्हा घर्षणामुळे होणारी उर्जेची हानी एकूण पुरवलेल्या उर्जेच्या एक तृतीयांश असते तेव्हा पाईपद्वारे प्रसारित होणारी शक्ती जास्तीत जास्त असते.

3.5.2 शक्ती प्रसारणाची कमाल कार्यक्षमता:

कार्यक्षमतेची व्याख्या: पाईपमधून बाहेर पडताना उपलब्ध ऊर्जा व पाईपच्या प्रवेशा जवळील एकूण ऊर्जा यांचे गुणोत्तर म्हणून याची व्याख्या केली जाते.

$$\eta = \frac{\text{पाईपमधून बाहेर पडताना उपलब्ध ऊर्जा}}{\text{पाईप मधून बाहेर पडताना उपलब्ध ऊर्जा}}$$

$$= \frac{W(H-h_f)}{WH}$$

$$= \frac{H-h_f}{H}$$

शक्ती प्रसारणाच्या जास्तीत जास्त कार्यक्षमतेसाठी, ठेवा $h_f = \frac{H}{3}$

$$\eta = \frac{H - \frac{H}{3}}{H}$$

$$= \frac{2}{3}$$

$$\eta = 66.7 \%$$

Example 1: A horizontal pipe, 4000 m long supplies water to a hydraulic machine through a 200

mm diameter pipe. Find the maximum power transmitted, if the pressure at inlet to the pipe is 8000 kPa, $f = 0.007$.

Solution:

दिले आहे:

$$l = 400 \text{ m}, d = 200 \text{ mm}, P = 8000 \times 10^3 \text{ N/m}^2, f = 0.007$$

$$\text{पाईपच्या प्रवेशा जवळील दाब, } H = \frac{P}{w} = \frac{8000 \times 10^3}{9810}$$

$$= 815.49 \text{ m of water}$$

शक्ती प्रसारणाच्या जास्तीत जास्त कार्यक्षमतेसाठी,

$$h_f = \frac{H}{3} = \frac{815.49}{3}$$

$$= 271.83 \text{ m}$$

$$h_f = \frac{4flv^2}{2gd}$$

$$v^2 = \frac{2gd \times h_f}{4fl}$$

$$= \frac{2 \times 9.81 \times 0.2 \times 271.83}{4 \times 0.007 \times 4000}$$

$$= 9.5237$$

$$v = 3.086 \text{ m/s}$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$= 0.0314 \text{ m}^2$$

$$Q = A \times v = 0.093 \text{ m}^3/\text{s}$$

पाईप मधून बाहेर पडताना उपलब्ध ऊर्जा

$$= H - h_f = H - \frac{H}{3} = \frac{2H}{3}$$

$$= \frac{2}{3} \times 815.49$$

$$= 543.66 \text{ m}$$

प्रसारित होणारी कमाल शक्ती

$$= WQ (H - h_f) = 9810 \times 0.097 \times 543.66$$

$$= 517330 \text{ Watts}$$

Example 2: A pipe of diameter 300 mm and length 3500 m is used for transmission of power by water. The total head at the inlet of pipe is 500 m. Calculate the maximum power available at the outlet of the pipe, if the value of $f = 0.006$.

Solution:

दिले आहे:

$$d = 300 \text{ mm}, l = 3500 \text{ m}, H = 500 \text{ m}, f = 0.007$$

शक्ती प्रसारणाच्या जास्तीत जास्त कार्यक्षमतेसाठी,

$$h_f = \frac{H}{3} = \frac{500}{3}$$

$$= 166.67 \text{ m}$$

घर्षणामुळे उर्जेची हानी,

$$h_f = \frac{4flv^2}{2gd}$$

$$166.67 = \frac{4 \times 0.006 \times 3500 \times v^2}{2 \times 9.81 \times 0.3}$$

$$v = 3.4126 \text{ m/s.}$$

स्त्राव (Discharge), $Q = A \times v$

$$= \frac{\pi}{4} d^2 \times v, = \frac{\pi}{4} (0.3)^2 \times 3.4126$$

$$= 0.2412 \text{ m}^3/\text{s}$$

कमाल शक्ती = $WQ (H - h_f)$

$$= 9810 \times 0.2412 \times (500 - 166.67)$$

$$= 788716.11 \text{ watts.}$$

Example 3: Find maximum power that can be transmitted by a power station through a hydraulic pipe 3 km long and 0.2 m diameter. The pressure at power station is 60 bars. Take $f=0.0075$

Solution:

दिले आहे:

$$l = 3000 \text{ m}, d = 0.2 \text{ m}, f = 0.0075, P = 60 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

दाब ऊर्जा $H = \frac{P}{w} = \frac{60 \times 10^5}{9810}$

$$= 611.62 \text{ m}$$

शक्ती प्रसारणाच्या जास्तीत जास्त कार्यक्षमतेसाठी, $h_f = \frac{H}{3}$

$$h_f = \frac{611.62}{3}$$

$$= 203.87 \text{ m}$$

परंतु,

$$h_f = \frac{4flv^2}{2gd}$$

$$203.87 = \frac{4 \times 0.0075 \times 3000 \times v^2}{2 \times 9.81 \times 0.2}$$

$$V = 2.98 \text{ m/s}$$

$$Q = A v$$

$$= \frac{\pi}{4} d^2 \times v, = \frac{\pi}{4} (0.2)^2 \times 2.98$$

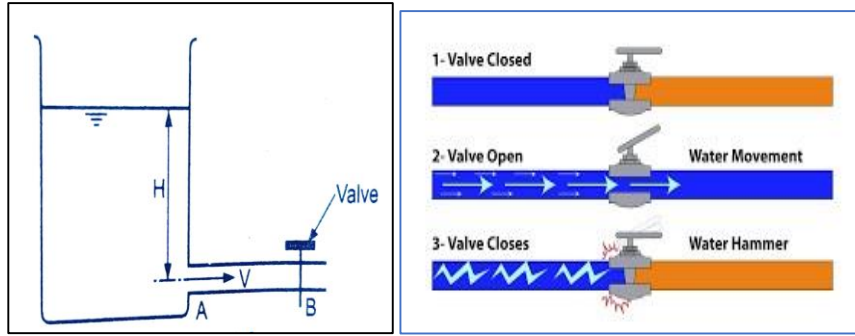
$$= 0.09362 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{कमाल शक्ती} = WQ (H - h_f)$$

$$= 9810 \times 0.09362 \times (611.62 - 203.87)$$

$$= 374482.57 \text{ watts.}$$

3.6 पाईप्स मधील वॉटर हॅमर घटना:



वॉटर हॅमर घटना

आकृती 3.6.1

वॉटर हॅमरची व्याख्या:

वॉटर हॅमर ही एक अशी घटना आहे जी कोणत्याही पाइपिंग प्रणालीमध्ये उद्भवू शकते, जेव्हा वाल्वचा (झडपेचा) वापर द्रव प्रवाह किंवा प्रवाहाची दिशा अचानक थांबविण्यासाठी केला जातो. वॉटर हॅमर हा दाब वाढीचा (अचानक वाढ) किंवा उच्च-दाब लहरीचा परिणाम आहे जो पाइपिंग प्रणालीद्वारे पसरतो, जेव्हा गतिमान द्रवपदार्थाचा दिशा बदलण्यास किंवा अचानक थांबण्यास भाग पाडले जाते.

आकृती 3.6.1 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे एक लांब पाईप AB बघा, ज्याचे एक टोक पाईपच्या मध्य रेषेपासून H उंचीवर पाणी असलेल्या टाकीच्या एका टोकाला जोडलेले आहे व दुसऱ्या टोकाला पाण्याचा प्रवाह नियंत्रित करण्यासाठी एक नियमन झडप (valve) प्रदान केला आहे. जेव्हा झडप पूर्णपणे उघडते तेव्हा पाईपमधून पाणी 'v' वेगाने वाहते, आता झडप अचानक बंद केल्यास वाहत्या पाण्याचा संवेग नष्ट होईल आणि यामुळे पाईपमध्ये उच्च-दाबाची लहर निर्माण होईल. ही उच्च-दाब लहर पाईपच्या बाजूने वेगाने प्रसारित केली जाईल आणि 'नॉकिंग' नावाचा आवाज (ठोकल्यासारखा आवाज) निर्माण करेल.

तसेच या उच्च-दाब लहरीमुळे पाईपच्या भिंतींवर हातोडा मारल्यासारखा परिणाम होतो, म्हणून उच्च-दाब लहरीच्या परिणामास वॉटर हॅमर घटना असे म्हणतात.

3.6.1 वॉटर हॅमरची कारणे:

1. हे झडप अचानक बंद केल्यामुळे होते, जे दाब लहरींच्या रूपात पाईपमधील संपूर्ण पाण्यात पसरते.

- हे पाण्याचा वेग झडप ऑपरेशन, पाइपलाइन फुटणे, वीजपुरवठा खंडित होणे, पंप बंद पडणे यामुळे बदलला तर होते.

3.6.2 वॉटर हॅमरचा प्रभाव:

- कंपनामुळे जोड (जॉईंट) उघडल्यामुळे गळती होते.
- दबाव वाढल्याने प्लास्टिक पासून न बनलेले पाईप फुटणे.

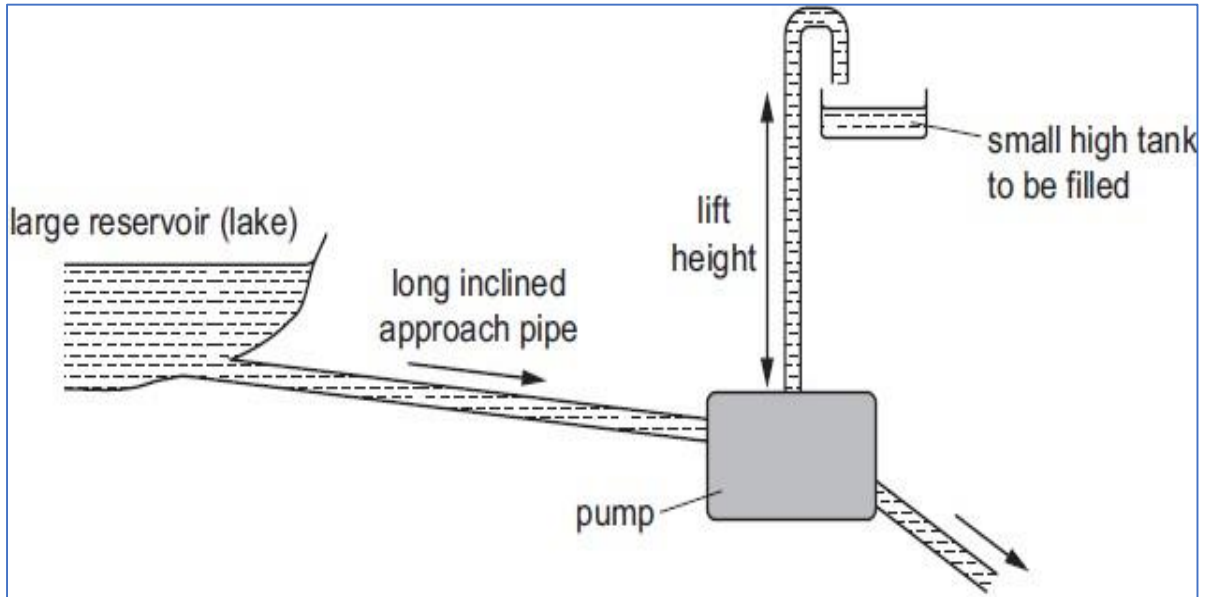
3.6.3 वॉटर हॅमर टाळण्यासाठी उपाय:

- झडप हळूहळू उघडणे आणि बंद करणे.
- दाबातील फरक प्रभाव कमी करण्यासाठी झडपेजवळ सर्ज टँकची तरतूद.
- दाब कमी करणारा वाल्वचा वापर.

3.6.4 वॉटर हॅमर तत्त्वाचा वापर:

वॉटर हॅमर तत्त्वाचा वापर हायड्रॉलिक रॅम नावाचा साधा पाण्याचा पंप तयार करण्यासाठी केला जाऊ शकतो. कधीकधी वॉटर हॅमर वापरून गळती शोधली जाऊ शकते.

हायड्रॉलिक रॅमचे कार्य हे वाल्व अचानक बंद केल्यामुळे पुरवठा पाइपलाइनमध्ये लहान प्रमाणात विकसित झालेल्या वॉटर हॅमरच्या प्रभावावर आधारित आहे. हायड्रॉलिक रॅमचे कार्य पुरवठा पाईपमध्ये विकसित वॉटर हॅमरच्या किंवा जडत्व दाब या तत्त्वावर आधारित आहे.



हायड्रॉलिक रॅम पंप
आकृती 3.6.2

Exercise:**TLO 3.1 State laws of fluid friction for laminar and turbulent flow.**

1. State any four laws of fluid friction for laminar flow. (R)
2. State any four laws of fluid friction for turbulent flow. (R)
3. State the effect on head loss due to friction if diameter of pipe is doubled considering Darcy's equation. (assume other parameters same) (A)

TLO 3.2 Calculate frictional losses using Darcy's equation and Chezy's equation.

4. Write Darcy's formula for head loss due to friction with meaning of each term. (R)
5. Write Chezy's formula for head loss due to friction with meaning of each term. (R)
6. Calculate the head lost due to friction in a pipe of diameter 200 mm and length 60 m, through which water is flowing at a velocity of 2.5 m/s using Darcy-Weisbach formula (Take $f = 0.005$) (A)
7. Calculate head lost due to friction in a pipe of diameter 300 mm and length 50 m, through which water is flowing at a velocity of 3 m/s. Using
(i) Darcy's formula. Take $f = 0.0256$ (ii) Chezy's formula for which $C = 60$. (U) (A)

TLO 3.3 Describe various minor losses in fluid flow

8. Define the terms: Major energy losses and minor energy losses in pipes. (R)
9. State any four minor losses with neat sketch and formulae (U)
10. List various types of minor losses. (R)

TLO 3.4 Interpret hydraulic gradient line and total energy line

11. Define HGL and TEL (R)
12. Explain hydraulic gradient line and total energy line with neat sketch. (U)

TLO 3.5 Calculate hydraulic power transmission, hydraulic efficiency through pipes.

13. A pipe of diameter 340 mm and length 4000 m is used for the transmission of power by water. The total head at the inlet of pipe is 600 m. Calculate the maximum power available at the outlet of the pipe, if the value of $f = 0.006$ (A)
14. Calculate the maximum power that can be transmitted by a power station through a hydraulic pipe of 200 mm diameter and 3km length. Pressure of water at power station is 1500 kPa. Take $f = 0.01$ (A)
15. Calculate the power transmitted by 250 mm diameter pipe of length 500 m carrying water under a head of 100 m. Take $f = 0.0015$. Also calculate efficiency of power transmission if the discharge through the pipe is 500 lps. (A)

TLO 3.6 Describe water hammer phenomenon with remedial measures.

16. Explain water hammer phenomenon in pipe with neat sketch (U)
17. Write two effects of water hammer with their remedial measures. (U)
18. List causes of water hammer. (R)

4. हायड्रोलिक टर्बाइन (Hydraulic Turbines)

विषय निष्पत्ती :

- दिलेल्या अनुप्रयोगासाठी योग्य हायड्रोलिक टर्बाइन आणि पंप निवडा (Select a suitable hydraulic turbine and pump for the given application)
- हायड्रोलिक टर्बाइन आणि पंप यांचे कार्यप्रदर्शन मूल्यांकन करा. (Evaluate the performance of hydraulic turbines and pumps)

घटक निष्पत्ती :

TLO 4.1 दिलेल्या व्हेन (Vane) स्थितीसाठी जेटने लागणारा बल, केलेले कार्य आणि कार्यक्षमता (Efficiency) गणना करा (Calculate the force exerted by a jet, work done and efficiency for the given vane condition)

TLO 4.2 जलविद्युत प्रकल्पाची कार्यप्रणाली स्पष्ट करा. (Explain the working of a hydroelectric power plant)

TLO 4.3 दिलेल्या हायड्रोलिक टर्बाइनची रचना आणि कार्यप्रणाली वेग आरेखांसह स्पष्ट करा. (Explain the construction and working of a given hydraulic turbine along with velocity diagrams)

TLO 4.4 दिलेल्या अनुप्रयोगासाठी योग्य हायड्रोलिक टर्बाइन निवडा आणि त्याचे स्पष्टीकरण द्या. (Select the suitable hydraulic turbine for a given application with justification)

TLO 4.5 दिलेल्या हायड्रोलिक टर्बाइनचे कार्यप्रदर्शन मूल्यांकन करा. (Evaluate the performance of the given hydraulic turbine).

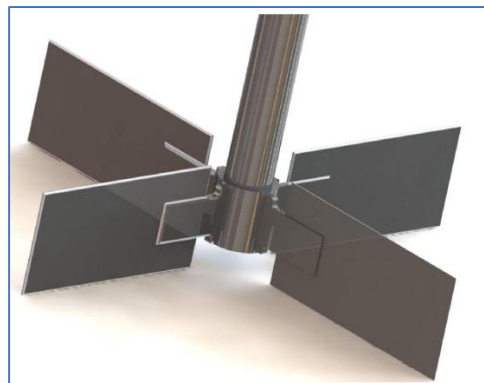
4.1 परिचय

नोजलमधून बाहेर पडणाऱ्या द्रवपदार्थाचा वेग जास्त असतो आणि त्यात काही विशिष्ट प्रमाणात गतीज ऊर्जा असते. जर हे जेट त्याच्या मार्गात असलेल्या अडथळ्यावर आदळले तर ते अडथळ्यावर ताकद (force) लावेल. या प्रभावित शक्तीला जेटचा प्रभाव म्हणून ओळखले जाते आणि ते हायड्रोस्टॅटिक दाबामुळे होणाऱ्या शक्तींपासून त्यातील फरक करण्यासाठी त्या दाबाला हायड्रोडायनामिक बल म्हणून ओळखले (संबोधित) केले जाते.

उदाहरण : आपण सर्विस स्टेशन येथे गाडी धुतांना पाण्याचा जास्त गतीचा जेट वापरतात त्यामुळे गाडी स्वच्छ होण्यास मदत होते.



a. पाण्याचा जेटचा वापर



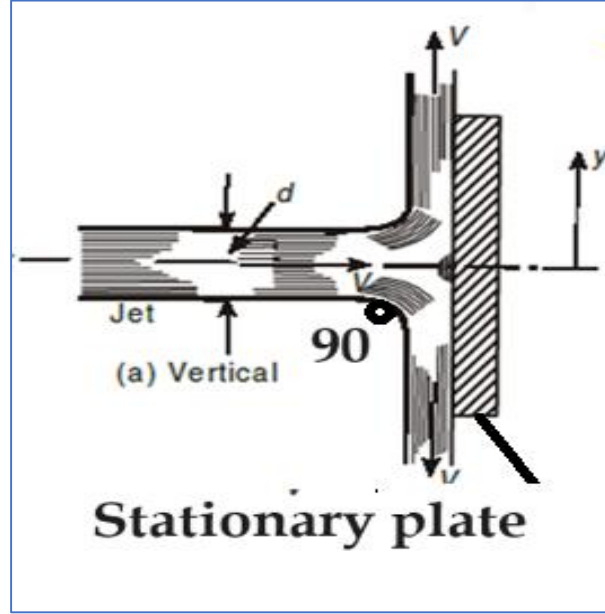
b. सपाट प्लेट (Flat Plate) असलेले टर्बाइन रनर

आकृती 4.0

डायनॅमिक फोर्स हे फ्लुइड मोशनच्या आधारावर वापरले जात असल्याने, त्यात नेहमी गती बदलाचा समावेश होतो, याउलट हायड्रोस्टॅटिक प्रेशरमुळे होणाऱ्या शक्तीच्या विपरीत, यात गती बदल होत नाही. त्यामुळे फ्लुइड जेटद्वारे त्या पृष्ठभागावर हायड्रोडायनामिक फोर्स(शक्ती)चे मूल्यांकन करण्यासाठी आवेग-वेग तत्त्वाचा वापर केला जाऊ शकतो.

4.2 स्थिर उभ्या सपाट प्लेटवर जेटचा प्रभाव

a फ्लॅट प्लेट जेटला लंब (काटकोनात) असताना :



स्थिर उभ्या सपाट प्लेटवर जेटचा प्रभाव

आकृती 4.1 (a)

आकृती 4.1 (a) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे d व्यासाचा आणि वेग V असणारा एक जेट नोजलमधून निघू द्या आणि एका सपाट प्लेटवर तो प्रहार करेल (आदळेल). प्लेट स्थिर आणि जेटच्या मध्य रेषेला लंब (काटकोनात) धरून ठेवली जाते. प्लेटवर आदळल्यानंतर जेट 90° द्वारे विक्षेपित होईल. जर प्लेट अगदी गुळगुळीत असेल तर जेट आणि प्लेटमधील घर्षण गृहीत धरण्याची गरज नाही. पुढे जर फ्लुइड जेटच्या प्रभावामुळे प्रवाहात उर्जा कमी होत नसेल तर येणारे आणि जाणारे जेट्समधील उंचीमधील फरक दुर्लक्षित केला जातो; बर्नोलीच्या समीकरणाचा वापर दर्शवितो की जेट समान वेगाने प्लेटच्या वर जाईल आणि बाहेर होईल. तथापि, जर काही ऊर्जा कमी झाली तर प्लेटमधून बाहेर पडणाऱ्या द्रवाचा वेग V पेक्षा थोडा कमी असेल.

प्लेट वर आघात करणाऱ्या द्रवाचे प्रमाण (मात्रा), $Q = (\pi d^2/4) \times V = aV \text{ (m}^3/\text{s)}$

a हे जेटच्या क्रॉस-सेक्शनचे क्षेत्रफळ आहे. (m^2)

अशा प्रकारे जेटद्वारे प्रति सेकंद बाहेर येणाऱ्या द्रवपदार्थाचे वस्तुमान $m = \rho Q = \rho aV$ आहे;

जेथे ρ हे द्रवपदार्थाची घनता दर्शवते.

$\rho = (w/g)$, जेथे w हे द्रवपदार्थाचे विशिष्ट वजन (specific weight) असल्याने,

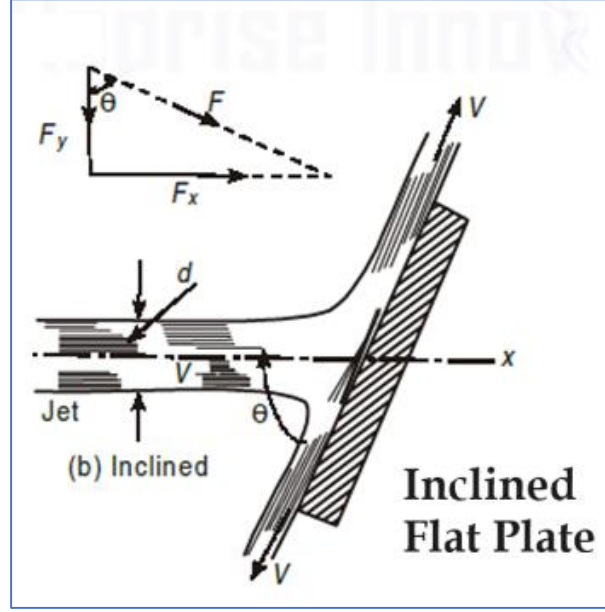
वस्तुमान m देखील $m = (waV/g)$ म्हणून व्यक्त केले जाऊ शकते.

प्लेटवर जेटचा आघात केल्यानंतर जेट 90° द्वारे विक्षेपित होते, त्यामुळे बाहेर येणाऱ्या जेटचा वेगाचा घटक जेटच्या मूळ दिशेने शून्य असेल. त्यामुळे आवेग-वेग समीकरण लागू करून, प्लेटच्या सामान्य दिशेने द्रवपदार्थाच्या जेटवर स्थिर प्लेटद्वारे लावलेले बल F असे निर्धारित केले जाऊ शकते,

$$-F = (waV/g).(0-V) \quad \text{or} \quad F = (waV^2)/g$$

बल 'F' चे चिन्ह उणे (विरुद्ध दिशेत असल्याने) मानले गेले आहे कारण प्लेट द्वारे लागू केलेले जेट उणे X - दिशेमध्ये आहे. पुढे जेट प्लेटवर जे बल लावते ते समान असते आणि जेटवर प्लेटद्वारे प्रयुक्त केलेल्या बलाच्या विरुद्ध, म्हणून ते अधिक (positive) X दिशेने कार्य करणाऱ्या F च्या बरोबरीचे आहे.

b. फ्लॅट प्लेट जेटच्या दिशेत 'θ' कोनात तिरपी (कललेली)



तिरप्या कललेल्या सपाट प्लेटवर जेटचा प्रभाव
आकृती 4.1 (b)

प्लेटच्या सामान्य दिशेने जेटने लावलेले बल असे व्यक्त केले जाऊ शकते

$$F = \frac{(\rho a V)}{g} [(V \sin \theta) - 0] \quad \text{or} \quad F = \frac{(\rho a V^2)}{g} \sin \theta$$

डायनॅमिक थ्रस्ट F ची विभागणी दोन घटकांमध्ये केले जाऊ शकते उदा., घटक F_x च्या समांतर जेटची दिशा आणि घटक F_y काटकोनात जेटच्या दिशेने. अशा प्रकारे

$$F_x = F \sin \theta = \frac{Wa}{g} V^2 \sin^2 \theta$$

$$F_y = F \cos \theta = \frac{Wa}{g} V^2 \sin \theta \cos \theta$$

4.3 फ्लुइड जेट द्वारे जेट च्या दिशेत पुढे जाणारी उभ्या सपाट प्लेटवर लावलेले बल

(a) फ्लॅट प्लेट जेट ला लंब असताना .:

आवेग-वेग समीकरण लागू करून प्लेटवर जेटद्वारे प्लेटला काटकोनात दिशेने दिलेला डायनॅमिक थ्रस्ट प्राप्त होतो,

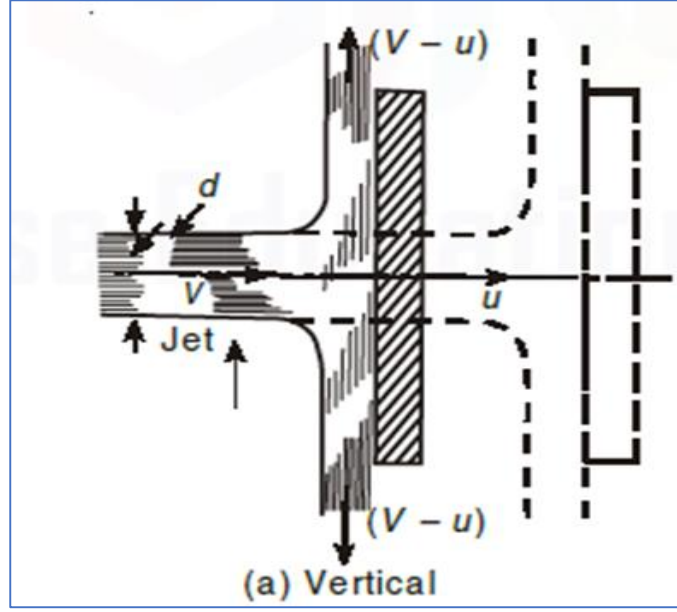
$$F = [wa \frac{(V-u)}{g}] [(V-u) - 0]$$

Or

$$F = \frac{wa(V-u)^2}{g}$$

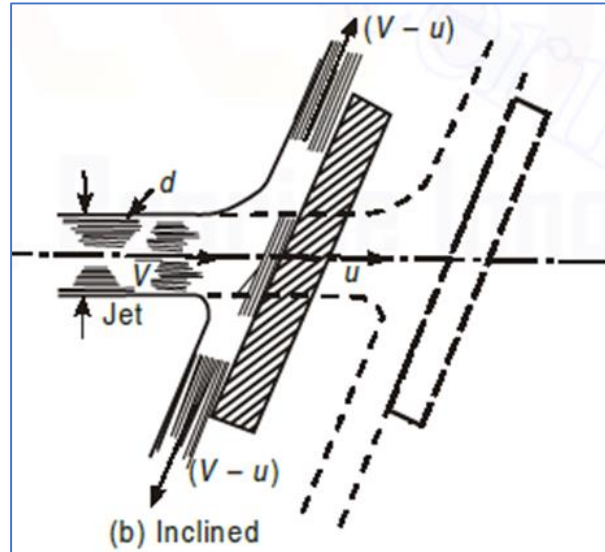
प्रति सेकंद प्लेटवर जेटने केलेले कार्य (work done)

$$= (F \times u) = \frac{wa(V-u)^2}{g} u$$



जेटच्या दिशेत पुढे जाणारी उभ्या सपाट प्लेटवर जेटचा प्रभाव
आकृती 4.2 (a)

(b) जेटच्या दिशेत पुढे जाणारी जेटला θ कोनात तिरपी कललेली सपाट प्लेट



जेटच्या दिशेत पुढे जाणारी जेटला θ कोनात तिरपी प्लेटवर जेटचा प्रभाव
आकृती 4.2 (b)

त्यामुळे आवेग-वेग समीकरण लागू करून प्लेटला काटकोन दिशेला प्लेटवर लावलेले बल याद्वारे दिले जाते.

$$F = \left[\frac{wa(V-u)}{g} \right] [(V-u)\sin \theta - 0]$$

$$F = \left[\frac{wa(V-u)^2}{g} \right] \sin \theta$$

सामान्य थ्रस्ट दोन घटकांमध्ये सोडवला जाऊ शकतो; F_x जेटच्या दिशेला समांतर आणि F_y काटकोनात जेटच्या दिशेला.

अशा प्रकारे,

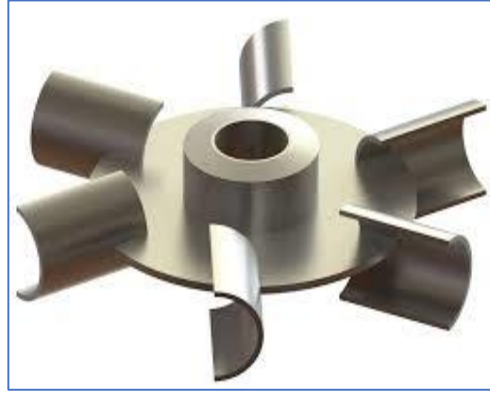
$$F_x = F \sin \theta = \left[\frac{wa(V-u)^2}{g} \right] \sin^2 \theta$$

$$F_y = F \cos \theta = \left[\frac{wa(V-u)^2}{g} \right] \sin \theta \cos \theta$$

जेटने प्रति सेकंद केलेले कार्य (Work Done),

$$W.D = (F_x \times u) = \left[\frac{wa(V-u)^2}{g} \right] u \sin^2 \theta$$

4.4 वक्र स्थिर प्लेटवर जेटचा प्रभाव



वक्र प्लेट असलेले रनर
आकृती 4.3 (a)

a वक्र प्लेटच्या मध्यभागी जेटचा प्रभाव

आकृती 4.3 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे पाण्याचे जेट मध्यभागी एका स्थिर वक्र प्लेटवर आदळू द्या. जर प्लेट गुळगुळीत असेल आणि वक्र प्लेटच्या स्पर्शिक दिशेने जेटच्या आघातामुळे उर्जेची कोणतीही हानी होत नसेल तर जेट प्लेटला आदळल्यानंतर त्याच वेगाने बाहेर पडते.

प्लेटच्या आउटलेटवरील वेग दोन घटकांमध्ये विभागणी करून सोडवला जाऊ शकतो, एक जेटच्या दिशेने आणि दुसरा लंब काटकोनात जेटच्या दिशेने.

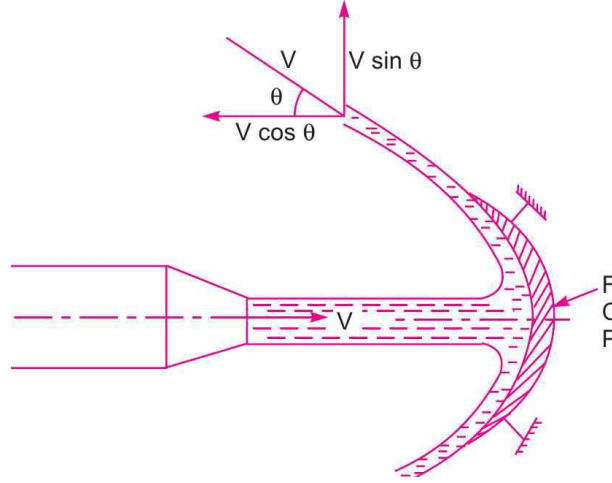
प्लेटच्या आउटलेटवरील वेग दोन घटकांमध्ये सोडवला जाऊ शकतो,

अ) एक जेटच्या दिशेने आणि दुसरा

ब) जेट लंबच्या काटकोनात दिशेने.

जेट = $-V \cos \theta$ च्या दिशेने वेगाचा घटक

जेटच्या दिशेने वेगाचा घटक = $-V \cos \theta$



मध्यभागी एक स्थिर वक्र प्लेट मारणारा जेट

आकृती 4.3 (b)

(- ve चिन्ह घेतले जाते कारण आउटलेटवरील वेग नोजलमधून बाहेर पडणाऱ्या पाण्याच्या जेटच्या विरुद्ध दिशेने आहे) जेटला लंब असलेला वेगाचा घटक = $V \sin \theta$

जेटने जेटच्या दिशेने जोर दिला,

$$F_x = \text{वस्तुमान प्रति सेकंद} \times [V_{1x} - V_{2x}]$$

$$V_{1x} - \text{जेटच्या दिशेने प्रारंभिक वेग} = V$$

$$V_{2x} - \text{जेटच्या दिशेने अंतिम वेग} = -V \cos \theta$$

$$F_x = \rho a V [V - (-V \cos \theta)] = \rho a V [V + V \cos \theta]$$

$$F_x = \rho a V^2 [1 + \cos \theta]$$

$$F_y = \text{वस्तुमान प्रति सेकंद} \times [V_{1y} - V_{2y}]$$

त्याचप्रमाणे,

जेथे $V_{1y} = 0$ च्या दिशेने आरंभिक वेग

$$V_{2y} = V \sin \theta \text{ च्या दिशेने अंतिम वेग}$$

त्यामुळे,

$$F_y = \rho a V [0 - (V \sin \theta)] = -\rho a V^2 \sin \theta$$

- वे चिन्हाचा अर्थ असा आहे की शक्ती खाली दिशेने कार्य करत आहे. या प्रकरणात जेटच्या विक्षेपणाचा कोन = $(180^\circ - \theta)$

b. जेव्हा प्लेट सममितीय (symmetrical) असून जेट एका टोकाला वक्र प्लेटला स्पर्श करते.

आकृती 4.4 (a) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे जेटला एका टोकाला वक्र स्थिर प्लेटला प्रवेश करून प्लेटच्या आतील भागात जातो. वक्र प्लेट x – अक्षाबद्दल सममित आहे. नंतर स्पर्शिकेच्या (tangent) दोन टोकांना असलेला कोन सारखाच असेल.

येथे, V = पाण्याच्या जेटचा वेग (m/s)

θ = वक्र प्लेटच्या इनलेट टोकावर x – अक्षासह जेटने बनवलेला कोन.

जर प्लेट गुळगुळीत असेल आणि आघातामुळे ऊर्जेची हानी शून्य असेल, तर वक्र प्लेटच्या आउटलेटच्या टोकावरील पाण्याचा वेग V सारखा असेल. x आणि y च्या दिशेने पाण्याच्या जेटने वापरलेली शक्ती आहेत.

$$F_x = (\text{mass/sec}) \times [V_{1x} - V_{2x}]$$

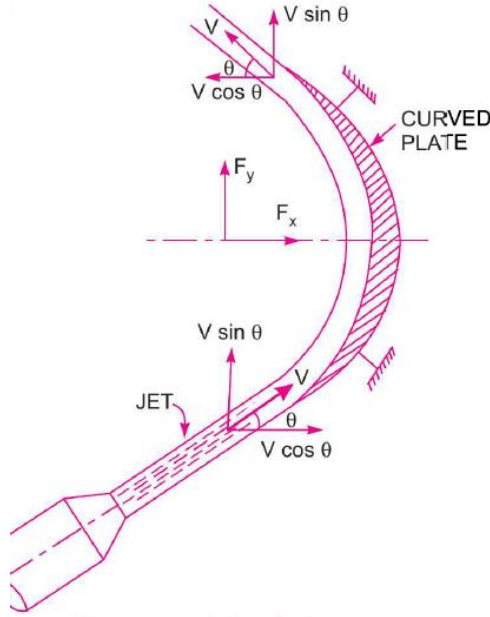
$$= \rho aV [V \cos \theta - (-V \cos \theta)]$$

$$= \rho aV [V \cos \theta + (V \cos \theta)]$$

$$F_x = 2\rho aV^2 \cos \theta$$

$$F_y = \rho aV [V_{1y} - V_{2y}]$$

$$F_y = \rho aV [V \sin \theta + (V \sin \theta)] = 0$$



वक्र प्लेटच्या एका टोकाला जेटचा स्ट्राइकिंग
आकृती 4.4 (a)

a जेव्हा प्लेट असममित (Unsymmetrical) असून जेट एका टोकाला वक्र प्लेटला स्पर्श करतो

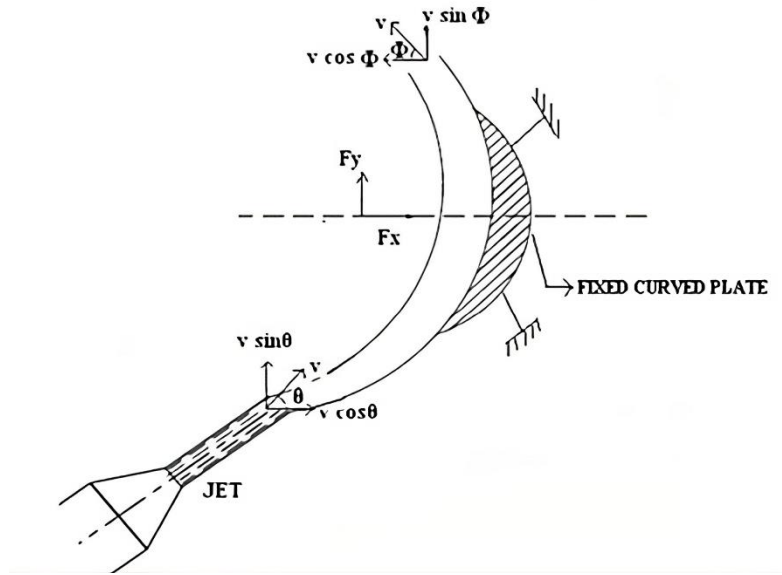
जेव्हा वक्र प्लेट X अक्षाबद्दल असममित असते, तेव्हा x – अक्षासह प्लेटच्या इनलेट आणि आउटलेट टिपांवर स्पर्शकांनी काढलेला कोन वेगळा असेल.

येथे, $\theta = x$ - अक्षासह इनलेट टोकावरील स्पर्शिकेने बनवलेला कोन,

$\phi =$ स्पर्शिकेने y- अक्षासह इनलेट टोकावर बनवलेला कोन,

इनलेटमधील वेगाचे दोन घटक आहेत

$$V_{1x} = V \cos \theta \text{ and } V_{1y} = V \sin \theta$$



वक्र प्लेट च्या एका टोकाला जेट चा स्ट्राइकिंग
आकृती 4.4 (b)

आउटलेटवरील वेगाचे दोन घटक आहेत

$$V_{2x} = V \cos \phi \text{ and } V_{2y} = V \sin \phi$$

म्हणून x आणि y च्या दिशांना पाण्याच्या जेटने वापरलेले बल आहेत

आउटलेटवरील वेगाचे दोन घटक आहेत

$$V_{2x} = V \cos \phi \text{ and } V_{2y} = V \sin \phi$$

म्हणून x आणि y च्या दिशांना पाण्याच्या जेटने वापरलेले बल आहेत

$$F_x = \rho A V [V_{1x} - V_{2x}]$$

$$= \rho a V [V \cos \theta - (-V \cos \phi)]$$

$$= \rho a V [V \cos \theta + (V \cos \phi)]$$

$$F_x = V^2 \rho a [\cos \theta + (\cos \phi)]$$

$$F_y = \rho A V [V_{1y} - V_{2y}]$$

$$= \rho a V [V \sin \theta - (V \sin \phi)]$$

$$F_y = V^2 \rho a [\sin \theta - (\sin \phi)]$$

4.6 Numerical:

1. Find the force exerted by the Jet of water of diameter 75 mm on a stationary flat plate, when the jet strikes the plate normally with the velocity of 20m/s.

Solution- Given : Diameter of Jet = 75mm = 0.075m

$$\text{Therefore area} = a = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} 0.075^2 = 0.00417 \text{m}^2$$

$$\text{Velocity, } V = 20 \text{m/s}$$

The force exerted by the jet is given by,

$$F = V^2 \rho a = 1000 \times 0.00417 \times 20^2 \text{ N}$$

$$F = 1766.8 \text{ N Answer}$$

- 2. A jet of water of diameter 75 mm moving with a velocity of 25 m/s strikes a fixed plate in such a way that the angle between the jet and the plate is 60° . Find the force exerted by the jet on the plate a) in the direction normal to the plate b) in the direction of the jet.**

Solution- Given : Diameter of Jet = 75mm = 0.075m

$$\text{Therefore area} = a = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} 0.075^2 = 0.00417 \text{m}^2$$

$$V = 25 \text{ m/s and } \theta = 60$$

- a) The force exerted by the jet on the plate in the direction normal to the plate**

$$F_n = V^2 \rho a \sin \theta$$

$$= 1000 \times 0.00417 \times 25 \times 25 \times \sin 60$$

$$= 2390.7 \text{ N}$$

- b) Force exerted in the direction of the jet.**

$$= V^2 \rho a \sin \theta \times \sin \theta$$

$$= 1000 \times 0.00417 \times \sin 60 \times \sin 60$$

$$= 2070.4 \text{ N}$$

- 3. A jet of water of diameter 50 mm moving with a velocity of 40 m/s strikes a curved fixed symmetrical plate at the centre. Find the force exerted by the jet of water in the direction of jet, if the jet is deflected through an angle of 120° at the outlet of the curved plate.**

Solution- Given : Diameter of Jet = 50 mm = 0.05 m

$$\text{Therefore area} = a = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} 0.05^2 = 0.001963 \text{m}^2$$

$$V = 40 \text{ m/s and } \theta = 120$$

$$\text{The angle of deflection} = 180 - \theta$$

$$180 - \theta = 120 \text{ therefore } \theta = 60^\circ$$

$$\text{Force exerted} = F_x = V^2 \rho a [1 + \cos \theta]$$

$$= 1000 \times 0.001963 \times 40 \times 40 \times [1 + \cos 60]$$

$$= 4711.15 \text{ N}$$

- 4. A jet of water of diameter 75 mm moving with a velocity of 30 m/s, strikes a curved fixed plate tangentially at one end at an angle of 30° to the horizontal. The jet leaves the plate at an angle of 20° to the horizontal. Find the force exerted by the jet on the plate in the horizontal and vertical direction.**

Solution- Given : Diameter of Jet = 75mm = 0.075m

$$\text{Therefore area} = a = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} 0.075^2 = 0.004417 \text{ m}^2$$

$$V = 30 \text{ m/s and } \theta = 30^\circ, \phi = 20^\circ$$

Therefore Force Exerted,

$$F_x = V^2 \rho a [\cos \theta + (\cos \phi)]$$

$$= 1000 \times 0.004417 \times 30^2 \times (\cos 30 + \cos 20)$$

$$= 7178.2 \text{ N}$$

$$F_y = V^2 \rho a [\sin \theta - (\sin \phi)]$$

$$= 1000 \times 0.004417 \times 30^2 \times (\sin 30 - \sin 20)$$

$$= 628.13 \text{ N}$$

- 5. A jet of water of diameter 10cm strikes a flat plate normally with a velocity of 15m/s. the plate is moving with a velocity of 6 m/s in the direction of jet. Find a) the force exerted by the jet on moving plate b) work done by jet on plate per second.**

$$\text{Given : } d = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m, } V = 15 \text{ m/s, } u = 6 \text{ m/s}$$

$$\text{Area of Jet} = a = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} (0.1)^2 = 7.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Force exerted by jet on the moving plate :

$$F = \rho a (V-u)^2$$

$$= 1000 \times 7.853 \times 10^{-3} \times (15-6)^2$$

$$= 636.09 \text{ N}$$

- 6. A jet of water 100 mm in diameter having a velocity of 20 m/s strikes a flat plate normally. Calculate the force exerted on the plate, when: a) the plate is stationary b) it is moving with a velocity of 5 m/s in the direction of the jet and calculate the work done.**

$$\text{Given : } d = 100 \text{ mm} = 0.1 \text{ m and } V = 20 \text{ m/s}$$

$$\text{Area of Jet} = a = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} (0.1)^2 = 7.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

- a) When the plate is stationary force exerted $F = \rho a (V-u)^2$**

$$= 1000 \times 7.853 \times 10^{-3} \times (20-0)^2$$

$$= 1766.925 \text{ N}$$

- b) Work done = $W = F \times u$**

$$= 1766.925 \times 5 = 8834.625 \text{ N.m/s}$$

$$\text{Work done per sec per unit wt of water} = (8834.625 / m \times g)$$

$$= 5.734 \text{ N.m/s}$$

- c) Efficiency : $\eta = \frac{\text{Work done}}{\text{kinetic energy of jet}} = \frac{8834.625}{0.5 \times \rho \times a \times V^3}$**

$$= 28.125 \%$$

7. A 7 cm diameter jet having a velocity of 30 m/s strikes a flat plate, the normal to which is inclined at 45° to the axis of Jet. Find the normal pressure on the plate when a) plate is stationary, b) plate is moving with velocity of 15 m/s and away from the jet. also determine the power and efficiency of jet.

Given : $d = 7 \text{ cm} = 0.07 \text{ m}$ and $V = 30 \text{ m/s}$, $u = 15 \text{ m/s}$

Angle between jet and plate = $\theta = 90 - 45 = 45^\circ$

$$\text{Area of Jet} = a = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} (0.07)^2 = 3.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

- a) Force on stationary plate:

$$F_n = \rho a V^2 \sin \theta = 1000 \times 3.848 \times 10^{-3} \times \sin 45^\circ$$

$$= 2448.85 \text{ N}$$

- b) Plate is moving with a velocity of 15 m/s:

$$F = \rho a (V-u)^2 \sin \theta$$

$$= 1000 \times 3.8 \times 10^{-3} \times (30-15)^2 \times \sin 45^\circ$$

$$= 612.21 \text{ N}$$

- c) Work done or power:

$$F_x = F_n \sin \theta$$

$$= 612.21 \times \sin 45^\circ$$

$$= 432.9 \text{ N}$$

Work done or power in the direction of jet = $W = F_x \times u$

$$= 432.9 \times 15$$

$$= 6493.5 \text{ wattts}$$

$$d) \text{ Efficiency } \eta = \frac{\text{Work done}}{\text{kinetic energy of jet}} = \frac{6493.5}{0.5 \times \rho \times a \times V^3} = 0.125 \text{ or } 12.5 \%$$

4.7 . Turbines - टर्बाइन

परिचय:

टर्बाइनची व्याख्या : हायड्रॉलिक मशीन्स जी हायड्रॉलिक ऊर्जेला यांत्रिक उर्जेमध्ये रूपांतरित करते अशा यंत्राला टर्बाईन असे म्हणतात. ही यांत्रिक ऊर्जा विद्युत जनरेटर चालवण्यासाठी वापरली जाते जी थेट टर्बाईनच्या शाफ्टला जोडलेली असते.

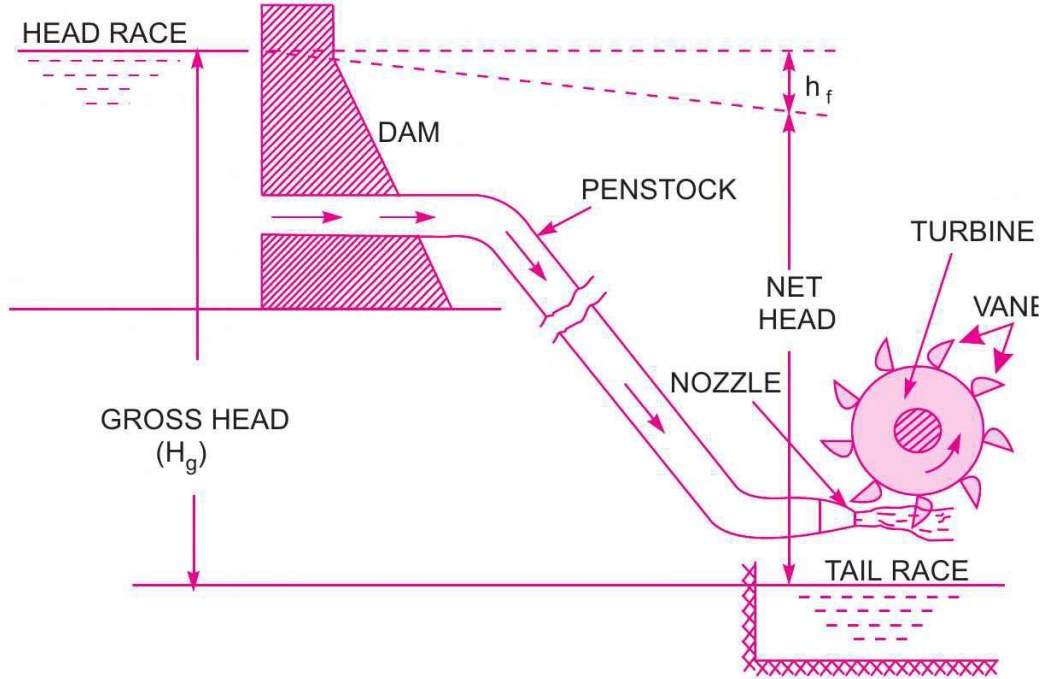
अशा प्रकारे यांत्रिक उर्जेचे विद्युत उर्जेमध्ये रूपांतर होते. हायड्रॉलिक उर्जेपासून (पाण्याची उर्जा) प्राप्त होणारी विद्युत उर्जा जलविद्युत उर्जा म्हणून ओळखली जाते. सध्या तेल, कोळसा इत्यादींद्वारे निर्माण होणाऱ्या उर्जेच्या तुलनेत जलविद्युत निर्मिती ही सर्वात स्वस्त आहे.

4.8 जलविद्युत प्रकल्पाची सामान्य मांडणी:

आकृती 4.5 जलविद्युत प्रकल्पाची सामान्य मांडणी दर्शविते ज्यामध्ये खालील गोष्टींचा समावेश आहे:

- (i) पाणी साठवण्यासाठी नदीवर बांधलेले धरण.

- (ii) पेनस्टॉक नावाच्या मोठ्या व्यासाचे पाईप्स, जे साठवण जलाशयातून टर्बाइनमध्ये दाबाने पाणी वाहून नेतात. हे पाईप्स स्टील किंवा प्रबलित काँक्रीटचे बनलेले असतात.
- (iii) चाकांना वेगवेगळ्या प्रकारच्या वेन बसवलेल्या टर्बाइन.
- (iv) टेल रेस, ही एक वाहिनी आहे जी टर्बाइनवर पाणी काम केल्यानंतर टर्बाइनमधून पाणी वाहून नेते. टेल रेस चॅनेलमधील पाण्याच्या पृष्ठभागाला टेल रेस असेही म्हणतात.



जलविद्युत प्रकल्पाची सामान्य मांडणी
आकृती 4.5 (a)

4.9 प्रत्येक घटकाची कार्ये

1. धरण:

धरण म्हणजे पाण्याचा प्रवाह नियंत्रित करण्यासाठी नदी किंवा प्रवाह ओलांडून बांधलेला अडथळा आहे. हे एक जलाशय तयार करते, जे पाणी साठवते. धरणाचा प्राथमिक उद्देश म्हणजे उंचीचा फरक आणि साठवलेल्या पाण्याचा एक मोठा भाग तयार करणे हा आहे जो नियंत्रित पद्धतीने वीज निर्मितीसाठी सोडला जाऊ शकतो.

2. जलाशय:

जलाशय म्हणजे धरणाच्या मागे साठलेला पाण्याचा मोठा भाग. हे पाणी साठवण क्षेत्र म्हणून काम करते जे कोरड्या कालावधीत किंवा विजेच्या कमाल मागणीच्या काळात वापरले जाऊ शकते. पॉवर प्लांटला पाण्याचा सातत्यपूर्ण पुरवठा सुनिश्चित करण्यासाठी जलाशयातील पाण्याची पातळी व्यवस्थापित केली जाऊ शकते.

3. पेनस्टॉक:

पेनस्टॉक हा एक मोठा पाईप किंवा नळ आहे जो जलाशयातून टर्बाइनमध्ये पाणी वाहून नेतो. हे उच्च दाब सहन करण्यासाठी डिझाइन केलेले आहे आणि सामान्यतः स्टील किंवा प्रबलित काँक्रीटपासून तयार केले जाते. पेनस्टॉकमधून पाण्याचा प्रवाह वाल्व किंवा गेट्सद्वारे नियंत्रित केला जातो.



पेनस्टॉक मोठा पाईप
आकृती 4.5 (b)

4. टर्बाइन:

टर्बाइन हे एक यांत्रिक उपकरण आहे जे वाहत्या पाण्याच्या गतिज आणि संभाव्य उर्जेचे यांत्रिक उर्जेमध्ये रूपांतर करते. टर्बाइनच्या ब्लेडवरून पाणी वाहत असल्याने टर्बाइन फिरते. वापरलेल्या टर्बाइनचा प्रकार (उदा., फ्रान्सिस, कॅप्लान किंवा पेल्टन) पाण्याचे हेड आणि प्रवाह दर यावर अवलंबून असते.



टर्बाईन रनर
आकृती 4.5 (c)

5. जनरेटर:

जनरेटर टर्बाइनशी जोडलेला असतो आणि इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनद्वारे टर्बाइनमधील यांत्रिक उर्जेचे विद्युत उर्जेमध्ये रूपांतर करतो. टर्बाइन जनरेटरच्या आत रोटार फिरवत असताना, स्टॅटर विंडिंगमध्ये विद्युत प्रवाह तयार होतो.

6. पॉवरहाऊस:

पॉवरहाऊस ही अशी रचना आहे ज्यामध्ये टर्बाइन, जनरेटर आणि वीज निर्मितीसाठी आवश्यक असलेली इतर उपकरणे असतात. हे पॉवर प्लांटच्या यांत्रिक आणि इलेक्ट्रिकल सिस्टमचे संचालन आणि देखरेख करण्यासाठी नियंत्रित वातावरण प्रदान करते.

7. ट्रान्सफॉर्मर:

ट्रान्सफॉर्मर जनरेटरद्वारे व्युत्पन्न केलेल्या विजेच्या व्होल्टेजला पॉवर लाईन्सवर ट्रान्समिशनसाठी योग्य असलेल्या उच्च व्होल्टेजपर्यंत वाढवतो. दूरच्या ठिकाणी ट्रान्समिशन दरम्यान ऊर्जा नुकसान कमी करण्यासाठी हे आवश्यक आहे.

8. कंट्रोल गेट्स:

कंट्रोल गेट्स पेनस्टॉकमध्ये पाण्याच्या प्रवाहाचे नियमन करतात आणि परिणामी, टर्बाइनपर्यंत पोहोचणाऱ्या पाण्याचे प्रमाण. ते पाण्याचा प्रवाह दर समायोजित करून प्लांटचे पॉवर आउटपुट नियंत्रित करण्यात मदत करतात.

9. स्पिलवे:

ओव्हरफ्लो झाल्यास किंवा जास्त प्रवाहाच्या कालावधीत (उदा. अतिवृष्टी) जलाशयातून अतिरिक्त पाणी सोडण्यासाठी स्पिलवे नियंत्रित मार्ग प्रदान करतो. हे अतिरिक्त पाणी सुरक्षितपणे खाली वळवून धरण आणि इतर संरचनांना होणारे नुकसान टाळण्यास मदत करते.

10. टेलरेस:

टेलरेस ही अशी वाहिनी आहे जी टर्बाइनमधून पाणी गेल्यानंतर आणि वीज निर्माण केल्यानंतर दूर वाहून नेते. हे सुनिश्चित करते की पाणी सुरक्षितपणे नदी किंवा प्रवाहात परत येईल, आसपासच्या वातावरणावर होणारा कोणताही प्रभाव कमी करेल.



टेलरेस

आकृती 4.5 (c)

4.10 हायड्रोलिक टर्बाइनचे वर्गीकरण

टर्बाइनच्या इनलेटमध्ये उपलब्ध असलेल्या ऊर्जेचा प्रकार, वेन्समधून प्रवाहाची दिशा, टर्बाइनच्या इनलेटवरील हेड आणि टर्बाइनच्या विशिष्ट गतीनुसार हायड्रोलिक टर्बाइनचे वर्गीकरण केले जाते. अशा प्रकारे टर्बाइनचे खालील महत्त्वाचे वर्गीकरण आहेत:

1. इनलेटवरील उर्जेच्या प्रकारानुसार:

(a) इंपल्स टर्बाइन आणि (b) रिफ्लेक्शन टर्बाइन.

2. धावणाऱ्याच्या प्रवाहाच्या दिशेनुसार:

(a) स्पर्शिक प्रवाह टर्बाइन, (b) रेडियल फ्लो टर्बाइन, (c) अक्सिअल प्रवाह टर्बाइन आणि (d) मिश्र प्रवाह टर्बाइन.

3. टर्बाइनच्या इनलेटच्या डोक्यानुसार:

(a) उच्च-हेड टर्बाइन, (b) मध्यम-हेड टर्बाइन, आणि (c) लो-हेड टर्बाइन.

4. टर्बाइनच्या विशिष्ट गतीनुसार:

- (a) कमी स्पीड टर्बाइन, (b) मध्यम स्पीड टर्बाइन आणि
(c) उच्च विशिष्ट गती टर्बाइन.

इम्पल्स टर्बाइन : जर टर्बाइनच्या इनलेटमध्ये, उपलब्ध ऊर्जा केवळ गतिज ऊर्जा असेल, तर टर्बाइनला इम्पल्स टर्बाइन असे म्हणतात. वेन्सवर पाणी वाहत असताना, टर्बाइनच्या इनलेटपासून आउटलेटपर्यंत दाब वातावरणीय असतो.

रिअॅक्शन टर्बाइन: जर टर्बाइनच्या इनलेटमध्ये, पाण्यामध्ये गतिज ऊर्जा तसेच दाब ऊर्जा असेल, तर टर्बाइनला रिअॅक्शन टर्बाइन म्हणून ओळखले जाते. जसजसे पाणी रनरतून वाहते तसतसे पाणी दाबाखाली असते आणि दाब ऊर्जा गतिज उर्जेमध्ये बदलते. रनर पूर्णपणे हवाबंद आवरणात बंद असतो आणि रनर आणि आवरण पूर्णपणे पाण्याने भरलेले असतो.

ट्यान्जन्शियल प्रवाह टर्बाइन : रनरच्या स्पर्शिकेच्या बाजूने पाणी वाहत असल्यास, टर्बाइनला ट्यान्जन्शियल (Tangential) प्रवाह टर्बाइन म्हणून ओळखले जाते.

रेडियल फ्लो टर्बाइन: जर रनरमधून पाणी रेडियल(त्रिज्य) दिशेने वाहते, तर टर्बाइनला रेडियल फ्लो टर्बाइन म्हणतात. जर पाणी बाहेरून आतील बाजूकडे, त्रिज्य पद्धतीने वाहते, तर टर्बाइन इनवर्ड रेडियल फ्लो टर्बाइन म्हणून ओळखले जाते, दुसरीकडे, जर पाणी आतील बाजूकडून बाहेरच्या दिशेने त्रिज्यकडे वाहते, तर टर्बाइनला बाह्य रेडियल प्रवाह टर्बाइन म्हणून ओळखले जाते.

अक्सियल फ्लो टर्बाइन : जर रनरच्या रोटेशनच्या अक्षाच्या समांतर दिशेने पाणी रनरमधून वाहते, तर टर्बाइनला अक्षीय प्रवाह(axial flow) टर्बाइन म्हणतात.

मिश्र प्रवाह टर्बाइन (Radial and Axial flow):जर पाणी रनरमधून रेडियल दिशेने वाहते परंतु रनरच्या रोटेशनच्या अक्षाला समांतर दिशेने सोडले तर टर्बाइनला मिश्र प्रवाह टर्बाइन म्हणतात

4.11 प्राचीन भारतात वापरल्या जाणाऱ्या जल संचयन प्रणाली (IKS)

प्राचीन भारताने जल व्यवस्थापन आणि साठवण प्रणालींमध्ये उल्लेखनीय चातुर्य दाखवले, जे कृषी आणि घरगुती गरजा टिकवण्यासाठी महत्त्वपूर्ण होते. या प्रणालींनी जलविज्ञान आणि अभियांत्रिकीची सखोल माहिती दर्शविली, जी उपखंडातील विविध हवामान परिस्थितीनुसार तयार केली गेली.

1. स्टेपवेल (बाओली किंवा वाव):



स्टेपवेल

आकृती 4.6

पायरी विहिरी, ज्यांना बाओली किंवा वाव म्हणून ओळखले जाते, या सर्वात अत्याधुनिक पाणी साठवण प्रणालींपैकी एक होत्या. त्यांनी खोल विहिरींचा समावेश करून पाण्याच्या पातळीपर्यंत पायऱ्या उतरल्या, ज्यामुळे वर्षभर पाणी

सहज उपलब्ध होते, विशेषतः गुजरात आणि राजस्थान सारख्या शुष्क प्रदेशात. स्टेपवेल सामाजिक आणि सांस्कृतिक केंद्र म्हणूनही काम करतात, अनेकदा गुंतागुंतीच्या कोरीवकाम आणि वास्तुकलाने सुशोभित केलेले.

2. टाक्या (कुंड आणि तालाब):

टाक्या, ज्यांना कुंड आणि तालाब म्हणून संबोधले जाते, ते पावसाचे पाणी साठवण्यासाठी मानवनिर्मित जलाशय होते. कुंडे सामान्यतः लहान आणि पिण्याच्या पाण्यासाठी वापरल्या जात असत, तर तालब्या मोठ्या होत्या, सिंचन आणि पशुधनाला आधार देतात. या टाक्या कल्पकतेने पावसाचे पाणी गोळा करण्यासाठी आणि संरक्षित करण्यासाठी डिझाइन केल्या होत्या, कोरड्या ऋतूतही स्थिर पुरवठा सुनिश्चित करतात.



प्राचीन टाक्या

आकृती. 4.7

3. धरणे आणि बंधारे (बंध):

नदीचे पाणी वळवण्यासाठी आणि साठवण्यासाठी धरणे आणि बंधारे किंवा बांध बांधले गेले. या संरचनांनी पूर नियंत्रण आणि सिंचनात महत्वाची भूमिका बजावली. अर्थशास्त्रासारख्या प्राचीन ग्रंथात या पाणी साठवण प्रणाली तयार करणे आणि त्यांची देखभाल करणे याविषयी तपशीलवार सूचना देण्यात आल्या आहेत आणि कृषी उत्पादनात त्यांचे महत्त्व अधोरेखित केले आहे.

4. भूमिगत जलवाहिन्या (सुरंगम):



धरण

आकृती. 4.8

कर्नाटक आणि केरळ सारख्या प्रदेशात, सुरंगम किंवा सुरंगांचा वापर भूगर्भातील जलस्रोतांमध्ये टॅप करण्यासाठी केला जात असे. हे क्षेत्रीय बोगदे खडकामधून वाहणारे पाणी अडवण्यासाठी, शेती आणि दैनंदिन वापरासाठी ते पृष्ठभागावर वाहण्यासाठी डोंगरावर खोदण्यात आले होते.



भूमिगत जलवाहिन्या
आकृती. 4.9

5. पाझर खड्डे आणि जोहाड:

पाझर खड्डे आणि जोहाड हे भूजल पुनर्भरण वाढविण्यासाठी बांधलेले छोटे मातीचे चेक डॅम होते. पावसाच्या पाण्याचा प्रवाह कमी करून, या संरचनांनी पाण्याला जमिनीत झिरपू दिले, जलसाठा पुन्हा भरतात आणि शाश्वत पाणीपुरवठा सुनिश्चित करतात .



पाझर खड्डे
आकृती. 4.10

6. रूफ वॉटर हार्वेस्टिंग सिस्टीम:

मर्यादित पृष्ठभागावरील पाण्याचे स्त्रोत असलेल्या भागात, छतावरील पाणी साठवण प्रणाली वापरण्यात आली. या प्रणालींनी छतावरील पावसाचे पाणी गोळा केले आणि ते साठवण टाक्या किंवा भूमिगत टाक्यांमध्ये निर्देशित केले. ही पद्धत घरांसाठी स्वच्छ आणि विश्वासाह जलस्रोत सुनिश्चित करण्यासाठी विशेषतः प्रभावी होती.

7. वॉटरव्हील्स:

प्राचीन भारतात, पाण्याची चाके सामान्यतः सिंचनासाठी आणि विहिरी आणि नद्यांमधून पाणी उचलण्यासाठी वापरली जात होती. एक उल्लेखनीय उदाहरण म्हणजे "साकिया" हे एक प्रकारचे पाण्याचे चाक आहे जे सहसा बैल किंवा इतर प्राण्यांद्वारे चालवले जाते. साकियाला कंटेनर जोडलेले एक उभे चाक होते, जे शेतीच्या वापरासाठी पाणी उंच जमिनीवर उचलत होते. हे तंत्रज्ञान मर्यादित पर्जन्यमान असलेल्या प्रदेशात महत्त्वपूर्ण होते, ज्यामुळे

शेतकऱ्यांना पिकांना कार्यक्षमतेने सिंचन करता येते आणि कृषी उत्पादकता टिकून राहते. याव्यतिरिक्त, ही पाण्याची चाके जलव्यवस्थापनात मदत करण्यासाठी प्राण्यांच्या शक्तीचा उपयोग करून अक्षय उर्जेचा प्रारंभिक प्रकार होता.



वॉटरव्हील्स
आकृती. 4.11

4.12 Pelton Wheel : पेल्टन व्हील:

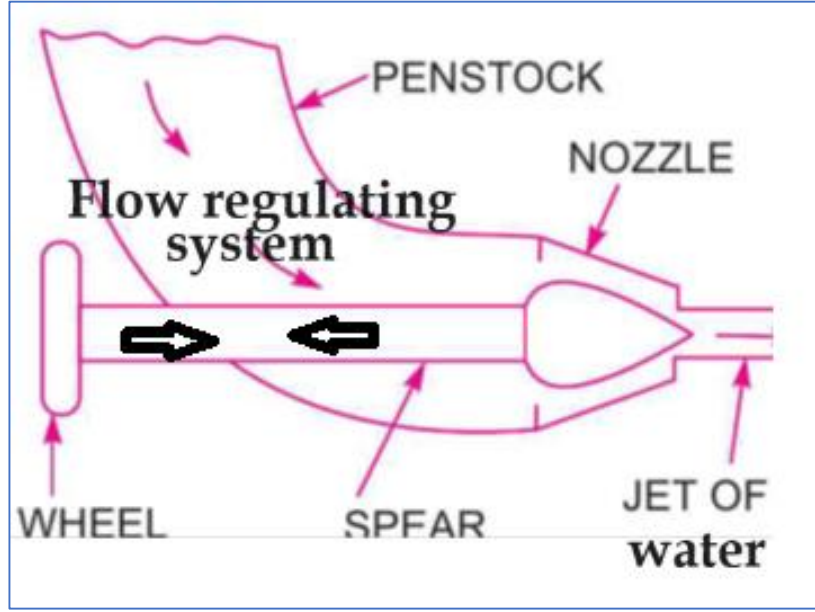
पेल्टन व्हील किंवा पेल्टन टर्बाइन एक स्पर्शिक (tangential) प्रवाह आवेग टर्बाइन आहे. पाणी रनरच्या स्पर्शिकेसह वक्र अर्धा गोलाकार बकेट वर आदळते. टर्बाइनच्या इनलेटमध्ये उपलब्ध ऊर्जा ही केवळ गतिज ऊर्जा असते. टर्बाइनच्या इनलेट आणि आउटलेटवरील दाब वातावरणाचा (atmospheric) असतो. या टर्बाइनचा वापर उंच हेडसाठी केला जातो आणि अमेरिकन अभियंता एल.ए. पेल्टन यांच्या नावावरून हे नाव देण्यात आले आहे.

आकृती. 4.12 जलविद्युत प्रकल्पाचा लेआउट दर्शविते ज्यामध्ये टर्बाइन पेल्टन व्हील आहे. जलाशयातील पाणी पेनस्टॉकमधून वाहते ज्याच्या आउटलेटवर नोजल बसवलेले असते. नोजल पेनस्टॉकमधून वाहणाऱ्या पाण्याची गतिज ऊर्जा वाढवते. नोजलच्या आउटलेटवर, पाणी जेटच्या रूपात बाहेर येते आणि रनरच्या वक्र अर्धा गोलाकार बकेट (वेन्स) वर आदळते. पेल्टन टर्बाइनचे मुख्य भाग आहेत:

1. नोजल आणि प्रवाह नियमन व्यवस्था ,
2. रनर आणि बकेट,
3. केसिंग, आणि
4. ब्रेकिंग जेट.

1. नोजल आणि फ्लो रेग्युलेटिंग व्यवस्था.

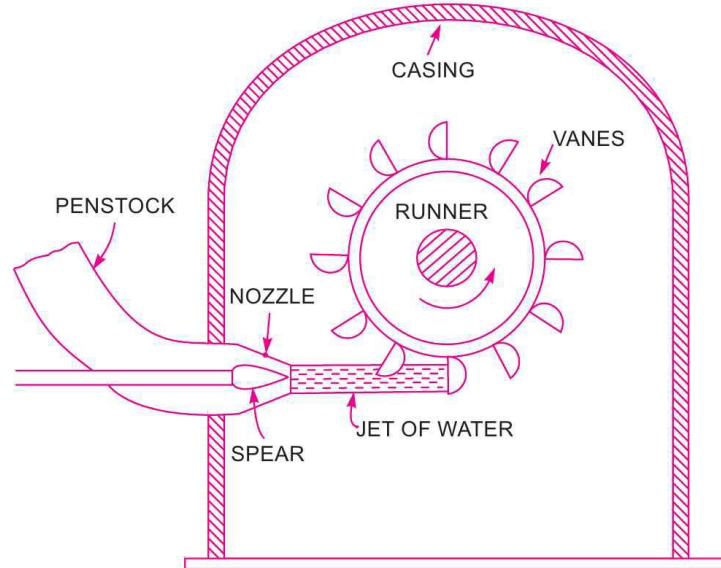
आकृती 4.12 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे रनरच्या बांदल्या (वेन्स) वर मारणाऱ्या पाण्याचे प्रमाण नोजलमध्ये भाला देऊन नियंत्रित केले जाते. भाला ही एक शंकूच्या आकाराची सुई आहे जी हाताच्या चाकाद्वारे किंवा स्वयंचलितपणे अक्षीय दिशेने चालविली जाते. युनिटचा आकार. जेव्हा Spear (टोकदार) नोजलमध्ये पुढे ढकलला जातो तेव्हा प्रवाहित पाण्याचे प्रमाण कमी होते. दुसरीकडे, भाला मागे ढकलल्यास, प्रवाहित पाण्याचे प्रमाण वाढते.



प्रवाहाचे नियमन करण्यासाठी स्पिअरसह नोजल
आकृती 4.12

2. बकेट सह रनर .

यात परिघावर एक गोलाकार डिस्क असते ज्यामध्ये समान अंतरावर असलेल्या अनेक बकेट निश्चित केल्या जातात. बकेटचा आकार दुहेरी गोलार्ध कप किंवा वाटीचा असतो. प्रत्येक बादली दोन सममितीय भागांमध्ये विभाजित भिंतीद्वारे विभागली जाते ज्याला स्प्लिटर म्हणतात. पाण्याचा जेट स्प्लिटरला धडकतो. स्प्लिटर जेटला दोन समान भागांमध्ये विभाजित करतो आणि जेट बाहेरील काठावर वक्र अर्धा गोलाकार बकेट बाहेर येतो. बादल्यांचा आकार अशा प्रकारे केला जातो की जेट 1600 ते 1700 पर्यंत विचलित होते. टर्बाइनच्या इनलेटच्या डोक्यावर अवलंबून बादल्या कास्ट लोह, कास्ट स्टील कांस्य किंवा स्टेनलेस स्टीलच्या बनलेल्या असतात.



पेल्टन टर्बाइन
आकृती 4.13

3. आवरण casing

आकृती 4.13 केसिंगसह पेल्टन टर्बाइन दाखवते. आवरणाचे कार्य म्हणजे पाण्याचे शिडकाव रोखणे आणि Tail race ला पाणी सोडणे. हे अपघातांपासून संरक्षण म्हणून देखील कार्य करते. हे कास्ट आयर्न किंवा फॅब्रिकेटेड स्टील प्लेट्सचे बनलेले आहे. पेल्टन व्हीलचे आवरण कोणतेही हायड्रॉलिक कार्य करत नाही.

5. ब्रेकिंग जेट.

जेव्हा स्पिअर पुढच्या दिशेने कार्य करून नोजल पूर्णपणे बंद होते, तेव्हा रनरला आदळण्याच्या पाण्याचे प्रमाण शून्यावर येते. पण जडत्वामुळे धावणारा बराच वेळ फिरत राहतो. रनरला थोड्या वेळात थांबवण्यासाठी, एक लहान नोजल प्रदान केली जाते जी व्हेनच्या मागील बाजूस पाण्याच्या जेटला निर्देशित दिशा देतो. रनरच्या फिरण्याच्या विरुद्ध दिशेने पाण्याचा प्रवाहामुळे रनर लवकर थांबतो. पाण्याच्या या जेटला ब्रेकिंग जेट म्हणतात.

4.1 वेग त्रिकोण (Velocity Traingle) आणि पेल्टन व्हीलसाठी केलेले कार्य.

आकृती. 4.14 पेल्टन व्हीलच्या वेन्स किंवा बादल्यांचा आकार दर्शवितो. नोजलमधून पाण्याचा जेट स्प्लिटरवर बकेटवर आदळतो, ज्यामुळे जेटचे दोन भाग होतात. जेटचे हे भाग, आतील पृष्ठभागांवर सरकतात आणि बाहेरील काठावर बाहेर येतात. आकृती 4.14 (b) Z-Z वर बकेट चा विभाग दर्शवितो. स्प्लिटर ही इनलेट टीप आहे आणि बकेटची बाह्य किनार ही बकेटची आउटलेट टीप आहे. इनलेट वेलोसिटी त्रिकोण स्प्लिटरवर काढला जातो आणि आउटलेट वेग त्रिकोण बकेट च्या बाहेरील काठावर काढला जातो.

येथे, $H =$ नेट हेड पेल्टन व्हीलवर कार्य करते $= H_g - H_f$

जेथे, $H_g =$ Gross head and $H_f = \frac{4 fLV^2}{2gD^*}$

जेथे,

$D^* =$ पेनस्टॉकचा व्यास (m)

$D =$ चाकाचा व्यास (m)

$N =$ r.p.m मधील चाकाचा वेग

$d =$ जेटचा व्यास (m)

नंतर, $V_1 =$ इनलेटवर जेटचा वेग $= \sqrt{2gH}$ (m/s)

$u = u_1 = u_2 = \frac{DN}{60}$

इनलेटवरील वेग त्रिकोण एक सरळ रेषा असेल जेथे

$V_{r1} = V_1 - u_1 = V_1 - u$

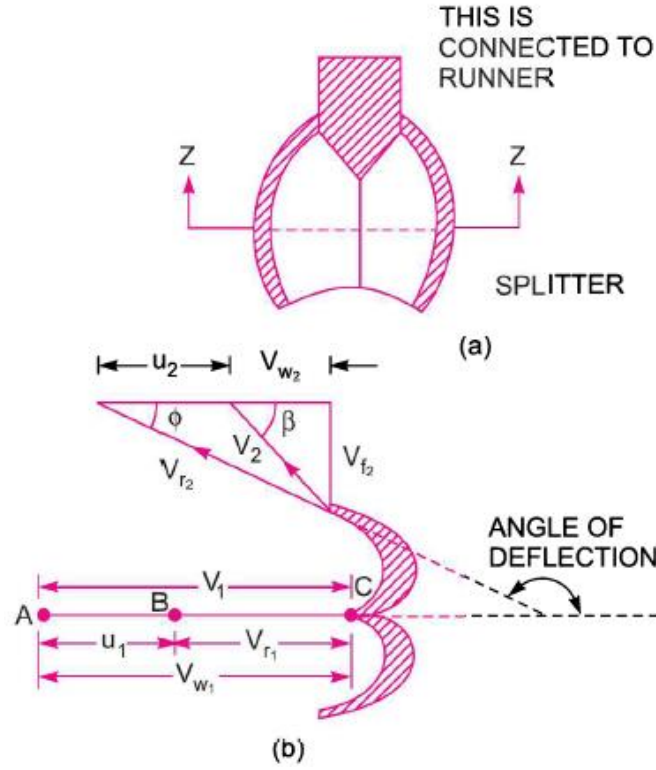
$V_{w1} = V_1 ; \alpha = 0 \text{ and } \theta = 0$

आउटलेटवरील वेग त्रिकोणापासून, आपल्याकडे आहे

$V_{r2} = V_{r1}$ and $V_{w2} = V_{r2} \cos \phi - u_2$

गतीच्या दिशेने पाण्याच्या जेटने केलेले बल द्वारे दिले जाते,

$F_x = \rho AV_1[V_{w1} + V_{w2}]$



बकेट आणि वेग त्रिकोणाचा (Velocity Traingle) आकार
आकृती 4.14

कोन β असल्याने तीव्र कोन +ve चिन्ह घेतले पाहिजे. तसेच हे वेन्सच्या मालिकेचे प्रकरण आहे, पाण्याचा मारा ρAV_1 आहे, ρAV_{r1} नाही

वरील समीकरणात 'a' हे जेटचे क्षेत्रफळ आहे जे असे दिले आहे

$$A = \text{Area of jet} = \frac{\pi d^2}{4}.$$

आता प्रति सेकंद धावणाऱ्यावर जेटने केलेले काम

$$= F_x \times u = \rho AV_1 [V_{w1} + V_{w2}] \times u \text{ Nm/s}$$

रनरला जेटने दिलेली शक्ती

$$= \frac{\rho AV_1 [V_{w1} + V_{w2}] \times u}{1000} \text{ kW}$$

पाणी स्ट्राइकिंगच्या प्रति युनिट wt काम केले

$$= \frac{\rho AV_1 [V_{w1} + V_{w2}] \times u}{\text{weight of water striking per sec}}$$

$$= \frac{\rho AV_1 [V_{w1} + V_{w2}] \times u}{\rho AV_1 g} = \frac{1}{g} [V_{w1} + V_{w2}] \times u$$

इनलेटमध्ये जेटला पुरवलेली ऊर्जा गतिज उर्जेच्या स्वरूपात असते आणि ती $\frac{1}{2} m v^2$ च्या बरोबरीची असते.

$$\text{त्यामुळे प्रति सेकंद जेटचा K.E} = \frac{1}{2} \rho AV_1 \times V^2$$

$$\text{आणि हायड्रॉलिक कार्यक्षमता, } \eta_h = \frac{\text{work done per second}}{\text{K.E of Jet per second}}$$

$$= \frac{\rho A V_1 [V_{w1} + V_{w2}] X u}{\frac{1}{2} \rho A V_1 X V_1^2}$$

$$= \frac{2[V_{w1} + V_{w2}]}{V_1^2} X u$$

$$\text{आता. } V_{w1} = V_1, V_{r1} = V_1 - u_1 = (V_1 - u_1)$$

$$\text{आणि } V_{r2} = (V_1 - u),$$

$$V_{w2} = V_{r2} \cos \phi - u_2 = V_{r2} \cos \phi - u = (V_1 - u) \cos \phi - u_2$$

समीकरणातील मूल्ये बदलणे 6.5,

$$\eta_h = \frac{2[V_1 + (V_1 - u) \cos \phi - u]}{V_1^2} X u$$

$$\eta_h = \frac{2[V_1 - u + (V_1 - u) \cos \phi]}{V_1^2} X u$$

$$\eta_h = \frac{2[(V_1 - u)[1 + \cos \phi]]}{V_1^2} X u$$

V_1 च्या दिलेल्या मूल्यासाठी कार्यक्षमता जास्तीत जास्त असेल जेव्हा

$$\frac{d}{du} \eta_h = 0$$

$$\frac{d}{du} \frac{2[(V_1 - u)[1 + \cos \phi]]}{V_1^2} X u = 0$$

$$\frac{[1 + \cos \phi]}{V_1^2} \frac{d}{du} \frac{2uV_1 - 2u^2}{V_1^2} = 0$$

$$2V_1 - 4u = 0 \quad \text{or } u = V_1/2$$

समीकरण असे सांगते की पेल्टन व्हीलची हायड्रॉलिक कार्यक्षमता जास्तीत जास्त असेल जेव्हा चाकाचा वेग इनलेटच्या पाण्याच्या जेटच्या वेगापेक्षा अर्धा असेल. समीकरण मधील $u = V_1/2$ चे मूल्य बदलून कमाल कार्यक्षमतेसाठी अभिव्यक्ती प्राप्त केली जाईल.

$$\text{Max } \eta_h = \frac{2\left(V_1 - \frac{V_1}{2}\right)(1 + \cos \phi) X \left(\frac{V_1}{2}\right)}{V_1^2}$$

$$= \frac{2\left(\frac{V_1}{2}\right)(1 + \cos \phi) X \left(\frac{V_1}{2}\right)}{V_1^2}$$

$$= \frac{(1 + \cos \phi)}{2}$$

Problem 1. A pelton wheel having semicircular buckets is 1 m in diameter. Pressure head at nozzle when it is closed is 15 bar. The discharge when nozzle is open is 3.5 m³ per min. if speed is 600 rpm, calculate the power developed by the wheel and its hydraulic efficiency. Take $C_v = 0.98$, $\eta_0 = 85\%$

Given: $D = 1\text{m}$, $P = 15\text{ bar}$, $Q = 3.5\text{ m}^3/\text{min} = 0.05833\text{ m}^3/\text{sec}$, $N = 600\text{ rpm}$, $\eta_0 = 85\%$

The pressure head at the nozzle is given as 15 bar, which needs to be converted to meters of water column. We know that 1 bar = 10 meters of water column, so:

$$\text{Pressure head} = H = \frac{(P)}{\rho g} = \frac{(15 \times 10^5)}{1000 \times 9.81} = 152.905\text{ m of water}$$

$$\text{Velocity of jet} = V = c_v \sqrt{2gh} = 0.98 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 152.905} = 53.67\text{ m/s}$$

$$\text{Power Developed} = \eta_0 = \frac{\text{Shaft power}}{\text{water power}}$$

$$0.85 = \frac{\text{Shaft power}}{\rho g Q H}, \text{ Shaft power} = 0.85 \times 1000 \times 9.81 \times 0.05833 \times 152.905 = 74.37\text{ kW}$$

To find Hydraulic Efficiency,

$$\text{We have, } u = \frac{\pi D N}{60} = \frac{3.14 \times 1 \times 600}{60} = 31.41\text{ m/s}$$

Also for semi circular bucket, $\phi = 0\text{ degree}$

We know,

$$\eta_h = \frac{2[(V_1 - u)[1 + \cos \phi]]}{V_1^2} \times u = \frac{2 \times (53.67 - 31.41) \times (1 + \cos 0) \times 31.41}{53.67^2} = 0.97$$

$$\eta_h = 97\%$$

Problem 2. A pelton wheel having 2.5 m diameter operates under the following conditions: net available head = 300 m, speed = 300 rpm, coefficient of velocity = 0.95, blade angle = 165°, diameter of the jet = 20 cm, mechanical efficiency = 0.95, Determine, shaft power, specific speed and hydraulic efficiency.

Given: $D = 2.5\text{ m}$, $H = 300\text{ m}$, $N = 300\text{ rpm}$, $c_v = 0.95$, $\phi = 180 - 65 = 115^\circ$

$$\text{We have } u = \frac{\pi D N}{60} = \frac{3.14 \times 2.5 \times 300}{60} = 39.27\text{ m/s}$$

$$\text{Velocity of jet} = V = c_v \sqrt{2gh} = 0.95 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 300} = 72.88\text{ m/s}$$

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \times V = 2.289\text{ m}^3/\text{s}$$

Power developed by the runner = work done by the water jet striking per sec

$$= \frac{w}{g} (V - u) \times (1 + \cos \phi) u$$

$$= \frac{\rho g Q}{g} (V - u) \times (1 + \cos \phi) u$$

$$= 1000 \times 2.289 \times (72.88 - 39.27) \times (1 + \cos 15) \times 39.27$$

$$= 5939.39 \text{ kW}$$

Shaft Power:

$$\eta_{Mech} = \frac{\text{Shaft power}}{\text{power dev by runner}}$$

$$\text{Shaft power} = 0.95 \times 5939.39$$

$$= 5642.42 \text{ kW}$$

$$\eta_h = \frac{2[(V - u)(1 + \cos \phi)]}{V^2} \times u = \frac{2 \times (72.88 - 39.27) \times (1 + \cos 15) \times 39.27}{72.88^2} = 0.97 \%$$

Specific Head :

$$\eta_s = (N \sqrt{P}) / H^{5/4}$$

$$= (300 \sqrt{56.42}) / 300^{5/4}$$

$$= 18.05$$

Problem 3. A pelton wheel turbine is to operate under a head of 42m, at 430 rpm, if the discharge is 11.5 m³/s and turbine efficiency is 90%, calculate the power generated by the turbine.

Given Data: H = 42 m, N = 430 rpm, Q = 11.5 m³/s

We have,

$$\eta_0 = \frac{\text{Shaft power}}{\text{water power}}$$

$$\text{Shaft power} = \eta_0 \times \text{water power}$$

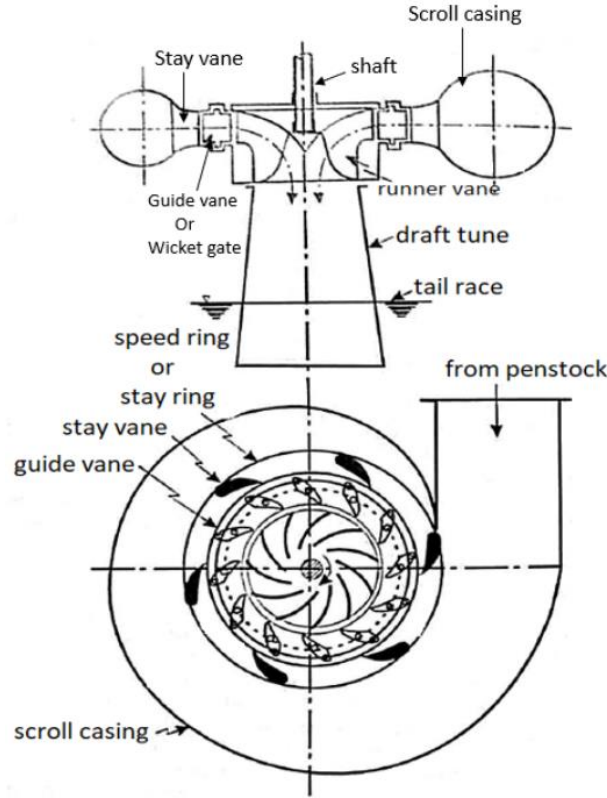
$$= 0.9 \times \rho g Q H$$

$$= 0.9 \times 1000 \times 9.81 \times 11.5 \times 42$$

$$= 4264404 \text{ W}$$

$$= 4.264 \text{ MW}$$

4.14 FRANCIS TURBINE - फ्रान्सिस टर्बाइन



फ्रान्सिस टर्बाइन

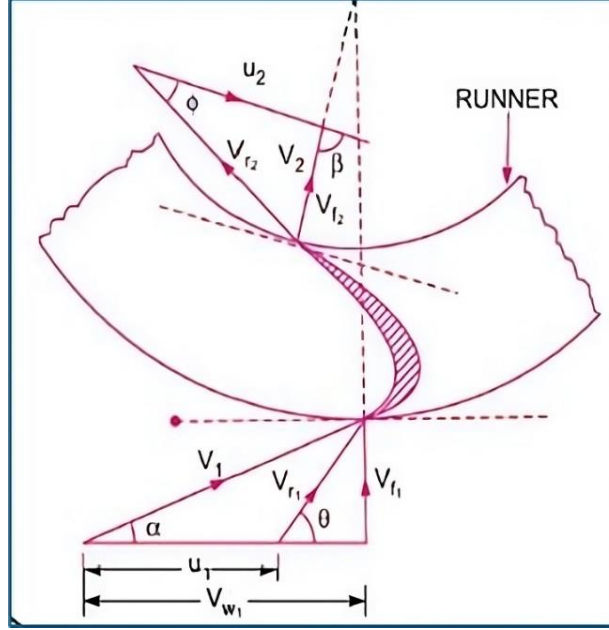
आकृती 4.15

आकृती 4.15 फ्रान्सिस टर्बाइनचे वर्णन करते जे मिश्रित प्रवाह प्रकार रिअॅक्शन टर्बाइन आहे. जेम्स बी. फ्रान्सिस (१८१५-९२) या अमेरिकन अभियंत्याच्या सन्मानार्थ हे नाव देण्यात आले आहे, ज्याने १८४९ मध्ये आतील रेडियल फ्लो रिअॅक्शन प्रकारची टर्बाइन विकसित केली होती. नंतर, त्यात बदल करण्यात आला आणि आधुनिक फ्रान्सिस टर्बाइन एक आहे. मिश्रित (mixed Flow) प्रवाह प्रकार, ज्यामध्ये पाणी धावणाऱ्याच्या बाहेरील परिघातून त्रिज्येपणे प्रवेश करते आणि त्याच्या मध्यभागी अक्षीयपणे सोडते. पेनस्टॉकमधील पाणी स्क्रोल केसिंगमध्ये (ज्याला सर्पिल Spiral आवरण देखील म्हणतात) प्रवेश करते जे रनरभोवती असते. केसिंगचा उद्देश टर्बाइन रनरच्या परिघाभोवती पाण्याचे समान वितरण प्रदान करणे, त्यामुळे वितरित केलेल्या पाण्याचा अंदाजे स्थिर वेग राखणे हा आहे. रनरच्या सभोवतालच्या संपूर्ण मार्गावर पाण्याचा वेग स्थिर ठेवण्यासाठी, केसिंगचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र हळूहळू कमी केले जाते. आच्छादन (Cover/Housing) दाबावर अवलंबून असते, कास्ट स्टील, प्लेट स्टील, काँक्रीट किंवा काँक्रीट आणि स्टीलचे बनलेले असते. स्टील प्लेट स्क्रोल केसिंग सामान्यतः ३० मीटर किंवा त्याहून अधिक उंचीच्या खाली कार्यरत असलेल्या टर्बाइनसाठी प्रदान केले जाते.

स्क्रोल केसिंगमधून पाणी स्पीड रिंग किंवा स्टे रिंगमधून जाते. स्पीड रिंगमध्ये वरच्या आणि खालच्या रिंगचा समावेश असतो जो स्थिर व्हॅन्सच्या मालिकेने एकत्र धरलेला असतो ज्याला स्टे व्हॅन्स म्हणतात. स्टे व्हॅन्सची संख्या सहसा मार्गदर्शक (guide) व्हॅन्सच्या निम्मी संख्या म्हणून घेतली जाते. स्पीड रिंगमध्ये दोन कार्ये आहेत. ते स्क्रोल केसिंगपासून ते गाईड वेन किंवा विकेट गेट्सपर्यंत पाणी निर्देशित करते. पुढे, पाण्याचा अंतर्गत दाब आणि टर्बाइन आणि इलेक्ट्रिकल जनरेटरच्या वजनाने त्यावर लादलेल्या भाराचा ते प्रतिकार करते आणि ते फाउंडेशनवर प्रसारित करते. स्पीड रिंग एकतर कास्ट आयर्न किंवा कास्ट स्टील किंवा फॅब्रिकेटेड स्टीलची असू शकते. स्पीड रिंगमधून पाणी टर्बाइन रनरच्या परिघाभोवती प्रदान केलेल्या मार्गदर्शक (guide) वेन्स किंवा विकेट गेट्सच्या

मालिकेतून जाते. मार्गदर्शक व्हेनचे कार्य म्हणजे रनरला पुरवल्या जाणाऱ्या पाण्याचे प्रमाण नियंत्रित करणे आणि डिझाइनला योग्य असलेल्या कोनात रनरवर पाणी निर्देशित करणे.

गार्ड वेन एअरफोइलच्या आकाराचे असतात आणि ते कास्ट, स्टेनलेस किंवा प्लेट स्टीलचे बनलेले असू शकतात. प्रत्येक गार्ड वेनला दोन स्टेम दिलेले असतात, वरचा स्टेम हेड कव्हरमधून जातो आणि खालचा स्टेम खालच्या रिंगमध्ये बसतो. लीव्हर्स आणि लिंक्सच्या प्रणालीद्वारे, सर्व मार्गदर्शक वेन्स त्यांच्या देठांभोवती फिरवल्या जाऊ शकतात, ज्यामुळे जवळच्या मार्गदर्शक व्हेन्समधील पॅसेजची रुंदी बदलली जाऊ शकते, ज्यामुळे पाण्याचे परिवर्तनशील प्रमाण धावणा-यावर धडकू शकते. मार्गदर्शक वेन्स एकतर चाकाद्वारे (अगदी लहान युनिटसाठी) किंवा गव्हर्नरद्वारे स्वयंचलितपणे चालविल्या जातात.



फ्रान्सिस टर्बाइनचा वेग त्रिकोण (Velocity Triangle)

आकृती. 4.16

आतापर्यंत वर्णन केलेल्या विविध घटकांचा मुख्य उद्देश म्हणजे कमीत कमी उर्जेची हानी करून रनरला पाणी नेणे. फ्रान्सिस टर्बाइनच्या रनरमध्ये दोन प्लेट्समधील कंकणाकृती जागेत परिघाभोवती समान रीतीने मांडलेल्या वक्र वेनची मालिका (संख्या 16 ते 24) असते. वेन्सचा आकार इतका असतो की बाहेरील परिघातून पाणी रनरमध्ये त्रिज्यपणे प्रवेश करते आणि आतल्या परिघावर अक्षीयपणे सोडते. पाण्याच्या प्रवाहाच्या दिशेने बदल, रेडियल ते अक्षीय पर्यंत, रनरतून जाताना, रनरवर एक परिधीय बल निर्माण करतो ज्यामुळे धावणारा फिरतो आणि त्यामुळे रनरच्या उपयुक्त उत्पादनास हातभार लागतो. रनर सहसा कास्ट लोह, कास्ट स्टील, सौम्य स्टील किंवा स्टेनलेस स्टीलचे बनलेले असतात. बऱ्याचदा स्टेनलेस स्टीलचा पूर्ण रनर बनवण्याऐवजी, रनर ब्लेडचे फक्त तेच भाग, जे पोकळ्या निर्माण होऊ शकतात, ते स्टेनलेस स्टीलचे बनलेले असतात. यामुळे रनरची किंमत कमी होते आणि त्याच वेळी कमीतकमी देखभालीसह रनरचे ऑपरेशन सुनिश्चित होते. रनरला शाफ्टची चावी लावली जाते जी सहसा बनावट स्टीलची असते. रनरद्वारे तयार होणारा टॉर्क शाफ्टद्वारे जनरेटरमध्ये प्रसारित केला जातो जो सामान्यतः जनरेटर शाफ्टला बोल्ट केलेल्या फ्लॅंज कनेक्शनद्वारे जोडला जातो. रनरतून गेल्यानंतर पाणी ड्राफ्ट ट्यूबद्वारे अंतिम टप्प्या (tail race) कडे वाहते.

पाण्याद्वारे धावणाऱ्यावर प्रति सेकंद केलेले कार्य समीकरणाद्वारे दिले जाते,

$$= (\rho AV_1 [V_{w1}u_1 \pm V_{w2}u_2])$$

$$= (\rho Q [V_{w1}u_1 \pm V_{w2}u_2])$$

V_{w1} and V_{w2} = इनलेट आणि आउटलेटवर चाकाचा वेग अनुक्रमे

U_1 and U_2 = इनलेट आणि आउटलेटवर चाकाचा वेग

प्रति सेकंद पाण्याचे प्रति युनिट वजन प्रति सेकंद केलेले काम.

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{work done per second}}{\text{weight of water striking per second}} \\
 &= \frac{\rho Q [V_{w1}u_1 \pm V_{w2}u_2]}{\rho Q g} \\
 &= \frac{[V_{w1}u_1 \pm V_{w2}u_2]}{g}
 \end{aligned}$$

वरील समीकरण रनरला प्रति युनिट वजन प्रति सेकंद ऊर्जा हस्तांतरण दर्शवते. हे समीकरण हायड्रोडायनामिक्स मशीनच्या युलर्स समीकरणाने ओळखले जाते. याला हायड्रोडायनामिक्स मशीनचे मूलभूत समीकरण असेही म्हणतात. हे समीकरण स्विस शास्त्रज्ञ एल. यूलर यांनी दिले.

वरील समीकरणात कोन β हा तीव्र कोन असल्यास + चिन्ह घेतले जाते. जर कोन स्थूल असेल तर ऋण चिन्ह घेतले जाते. जर $\beta = 90^\circ$, तर $V_{w2} = 0$ आणि प्रति सेकंद केलेले काम प्रति युनिट पाण्याचे वजन प्रति सेकंद असे होईल,

$$= \frac{1}{g} V_{w2}U_1$$

हायड्रॉलिक कार्यक्षमता प्राप्त होते,

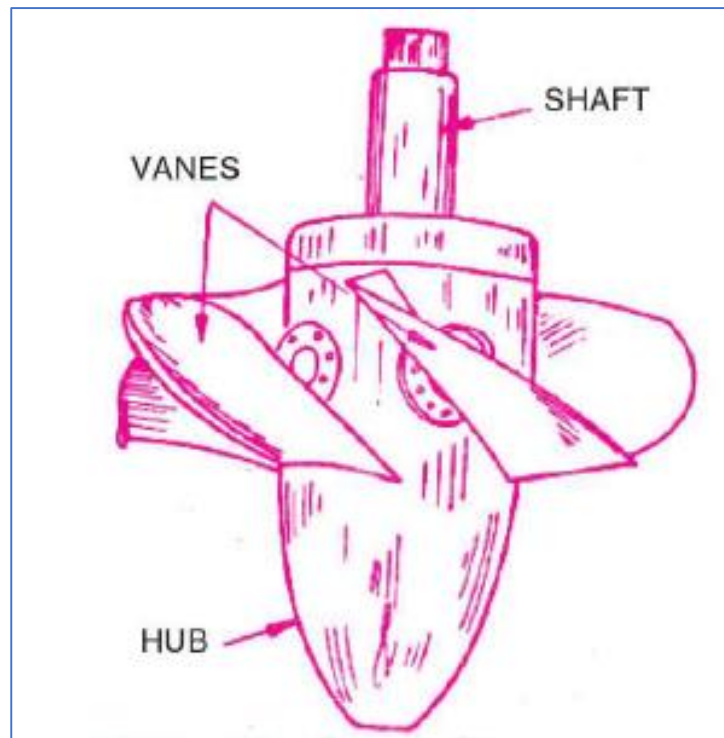
$$\begin{aligned}
 \eta_h &= \frac{[V_{w1}u_1 \pm V_{w2}u_2] \times (w/1000g)}{(w \times H / 1000)} \\
 &= \frac{[V_{w1}u_1 \pm V_{w2}u_2]}{(g H)}
 \end{aligned}$$

जर डिस्चार्ज आउटलेटवर रेडियल असेल तर,

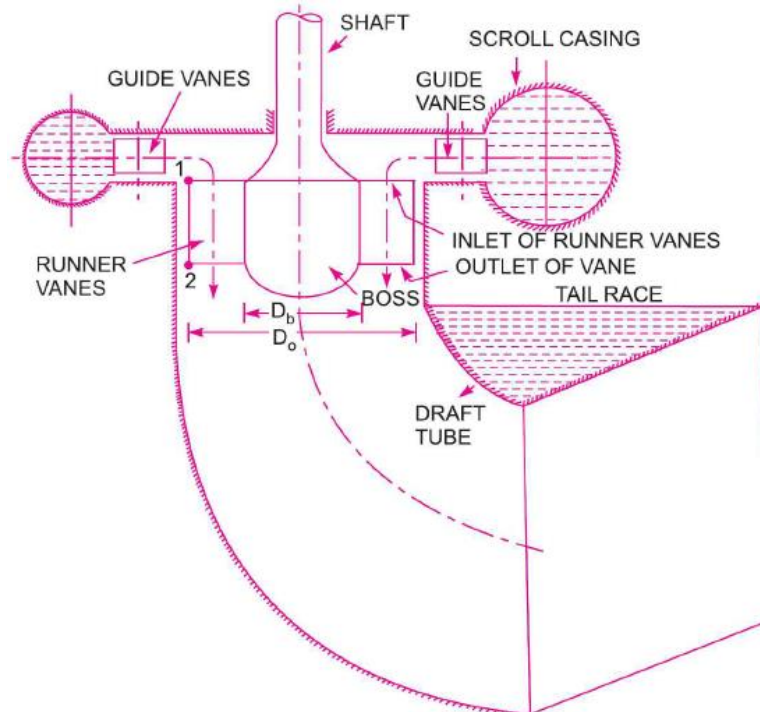
$$V_{w2} = 0$$

$$\eta_h = \frac{V_{w1}u_1}{g H}$$

4.15 KAPLAN TURBINE - कॅप्लन टर्बाइन



कॅप्लन टर्बाइनची
आकृती 4.17 (a)



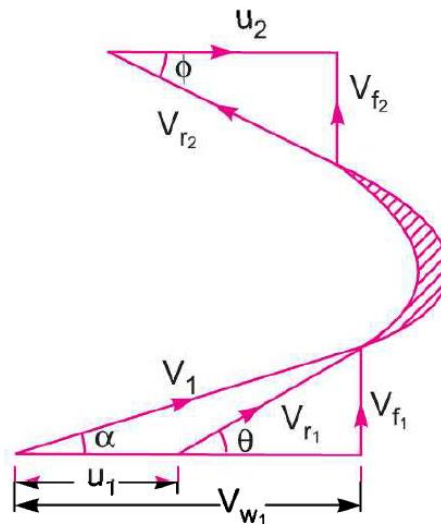
कॅप्लन टर्बाइनची
आकृती 4.17 (b)

कॅप्लान टर्बाइन हा प्रोपेलर टर्बाइनचा एक प्रकार आहे जो ऑस्ट्रियन अभियंता व्ही. कॅप्लान (1876-1934) यांनी विकसित केला होता. ही एक अक्षीय प्रवाह टर्बाइन आहे, जी तुलनेने कमी हेडसाठी योग्य आहे, आणि म्हणूनच मोठ्या प्रमाणात शक्ती विकसित करण्यासाठी मोठ्या प्रमाणात पाण्याची आवश्यकता असते.

हा रिअॅक्शन टर्बाइन प्रकारात मोडतो आणि म्हणूनच ते हेडच्या रनर पासून अंतिम टप्प्यात रनर पर्यंत पूर्णपणे बंद नलिकेत चालते. आकृती 4.17 (b) वरून असे दिसून येईल की कॅप्लान टर्बाइनचे मुख्य घटक जसे की स्क्रोल केसिंग, स्टे रिंग, गाईड वेनची व्यवस्था आणि ड्राफ्ट ट्यूब फ्रान्सिस टर्बाइन प्रमाणेच आहेत. गाईड व्हॅन्स आणि रनर यांच्यामध्ये कॅप्लान (किंवा प्रोपेलर) टर्बाइनमधील पाणी काटकोनातून अक्षीय दिशेने वळते आणि नंतर रनरमधून जाते. कॅप्लान (किंवा प्रोपेलर) टर्बाइनच्या रनरला चार किंवा सहा (किंवा काही अपवादात्मक प्रकरणांमध्ये आठ) ब्लेड असतात आणि ते जहाजाच्या प्रोपेलरसारखे दिसते.

हब किंवा बॉसला जोडलेले ब्लेड (किंवा वेन्स) इतके आकाराचे असतात की रनरतून पाणी अक्षीयपणे वाहते. साधारणपणे, प्रोपेलर टर्बाइनचे रनर ब्लेड निश्चित केले जातात, परंतु कॅप्लान टर्बाइनचे रनर ब्लेड त्यांच्या अक्षाभोवती फिरवले जाऊ शकतात, जेणेकरून टर्बाइन चालू असताना त्यांचा झुकाव कोन समायोजित केला जाऊ शकतो. रनर ब्लेड्सचे हे समायोजन सहसा टर्बाइन आणि जनरेटर शाफ्टच्या पोकळ कपलिंगच्या आत कार्यरत सर्वोमोटरद्वारे स्वयंचलितपणे केले जाते.

जेव्हा गायडींग-वेन अँगल आणि रनर-ब्लेड कोन दोन्ही भिन्न असू शकतात, तेव्हा ऑपरेटिंग परिस्थितींच्या विस्तृत श्रेणीमध्ये उच्च कार्यक्षमता राखली जाऊ शकते. दुस-या शब्दात सांगायचे तर, पार्ट लोड असतानाही, जेव्हा रनरमधून कमी डिस्चार्ज वाहत असतो, तेव्हा कॅप्लान टर्बाइनच्या बाबतीत उच्च कार्यक्षमता प्राप्त केली जाऊ शकते. हे आकृती 4.17 (b) च्या मदतीने स्पष्ट केले जाऊ शकते, ज्यामध्ये कॅप्लान टर्बाइन धावणाऱ्यासाठी इनलेट आणि आउटलेट वेग त्रिकोण पूर्ण लोडवर आणि अर्धवट लोडवर सतत हेडखाली स्थिर गतीने काम करत आहेत. हे लक्षात येईल की जरी टर्बाइन रनरच्या प्रवाहातील संबंधित बदल वेग त्रिकोणाच्या आकारावर परिणाम करतात, तरीही ब्लेडचे कोन एकाच वेळी समायोजित केल्यामुळे, सर्व कामकाजाच्या परिस्थितीत पाणी शॉक न होता रनर ब्लेडमधून वाहते. त्यामुळे फ्रान्सिस आणि प्रोपेलर टर्बाइनमध्ये अपरिहार्य असलेले एडी लॉस कॅप्लान टर्बाइनमध्ये जवळजवळ पूर्णपणे काढून टाकले जातात.



कॅप्लान टर्बाइन रनर ब्लेडसाठी वेग त्रिकोण (Velocity Triangle)

आकृती 4.18

$$Q = \frac{\pi}{4}(D_a^2 - D_b^2) \times V_{f1} \text{ (M}^3/\text{s)}$$

Where, D_a = रनरचा बाह्य व्यास (m)

D_b = हबचा व्यास (m)

V_{f1} = इनलेटवर प्रवाहाचा वेग (m/s)

खालील काही महत्वाचे मुद्दे आहेत.

1. इनलेट आणि आउटलेटमधील परिधीय वेग समान आहेत
2. $U_1 = U_2 = \frac{\pi D N}{60}$, where D = रनरचा बाह्य व्यास

इनलेट आणि आउटलेटवरील प्रवाहाचा वेग समान आहे

$$V_{f1} = V_{f2}$$

$$\text{इनलेटवरील प्रवाहाचे क्षेत्र} = \text{आउटलेटवरील प्रवाहाचे क्षेत्र} = \frac{\pi}{4}(D_a^2 - D_b^2)$$

तक्ता 4.15 (a) Impulse Turbine आणि Reaction Turbine मधील फरक

फरकाचा आधार	Impulse Turbine	Reaction Turbine
व्याख्या	टर्बाइनचा प्रकार ज्यामध्ये फक्त पाण्याची गतिज ऊर्जा (इम्पल्स फोर्स) टर्बाइन फिरवण्यासाठी वापरली जाते त्याला इम्पल्स टर्बाइन म्हणतात.	पाण्याच्या टर्बाइनचा प्रकार ज्यामध्ये गतिज ऊर्जा आणि पाण्याची दाब ऊर्जा दोन्ही टर्बाइन फिरवण्यासाठी वापरली जाते त्याला रिअॅक्शन टर्बाइन म्हणतात.
पाण्याचा प्रवाह	इम्पल्स टर्बाइनमध्ये, पाणी नोजलमधून वाहते आणि टर्बाइनच्या ब्लेडला धडकते.	रिअॅक्शन टर्बाइनमध्ये, टर्बाइनवर पाणी वाहण्यासाठी मार्गदर्शक ब्लेड्स (फिक्स्ड ब्लेड) द्वारे निर्देशित केले जाते.
ब्लेड वरचा फोर्स	इम्पल्स टर्बाइनमध्ये, एक आवेगपूर्ण (high velocity) शक्ती टर्बाइन फिरवते.	रिअॅक्शन टर्बाइनमध्ये, ब्लेड्सवरील गतिज आणि प्रेशर शक्ती टर्बाइन फिरवते.
चालत्या ब्लेडवरून वाहताना पाण्याचा दाब	इम्पल्स टर्बाइनमध्ये, पाण्याचा दाब अपरिवर्तित राहतो आणि जेव्हा ते हलत्या ब्लेडवर वाहते तेव्हा वातावरणाच्या दाबासारखे असते.	रिअॅक्शन टर्बाइनमध्ये, पाण्याचा दाब सतत कमी होतो जेव्हा ते ब्लेडवर वाहते.

फरकाचा आधार	Impulse Turbine	Reaction Turbine
पाण्याचा दाब कमी होणे	इंपल्स टर्बाइनमध्ये, टर्बाइनमध्ये प्रवेश करण्यापूर्वी नोजलमध्ये पाण्याचा दाब कमी केला जातो.	रिअॅक्शन टर्बाइनमध्ये, ब्लेड्सवर वाहताना पाण्याचा दाब कमी होतो.
पाण्याच्या दाबात बदल	इंपल्स टर्बाइनमध्ये, टर्बाइन ब्लेडला धडकण्या पूर्वी पाण्याचा सर्व दाब गतिज उर्जेमध्ये रूपांतरित होतो.	रिअॅक्शन टर्बाइनमध्ये, टर्बाइन ब्लेडला धडकण्या पूर्वी पाण्याच्या दाबात कोणताही बदल होत नाही.
पाण्याचा हेड	इंपल्स टर्बाइन मोठ्या पाण्याच्या हेडसाठी सर्वात योग्य आहेत.	रिअॅक्शन टर्बाइन तुलनेने कमी हेडसाठी पाण्याच्या साठी योग्य आहेत.
पाणी प्रवाह दर	इंपल्स टर्बाइन तुलनेने कमी पाणी प्रवाह दरांसाठी योग्य आहेत.	रिअॅक्शन टर्बाइन पाण्याचा प्रवाह दर जास्त असलेल्या प्रकरणांमध्ये योग्य आहेत.
ब्लेड प्रोफाइल	इंपल्स टर्बाइनचे ब्लेड सममितीय प्रोफाइलचे असतात.	रिअॅक्शन टर्बाइनचे ब्लेड असममित असतात, ज्यात एरोफॉइल प्रोफाइल (आकार) असतो..
पाणी डिस्चार्ज	इंपल्स टर्बाइनमध्ये, टर्बाइनच्या चाकापासून थेट टेल रेसमध्ये पाणी सोडले जाते.	रिअॅक्शन टर्बाइनमध्ये, पाणी प्रथम ड्राफ्ट ट्यूबमध्ये आणि नंतर अंतिम टप्प्यात (tail race) सोडले जाते.
टर्बाइन आकार	त्याच पॉवर आउटपुटसाठी, आवेग टर्बाइनचा आकार लहान असतो.	रिअॅक्शन टर्बाइनचा आकार समान पॉवर आउटपुटसाठी तुलनेने मोठा असतो.
उदाहरणे	इंपल्स टर्बाइनची प्रसिद्ध उदाहरणे आहेत: पेल्टन व्हील टर्बाइन, टर्गो टर्बाइन आणि क्रॉस-फ्लो टर्बाइन.	रिअॅक्शन टर्बाइनची प्रसिद्ध उदाहरणे आहेत: फ्रान्सिस टर्बाइन आणि कॅप्लान टर्बाइन.

4.15 (b) फायदे

a. पेल्टन टर्बाइन:

पेल्टन टर्बाइनचे फायदे

उच्च कार्यक्षमता: पेल्टन टर्बाइन पाण्याच्या संभाव्य ऊर्जेचे यांत्रिक उर्जेमध्ये रूपांतर करण्यात अत्यंत कार्यक्षम आहेत, विशेषत: उच्च-हेडच्या परिस्थितीत.

साधी रचना: त्यांची तुलनेने साधी रचना आणि बांधकाम त्यांना कमी देखभाल गरजांसह मजबूत आणि विश्वासाह बनवते.

स्केलेबिलिटी: पेल्टन टर्बाइनचा वापर लहान मायक्रो-हायड्रो सिस्टीमपासून मोठ्या औद्योगिक प्रतिष्ठानांपर्यंत अनेक स्केलमध्ये केला जाऊ शकतो.

लवचिकता: ते प्रवाह दरांच्या विस्तृत श्रेणीवर कार्यक्षमतेने कार्य करू शकतात, ज्यामुळे ते वेगवेगळ्या पाणी पुरवठा परिस्थितीसाठी योग्य बनतात.

b. फ्रान्सिस टर्बाइनचे फायदे

- **अष्टपैलुत्व:** हेड आणि प्रवाह परिस्थितीच्या विस्तृत श्रेणीसाठी योग्य, त्यांना विविध जलविद्युत अनुप्रयोगांसाठी अनुकूल बनवते.
- **उच्च कार्यक्षमता:** विस्तृत ऑपरेटिंग श्रेणीमध्ये उच्च कार्यक्षमता प्राप्त करण्यास सक्षम, जे जास्तीत जास्त पॉवर आउटपुटसाठी आवश्यक आहे.
- **मजबूत डिझाइन:** फ्रान्सिस टर्बाइनची रचना तुलनेने सोपी आणि मजबूत असते, परिणामी कमी देखभाल आवश्यकता आणि दीर्घ ऑपरेशनल आयुष्य असते.
- **लवचिकता:** पाण्याचा प्रवाह आणि भार यांच्यातील फरक हाताळू शकतो, जे स्थिर वीज निर्मिती राखण्यासाठी फायदेशीर आहे.

v. कॅप्लान टर्बाइन:

कॅप्लान टर्बाइनचे फायदे

1. कमी हेडवर उच्च कार्यक्षमता
2. समायोज्य ब्लेड आणि विकेट गेट्स
3. ऑपरेटिंग स्थिती याची विस्तृत श्रेणी
4. कॉम्पॅक्ट (कमी जागेत) डिझाइन
5. उच्च प्रवाह क्षमता
6. कॅव्हिटेशन (केसिंगला लहान मोठे छिद्रे) निर्माण होण्याचा धोका कमी
7. पर्यावरणीय फायदे
8. स्केलेबिलिटी
9. विश्वसनीय ऑपरेशन

4.16 टर्बाइनचे उपयोग

1. जलविद्युत प्रकल्प
2. औद्योगिक विनियोग ()
3. कृषी क्षेत्रात उपयोग
4. अपारंपरिक ऊर्जा प्रकल्प
5. वैज्ञानिक आणि संशोधन विनियोग

4.17 ड्राफ्ट ट्यूब

ड्राफ्ट ट्यूब हा हळूहळू वाढणाऱ्या क्षेत्राचा एक पाइप आहे जो रनरच्या आउटलेटला टेल रेसशी जोडतो. हे टर्बाइनच्या बाहेर पडण्यापासून शेपटीच्या टेल रेसपर्यंत पाणी सोडण्यासाठी वापरले जाते. हळूहळू वाढणाऱ्या क्षेत्राच्या या पाईपला ड्राफ्ट ट्यूब म्हणतात. ड्राफ्ट ट्यूबचे एक टोक धावणाऱ्याच्या आउटलेटशी जोडलेले असते

तर दुसरे टोक टेल रेसच्या पाण्याच्या पातळीच्या खाली विलीन होते. ड्राफ्ट ट्यूब, याशिवाय, पाणी सोडण्यासाठी रस्ता पुरवण्यासाठी, खालील दोन उद्देश देखील आहेत:

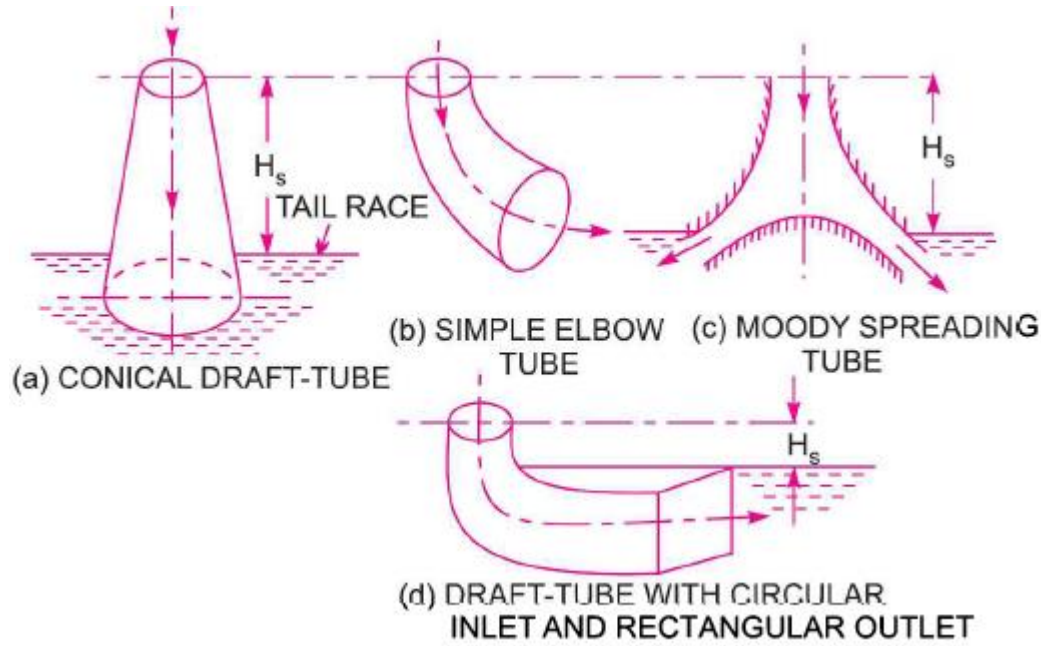
1. हे रनरच्या आउटलेटवर नकारात्मक हेड स्थापित करण्याची परवानगी देते आणि त्यामुळे टर्बाइनवरील नेट हेड वाढवते. निव्वळ हेडचे कोणतेही नुकसान न होता टर्बाइन शेपटीच्या शर्यतीच्या वर ठेवली जाऊ शकते आणि म्हणून टर्बाइनची योग्यरित्या तपासणी केली जाऊ शकते.
2. हे टर्बाइनच्या आउटलेटवर नको असलेल्या गतीज ऊर्जेच्या मोठ्या प्रमाणात ($V^2/2g$) उपयुक्त दाब उर्जेमध्ये रूपांतरित करते. ड्राफ्ट ट्यूबशिवाय, टर्बाइनच्या आउटलेटवर कमी झालेली kinetic ऊर्जा टेल रेसमध्ये वाया जाईल.

म्हणून ड्राफ्ट ट्यूबचा वापर करून, टर्बाइनवरील नेट हेड वाढते. टर्बाइन अधिक शक्ती विकसित करते आणि टर्बाइनची कार्यक्षमता देखील वाढते.

जर रिअॅक्शन टर्बाइन ड्राफ्ट ट्यूबने भरलेली नसेल, तर रनरच्या आउटलेटवरील दाब वातावरणाच्या दाबाइतका असेल. रनरच्या आउटलेटमधील पाणी टेल रेस मध्ये मुक्तपणे सोडले जाईल. टर्बाइनवरील निव्वळ हेड ड्राफ्ट ट्यूबसह बसविलेल्या प्रतिक्रिया टर्बाइनपेक्षा कमी असेल.

तसेच ड्राफ्ट ट्यूबशिवाय, रनरच्या आउटलेटवर सोडलेली kinetic ऊर्जा ($V^2/2g$) अंतिम टप्प्यात (tail race) वाया जाईल.

4.18 ड्राफ्ट ट्यूबचे प्रकार:



ड्राफ्ट ट्यूबचे प्रकार
आकृती. 4.19

ड्राफ्ट ट्यूबचे प्रकार

1. कोनिकॅल ट्यूब
2. एल्बो ट्यूब
3. मूडी स्प्रेडिंग ड्राफ्ट ट्यूब
4. बेल-माउथ (सक्शन) ड्राफ्ट ट्यूब

आकृती 4.19 विविध प्रकारच्या ड्राफ्ट ट्यूब दर्शविते ज्या फील्डमध्ये स्थापनेच्या विशिष्ट परिस्थितीनुसार वापरल्या जातात. यापैकी (a) आणि (c) प्रकार सर्वात कार्यक्षम आहेत, परंतु (b) आणि (d) प्रकारांचा एक फायदा आहे की त्यांच्या स्थापनेसाठी त्यांना कमी उत्खनन आवश्यक आहे. असे आढळून आले आहे की सरळ डायव्हर्जंट प्रकारच्या ड्राफ्ट ट्यूबसाठी मध्यवर्ती शंकूचा कोन 8° पेक्षा जास्त नसावा. हे असे आहे कारण जर हा कोन 8° पेक्षा जास्त असेल तर ड्राफ्ट ट्यूबमधून वाहणारे पाणी त्याच्या आतील पृष्ठभागाच्या संपर्कात राहणार नाही, परिणामी एडीज तयार होतात आणि ड्राफ्ट ट्यूबची कार्यक्षमता कमी होते.

1. कोनिकॅल ट्यूब

वर्णन:

- या प्रकारच्या ड्राफ्ट ट्यूबमध्ये सरळ, शंकूच्या आकाराचा आकार असतो, जो टर्बाइनच्या आउटलेटपासून बाहेर पडण्यासाठी हळूहळू विस्तारतो.

कार्य:

- हळूहळू विस्तारामुळे पाण्याचा वेग कमी होण्यास मदत होते, गतीज ऊर्जेचे दाब ऊर्जेत रूपांतर होते.

उपयोग:

- हे सामान्यतः लहान आणि मध्यम आकाराच्या जलविद्युत संयंत्रांमध्ये वापरले जाते जेथे ड्राफ्ट ट्यूबसाठी उपलब्ध उंची मर्यादित घटक नाही.

फायदे:

- साधे डिझाइन आणि बांधण्यास सोपे.
- गतीज ऊर्जेचे प्रेशर एनर्जीमध्ये रूपांतर करण्यात कार्यक्षम.

तोटे:

- जास्त उंचीची आवश्यकता असते, ज्यामुळे ते कमी हेड बसवण्याकरता कमी योग्य होते.

2. एल्बो ट्यूब

वर्णन:

- या ड्राफ्ट ट्यूबमध्ये वक्र किंवा कोपर-आकाराची रचना असते, विशेषतः 90° -डिग्री कोनात किंवा अधिक.

कार्य:

- वक्र आकार पाण्याचा प्रवाह क्षैतिजरित्या पुनर्निर्देशित करण्यास मदत करतो, जे विशिष्ट वनस्पती लेआउटमध्ये फायदेशीर ठरू शकते जेथे जागा मर्यादित आहे.

उपयोग:

- ज्या ठिकाणी टर्बाइन टेलरेस लेव्हलच्या जवळ स्थित असेल किंवा जेव्हा क्षैतिज डिस्चार्ज आवश्यक असेल अशा प्रतिष्ठापनांमध्ये वापरले जाते.

फायदे:

- कमी हेड अनुप्रयोगांसाठी योग्य.
- जागा-प्रतिबंधित लेआउटमध्ये बसण्यासाठी डिझाइन केले जाऊ शकते.

तोटे:

- वाकल्यामुळे घर्षण नुकसान वाढण्याची शक्यता.
- सरळ ड्राफ्ट ट्यूबच्या तुलनेत डिझाइन आणि बांधणीसाठी अधिक जटिल.

3. मूडी स्प्रेडिंग ड्राफ्ट ट्यूब

वर्णनः

- या प्रकारात एक प्रारंभिक सरळ शंकूच्या आकाराचा विभाग असतो आणि त्यानंतर अचानक विस्तार किंवा पसरणारा विभाग असतो.

कार्यः

- प्रारंभिक शंकूच्या आकाराचा विभाग पाण्याचा वेग हळूहळू कमी करण्यास मदत करतो आणि दाब पुनर्प्राप्ती वाढवताना पसरणारा विभाग वेग कमी करतो.

उपयोगः

- ज्या ठिकाणी उंची आणि कार्यक्षम ऊर्जा रूपांतरण यांच्यातील समतोल आवश्यक आहे अशा स्थापनेसाठी आदर्श.

फायदेः

- मध्यम उंचीच्या आवश्यकतेसह चांगले दाब पुनर्प्राप्ती.
- सरळ ड्राफ्ट ट्यूब प्रमाणेच कार्यक्षम ऊर्जा रूपांतरण.

तोटेः

- सरळ ड्राफ्ट ट्यूबच्या तुलनेत अधिक जटिल डिझाइन.
- योग्यरितीने डिझाइन न केल्यास प्रवाह वेगळे होणे आणि अशांततेचा धोका असू शकतो.

4. बेल-माउथ (सक्शन) ड्राफ्ट ट्यूब**वर्णनः**

- या ड्राफ्ट ट्यूबमध्ये घंटी-आकाराचा किंवा अचानक वाढलेला इनलेट असतो, जो आउटलेटकडे पुन्हा विस्तारण्यापूर्वी हळूहळू लहान व्यासापर्यंत संकुचित होतो.

कार्यः

- घंटी-तोंडाचा आकार पाण्याच्या प्रवाहासाठी गुळगुळीत संक्रमण प्रदान करून, टर्बुलेंट आणि ऊर्जेची हानी कमी करून दाब पुनर्प्राप्ती वाढवते.

उपयोगः

- ऊर्जेची हानी कमी करणे आणि दाब पुनर्प्राप्ती जास्तीत जास्त करणे महत्वाचे आहे अशा अनुप्रयोगांमध्ये वापरले जाते.

फायदेः

- उत्कृष्ट दाब पुनर्प्राप्ती आणि कार्यक्षमता.
- टर्बुलेंट आणि प्रवाहाचे पृथक्करण कमी करते.

तोटेः

- डिझाइन आणि निर्मितीसाठी अधिक जटिल आणि महाग.
- कार्यप्रदर्शन ऑप्टिमाइझ करण्यासाठी अचूक अभियांत्रिकी आवश्यक आहे.

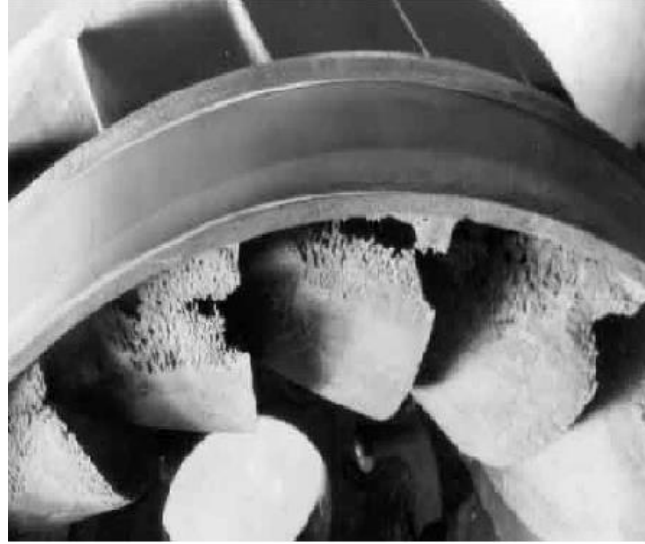
4.19 टर्बाइनमध्ये क्याव्हिटेशन निर्माण करण्याची संकल्पना

प्रवाह मार्गाच्या कोणत्याही भागातील दाब वाहत्या द्रवाच्या बाष्प दाबापर्यंत पोहोचतो तेव्हा त्याची वाफ होऊ लागते आणि बाष्पाचे लहान बुडबुडे मोठ्या प्रमाणात तयार होतात. हे बुडबुडे (किंवा बाष्पाने भरलेले कप्पे किंवा पोकळी) प्रवाहासोबत वाहून जातात आणि उच्च-दाब क्षेत्रापर्यंत पोहोचल्यावर हे बुडबुडे अचानक कोसळतात कारण बाष्प पुन्हा द्रव बनते.

पोकळी अचानक कोसळल्यामुळे आजूबाजूचा द्रव त्यांना भरण्यासाठी आत जातो. सर्व दिशांनी फिरणारा द्रव पोकळीच्या मध्यभागी आदळतो, त्यामुळे खूप जास्त स्थानिक दाब निर्माण होतो. परिसरातील कोणतीही घन पृष्ठभाग देखील या तीव्र दाबांच्या अधीन आहे.

बाष्प बुडबुडे वैकल्पिकरित्या तयार होणे आणि कोसळणे यामुळे पृष्ठभागाचे गंभीर नुकसान होऊ शकते जे शेवटी निष्फळ ठरते आणि पृष्ठभाग खराबपणे स्कोअर होतो आणि खड्डा होतो. या घटनेला पोकळ्या निर्माण होणे म्हणून ओळखले जाते जी टर्बाइनमध्ये तसेच पेनस्टॉक, गेट्स, व्हॉल्व्ह, स्पिलवे इत्यादी विविध हायड्रॉलिक संरचनांमध्ये आढळते.

रिअॅक्शन टर्बाइनमध्ये पोकळी निर्माण होणे रनरच्या बाहेर पडताना किंवा ड्राफ्ट ट्यूबच्या इनलेटमध्ये उद्भवू शकते जेथे दबाव लक्षणीयरीत्या कमी होतो. पोकळ्या निर्माण झाल्यामुळे या झोनमध्ये रनर व्हेन आणि ड्राफ्ट ट्यूबचा धातू हळूहळू खाल्ला जातो, ज्यामुळे टर्बाइनची कार्यक्षमता कमी होते. अशा प्रकारे, टर्बाइनचे घटक असे डिझाइन केले पाहिजेत की शक्य तितक्या कमी पोकळ्या निर्माण होऊ शकतील.



टर्बाइनमध्ये कॅव्हिटेशन (केसिंग/ वेन्सला लहान मोठे छिद्रे) निर्माण होणे
आकृती 4.20

4.20 हायड्रोलिक टर्बाइनच्या निवडीसाठी निकष

हायड्रोइलेक्ट्रिक पॉवर प्लंटसाठी योग्य हायड्रॉलिक टर्बाइन निवडताना अनेक निकषांचा विचार करणे आणि वेगवेगळ्या प्रकारच्या टर्बाइनची कार्यक्षमता वैशिष्ट्ये समजून घेणे समाविष्ट आहे. निवड निकष आणि कार्यप्रदर्शन वैशिष्ट्यांचे तपशीलवार विहंगावलोकन येथे आहे:

1. हेड आणि प्रवाह दर:

- उच्च हेड (300 मीटरपेक्षा जास्त): पेल्टन टर्बाइन.
- मध्यम हेड (30 ते 300 मीटर): फ्रान्सिस टर्बाइन.
- कमी हेड (३० मीटरपेक्षा कमी): कॅप्लान किंवा प्रोपेलर टर्बाइन.

2. पाण्याचा प्रवाह दर:

- कमी प्रवाह: पेल्टन टर्बाइन.
- मध्यम प्रवाह: फ्रान्सिस टर्बाइन.

- उच्च प्रवाह: कॅप्लान किंवा प्रोपेलर टर्बाइन.
- 3. **साइट स्थिती:**
 - जागा उपलब्धता: पेल्टन टर्बाइनच्या तुलनेत फ्रान्सिस आणि कॅप्लान टर्बाइनला सामान्यतः मोठ्या स्थापनेची आवश्यकता असते.
 - पाण्याची गुणवत्ता: टर्बाइन पाण्यातील मोडतोड आणि गाळासाठी प्रतिरोधक असणे आवश्यक आहे. पेल्टन टर्बाइनच्या तुलनेत फ्रान्सिस आणि कॅप्लान टर्बाइन भंगारासाठी अधिक संवेदनशील असतात.
- 4. **ऊर्जा उत्पादन आणि भार भिन्नता:**
 - स्थिर भार: कॅप्लान आणि प्रोपेलर टर्बाइन स्थिर भाराच्या परिस्थितीत चांगली कामगिरी करतात.
 - व्हेरिएबल लोड: पेल्टन आणि फ्रान्सिस टर्बाइन व्हेरिएबल लोड अधिक कार्यक्षमतेने हाताळू शकतात.
- 5. **कार्यक्षमता:**
 - एकूण कार्यक्षमता: कॅप्लान टर्बाइन्स कमी हेड वापरण्यासाठी अत्यंत कार्यक्षम आहेत, तर पेल्टन टर्बाइन उच्च हेड अनुप्रयोगांसाठी अत्यंत कार्यक्षम आहेत. फ्रान्सिस टर्बाइन्स हेड्स आणि फ्लोच्या श्रेणीवर चांगली कार्यक्षमता देतात.
- 6. **देखभाल आणि ऑपरेटिंग खर्च:**
 - देखभाल आवश्यकता: पेल्टन टर्बाइनमध्ये सामान्यतः फ्रान्सिस आणि कॅप्लान टर्बाइनच्या तुलनेत कमी देखभाल आवश्यकता असते.
 - ऑपरेटिंग खर्च: ऊर्जेची हानी, दुरुस्ती आणि देखभाल खर्चासह ऑपरेशनल खर्चाचा विचार करा.
- 7. **पर्यावरणीय प्रभाव:**
 - इकोसिस्टम व्यत्यय: निवडीमध्ये स्थानिक परिसंस्थेवर आणि माशांच्या स्थलांतरावर होणाऱ्या परिणामाचा विचार केला पाहिजे. कॅप्लान टर्बाइन, उदाहरणार्थ, माशांसाठी अनुकूल डिझाइन आवश्यक असलेल्या ठिकाणी प्राधान्य दिले जाते.
- 8. **तांत्रिक जटिलता:**
 - इन्स्टॉलेशन आणि कंट्रोल: इन्स्टॉलेशन आणि कंट्रोल सिस्टमची तांत्रिक जटिलता प्रत्येक प्रकारच्या टर्बाइननुसार बदलते. उदाहरणार्थ, कॅप्लान टर्बाइनमध्ये समायोजित करण्यायोग्य ब्लेड असतात जे त्यांच्या जटिलतेमध्ये भर घालू शकतात.

4.21 हायड्रोलिक टर्बाइनची कार्यप्रदर्शन वैशिष्ट्ये (Characteristic curves of a hydraulic turbine)

हायड्रोलिक टर्बाइनचे वैशिष्ट्यपूर्ण कर्व हे कर्व आहेत, ज्याच्या मदतीने वेगवेगळ्या कामकाजाच्या परिस्थितीत टर्बाइनचे अचूक वर्तन आणि कार्यप्रदर्शन ओळखले जाऊ शकते. हे कर्व वेगवेगळ्या कामकाजाच्या परिस्थितीत टर्बाइनवर केलेल्या चाचण्यांच्या परिणामांवरून प्लॉट केले जातात. चाचणी टर्बाइन दरम्यान भिन्न असलेले महत्त्वाचे पॅरामीटर्स हे आहेत:

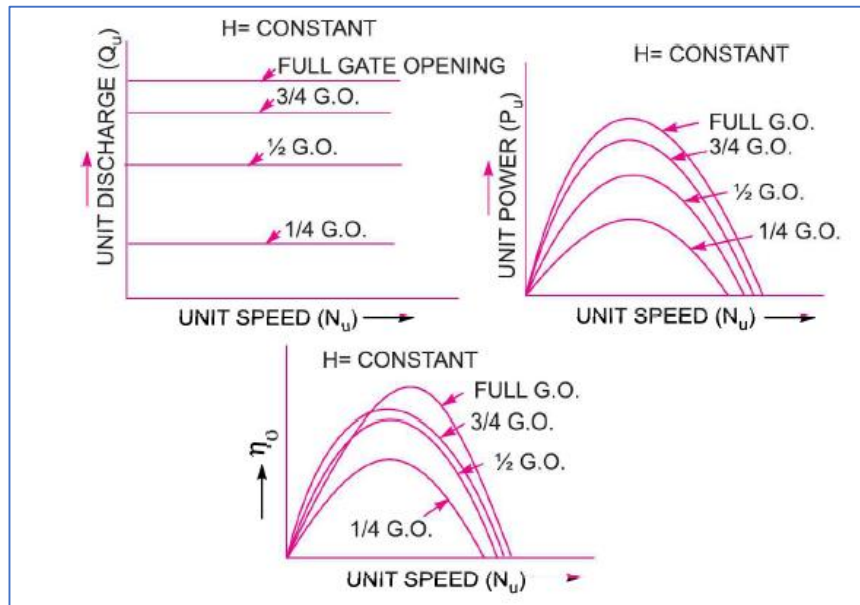
- गती (N)
- हेड (H)
- डिस्चार्ज (Q)
- पॉवर (P)
- एकूण कार्यक्षमता
- गेट उघडणे

तीन स्वतंत्र पॅरामीटर्सपैकी (N, H, Q) एक पॅरामीटर स्थिर ठेवला जातो आणि उर्वरित दोन स्वतंत्र चलांपैकी कोणत्याही एकाशी संबंधित इतर चार पॅरामीटर्सची भिन्नता प्लॉट केली जाते आणि वक्र प्राप्त केले जातात. टर्बाइनची महत्त्वाची वैशिष्ट्ये वक्र आहेत:

- I. मुख्य वैशिष्ट्यपूर्ण किंवा कोन्स्टंट हेड कर्व
- II. ऑपरेटिंग वैशिष्ट्ये कर्व (curve) किंवा स्थिर गती कर्व (curve)
- III. मशेल कर्व किंवा स्थिर कार्यक्षमता कर्व

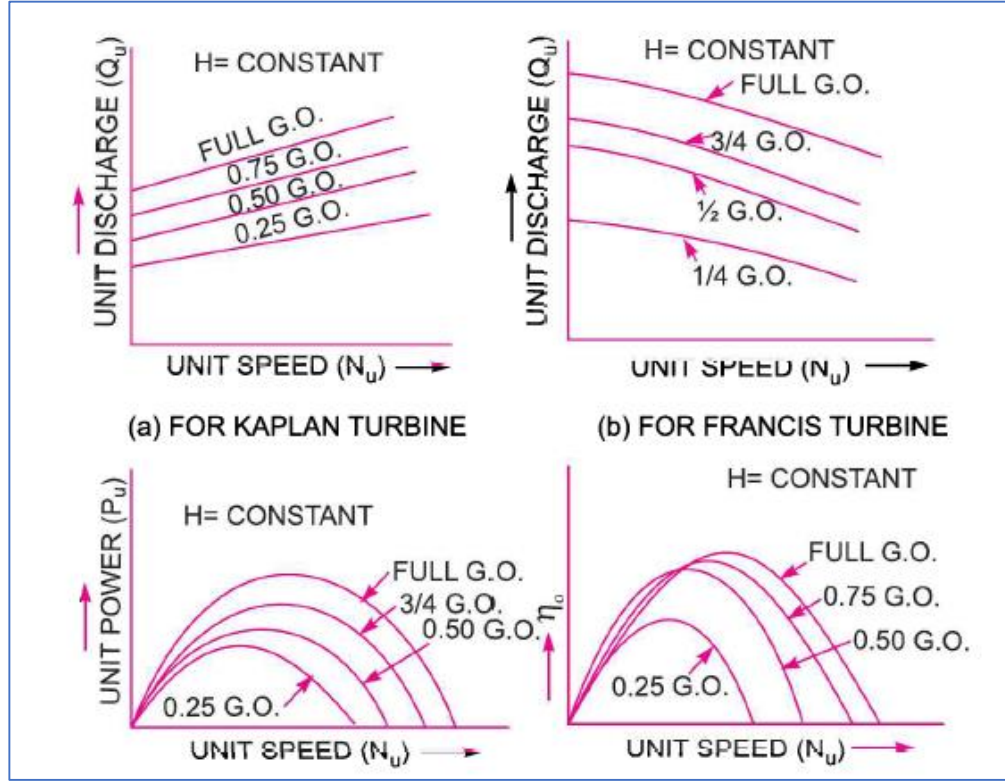
4.21 (a) मुख्य वैशिष्ट्यपूर्ण किंवा कोन्स्टंट हेड कर्व

हायड्रॉलिक टर्बाइनसाठी वैशिष्ट्यपूर्ण कर्व Curve काढण्यासाठी, हेड स्थिर ठेवून प्रयोग केले जातात: हेड आणि गेट ओपनिंग्स स्थिर ठेवल्या जातात आणि टर्बाइनवरील लोड बदलून वेग समायोजित केला जातो. प्रत्येक स्पीड सेटिंगसाठी, संबंधित पॉवर आउटपुट आणि वॉटर डिस्चार्ज मूल्ये मोजली जातात.



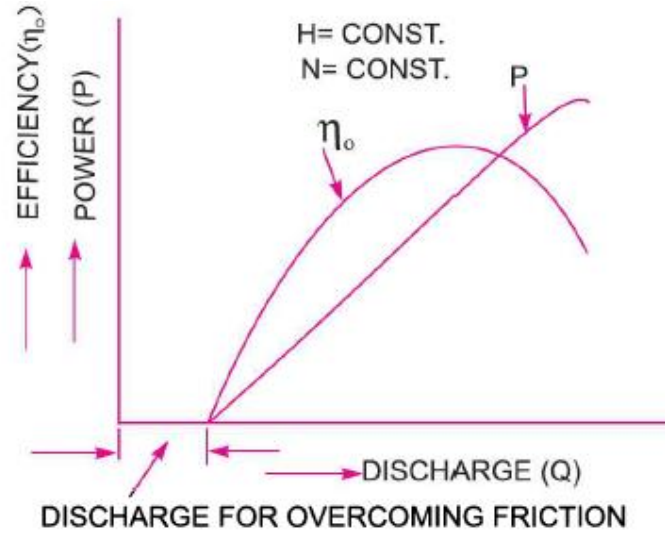
पेल्टन व्हीलची कर्व वैशिष्ट्ये
आकृती. 4.21

गतीच्या प्रत्येक मूल्यासाठी, शक्ती आणि डिस्चार्जची संबंधित मूल्ये प्राप्त केली जातात. गतीच्या प्रत्येक मूल्यासाठी एकूण कार्यक्षमता मोजली जाते. Q_u , P_u , आणि (η_0) आणि N_u ची मूल्ये उघडणारे गेट बदलून आणि N_u ला abscissa म्हणून घेऊन, Q_u , P_u , आणि (η_0) ची मूल्ये प्लॉट केली जातात.



रिअॅक्शन टर्बाइन कर्व वैशिष्ट्ये
आकृती. 4.22

b) ऑपरेटिंग वैशिष्ट्ये कर्व किंवा स्थिर गती कर्व



ऑपरेटिंग वैशिष्ट्ये कर्व किंवा स्थिर गती कर्व

आकृती 4.23

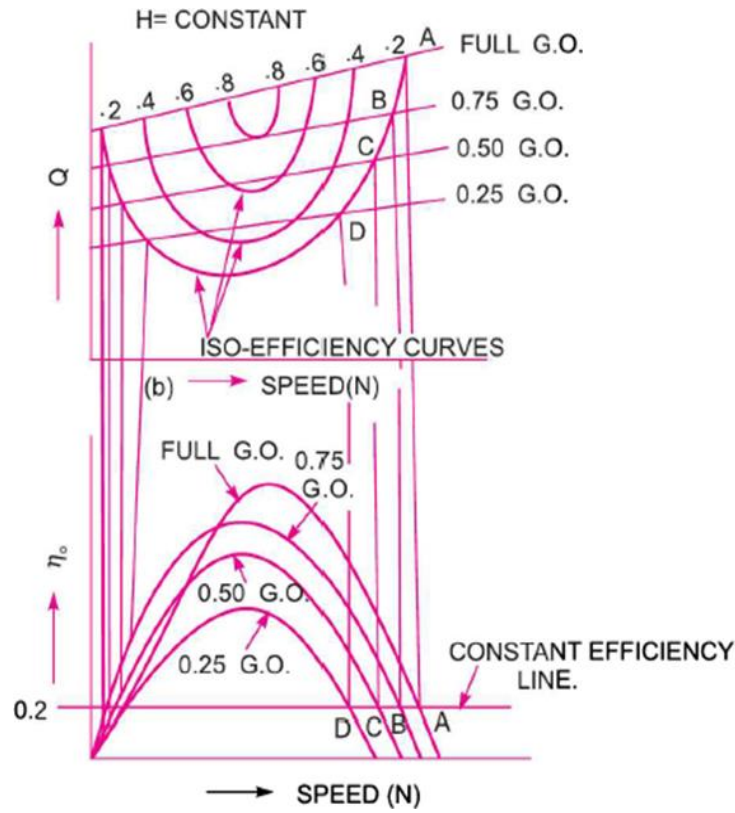
टर्बाइन सतत वेगाने चालत असताना चाचण्या घेतल्या जातात: • गेट ओपनिंग समायोजित करून स्थिर गती प्राप्त केली जाते, ज्यामुळे लोड बदलत असताना टर्बाइनमधून पाण्याचा प्रवाह बदलतो.

• हेड स्थिर ठेवले जाऊ शकते किंवा ते बदलू शकते. ऑपरेटिंग वैशिष्ट्यांसाठी N , H , आणि Q हे तीन स्वतंत्र मापदंड आहेत, N आणि H स्थिर आहेत आणि म्हणूनच डिस्चार्ज Q च्या संदर्भात शक्ती आणि कार्यक्षमतेची भिन्नता प्लॉट केली आहे. पॉवर आणि कार्यक्षमता वक्र x अक्षावरील उत्पत्तीपासून किंचित दूर असतील कारण सुरुवातीच्या

घर्षणावर मात करण्यासाठी विशिष्ट प्रमाणात स्लाव आवश्यक असेल. आकृती 4.23 डिस्चार्जच्या संदर्भात शक्ती आणि कार्यक्षमतेतील फरक दर्शविते.

c) मशेल कर्व किंवा स्थिर कार्यक्षमता कर्व

हे कर्व वेग विरुद्ध कार्यक्षमता आणि वेग विरुद्ध डिस्चार्ज कर्व भिन्न गेट ओपनिंगसाठी प्राप्त केले जातात. N_u वि. η_o वक्रांमधून दिलेल्या कार्यक्षमतेसाठी, दोन गती आहेत. N_u वि. Q_u कर्व मधून, वेगाच्या दोन मूल्यांशी संबंधित डिस्चार्जची दोन मूल्ये आहेत. म्हणून दिलेल्या कार्यक्षमतेसाठी, विशिष्ट गेट ओपनिंगसाठी डिस्चार्जची दोन मूल्ये आहेत. याचा अर्थ दिलेल्या कार्यक्षमतेसाठी स्पीडची दोन मूल्ये आणि दिलेल्या गेट ओपनिंगसाठी डिस्चार्जची दोन मूल्ये आहेत. जर कार्यक्षमता जास्तीत जास्त असेल तर फक्त एक मूल्य आहे. स्पीडची ही दोन मूल्ये आणि विशिष्ट गेट ओपनिंगशी संबंधित डिस्चार्जची दोन मूल्ये ग्राफ b (वरच्या प्लॉट) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे प्लॉट केली आहेत. वेगवेगळ्या गेट ओपनिंगसाठी प्रक्रिया पुनरावृत्ती केली जाते आणि कर्व Q विरुद्ध N प्लॉट केले जातात. समान कार्यक्षमता असलेले बिंदू जोडले जातात. समान कार्यक्षमता असलेल्या वक्रांना iso-कार्यक्षमता कर्व म्हणतात. हे कर्व स्थिर कार्यक्षमतेचे क्षेत्र निश्चित करण्यासाठी आणि विविध कार्यक्षमतेवर टर्बाइनच्या कार्यक्षमतेचा अंदाज घेण्यासाठी उपयुक्त आहेत. iso-कार्यक्षमता कर्व प्लॉटिंगसाठी, समान कार्यक्षमतेचे प्रतिनिधित्व करणाऱ्या आडव्या रेषा $\eta_o \sim$ गती कर्व वर काढल्या जातात. ज्या बिंदूवर या रेषा विविध गेट्स ओपनिंगवर कार्यक्षमता कर्व कापतात ते संबंधित $Q \sim$ स्पीड कर्व मध्ये हस्तांतरित केले जातात. समान कार्यक्षमता असलेले बिंदू नंतर गुळगुळीत कर्व द्वारे जोडले जातात. हे गुळगुळीत कर्व iso-कार्यक्षमता कर्व दर्शवतात.



स्थिर कार्यक्षमता कर्व

आकृती 4.24

4.22 हायड्रोलिक टर्बाइनची कार्यप्रदर्शन वैशिष्ट्ये

1. पेल्टन टर्बाइन:

- **हेड रेंज:** हेड ॲप्लिकेशन्ससाठी योग्य (300 ते 1500 मीटर).
- **प्रवाह दर:** कमी ते मध्यम प्रवाह दरांसाठी सर्वोत्तम.
- **कार्यक्षमता:** उच्च हेडवर उच्च कार्यक्षमता.
- **विशिष्ट गती:** कमी विशिष्ट वेग (3-30).
- **ऑपरेशनल लवचिकता:** व्हेरिअबल लोडसाठी उत्कृष्ट.
- **डिझाइन:** पाण्याची आवेग शक्ती वापरते; वॉटर जेट्स टर्बाइनच्या ब्लेडला धडकते.
- **देखभाल:** तुलनेने कमी देखभाल.

2. फ्रान्सिस टर्बाइन:

- **हेड रेंज:** मध्यम हेड ॲप्लिकेशन्ससाठी योग्य (30 ते 300 मीटर).
- **प्रवाह दर:** मध्यम प्रवाह दर हाताळू शकतात.
- **कार्यक्षमता:** हेड आणि प्रवाह दरांच्या विस्तृत श्रेणीमध्ये उच्च कार्यक्षमता.
- **विशिष्ट गती:** मध्यम विशिष्ट वेग (60-300).
- **ऑपरेशनल लवचिकता:** व्हेरिअबल भारांसाठी चांगले, परंतु कार्यक्षमता खूप कमी किंवा खूप जास्त प्रवाह दरांवर कमी होते.
- **डिझाइन:** मिश्र प्रवाह टर्बाइन; पाणी त्रिज्यातून प्रवेश करते आणि अक्षीयपणे बाहेर पडते.
- **देखभाल:** मध्यम देखभाल आवश्यकता.

3. कॅप्लान टर्बाइन:

- **हेड रेंज:** लो हेड ॲप्लिकेशन्ससाठी योग्य (2 ते 30 मीटर).
- **प्रवाह दर:** उच्च प्रवाह दरांसाठी सर्वोत्तम.
- **कार्यक्षमता:** कमी हेडवर खूप उच्च कार्यक्षमता.
- **विशिष्ट गती:** उच्च विशिष्ट गती (300-1000).
- **ऑपरेशनल लवचिकता:** लक्षणीय प्रवाह भिन्नता असलेल्या साइटसाठी आदर्श; ब्लेड कोन समायोजित केले जाऊ शकते.
- **डिझाइन:** अक्षीय प्रवाह टर्बाइन; पाणी टर्बाइन शाफ्टला समांतर वाहते.
- **देखभाल:** समायोज्य ब्लेडच्या जटिलतेमुळे उच्च देखभाल.

भारतातील जलविद्युत धरणे

हा तक्ता भारतातील काही प्रमुख जलविद्युत धरणांमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या हायड्रॉलिक टर्बाइनचा सारांश देतो.

तक्ता 4.25

जलविद्युत धरण टर्बाइन	नदी	स्थान	प्रकार	क्षमता (MW)
भाक्रा धरण	सतलज	हिमाचल प्रदेश आणि पंजाब	फ्रान्सिस टर्बाइन	1,325
टिहरी धरण	भागीरथी	उत्तराखंड	फ्रान्सिस टर्बाइन	1000
सरदार सरोवर धरण	नर्मदा	गुजरात	कॅप्लान आणि फ्रान्सिस टर्बाइन	1450
नाथपा झाकरी धरण	सतलज	हिमाचल प्रदेश	फ्रान्सिस टर्बाइन	1500
हिराकुड धरण	महानदी	ओडीसा	कॅप्लान टर्बाइन	348
इंदिरा सागर धरण	नर्मदा	मध्यप्रदेश	फ्रान्सिस टर्बाइन	1000
कोयना धरण	कोयना	महाराष्ट्र	फ्रान्सिस टर्बाइन	1960
नागार्जुन सागर धरण	कृष्णा	तेलंगाना आणि आंध्र प्रदेश	फ्रान्सिस टर्बाइन	816
इडुक्की धरण	पेरियार	केरल	पेल्टन टर्बाइन	780
रिहंद धरण	रिहंद	उत्तर प्रदेश	फ्रान्सिस टर्बाइन	300
चमेरा धरण	रवी	हिमाचल प्रदेश	फ्रान्सिस टर्बाइन	1071
दुलहस्ती जलविद्युत प्रकल्प	चिनाब	जम्मू आणि काश्मीर	फ्रान्सिस टर्बाइन	390
श्रीशैलम धरण	कृष्णा	आंध्र प्रदेश	कॅप्लान आणि फ्रान्सिस टर्बाइन	1670
बास्पा II धरण	बसपा	हिमाचल प्रदेश	पेल्टन टर्बाइन	300
लोकतक जलविद्युत प्रकल्प	बराक	मणिपूर	कॅप्लान टर्बाइन	105

Exercise:**TLO 4.1 Calculate the force exerted by a jet, work done and efficiency for the given vane condition**

- 1 Calculate the force exerted by the Jet of water of diameter 75 mm on a stationary flat plate, when the jet strikes the plate normally with the velocity of 20m/s. (A)
- 2 A jet of water of diameter 70 mm moving with a velocity of 20 m/s strikes a fixed plate in such a way that the angle between the jet and the plate is 60° . Calculate the force exerted by the jet on the plate a) in the direction normal to the plate b) in the direction of the jet. (A)
- 3 A jet of water of diameter 60 mm moving with a velocity of 40 m/s strikes a curved fixed symmetrical plate at the centre. Calculate the force exerted by the jet of water in the direction of jet, if the jet is deflected through an angle of 120° at the outlet of the curved plate. (A)
- 4 A jet of water of diameter 20cm strikes a flat plate normally with a velocity of 15m/s. the plate is moving with a velocity of 6 m/s in the direction of jet. Calculate a) the force exerted by the jet on moving plate b) work done by jet on plate per second. (A)
- 5 A jet of water 120 mm in diameter having a velocity of 20 m/s strikes a flat plate normally. Calculate the force exerted on the plate, when: a) the plate is stationary b) it is moving with a velocity of 5 m/s in the direction of the jet and calculate the work done. (A)
- 6 A 8 cm diameter jet having a velocity of 40 m/s strikes a flat plate, the normal to which is inclined at 45° to the axis of Jet. Calculate the normal pressure on the plate when a) plate is stationary, b) plate is moving with velocity of 15 m/s and away from the jet. also determine the power and efficiency of jet. (A)

TLO 4.2 Explain the working of a hydroelectric power plant

- 7 Explain the working of a hydroelectric power plant with sketch. (U)
- 8 Classify Hydraulic Turbines. (U)
- 9 Explain the functions of various components of Hydraulic Turbines. (U)
- 10 Explain water storage systems and water wheel used in ancient India (IKS). (U)
- 11 Draw the general layout of hydraulic power plant. (A)

TLO 4.3 Explain the construction and working of a given hydraulic turbine along with velocity diagrams

- 12 Explain the construction and working of a Pelton Turbine along with its velocity diagram. (U)
- 13 Explain the construction and working of a Francis Turbine along with its velocity diagram. (U)
- 14 State the function of Breaking jet and draft tube (U)
- 15 Explain the construction and working of a Kaplan Turbine along with its velocity diagram. (U)

- | | | |
|----|--|------|
| 16 | Compare Impulse and Reaction turbine on the basis of input energy, flow direction, head and efficiency | (U) |
| 17 | List any four applications of Turbines. | (R) |
| 18 | Explain any two Draft tubes with a neat sketch. | (U) |

TLO 4.4 Select the suitable hydraulic turbine for a given application with justification

- | | | |
|----|---|-----|
| 19 | Select the turbine for a High-head, low-discharge hydroelectric power plant and explain the criteria used to make this selection. | (A) |
| 20 | Select the turbine for a High Discharge, low head hydroelectric power plant and explain the criteria used to make this selection. | (A) |
| 21 | Explain the Criteria for Selection of Hydraulic Turbines | (U) |
| 22 | Explain Cavitation in Turbines. | (U) |

TLO 4.5 Evaluate the performance of the given hydraulic turbine.

- | | | |
|----|--|-----|
| 23 | A pelton wheel having semicircular buckets is 0.5 m in diameter. Pressure head at nozzle when it is closed is 12 bar. The discharge when nozzle is open is 3.5 m ³ per min. if speed is 600 rpm, calculate the power developed by the wheel and its hydraulic efficiency. Take $C_v = 0.98$, $\eta_0 = 85\%$ | (A) |
| 24 | A pelton wheel having 1.5 m diameter operates under the following conditions: net available head = 300 m, speed = 300 rpm, coefficient of velocity = 0.95, blade angle = 165° , diameter of the jet = 20 cm, mechanical efficiency = 0.95, Determine, shaft power, specific speed and hydraulic efficiency. | (A) |
| 25 | A pelton wheel turbine is to operate under a head of 40 m, at 430 rpm, if the discharge is 11.5 m ³ /s and turbine efficiency is 90%, calculate the power generated by the turbine. | (A) |

5. सेंट्रीफ्यूगल आणि रेसिप्रोकेटिंग पंप (Centrifugal and Reciprocating Pumps)

विषय निष्पत्ती: दिलेल्या अनुप्रयोगासाठी योग्य हायड्रॉलिक टर्बाईन आणि पंप निवडा. (Select suitable hydraulic turbine and pump for the given application).

हायड्रॉलिक टर्बाईन आणि पंप यांच्या कार्यप्रदर्शनाचे मूल्यांकन करा. (Evaluate the performance of hydraulic turbines and pumps).

घटक निष्पत्ती

TLO 5.1: विविध प्रकारच्या हायड्रॉलिक पंपांची रचना आणि कार्यप्रणाली वर्णन करा. (Describe the construction and working of different types of hydraulic pumps)

TLO 5.2: दिलेल्या अनुप्रयोगासाठी योग्य हायड्रॉलिक पंप निवडा आणि त्याचे स्पष्टीकरण द्या. (Select the suitable hydraulic pump for given application with justification)

TLO 5.3: दिलेल्या हायड्रॉलिक पंपाचे कार्यप्रदर्शन मूल्यांकन करा. (Evaluate the performance of given hydraulic pump)

TLO 5.4: सेंट्रीफ्यूगल पंपातील ओळखलेला दोष दुरुस्त करण्यासाठी ट्रबलशूटिंग प्रक्रिया लागू करा. (Apply the troubleshooting procedure to rectify identified fault in centrifugal pump)

TLO 5.5: सेंट्रीफ्यूगल आणि रेसिप्रोकेटिंग पंप यांच्यातील फरक स्पष्ट करा. (Distinguish between centrifugal and reciprocating pump)

5.1. सेंट्रीफ्यूगल पंप (Centrifugal Pump)

हे असे उपकरण आहे जे यांत्रिक उर्जेचे (mechanical Energy) हायड्रॉलिक उर्जेमध्ये (Hydraulic Energy) किंवा दाब उर्जेमध्ये (Pressure Energy) केंद्रापसारक बलानुसार (centrifugal force) रूपांतरित करते.

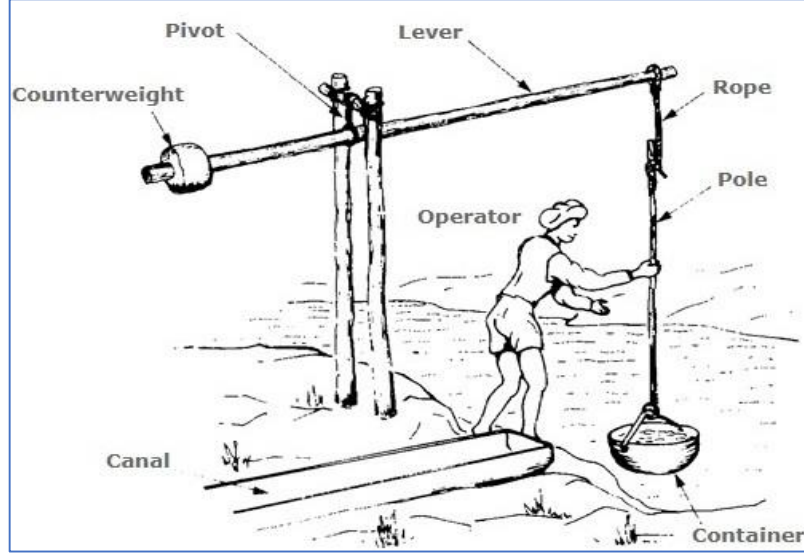


सेंट्रीफ्यूगल पंप
आकृती 5.1

(Source: <https://www.serfilco.com/products/pumps/magnetic-coupled-pumps/uc-centrifugal-pump/>)

5.1.1 प्राचीन काळात भारतात वापरलेली पाणी उचलण्याची साधने (Water lifting devices used in Ancient India (IKS))

प्राचीन भारतात अनेक प्रकारची पाणी उचलण्याची साधने वापरली जात होती जी शेतीसाठी, घरगुती, आणि इतर विविध कार्यासाठी उपयोगात येत होती. येथे काही महत्त्वाची साधने दिलेली आहेत.



शादुफ
आकृती 5.2

1. शादुफ (Shaduf)

शादुफ हे एक जुने आणि सोपे साधन आहे ज्याचा उपयोग विहिरी किंवा तळ्यातून पाणी उचलण्यासाठी केला जात होता यामध्ये एका लांब तुळईच्या एका टोकाला बादली किंवा भांडे आणि दुसऱ्या टोकाला वजन असायचे. यामध्ये वजन ओढून खाली करताच बादली पाण्यात बुडवली जायची आणि मग बादली वर उचलली जायची.

2. घाटयंत्र

या साधनामध्ये मडके किंवा भांडी दोरी किंवा साखळीला जोडलेली असायची, जी एका चाकाच्या किंवा ड्रमच्या भोवती फिरवली जायची. चाक फिरवल्याने मडके पाण्यात बुडवले जायचे आणि वर नेले जात, जिथे पाणी ओतले जायचे.

3. धेनकली (Lever System)



धेनकली
आकृती 5.3

धेनकली हे शादुफ सारखेच एक लीवर आधारित साधन आहे, परंतु ते अधिक साधे आहे. यामध्ये एक लांब लाकडी तुळई असते, ज्याच्या एका टोकाला बादली आणि दुसऱ्या टोकाला वजन असते. तुळईला मॅनुअली (manually) चालवून पाणी उचलले जाते.

4. अर्किमिडियन स्कू (Archimedean Screw)

हे उपकरण मूळात जरी ग्रीकांनी शोधले असले तरी, प्राचीन भारतातही त्याचा वापर केला जात असे. यामध्ये एक पोकळ पाईपमध्ये एक हेलिकल स्कू असतो. स्कू फिरवल्याने पाणी खालच्या स्तरावरून वरच्या स्तरावर नेले जाते.

5. नोरिया (Persian Wheel)



नोरिया (Persian Wheel)

आकृती 5.4

नोरिया हे एक पाणीचाक आहे ज्याच्या कडेला भांडी जोडलेली असतात. चाक फिरवल्याने, भांडी खालच्या स्तरावरून पाणी उचलतात आणि वरच्या स्तरावर ते ओततात.

6. रहाट (Water Wheel)

रहाट हे नोरिया प्रमाणेच असते, परंतु हे चाक प्रामुख्याने जनावरांनी फिरवले जाते. भांडी चाकाच्या कडेला असतात आणि ते पाणी खालून वर उचलतात.



रहाट (Water Wheel)

आकृती 5.5

7. पुली सिस्टम (pulley system)



पुली सिस्टम (pulley system)

आकृती 5.6

साधी पुली प्रणाली देखील वापरली जात होती, ज्यामध्ये एक दोरी आणि एक बादली वापरून विहिरीतून दोरीला ओढून पाणी उचलले जात होते. बादली पाण्यात बुडवली जाते आणि मग वर उचलली जाते.

8. सूत्र-यंत्र (दोरी आणि बादली)

सूत्र-यंत्र हे विहिरी किंवा जलाशयातून पाणी उचलण्यासाठी दोरी आणि बादली वापरून एक मूलभूत साधन आहे. ही पद्धत श्रम-केंद्रित आहे परंतु लहान प्रमाणात पाण्याच्या गरजांसाठी प्रभावी आहे.

5.1.2 सेंट्रीफ्यूगल पंपचे वर्गीकरण (Classification of centrifugal Pump)

1. यांत्रिक ऊर्जा रूपांतराच्या आधारावर-

a. रोटोडायनामिक पंप:

रोटोडायनामिक पंपमध्ये, ऊर्जा पातळीत वाढ ही केंद्रापसारक ऊर्जा(Centrifugal Energy), दाब ऊर्जा आणि गतिज ऊर्जा यांच्या संयोगामुळे होते.

रॅडियल प्रवाह पंप

अक्सियल प्रवाह पंप

मिक्सड प्रवाह पंप

b. पॉसिटीव्ह डिस्लेसमेंट पंप.

2. वैशिष्ट्यपूर्ण वैशिष्ट्यांच्या आधारावर

a. केसिंग नुसार :

(i) व्हॉल्यूट पंप

(ii) टर्बाइन पंप किंवा डिफ्यूजन(Diffusion) पंप.

b. वर्किंग हेड नुसार:

(i) कमी(लो) लिफ्ट सेंट्रीफ्यूगल पंप - हा पंप 15 मीटर उंची पर्यंत पाणी वितरित करण्यासाठी आपण वापरू शकतो.

(ii) मध्यम लिफ्ट सेंट्रीफ्यूगल पंप – हा पंप 15 मीटर ते 40 मीटर उंची पर्यंत वितरित करण्यासाठी आपण वापरू शकतो.

(iii) हाय लिफ्ट सेंट्रीफ्यूगल पंप -हा पंप 40 मीटरपेक्षा जास्त उंचीवर पाणी वितरित करण्यासाठी आपण वापरू शकतो.

c. इंपेल नुसार:

(i) ओपन इंपेलर पंप.

(ii) सेमी-ओपन इंपेलर पंप किंवा नॉन-क्लोग पंप(.).

(iii) क्लोज्ड इंपेलर पंप

d. इंपेलरच्या प्रति शाफ्ट संख्यानुसार:

(i) सिंगल स्टेज सेंट्रीफ्यूगल पंप -यात एक इंपेलर असतो, हा सहसा कमी लिफ्ट पंप प्रकारात असतो.

(ii) मल्टी-स्टेज सेंट्रीफ्यूगल पंप -यामध्ये दोन किंवा अधिक इंपेलर असतात आणि दबाव टप्प्यात मध्ये (Stages) तयार केला जातो; सामान्यतः उच्च कार्यरत हेडसाठी वापरले जातो. इम्पेलरचे टप्पे किती उंचीवर द्रव उचलायचा आहे त्यावर अवलंबून असते

e. इंपेलरच्या प्रवेशद्वारांची संख्या नुसार:

(i) सिंगल सक्शन पंप- सिंगल सक्शन पंप-यामध्ये इंपेलरच्या एका बाजूने पाणी प्रवेश करते.

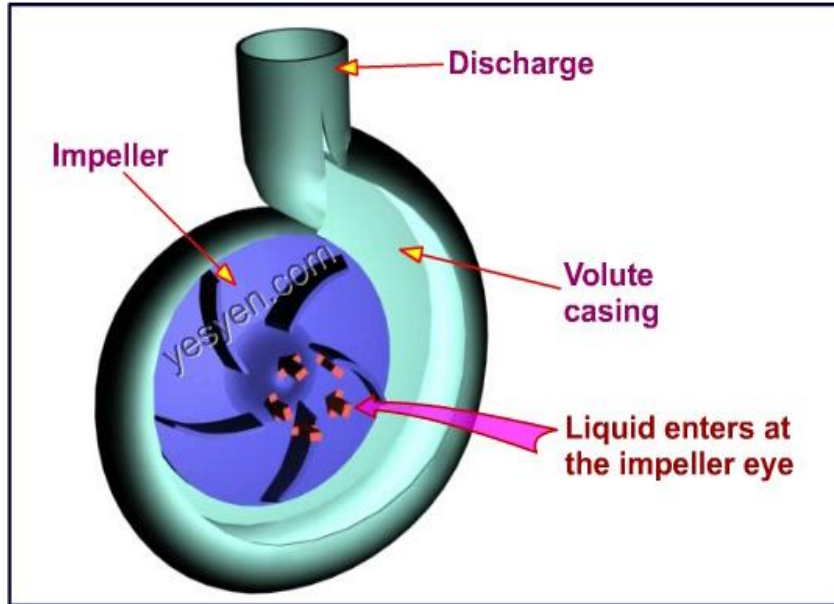
(ii) दुहेरी सक्शन पंप - दुहेरी सक्शन पंप - यामध्ये इंपेलरच्या दोन्ही बाजूंनी पाणी प्रवेश करते

f. इंपेलरद्वारे प्रवाहाच्या दिशेनुसार:

- (i) रॅडियल फ्लो पंप - सामान्यतः सर्व सेंट्रीफ्यूगल पंपांमध्ये रॅडियल फ्लो इंपेलर वापरले जातात.
- (ii) अक्सियल प्रवाह पंप - अक्सियल प्रवाह पंप - हा पंप तुलनेने कमी उंची पर्यंत जास्त प्रमाणात पाणी वितरीत करण्यासाठी आणि सिंचन हेतूसाठी आदर्शपणे उपयुक्त डिझाइन केलेले असतात
- (iii) मिक्सड प्रवाह पंप - हा पंप मुख्यतः सिंचन उद्देशासाठी वापरला जातो.

5.1.3 सेंट्रीफ्यूगल पंपचा कार्यसिद्धांत (Working Principle)

सेंट्रीफ्यूगल पंप हा एक प्रकारचा हायड्रॉलिक पंप आहे जो द्रवपदार्थाच्या गतीला आणि दाबाला वाढवण्यासाठी सेंट्रीफ्यूगल बलाचा वापर करतो: आहे खालीलप्रमाणे सिद्धांतकार्य त्याचा .
सेंट्रीफ्यूगल पंप द्रवपदार्थाच्या गतीला सेंट्रीफ्यूगल बलाच्या सहाय्याने वाढवितो आणि त्याचे दाबात रूपांतर करून द्रवपदार्थास आवश्यक दाबाने बाहेर पडण्यास सक्षम करतो पंपिंग द्रवपदार्थाचे प्रमाणात मोठ्या यामुळे .
औद्योगिक विविध आणि येते करता, कृषी आणि घरगुती वापरासाठी उपयुक्त ठरतो.



सेंट्रीफ्यूगल पंपचा कार्यसिद्धांत

आकृती 5.7

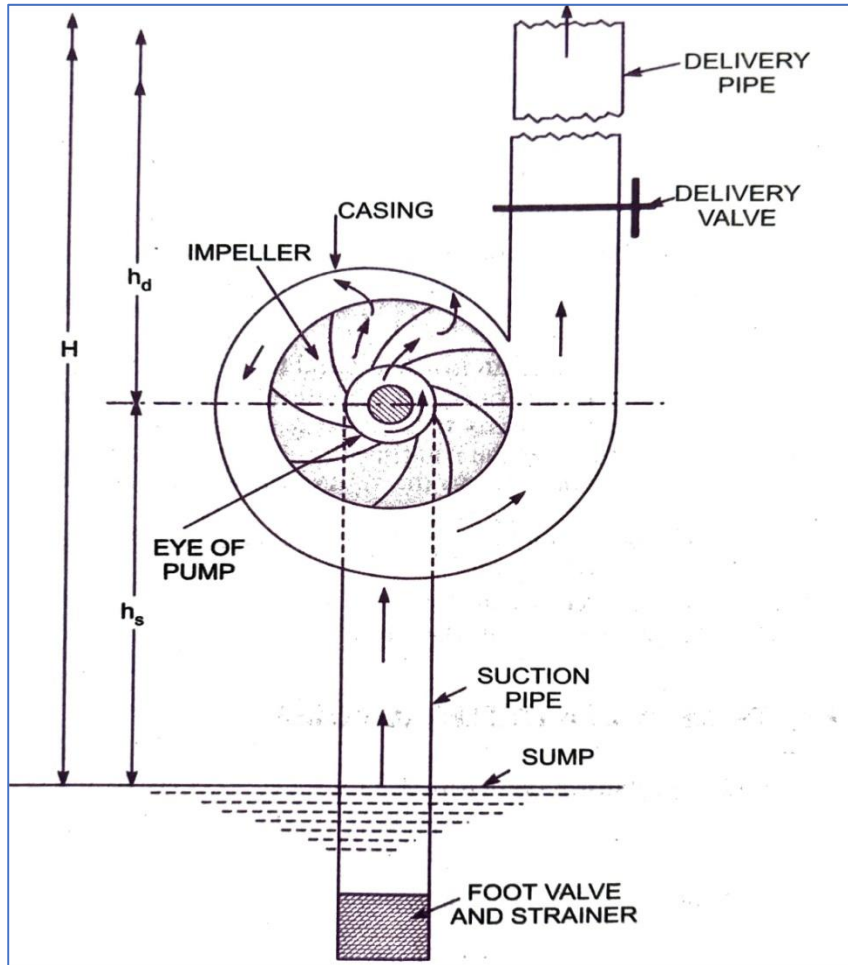
(Source: https://yesyen.com/centrifugal_pump_working_principle.php)

सेंट्रीफ्यूगल पंप द्रवपदार्थाच्या गतीला सेंट्रीफ्यूगल बलाच्या सहाय्याने वाढवितो आणि त्याचे दाबात रूपांतर करून द्रवपदार्थास आवश्यक दाबाने बाहेर पडण्यास सक्षम करतो पंपिंग द्रवपदार्थाचे प्रमाणात मोठ्या यामुळे .
औद्योगिक विविध आणि येते करता, कृषी आणि घरगुती वापरासाठी उपयुक्त ठरतो.

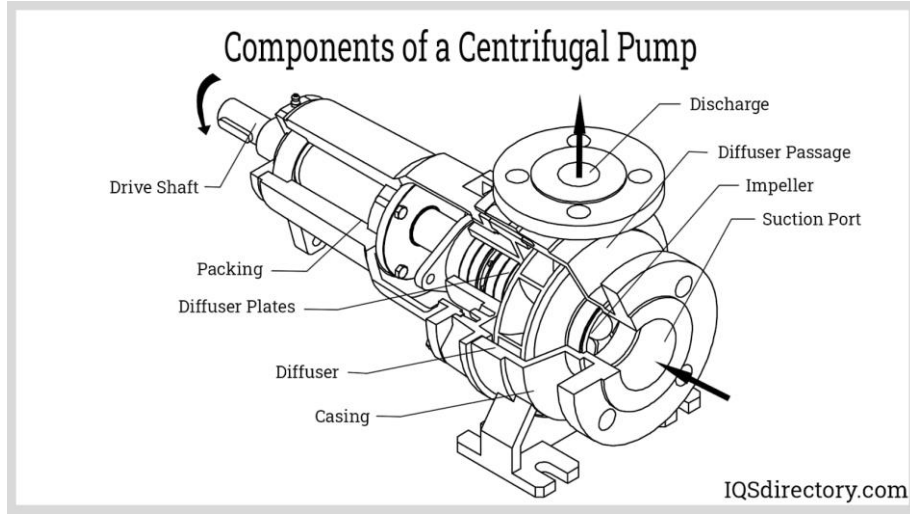
5.1.4. सेंट्रीफ्यूगल पंपची रचना (Construction of a centrifugal pump)

- 1) इंपेलर: यात मागे वक्र वेन्स असतात. इंपेलर एका शाफ्टवर बसवलेला असतो जो प्राइम मूव्हरच्या शाफ्टला जोडलेला असतो.
- 2) केसिंग: केसिंग म्हणजे इंपेलरच्या सभोवतालचा हवाबंद रस्ता. केसिंगमधून पाणी जात असताना, पाणी सोडण्यापूर्वी आणि डिलिव्हरी पाईपमध्ये प्रवेश करण्यापूर्वी गतीज उर्जेचे दाब उर्जेमध्ये रूपांतर होते.

- 3) सक्शन पाईप: हा एक पाईप आहे ज्याचे वरचे टोक सक्शन बाजूच्या पंपाने जोडलेले असते आणि खालचे टोक द्रव स्रोतामध्ये (Tank/reservoir) बुडलेले असते.
- 4) डिलिव्हरी पाईप: डिलिव्हरी पाईपचे खालचे टोक पंपच्या आउटलेटला जोडलेले असते आणि पाईप आवश्यक ऊंचीपर्यंत पाणी घेते आणि नंतर ते वितरित करते.
- 5) स्ट्रेनरसह फूट व्हॉल्व्ह: फूट व्हॉल्व्ह हा वन वे व्हॉल्व्ह आहे जो सक्शन पाईपच्या खालच्या बाजूला बसवला जातो. पाईपच्या खालच्या टोकाला स्ट्रेनर बसवलेले असते जे सक्शन पाईपमध्ये कचरा आणि अनावश्यक पदार्थांचा प्रवेश रोखण्यासाठी फिल्टर म्हणून काम करते.
- 6) प्राइम मूव्हर: याचा उपयोग पंपचा इंपेलर फिरवण्यासाठी केला जातो. सहसा या उद्देशासाठी इलेक्ट्रिक मोटर दिली जाते. इंपेलर शाफ्ट मोटर शाफ्टसह जोडलेले असतात.



सॅंट्रीफ्यूगल पंपची रचना
आकृती 5.8



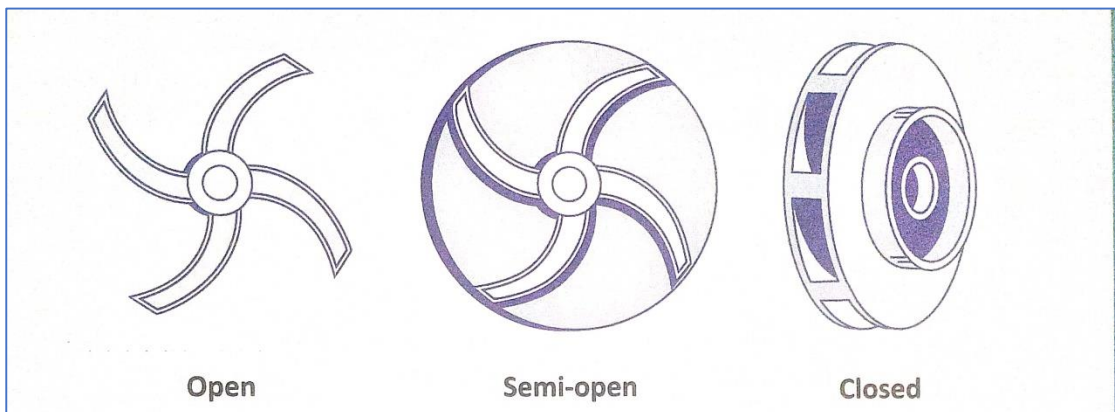
सेंट्रीफ्यूगल पंपची रचना
आकृती 5.9

(Source: <https://www.iqsdirectory.com/articles/centrifugal-pump.html>)

सेंट्रीफ्यूगल पंपचे कार्य (Working of centrifugal pump)

1. पंपाच्या आत इंपेलर फिरवण्याआधी हवा काढून टाकण्यासाठी, सक्शन पाईप, डिलिव्हर पाईप, इंपेलर पाण्याने भरले आहे की नाही याची खात्री केली जाते ही प्रक्रिया प्राइमिंग म्हणून ओळखली जाते .
2. हवेच्या उपस्थितीमुळे पाणी उचलण्यासाठी पुरेसे हेड निर्माण होणार नाही कारण घनता हवेची घनता पाण्याच्या घनतेपेक्षा खूपच कमी आहे.
3. रोटेशन सुरू होताच, एक सेंट्रीफ्यूगल हेड तयार होते जे पाण्याला उच्च गतिज ऊर्जा आणि दाबाचे हेड देते आणि पाणी बाहेरच्या दिशेने त्रिज्यातून विस्थापित होण्यास सुरवात होते, ज्यामुळे इंपेलरच्या मध्यभागी आयवर आंशिक निर्वात(Partial Vacuum) तयार होते ज्यामुळे पाणी उचलण्यास मदत होते आणि प्रवाहाची पातळी चालू राहते.
4. इंपेलर हे कायनेटिक हेड आणि प्रेशर हेड दोन्ही देते, त्यामुळे केसिंगच्या आत उपयुक्त प्रेशर हेडमध्ये रूपांतरित होते.

5.1.5 सेंट्रीफ्यूगल पंपमध्ये इंपेलरचे प्रकार



सेंट्रीफ्यूगल पंपमध्ये इंपेलरचे प्रकार
आकृती 5.10

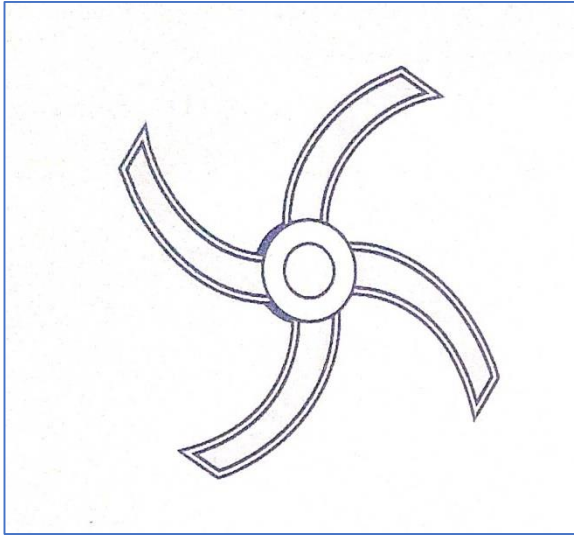
सेंट्रीफ्यूगल पंपांमध्ये, इंपेलर हा एक महत्वाचा घटक आहे जो पंपच्या कार्यक्षमतेत आणि कार्यक्षमतेमध्ये महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावतो. विविध प्रकारचे इंपेलर विविध द्रवपदार्थ हाताळण्यासाठी डिझाइन केलेले आहेत. सेंट्रीफ्यूगल पंपमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या इंपेलरचे प्राथमिक प्रकार येथे आहेत:

1. ओपन इंपेलर

यात मध्यवर्ती हबला जोडलेल्या वेन्स असतात ज्यामध्ये दोन्ही बाजूंना कोणतेही आच्छादन किंवा आवरण नसते. उपयुक्तता: जास्त प्रमाणात घन कचरा किंवा जास्त चिकट स्निग्धता (असलेल्या द्रवपदार्थ हाताळण्यासाठी योग्य आहे.

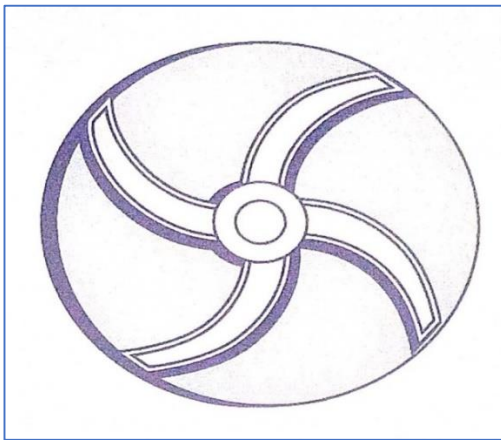
फायदे: साफ करणे आणि देखरेख करणे सोपे आहे, कचरा अडकून जाम होणे (clogging) होण्याची शक्यता कमी आहे.

तोटे: इतर प्रकारांच्या तुलनेत कमी कार्यक्षम तसेच वेन्स कव्हर नसलेल्या उघड्या असल्यामुळे जास्त झिज होते.



ओपन इंपेलर
आकृती 5.11

2. सेमी-ओपन इंपेलर



सेमी-ओपन इंपेलर
आकृती 5.12

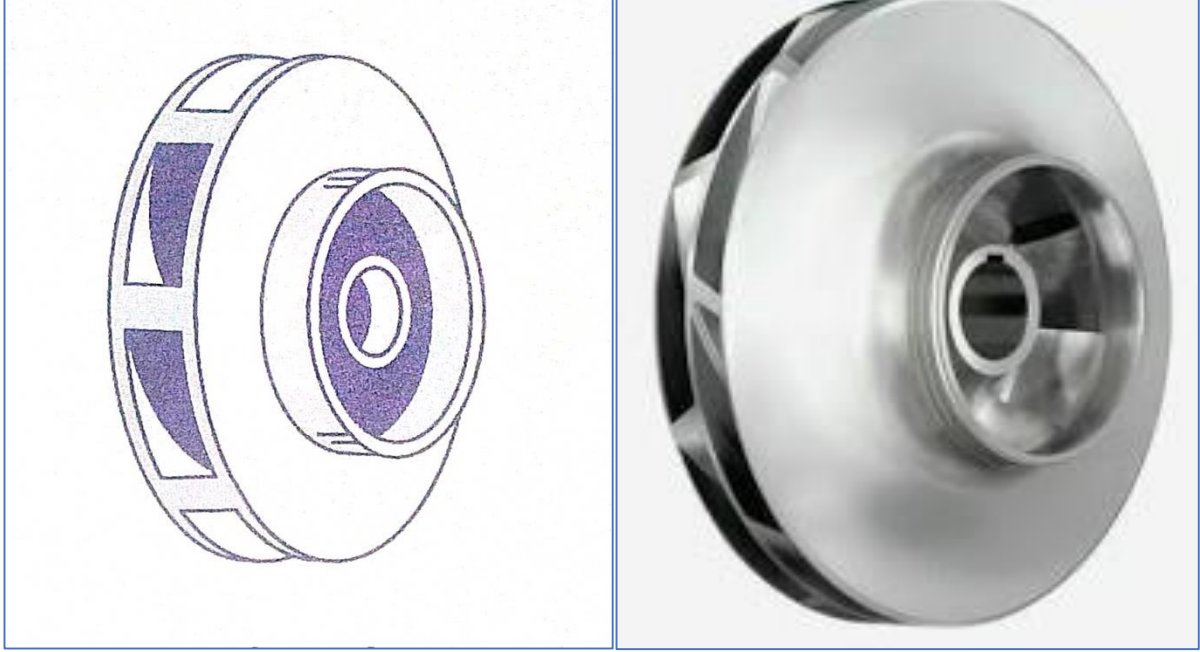
डिझाईन: वेन्सच्या एका बाजूला आच्छादन असते तसेच दुसरी बाजू उघडी असते

उपयुक्तता: किंचित चिकट द्रव असलेल्या द्रवांसाठी वापरले जाते.

फायदे: ओपन इम्पेलर्सपेक्षा चांगली कार्यक्षमता, क्लोग (कचरा अडकून जाम होणे) प्रतिरोध आणि कार्यक्षमता यांच्यात चांगले संतुलन असते

तोटे: यामध्ये मध्यम झिज होते तसेच ओपन इम्पेलरपेक्षा सुस्थितीत ठेवतांना किंचित अधिक जटिल असते .

3. क्लोज्ड इंपेलर



क्लोज्ड इंपेलर

आकृती 5.13

डिझाईन: यामध्ये दोन आच्छादन किंवा प्लेट्समध्ये वेन सँडविच केलेल्या असतात.

उपयुक्तता: उच्च-दाब अनुप्रयोगांची उत्तम हाताळणी करता येते.

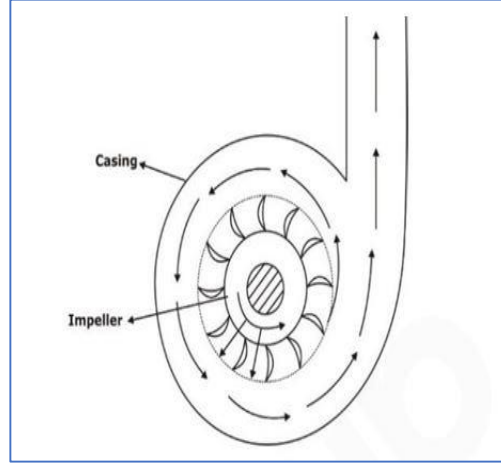
फायदे: याची कार्यक्षमता जास्त तसेच अक्सियल जोर कमी असतो.

तोटे: क्लोजिंगसाठी अधिक संवेदनाक्षम, राखण्यासाठी आणि स्वच्छ करण्यासाठी अधिक जटिल असतात.

5.1.6 सेंट्रीफ्यूगल पंपसाठी केसिंगचे प्रकार

1. व्हॉल्यूट केसिंग:

सेंट्रीफ्यूगल पंपमध्ये हा केसिंगचा सर्वात सामान्य प्रकार आहे .हे स्पिय स्पियरल आकाराचे वैशिष्ट्यीकृत आवरण आहे जे हळूहळू परिघामध्ये विस्तारते .व्हॉल्यूट केसिंग कार्यक्षम आणि उत्पादनास सोपे असतात.



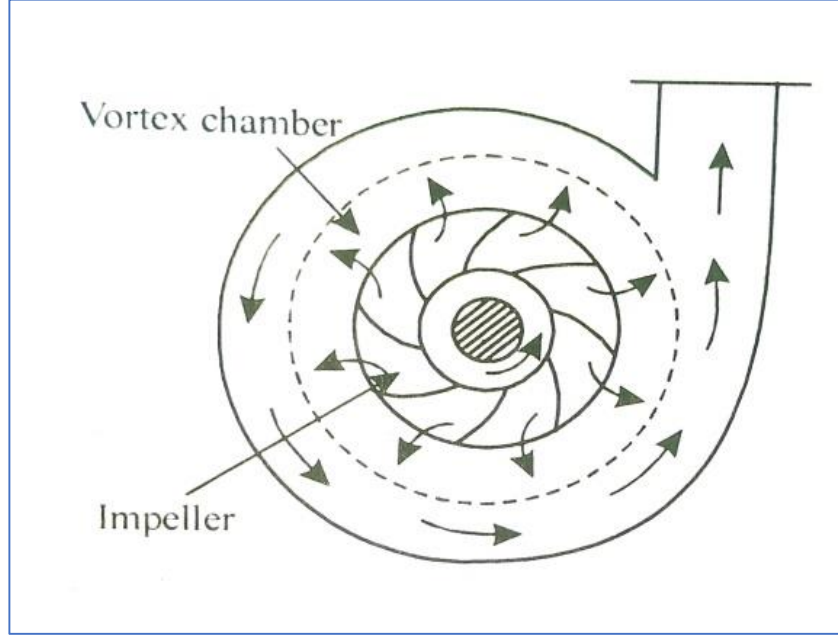
व्हॉल्युट केसिंग
आकृती 5.14



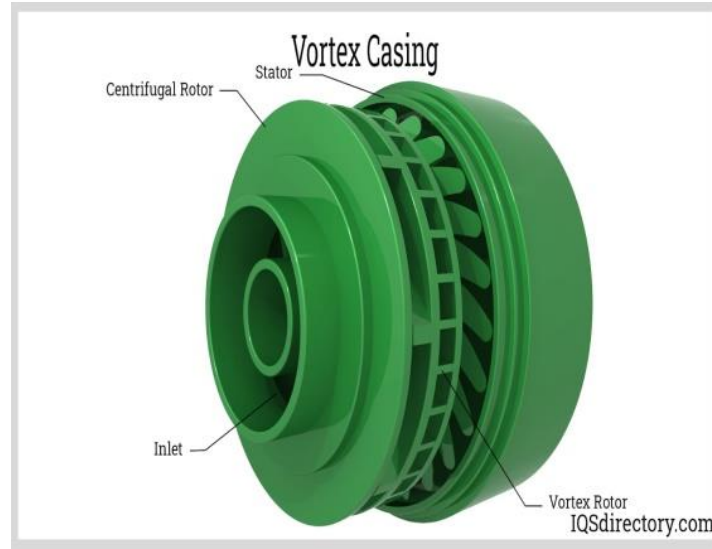
व्हॉल्युट केसिंग
आकृती 5.15

2. व्होर्टेक्स केसिंग:

या केसिंगमध्ये आवरण आणि इंपेलर यांच्यामध्ये एक वर्तुळाकार कक्ष दिलेला असतो, या वर्तुळाकार चेंबरमुळे एडीजच्या निर्मितीमुळे होणारे नुकसान कमी होतेप्रकारे अशा, व्हॉल्युट केसिंगच्या तुलनेत याची कार्यक्षमता जास्त असते



व्होर्टेक्स केसिंग
आकृती 5.16

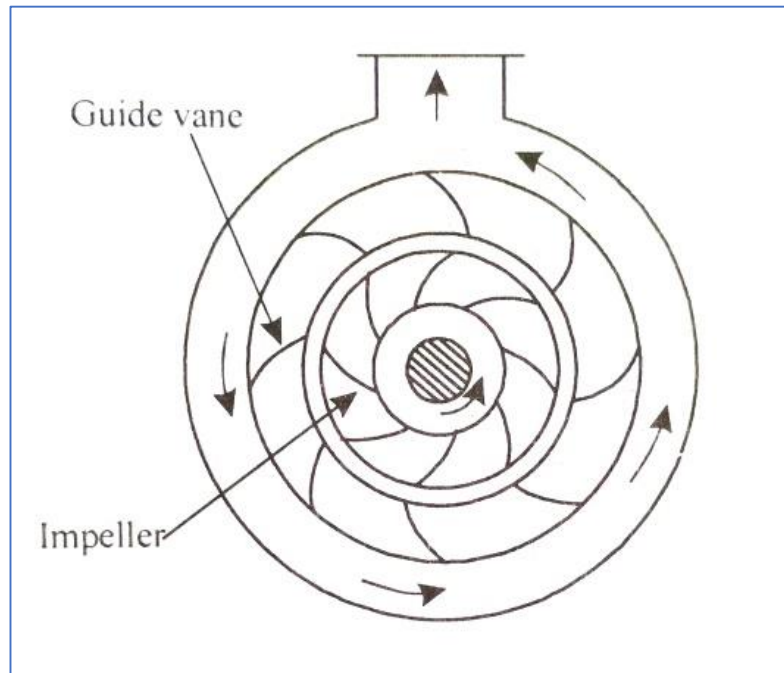


व्होर्टेक्स केसिंग
आकृती 5.17

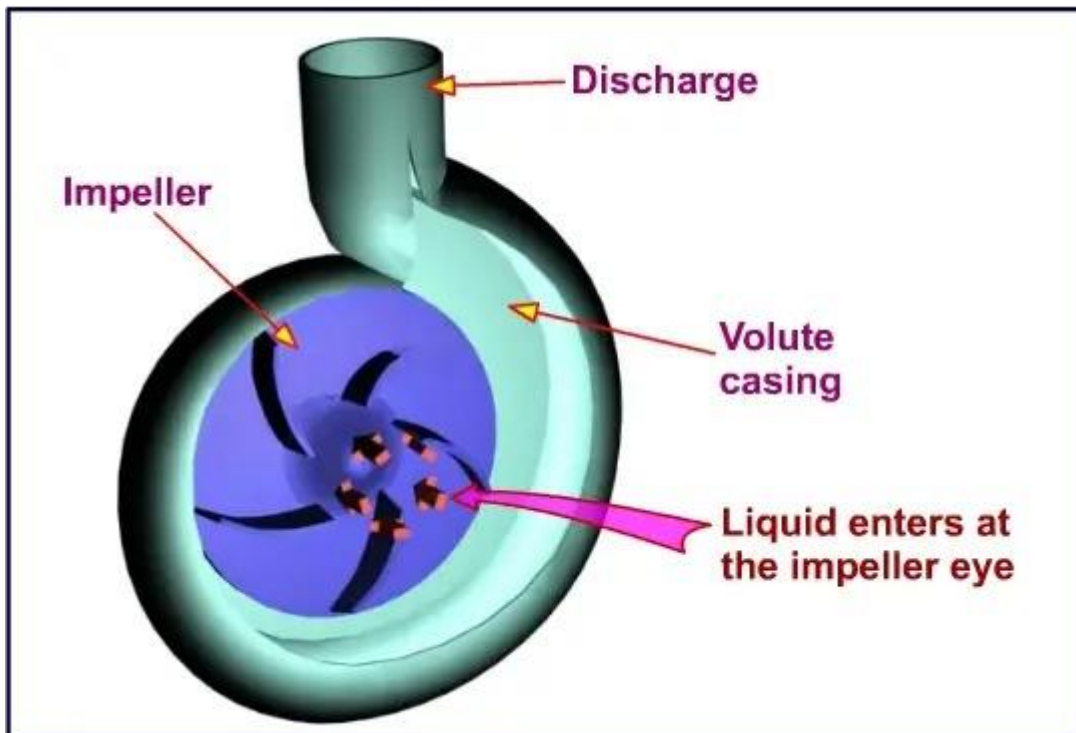
(<https://www.iqsdirectory.com/articles/centrifugal-pump.html>)

3. गाईड वेनसह केसिंग:

या केसिंगमध्ये इंपेलर एका रिंगवर बसविलेल्या गाईड वेनने वेढलेला असतो ज्याला डिफ्यूझर म्हणतात. यामध्ये गाईड वेनने क्षेत्रफळ वाढते जे गतिज ऊर्जेचे दाब उर्जेमध्ये रूपांतरित करते. वेन्सची रचना अशा प्रकारे केली गेली आहे की इंपेलरमधून पाणी शॉक न करता मार्गदर्शक व्हॅनमध्ये प्रवेश करते.



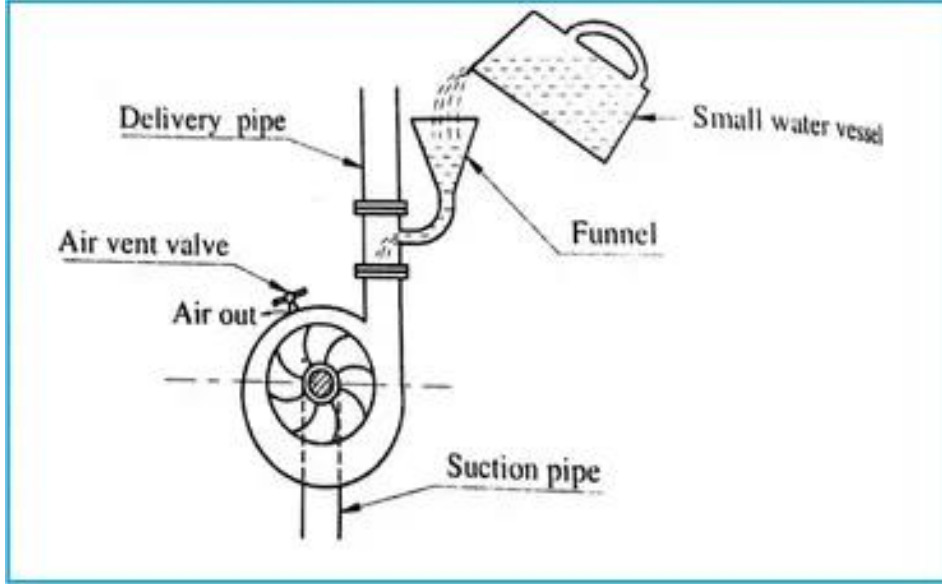
गार्ड वेनसह केसिंग
आकृती 5.18



गार्ड वेनसह केसिंग
आकृती 5.19

5.1.7 सेंट्रीफ्यूगल पंपचे प्राइमिंग

हे असे ऑपरेशन आहे ज्यामध्ये सक्शन पाईप, पंपचे केसिंग आणि डिलिव्हरी व्हॉल्व्हर्यंतच्या डिलिव्हरी पाईपचा काही भाग पूर्णपणे द्रवाने भरला जातो.



सेंट्रीफ्यूगल पंपचे प्राइमिंग
आकृती 5.20

उद्देश: या भागांतील हवा काढून टाकली जाते आणि पंप करण्यासाठी संपूर्ण जागा द्रवाने भरली जाते पंप खालीलपैकी कोणत्याही पद्धतींनी प्राइम केले जाऊ शकतात.

1. स्व हस्ते (self priming)
2. व्हॅक्यूम पंपसह
3. जेट पंप सह
4. विभाजक सह

5.1.8 पंपमधील वेगवेगळं हेडचे प्रकार

1. सक्शन हेड: सक्शन हेड म्हणजे इंपेलरच्या मध्यवर्ती रेषेपासून सक्शन पाईपच्या शेवटच्या टोक पर्यंतची उंची असते.
2. डिलिव्हरी हेड (h_d): डिलिव्हरी हेड म्हणजे इंपेलरच्या मध्यवर्ती रेषेपासून ते डिलिव्हरी पाईपपर्यंत असते.
3. स्टॅटिक हेड (H_s): सक्शन हेड आणि डिलिव्हरी हेडची बेरीज स्टॅटिक हेड म्हणजे स्टॅटिक हेड असते. गणितानुसार, स्टॅटिक हेड (H_s) = सक्शन हेड (h_s) + डिलिव्हरी हेड (h_d).
4. मॅनोमेट्रिक हेड (H_m): किती वास्तविक उंची पर्यंत पंप द्रव्य (Liquid) उचलू शकतो म्हणजेच मॅनोमेट्रिक हेड असते. हे पंपच्या इनलेट आणि आउटलेटमधील प्रेशर हेडमधील फरकासारखे आहे.
5. एकत्रित प्रभावी हेड: - प्रभावी हेड म्हणजे स्टॅटिक हेड (H_s) सक्शन आणि डिलिव्हरी पाईप मधील वेगवेगळ्या लॉसेस (हानी) यांची बीजगणितीय बेरीज असते.
6. नेट पॉझिटिव्ह सक्शन हेड (NPSH): पंप सक्शनमधील द्रव दाब आणि द्रव स्तंभाच्या उंचीनुसार व्यक्त केलेले द्रव वाष्प दाब यांच्यातील फरक म्हणून त्याची व्याख्या केली जाऊ शकते. हे नेट हेड मीटरमध्ये आहे जे कि सक्शन पाईपमध्ये द्रव आणण्यासाठी आवश्यक असते .

गणितीयदृष्ट्या, नेट पॉझिटिव्ह सक्शन हेड म्हणजे पंपाच्या इनलेटमधील निरपेक्ष दाब हेड (Absolutue Pressure head) आणि गतिज हेड (Velocity head) तसेच निरपेक्ष बाष्प दाब (absolute vapour pressure head) यांची वजाबाकी असते .

5.1.9 सेंट्रीफ्यूगल पंपाने केलेले कार्य (work done)

सेंट्रीफ्यूगल पंपासाठी वेग त्रिकोण (Velocity Traingle)

सेंट्रीफ्यूगल पंपचे कार्य पाण्यावर इंपेलरद्वारे केले जाते. वर्कडन एक्सप्लेशन वेग त्रिकोण काढून मिळवता येते.

सेंट्रीफ्यूगल पंप पाण्यासाठी

H_m = मॅनोमेट्रिक हेड मीटर्स मध्ये

N = इंपेलरचा rpm मध्ये वेग

D_1 = इंपेलरचा इनलेटवर व्यास मीटर्स मध्ये

B_1 = इंपेलरची इनलेटवर रुंदी मीटर्स मध्ये

D_2 = आउटलेटचा व्यास मीटर्स मध्ये

B_2 = आउटलेटची रुंदी मीटर्स मध्ये

Θ = इनलेटवर वेन अँगल डिग्रीज मध्ये

Φ = आउटलेटवर वेन एंगल डिग्रीज मध्ये

u_1 = इनलेटवर इंपेलरचा स्पर्शक वेग (Tangential velocity at inlet)

V_1 = इनलेटवर पाण्याचा परिपूर्ण वेग (Absolute velocity at inlet)

V_{r1} = इनलेटवर पाण्याचा सापेक्ष वेग (Relative velocity at inlet)

u_2 = आउटलेटवर इंपेलरचा स्पर्शक वेग (Tangential velocity at outlet)

V_2 = आउटलेटवर पाण्याचा परिपूर्ण वेग (Relative velocity at outlet)

V_{r2} = आउटलेटवर पाण्याचा सापेक्ष वेग (Relative velocity at outlet)

$$u_1 = \frac{\pi D_1 N}{60}$$

$$V_1 = V_{f1}$$

$$\tan \Theta = \frac{V_1}{V_{f1}}$$

$$\text{डिस्चार्ज (Q)} = \pi D_1 B_1 V_{f1}$$

$$\text{डिस्चार्ज (Q)} = \pi D_2 B_2 V_{f2}$$

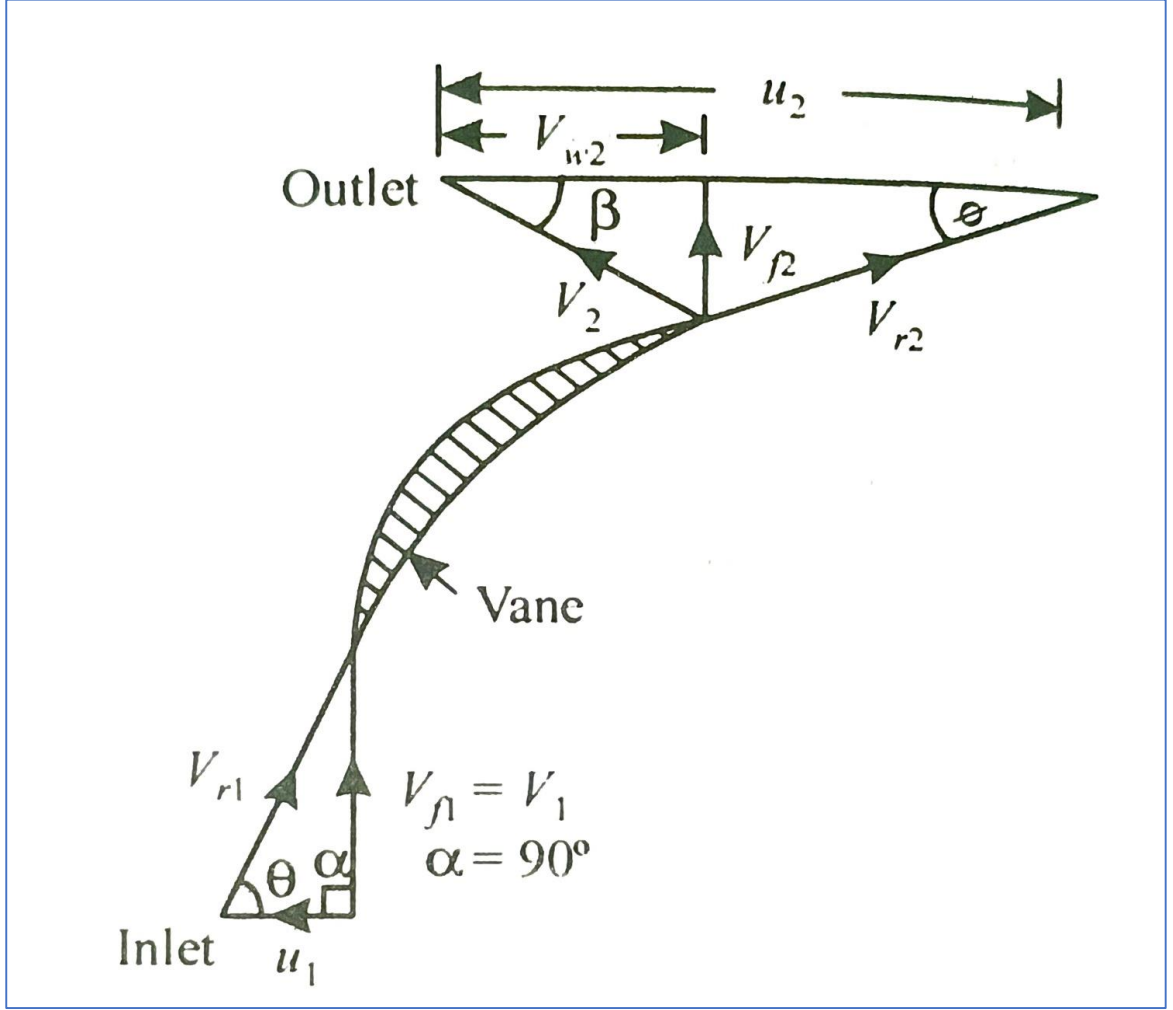
$$\tan \Phi = \frac{V_{f2}}{u_2 - V_{w2}}$$

$$u_2 = \frac{\pi D_2 N}{60}$$

$$V_{f2} = (u_2 - V_{w2}) \times \tan \Phi$$

$$\text{पाण्याने रनरवर प्रति सेकंद प्रति युनिट वजनावर केलेले कार्य} = \left(\frac{V_{w2} u_2}{g} \right)$$

इथे $V_{w1} = 0$ असतो कारण इनलेट वर रॅडियल डिस्चार्ज असतो .



वेग त्रिकोण

आकृती 5.21

5.1.10 सेंट्रीफ्यूगल पंपच्या विविध कार्यक्षमता (Efficiency)

i) मॅनोमेट्रिक हेड कार्यक्षमता: मॅनोमेट्रिक हेड आणि पाण्याला इंपेलरने दिलेले हेड यांच्या गुणोत्तराला मॅनोमेट्रिक कार्यक्षमता म्हणून ओळखले जाते.

गणितीय भाषेमध्ये,

$$\eta_{\text{mano}} = \frac{\text{मॅनोमेट्रिक हेड}}{\text{पाण्याला इंपेलरने दिलेले हेड}}$$

$$\eta_{\text{mano}} = \frac{gHm}{Vw_2 u_2}$$

ii) यांत्रिक कार्यक्षमता: सेंट्रीफ्यूगल पंपाच्या इंपेलरमध्ये उपलब्ध असलेली पावर आणि शाफ्ट पावर यांच्या गुणोत्तराला यांत्रिक कार्यक्षमता म्हणून ओळखले जाते.

गणितीय भाषेमध्ये,

$$\eta_m = \frac{\text{पंपाच्या इंपेलरमध्ये उपलब्ध असलेली पावर}}{\text{शाफ्ट पावर}}$$

$$\eta_m = \frac{\frac{W}{g} \left(\frac{V_{w2} u_2}{1000} \right)}{S.P}$$

iii) एकूण कार्यक्षमता: पंपमधील आउटपुट पावर आणि पंपमधील इनपुट पावर यांच्या गुणोत्तराला एकूण कार्यक्षमता (Overall efficiency) म्हणून ओळखले जाते.

गणितीय भाषेमध्ये,

$$\eta_O = \eta_{mano} \times \eta_m$$

सेंट्रीफ्यूगल पंपांच्या कार्यक्षमतेवर आधारीत उदाहरणे

Example 1: A centrifugal pump delivers water against a net head of 15m and a design speed of 1440 rpm. The vanes are curved back at an angle of 30° with the periphery. The impeller diameter is 300 mm and outlet width is 50 mm. Determine the discharge of the pump and power required to drive the pump if manometric efficiency is 96%.

उपाय(Solution):

दिलेली माहिती:

नेट हेड = 15 मी

गती = 1440 rpm मध्ये

आउटलेटचा वेन एंगल $\phi = 30^\circ$

बाह्य व्यास(D_2) = 300mm = 0.3m

आउटलेटची बाह्य रुंदी (B_2) = 50 mm = 0.05 m

मॅनोमेट्रिक कार्यक्षमता = 96% = 0.96

शोधा :1. डिस्चार्ज

2. पंप चालविण्यासाठी लागणारी पॉवर(P)

उत्तर :1. डिस्चार्ज (Q)

आउटलेट वर इंपेलरचा स्पर्शक वेग,

$$u_2 = \frac{\pi D_2 N}{60}$$

$$u_2 = \frac{\pi \times 0.3 \times 1440}{60}$$

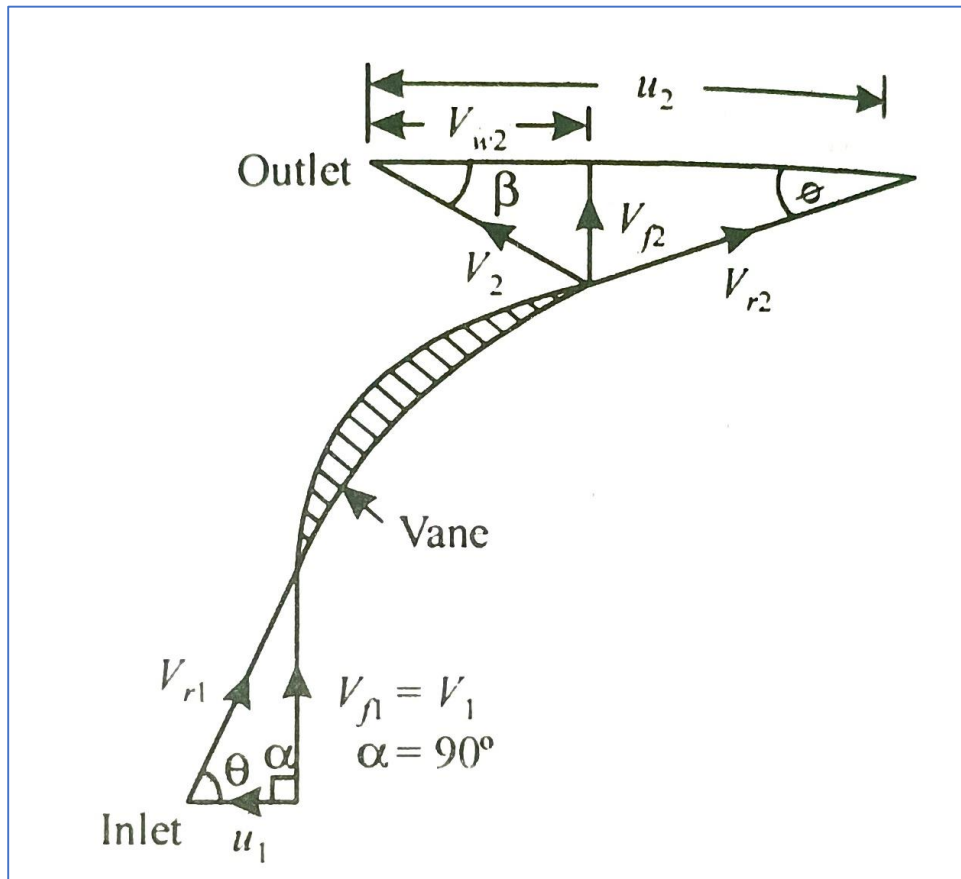
$u_2 = 22.61 \text{ m/s}$ आउटलेट वर इंपेलरचा स्पर्शक वेग

$$\eta_{mano} = \frac{g H_m}{V_{w2} u_2}$$

$$0.96 = \frac{9.81 \times 15}{V_{w2} \times 22.61}$$

$$\therefore V_{w2} = \frac{9.81 \times 15}{0.96 \times 22.61}$$

$$V_{w2} = 6.77 \text{ m/s}$$



वेग त्रिकोणातून

$$\tan \Phi = \frac{V_{f2}}{u_2 - V_{w2}}$$

$$\tan 30 = \frac{V_{f2}}{(22.61 - 6.77)}$$

आउटलेट वर इंपेलरचा प्रवाह वेग (Flow velocity at outlet)

$$\therefore V_{f2} = \frac{V_{f2}}{15.84}$$

$$V_{f2} = 15.84 \times \tan 30$$

$$V_{f2} = 9.84 \text{ m/s} \dots\dots\dots \text{आउटलेट वर इंपेलरचा प्रवाह वेग}$$

$$\text{डिस्चार्ज (Q)} = \pi D_2 B_2 V_{f2}$$

$$\text{डिस्चार्ज (Q)} = \pi \times 0.3 \times 0.05 \times 9.84$$

$$\text{डिस्चार्ज (Q)} = 0.46 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$2. \text{ पंप चालविण्यासाठी लागणारी पॉवर (P)} = \rho \times g \times Q \times H_m$$

$$\text{पॉवर (P)} = 1000 \times 9.81 \times 0.46 \times 15$$

$$\text{पॉवर (P)} = 67689 \text{ W}$$

$$\text{पॉवर (P)} = 67.68 \text{ kW}$$

Example 2: The impeller of a centrifugal pump having external and internal diameters 600 mm and 300 mm respectively, width at outlet is 50 mm and running at 1200 rpm works against a head of 80 m. The velocity of flow through the impeller is constant and equal to 3 m/s. The vanes are set back at an angle of 25° at outlet. Determine: (i) Work done by the impeller on water per second, (ii) Manometric efficiency.

उपाय(Solution):

दिलेली माहिती: नेट हेड = 80 m

गती = 1200 rpm

आउटलेटचा वेन एंगल $\Phi = 25^\circ$

बाह्य व्यास (D_2) = 600 mm = 0.6m

अंतर्गत व्यास (D_1) = 300 mm = 0.3m

आउटलेटवर रुंदी = 50 मिमी = 0.05 m

आउटलेटवर प्रवाह वेग (V_{f2}) = 3 m/s

शोधा: (i) इंपेलरने प्रति सेकंद पाण्यावर केलेले कार्य (ii) मॅनोमेट्रिक कार्यक्षमता

उत्तर: 1. काम प्रति सेकंद = $\frac{V_{w2}u_2}{g}$

आउटलेट वर इंपेलरचा स्पर्शक वेग,

$$u_2 = \frac{\pi D_2 N}{60}$$

$$u_2 = \frac{\pi \times 0.6 \times 1200}{60}$$

$u_2 = 37.91 \text{ m/s}$ आउटलेट वर इंपेलरचा स्पर्शक वेग

वेग त्रिकोणातून

$$\tan \Phi = \frac{V_{f2}}{u_2 - V_{w2}}$$

$$\tan \Phi = \frac{3}{37.91 - V_{w2}}$$

$$37.91 - V_{w2} = \frac{3}{\tan 25}$$

$$37.91 - V_{w2} = 6.43$$

$$V_{w2} = 31.48 \text{ m/s}$$

$$\text{प्रति सेकंद केलेले काम} = \frac{V_{w2}u_2}{g}$$

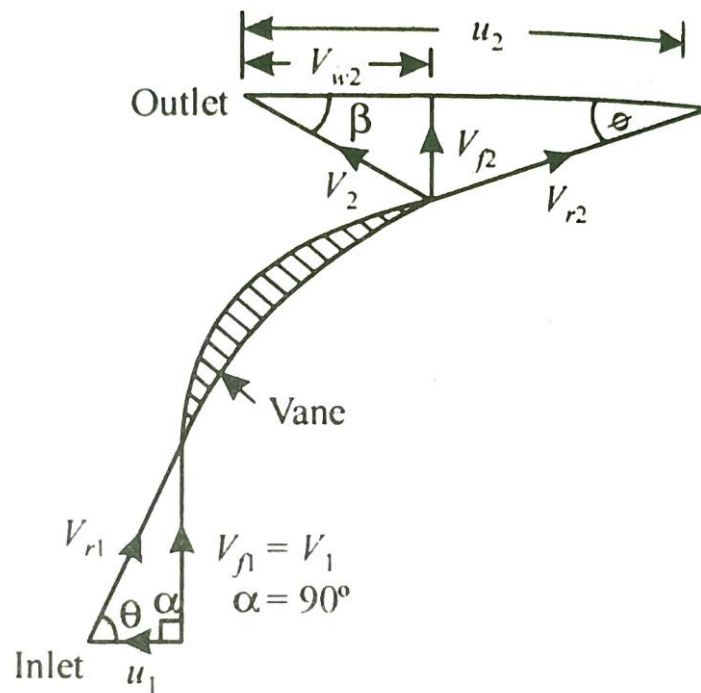
$$\text{प्रति सेकंद केलेले काम} = \frac{(31.48 \times 37.91)}{9.81}$$

$$\text{काम प्रति सेकंद} = 121.65 \text{ Nm/s}$$

$$2. \text{ मनोमेट्रिक कार्यक्षमता } (\eta_{\text{mano}}) = \frac{gHm}{V_{w2}u_2}$$

$$\text{मनोमेट्रिक कार्यक्षमता } (\eta_{\text{mano}}) = \frac{9.81 \times 80}{31.48 \times 37.91}$$

$$\text{मनोमेट्रिक कार्यक्षमता } (\eta_{\text{mano}}) = 65.76\%$$



Example 3: The centrifugal pump has an outer diameter equal to the two times the inner diameter which is running at 1100 RPM when working against the head of 45m. The velocity of flow through the impeller is constant and is equal to 2.7m/s. The vanes are set back at an angle of 35° at the outlet if the outer diameter of impeller is 500mm and width at outlet is 45mm find-i) Work done per second ii) Vane angle at inlet iii) Discharge

उपाय(Solution):

दिलेली माहिती: नेट हेड = 45 m

गती = 1100 rpm

आउटलेटवर वेन एंगल (Φ) = 35°

बाह्य व्यास (D_2) = 500 mm = 0.5m

अंतर्गत व्यास (D_1) = 250 mm = 0.25m

आउटलेटवर रुंदी (B_2) = 45 mm = 0.045m

प्रवाह वेग (V_{f1}) = (V_{f2}) = 2.7 m/s.

शोधा:: (i) इंपेलरने पाण्यावर प्रति सेकंद केलेले काम, (ii) इनलेटवर वेन एंगल (iii) डिस्चार्ज

उत्तर: 1.प्रति सेकंद केलेले काम = $\frac{V_{w2}u_2}{g}$

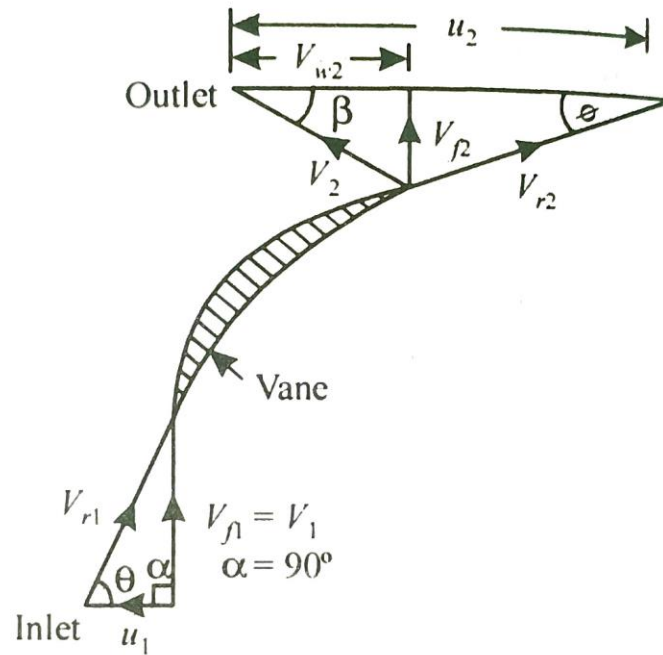
आउटलेट वर इंपेलरचा स्पर्शक वेग,

$$u_2 = \frac{\pi D_2 N}{60}$$

$$u_2 = \frac{\pi \times 0.5 \times 1100}{60}$$

$$u_2 = 26.17 \text{ m/s} \dots\dots\dots \text{आउटलेट वर इंपेलरचा स्पर्शक वेग}$$

वेग त्रिकोणातून



$$\tan \Phi = \frac{Vf_2}{u_2 - Vw_2}$$

$$\tan 35 = \frac{2.7}{26.17 - Vw_2}$$

$$26.17 - Vw_2 = \frac{2.7}{\tan 35}$$

$$26.17 - Vw_2 = 3.85$$

$$Vw_2 = 22.32 \text{ m/s}$$

$$\text{प्रति सेकंद केलेले काम} = \frac{Vw_2 u_2}{g}$$

$$\text{प्रति सेकंद केलेले काम} = \frac{22.32 \times 26.17}{9.81}$$

$$\text{प्रति सेकंद केलेले काम} = 59.54 \text{ Nm/s}$$

ii) इनलेटवर वेन एंगल(θ)

इनलेटवर इंपेलरचा स्पर्शक वेग

इनलेटवर वर इंपेलरचा स्पर्शक वेग,

$$u_1 = \frac{\pi D_1 N}{60}$$

$$u_1 = \frac{\pi \times 0.250 \times 1100}{60}$$

$$u_1 = 14.39 \text{ m/s} \dots\dots\dots \text{इंपेलरचा स्पर्शक वेग इनलेटवर}$$

$$\tan \theta = \frac{Vf_1}{u_1}$$

$$\tan \theta = \frac{2.7}{14.39}$$

$$\text{इनलेटवर वेन एंगल}(\theta) = 10.62^\circ$$

$$\text{iii) पंपाचे डिस्चार्ज (Q)} = \pi D_2 B_2 V_{f2}$$

$$\text{डिस्चार्ज (Q)} = \pi \times 0.5 \times 0.045 \times 2.7$$

$$\text{डिस्चार्ज (Q)} = 0.19 \text{ m}^3/\text{s}$$

Example 4: A centrifugal pump is to discharge 120 liters/sec at the speed of 1300 rpm against the head of 30m. Impeller diameter at outlet is 350mm; its width at outlet is 40mm and manometric head if manometric efficiency is 90%. Determine vane angle at the outlet by considering radial entry of water at inlet.

उपाय(Solution):

दिलेली माहिती: मनोमेट्रिक हेड = 30 m

गती = 1440 rpm

बाह्य व्यास(D_2) = 350 mm = 0.35m

आउटलेटवर रुंदी(B_2) = 40 mm = 0.04m

मनोमेट्रिक कार्यक्षमता = 90% = 0.90

डिस्चार्ज (Q) = 120 lit/sec = 120/1000 = 0.12m³/s

शोधा: आउटलेटवर वेन एंगल

उत्तर:1. आउटलेटवर वेन कोन

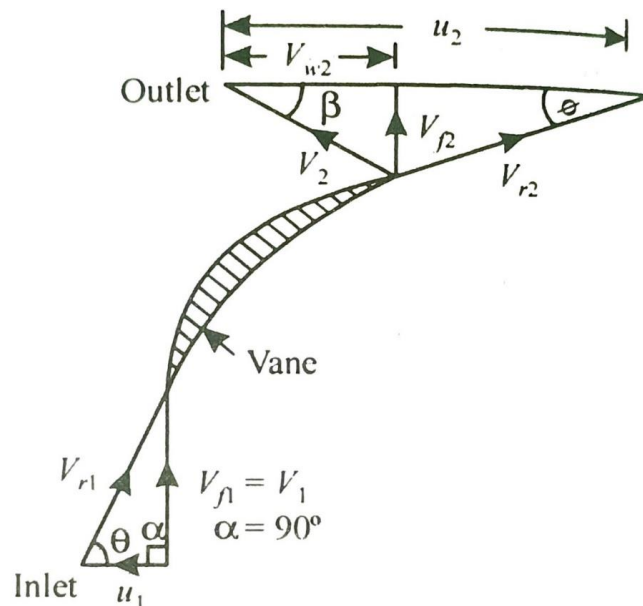
वेग त्रिकोणातून

$$\tan \Phi = \frac{V_{f2}}{u_2 - V_{w2}}$$

$$\text{इंपेलरचा आउटलेट वर स्पर्शक वेग } u_2 = \frac{\pi D_2 N}{60}$$

$$u_2 = \frac{\pi \times 0.35 \times 1300}{60}$$

$$u_2 = 23.82 \text{ m/s} \dots\dots\dots \text{इंपेलरचा स्पर्शक वेग आउटलेट वर}$$



$$\text{माहित आहे की डिस्चार्ज (Q)} = \pi D_2 B_2 V_{f_2}$$

$$0.120 = \pi \times 0.35 \times 0.040 \times V_{f_2}$$

$$V_{f_2} = \frac{0.120}{\pi \times 0.35 \times 0.040}$$

$$V_{f_2} = \frac{0.120}{0.043}$$

$$V_{f_2} = 2.79 \text{ m/s} \dots\dots\dots \text{इंपेलरचा प्रवाह वेग आउटलेट वर}$$

$$\text{आता, मनोमेट्रिक कार्यक्षमता } (\eta_{\text{mano}}) = \frac{gHm}{Vw_2 u_2}$$

$$\text{मनोमेट्रिक कार्यक्षमता } (\eta_{\text{mano}}) = 0.90 = \frac{9.81 \times 30}{Vw_2 \times 23.82}$$

$$Vw_2 = \frac{9.81 \times 30}{0.90 \times 23.82}$$

$$\therefore Vw_2 = 13.72 \text{ m/s}$$

वेग त्रिकोणातून

$$\tan \Phi = \frac{2.79}{23.82 - 13.72}$$

$$\Phi = 15.44^\circ \dots\dots\dots \text{आउटलेटवर इंपेलरचा वेग कोन}$$

5.1.11 सेंट्रीफ्यूगल पंपांची कार्यप्रदर्शन वैशिष्ट्ये

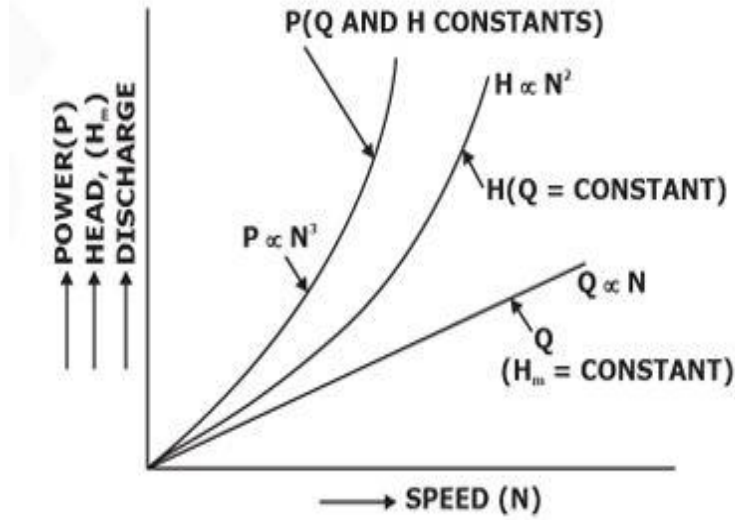
सेंट्रीफ्यूगल पंपावर केलेल्या अनेक चाचण्यांच्या परिणामांवरून जे वक्र आलेख केले जातात त्यांना पंपच्या कार्यप्रदर्शन वक्र आलेख असे म्हणतात. जेव्हा पंप वेगवेगळ्या प्रवाह दर, उंची आणि गती अंतर्गत काम करत असतो तेव्हा पंपच्या वर्तनाचा आणि कार्यक्षमतेचा अंदाज लावण्यासाठी हे वक्र आलेख महत्त्वाचे असतात. पंपासाठी खालील महत्त्वाचे वैशिष्ट्यपूर्ण वक्र आलेख आहेत:

1. मुख्य वैशिष्ट्यपूर्ण वक्र आलेख
2. ऑपरेटिंग वक्र आलेख
3. स्थिर कार्यक्षमता किंवा मशेल वक्र आलेख

5.1.11.1 मुख्य वैशिष्ट्यपूर्ण वक्र आलेख

सेंट्रीफ्यूगल पंपच्या मुख्य वैशिष्ट्यपूर्ण वक्र आलेख मध्ये हेड (मॅनोमेट्रिक हेड - H_m), शक्ती आणि वेगाच्या संदर्भात डिस्चार्ज यांचा समावेश असतो.

- मॅनोमेट्रिक हेड विरुद्ध स्पीडच्या वक्र आलेख प्लॉटिंगसाठी, डिस्चार्ज स्थिर ठेवला जातो.
- वेग विरुद्ध डिस्चार्जचे वक्र आलेख प्लॉटिंगसाठी, मॅनोमेट्रिक हेड (H_m) स्थिर ठेवले जाते आणि पॉवर विरुद्ध गतीचे वक्र आलेख प्लॉट करण्यासाठी, मॅनोमेट्रिक हेड आणि डिस्चार्ज स्थिर ठेवले जातात.

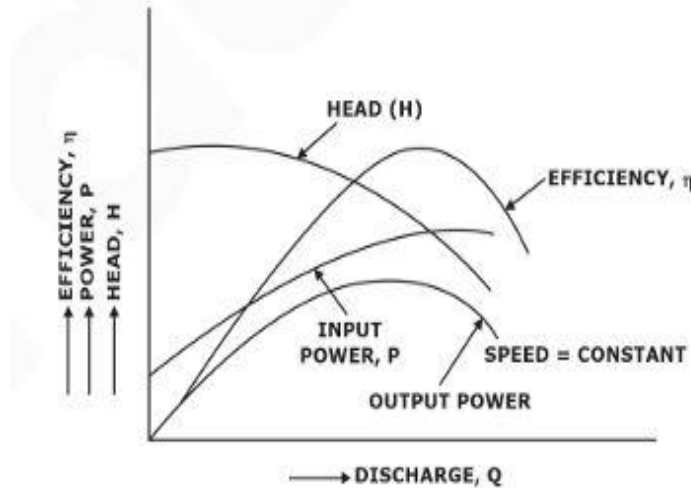


सेंट्रीफ्यूगल पंपचे मुख्य वैशिष्ट्यपूर्ण वक्र आलेख
आकृती 5.22

- H_m विरुद्ध वेग (N) चा आलेख तयार करण्यासाठी, डिस्चार्ज स्थिर ठेवला जातो. कारण $\sqrt{H_m} \propto DN$ हा स्थिरांक आहे.
- $H \propto N^2$, याचा अर्थ पंपाने विकसित केलेले डोके N^2 च्या प्रमाणात आहे. म्हणून H_m v/s N चा वक्र पॅराबॉलिक वक्र आलेख आहे.
- आता, हे स्पष्ट आहे की P/D^5N^3 हा स्थिरांक आहे. म्हणून $P \propto N^3$. याचा अर्थ असा की वक्र P v/s N हे आकृती मध्ये दाखवल्याप्रमाणे घन वक्र आहे.
- $Q/DN = \text{स्थिर}$. याचा अर्थ दिलेल्या पंपासाठी $Q \propto N$. त्यामुळे Q v/s N ही वक्र आलेख सरळ रेषा आहे

5.1.11.2 ऑपरेटिंग वैशिष्ट्यपूर्ण वक्र आलेख

- वेग स्थिर ठेवल्यास, डिस्चार्जच्या संदर्भात मॅनोमेट्रिक हेड, पॉवर आणि कार्यक्षमतेची भिन्नता पंपची ऑपरेटिंग वैशिष्ट्ये देते.



ऑपरेटिंग वैशिष्ट्यपूर्ण वक्र आलेख
आकृती 5.23

- पंपासाठी इनपुट पॉवर वक्र उगमस्थानातून जाणार नाही. ते y-अक्षावरील उत्पत्तीपासून थोडे दूर असेल, कारण शून्य डिस्चार्ज असतानाही यांत्रिक नुकसानांवर मात करण्यासाठी काही शक्ती आवश्यक असते.

- जेव्हा डिस्चार्ज शून्य असेल तेव्हा हेड वक्र आलेख ला हेड चे कमाल मूल्य असेल. आउटपुट पॉवर वक्र आलेख मूळपासून $Q = 0$ पासून सुरू होईल, आउटपुट पॉवर ($\rho g Q H$) शून्य असेल. कार्यक्षमता वक्र आलेख मूळपासून $Q = 0, \eta = 0$ पासून सुरू होईल

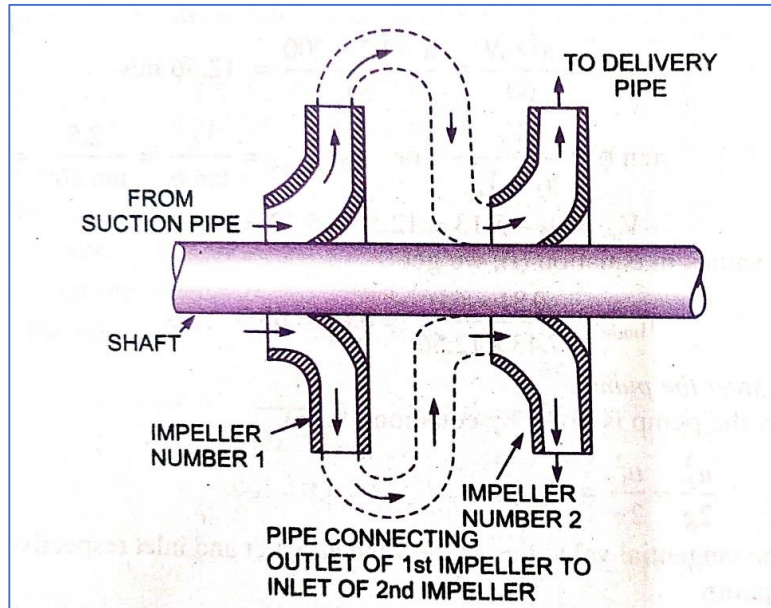
5.1.12 सेंट्रीफ्यूगल पंपचे समस्यानिवारण

- सेंट्रीफ्यूगल पंपमधील दोष आणि त्यांचे उपाय

तक्ता क्र5.1 सेंट्रीफ्यूगल पंपमधील दोष आणि त्यांचे उपाय

अनु. (Sr. no)	दोष (Faults)	उपाय (Remedies)
1	पंप पंपिंग सुरू करू शकत नाही	अ) पंप पुन्हा प्राइम करा. ब) इंपेलर स्वच्छ करा, क) सक्शन लिफ्ट कमी करा ड) वेग वाढवा
2	पंपने काम करणे थांबवले आहे	अ) प्राइमिंगद्वारे हवा काढून टाका ब) सक्शन लिफ्ट कमी करा
3	पंप क्षमतेपर्यंत पाणी उचलत नाही	अ) प्लग गळती थांबवा ब) खराब झालेले किंवा जीर्ण झालेले भाग बदला
4	पंपची कार्यक्षमता खूप कमी आहे	अ) वेग कमी करा ब) इंपेलरच्या रोटेशनची दिशा चेक करा क) डिस्चार्ज कमी करा किंवा प्रभावित भाग दुरुस्त करा

5.1.13 सेंट्रीफ्यूगल मधील मल्टीस्टेजिंग:



सिरीज मध्ये जोडलेले पंप

आकृती 5.24

जर सेंट्रीफ्यूगल पंपमध्ये दोन किंवा अधिक इंपेलर असतील तर पंपला सेंट्रीफ्यूगल पंपचे मल्टीस्टेज म्हणतात. इंपेलर एकाच शाफ्टवर किंवा वेगवेगळ्या शाफ्टवर बसवलेले असतात.

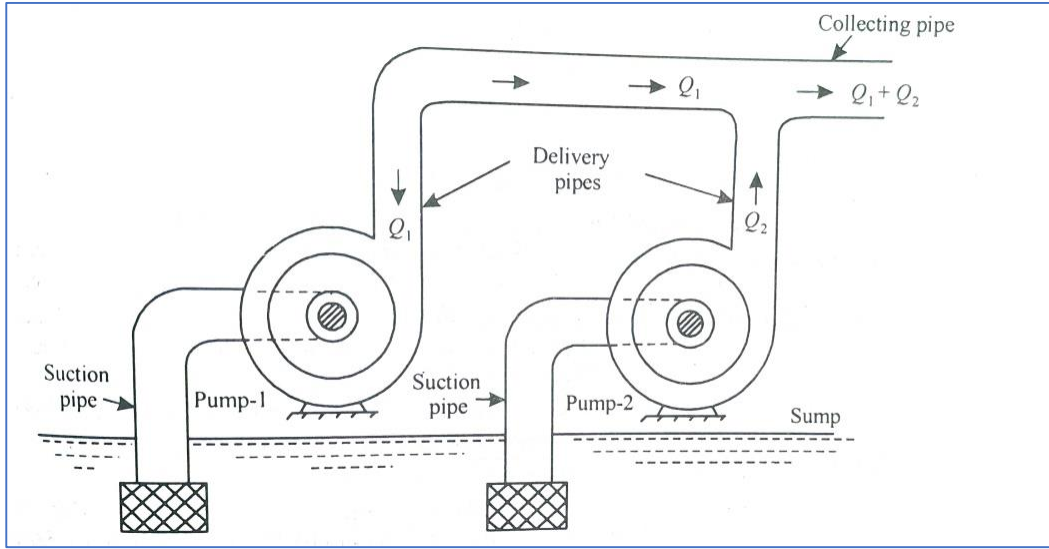
सेंट्रीफ्यूगल पंपांमध्ये मल्टीस्टेजिंगची आवश्यकता

1. एकल-स्टेज पंप पूर्ण करू शकत नाही अशा उच्च दाब वर पाणी लिफ्ट करण्यासाठी.
2. उच्च डिस्चार्ज प्राप्त करण्यासाठी म्हणजेच जास्त द्रव डिस्चार्ज करण्यासाठी.

i) सिरीज (एका मागे एक) मध्ये जोडलेले पंप (Pumps Connected in Series)

जास्त उंची परंतु समान डिस्चार्ज विकसित करण्यासाठी, इंपेलरची संख्या मालिकेत किंवा त्याच शाफ्टवर बसविली जाते. इंपेलरमधून डिस्चार्ज पहिल्या इंपेलर मधून दुसऱ्या इंपेलरमध्ये प्रवेश करतो. दुसऱ्या इंपेलरच्या आउटलेटवर पाण्याचा दाब पहिल्या इंपेलरच्या आउटलेटवरील पाण्याच्या दाबापेक्षा जास्त असेल. सिरीजच्या व्यवस्थेतील पंप जास्त उंची वर तुलनेने कमी प्रमाणात द्रव वितरीत करण्यासाठी वापरला जातो.

ii) उच्च डिस्चार्ज-पंपांसाठी मल्टीस्टेज सेंट्रीफ्यूगल समांतर पंप (Pumps Connected in Parallel)



समांतर पंप
आकृती 5.25

उच्च डिस्चार्ज मिळविण्यासाठी परंतु समान हेड पंप समांतर जोडलेले असावेत. यापैकी प्रत्येक पंप स्वतंत्रपणे काम करत असलेल्या सामान्य संपमधून द्रव उचलतो आणि सामान्य संकलन पाईपमध्ये वितरित करतो ज्याद्वारे तो आवश्यक उंचीपर्यंत वाहून नेतो. जर Q ही एका पंपाची डिस्चार्ज क्षमता असेल आणि एकसारखे पंप n संख्या असतील (समांतरपणे व्यवस्था केलेले) एकूण डिस्चार्ज $= n.Q$ असेल

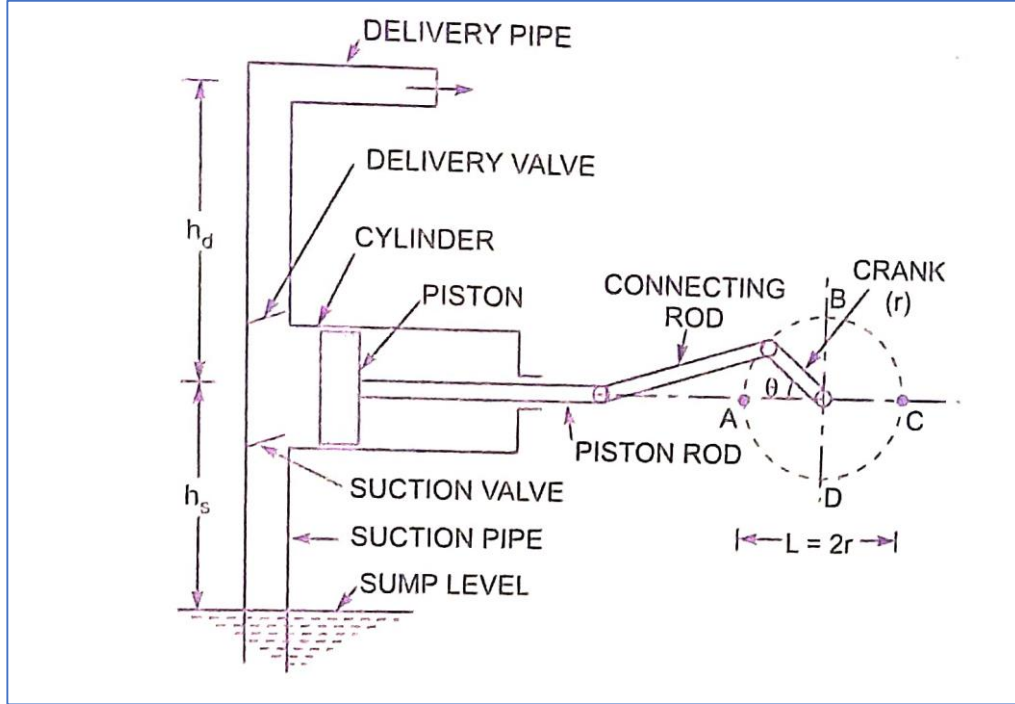
5.2 रेसिप्रोकेटिंग पंप

5.2.1 सिंगल एक्टिंग रेसिप्रोकेटिंग पंपची रचना आणि कार्य

सिंगल एक्टिंग रेसिप्रोकेटिंग पंपची रचना

1. सक्शन पाइप : सक्शन पाइप द्रवाचा स्रोत परस्पर पंपाच्या सिलेंडरला जोडतो. स्त्रोतापासून सिलेंडरपर्यंत या पाईपद्वारे द्रव आत मध्ये ओढला जातो जातो.
2. सक्शन व्हॉल्व्ह : सक्शन व्हॉल्व्ह म्हणजे नॉन-रिटर्न व्हॉल्व्ह म्हणजे या प्रकारच्या व्हॉल्व्हमध्ये फक्त एक दिशात्मक प्रवाह शक्य आहे. हे सक्शन पाईप इनलेट आणि सिलेंडर दरम्यान ठेवलेले आहे. द्रव सक्शन दरम्यान ते उघडले जाते आणि डिस्चार्ज दरम्यान ते बंद होते.

3. डिलिव्हरी पाईप :डिलिव्हरी पाईप पंपच्या सिलेंडरला आउटलेट स्त्रोताशी जोडते .या पाईपद्वारे द्रव इच्छित आउटलेट स्थानावर वितरित केला जातो.
4. डिलिव्हरी व्हॉल्व्ह :डिलिव्हरी व्हॉल्व्ह देखील नॉन-रिटर्न व्हॉल्व्ह सिलेंडर आणि डिलिव्हरी पाईप आउटलेट दरम्यान ठेवलेला असतो.
5. सिलेंडर :पोलाद मिश्रधातू किंवा कास्ट आयर्नपासून बनवलेला पोकळ सिलेंडर .या सिलेंडरमध्ये पिस्टन आणि पिस्टन रॉडची व्यवस्था आहे .यामध्ये सक्शन आणि लिक्विड सोडले जाते, त्यामुळे या सिलेंडरला सक्शन आणि डिलिव्हरी पाईप्ससह वाल्व जोडलेले आहेत.



सिंगल एक्टिंग रेसिप्रोकेटिंग पंप

आकृती 5.26



सिंगल एक्टिंग रेसिप्रोकेटिंग पंप

आकृती 5.27

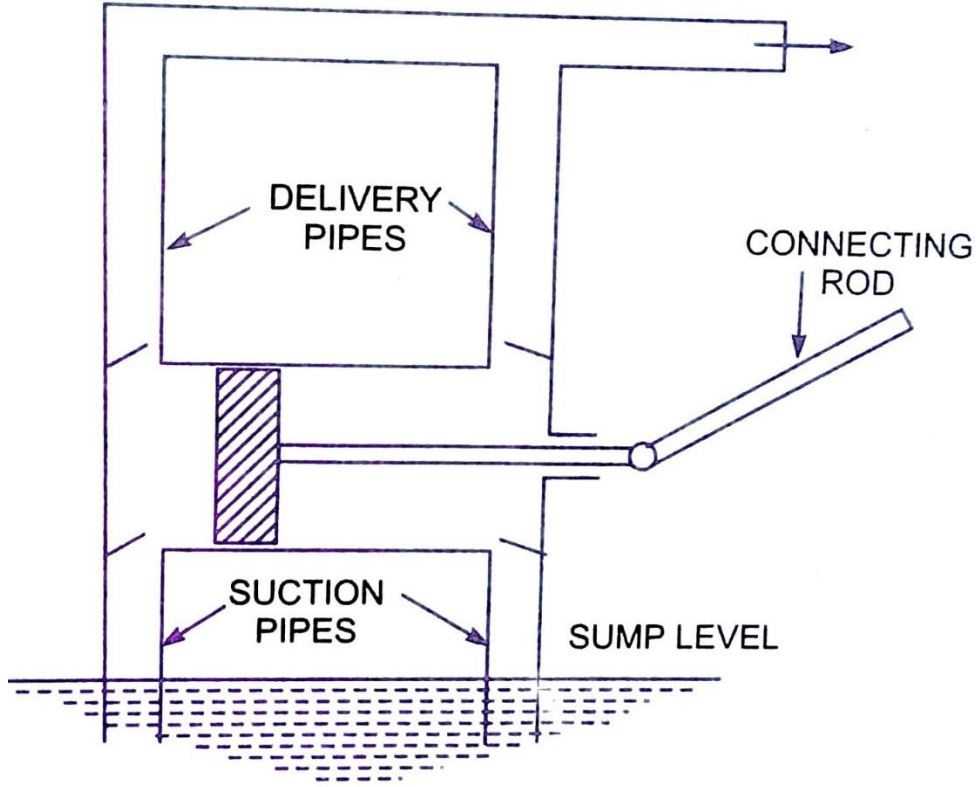
6. पिस्टन आणि पिस्टन रॉड :पिस्टन हा एक घन प्रकारचा सिलेंडर भाग आहे जो पोकळ सिलेंडरच्या आत मागे आणि पुढे सरकतो आणि द्रव बाहेर टाकतो .पिस्टन रॉड पिस्टनला त्याच्या रेखीय गतीमध्ये मदत करते.
7. क्रॅक आणि कनेक्टिंग रॉड :क्रॅक ही एक घन गोलाकार डिस्क आहे जी त्याच्या रोटेशनसाठी मोटर, इंजिन इत्यादी उर्जा स्रोताशी जोडलेली असते .कनेक्टिंग रॉड क्रॅकला पिस्टनशी जोडते परिणामी क्रॅकची घूर्णन गती पिस्टनच्या रेखीय गतीमध्ये रूपांतरित होते.
8. स्ट्रॅनर :सिलेंडरमध्ये पाण्याच्या स्रोतातून घन पदार्थांचे प्रवेश रोखण्यासाठी सक्शन पाईपच्या शेवटी स्ट्रॅनर गाळणी(दिली जाते.
9. एअर वेसेल :घर्षण दूर करण्यासाठी आणि एकसमान डिस्चार्ज रेट देण्यासाठी वायुवाहिनी सक्शन आणि डिलिव्हरी पाईप्स दोन्हीशी जोडलेली असतात.

सिंगल एक्टिंग रेसिप्रोकेटिंग पंपचे काम

- 1.जेव्हा उर्जा स्रोत क्रॅकशी जोडला जातो, तेव्हा क्रॅक फिरण्यास सुरवात करेल आणि क्रॅकसह कनेक्टिंग रॉड देखील विस्थापित होईल.
2. कनेक्टिंग रॉडला जोडलेला पिस्टन सरळ रेषेत रेखीय दिशेने जाईल. क्रॅक बाहेरच्या दिशेने सरकल्यास पिस्टन उजवीकडे सरकतो आणि सिलेंडरमध्ये व्हॅक्यूम तयार करतो.
- 3.या व्हॅक्यूममुळे सक्शन व्हॉल्व्ह उघडतो आणि स्रोतातील द्रव सिलेंडरमध्ये सक्शन पाईपद्वारे जबरदस्तीने शोषला जाते.
- 4.जेव्हा क्रॅक आत किंवा सिलेंडरच्या दिशेने सरकतो, तेव्हा पिस्टन डावीकडे सरकतो आणि सिलेंडरमधील द्रव दाबतो. आता, दाबामुळे डिलिव्हरी व्हॉल्व्ह उघडतो आणि डिलिव्हरी पाईपमधून द्रव डिस्चार्ज होईल.
- 5.जेव्हा पिस्टन त्याच्या अत्यंत डाव्या स्थानावर पोहोचतो तेव्हा सिलेंडरमधील संपूर्ण द्रव डिलिव्हरी व्हॉल्व्हद्वारे वितरित केला जातो.
- 6.नंतर पुन्हा क्रॅक बाहेरच्या दिशेने फिरतो आणि पिस्टन सक्शन तयार करण्यासाठी उजवीकडे सरकतो आणि संपूर्ण प्रक्रिया पुन्हा केली जाते

5.2.2 सिंगल एक्टिंग रेसिप्रोकेटिंग पंपची रचना आणि कार्य

1. या पंपामध्ये सक्शन आणि डिलिव्हरी स्ट्रोक एकाच वेळी होतात म्हणून त्याला डबल ॲक्टिंग म्हणतात.
2. यात दोन डिलिव्हरी व्हॉल्व्ह आणि दोन सक्शन व्हॉल्व्ह असतात .पंप सहसा द्रव पातळीच्या वर ठेवला जातो.
3. जेव्हा क्रॅक IDC मधून घड्याळाच्या दिशेने फिरते तेव्हा पिस्टनच्या डाव्या बाजूला एक व्हॅक्यूम तयार होतो आणि द्रव झडप S1 द्वारे झडपातून आत घेतला जातो.
4. त्याच वेळी पिस्टनच्या उजव्या बाजूचा द्रव दाबला जातो आणि उच्च दाबामुळे डिलिव्हरी व्हॉल्व्ह D2 उघडतो आणि द्रव डिस्चार्ज टाकीवर जातो, हे ऑपरेशन टाकी ODC पर्यंत पोहोचेपर्यंत चालू राहते.
5. क्रॅकच्या पुढील रोटेशनसह, सक्शन व्हॉल्व्ह S2 द्वारे संपमधून द्रव शोषला जातो आणि डिलिव्हरी व्हॉल्व्ह D1 द्वारे डिस्चार्ज टाकीमध्ये वितरित केला जातो.
6. जेव्हा क्रॅक IDC वर पोहोचतो तेव्हा पिस्टन अत्यंत डाव्या स्थितीत असतो, अशा प्रकारे एक चक्र पूर्ण होते आणि क्रॅक पुढे फिरत असताना चक्रांची पुनरावृत्ती होते.



डबल एक्टिंग रेसिप्रोकेटिंग पंप
आकृती 5.28

5.2.3 स्लिप आणि निगेटिव्ह स्लिप

स्लिप : सैद्धांतिक डिस्चार्ज आणि वास्तविक डिस्चार्ज यातील फरक आहे.

$$\text{Slip} = Q_{th} - Q_{ac}$$

$$\% \text{ Slip} = \frac{(Q_{th} - Q_{ac})}{Q_{th}}$$

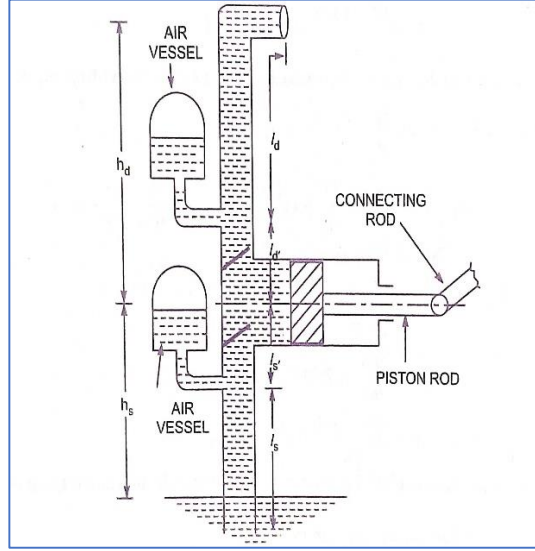
$$\% \text{ Slip} = 1 - \frac{Q_{ac}}{Q_{th}}$$

$$\% \text{ Slip} = (1 - C_d) \times 100$$

निगेटिव्ह स्लिप: रेसिप्रोकेटिंग पंपचे वास्तविक डिस्चार्ज सैद्धांतिक डिस्चार्जपेक्षा जास्त असल्यास अशा परिस्थितीत डिस्चार्जचे स्थिरांक एक पेक्षा जास्त असेल आणि संबंधित स्लिपला पंपची निगेटिव्ह स्लिप म्हणून ओळखले जाते.

5.2.4 एअर वेसेल

एकसमान दराने द्रव सतत पुरवठा करण्यासाठी आणि सक्शन आणि डिलिव्हरी पाईप्समध्ये द्रव प्रवाहाचा एकसमान दर राखण्यासाठी याचा वापर केला जातो. हे प्रवेगक हेड आणि घर्षण नुकसान कमी झाल्यामुळे पंप चालविण्यासाठी आवश्यक (पावर) शक्ती कमी लागते,



एअर वेसेल
आकृती 5.29

रेसिप्रोकेटिंग पंपमध्ये एअर वेसेल ची कार्ये आहेत

- एकसमान डिस्चार्ज प्राप्त करण्यासाठी.
- सक्शन आणि डिलिव्हरी पाईप्समध्ये द्रव प्रवाहाचा एकसमान दर राखण्यासाठी.
- हे प्रवेगक हेड आणि घर्षण नुकसान कमी झाल्यामुळे पंप चालविण्यासाठी आवश्यक पावर शक्ती कमी लागते
- कमी प्रवेग हेडमुळे प्रवाह वेगळे होण्याच्या भीतीशिवाय पंप अधिक वेगाने वापरला जाऊ शकतो.



एअर वेसेल
आकृती 5.30

5.2.5 रेसिप्रोकेटिंग पंपमधील सेप्रेशन पृथक्करण

ही हायड्रॉलिक घटना आहे जी सक्शन पाईप किंवा परस्पर पंपच्या डिलिव्हरी पाईपद्वारे पाण्याच्या प्रवाहात उद्भवते. जेव्हा प्रवाहादरम्यान निरपेक्ष दाब पाण्याच्या बाष्प दाबापेक्षा खाली येतो तेव्हा असे होते.

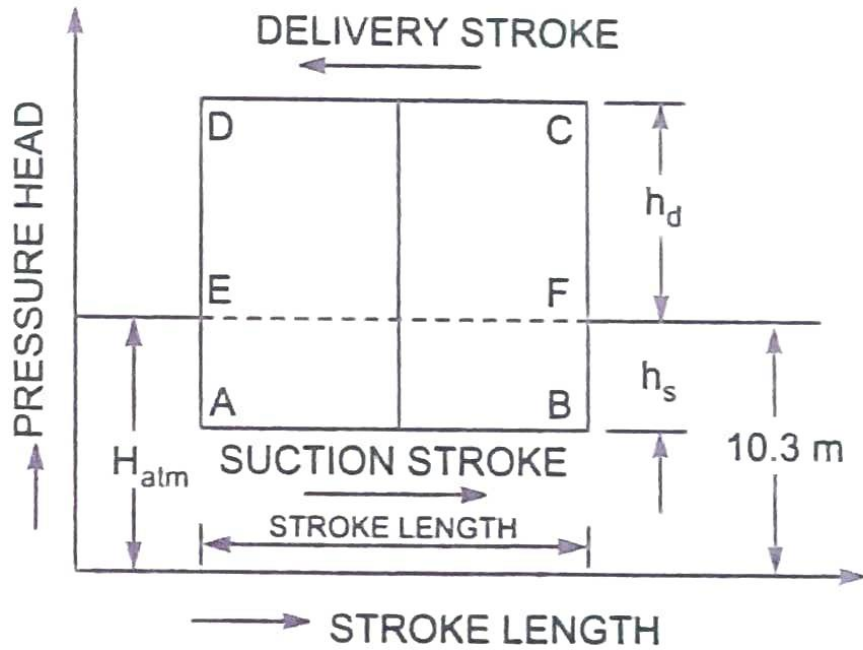
अ) सक्शन पाईपसाठी - $H_{sep} = H_{atm} - (H_s + H_{as}) = 2.5$ मीटर निरपेक्ष पाणी

ब) वितरण पाईपसाठी - $H_{sep} = H_{atm} + (H_d - H_{ad}) < 2.5$ मीटर पूर्ण पाणी

5.2.6 सेंट्रीफ्यूगल पंपमध्ये कॅव्हिटेशन होणे.

ज्या प्रदेशात द्रवाचा दाब त्याच्या बाष्प दाबापेक्षा कमी होतो आणि जास्त दाब असलेल्या प्रदेशात हे बाष्प फुगे अचानक कोसळणे, अशा प्रदेशात वाहत्या द्रवाचे बाष्प फुगे बूड बुडे तयार होण्याची घटना अशी त्याची व्याख्या केली जाते. वाहत्या द्रवाचे बाष्प फुगे तयार होणे तेव्हाच घडते जेव्हा कोणत्याही प्रदेशातील दाब बाष्प दाबापेक्षा कमी होतो. जेव्हा वाहत्या द्रवाचा दाब त्याच्या बाष्प दाबापेक्षा कमी असतो तेव्हा द्रव उकळू लागतो आणि बाष्प फुगे तयार होतात. हे बाष्प बूड बुडे फुगे वाहत्या द्रवासोबत उच्च दाबाच्या झोनमध्ये नेले जातात जेथे हे बाष्प घनरूप होतात आणि बूड बुडे फुगे कोसळतात. जेव्हा बाष्प फुगे कोसळतात तेव्हा खूप उच्च दाब तयार होतो. धातूचे पृष्ठभाग, ज्याच्या वर हे बाष्प फुगे कोसळतात, ते या उच्च दाबांच्या अधीन असतात, ज्यामुळे पृष्ठभागावर खड्डे पडतात. अशा प्रकारे, धातूच्या पृष्ठभागावर पोकळी तयार होतात आणि लक्षणीय आवाज, कंपने निर्माण होतात आणि धातूच्या पृष्ठभागावर उच्च स्थानिक ताण येतो, पृष्ठभाग खराब होतात.

5.2.7 अक्सलरेशन आणि फ्रिकशनल हेड यांचा प्रभाव असलेल्या निर्देशक आरेखाचे निदर्शक रेसिप्रोकेटिंग पंपकरिता आदर्श इंडीकेटर आलेख



रेसिप्रोकेटिंग पंपकरिता आदर्श इंडीकेटर आलेख

आकृती 5.31

- क्रॅकच्या एका पूर्ण फेरासाठी सिलिंडरमधील प्रेशर हेड आणि पिस्टनची स्ट्रोक लांबी यांच्यातील ग्राफला आदर्श निर्देशक आरेख म्हणतात. सक्शन स्ट्रोक दरम्यान, सिलिंडरमधील प्रेशर हेड स्थिर असतो आणि सक्शन स्ट्रोक) h_s) बरोबर असतो, जो वायुमंडलीय दाब) H_{atm}) पेक्षा h_s या उंचीने खाली असतो.

2. सक्शन स्ट्रोक दरम्यानचा दाब AB या आडव्या रेषेद्वारे दर्शविला जातो जो EF रेषेपेक्षा ' h_d ' या उंचीने खाली असतो.
3. डिलिव्हरी हेड) h_d) दरम्यान, सिलिंडरमधील दाब शिर्षक स्थिर असतो आणि डिलिव्हरी हेड) h_d) बरोबर असतो, जो वायुमंडलीय दाब पेक्षा (h_{atm}) या उंचीने वर असतो. त्यामुळे वितरण स्ट्रोक दरम्यानचा दाब शिर्षक CD या आडव्या रेषेद्वारे दर्शविला जातो जो EF रेषेपेक्षा ' h_s ' या उंचीने वर असतो.
4. म्हणून, क्रॅकच्या एका पूर्ण फेरासाठी सिलिंडरमधील दाब A-B-C-D-A या आरेखाद्वारे दर्शविले जाते. या आरेखाला आदर्श निर्देशक आरेख म्हणतात.

5.2.8 पंप निवडण्यासाठी विचारात घेतलेले घटक (बाबी)

- दाब: दाबाच्या गरजेनुसार प्रणालीतील द्रवपदार्थ दाबण्यासाठी पंपचा वापर केला जातो
- पंपाचा वेग: जर पंपाचा वेग त्याच्या रेट केलेल्या वेगापेक्षा वाढवला तर पोकळ्या निर्माण होण्यासारख्या समस्या उद्भवतात. ही समस्या हायड्रॉलिक प्रणालीच्या कार्यक्षमतेवर आणि कामावर थेट परिणाम करते.
- पंपाची कार्यक्षमता: पंपाची निवड आवश्यक कार्यक्षमतेवर अवलंबून असते जसे की व्हॉल्यूमेट्रिक कार्यक्षमता, यांत्रिक कार्यक्षमता, एकूण कार्यक्षमता
- सुसंगतता: सुसंगततेचा अर्थ स्वीकृतीशिवाय काहीही नाही. प्रत्येक पंप हायड्रॉलिक तेलाशी सुसंगत आहे परंतु भिन्न तेल वापरल्यास पंप चांगली कामगिरी करणार नाही.
- पंपाची किंमत: बाजारात विविध प्रकारचे पंप उपलब्ध आहेत, त्यानुसार आपण ते पंपाच्या किफायतशीर पैलूनुसार निवडू शकतो आणि त्याचे सुटे कमी असावेत.

जेव्हा एखादा अभियंता बाजारातून केंद्रापसारक पंप खरेदी करण्याचा विचार करत असतो, तेव्हा पंप तांत्रिक आणि अनुप्रयोग-विशिष्ट आवश्यकता पूर्ण करतो याची खात्री करण्यासाठी तपशीलवार तपशील आवश्यक असतात:

1. सेंट्रीफ्यूगल पंपाचा प्रकार:
 - o एंड-सक्शन पंप
 - o इनलाईन पंप
 - o मल्टीस्टेज पंप
 - o सेल्फ-प्राइमिंग पंप
2. पंप क्षमता (प्रवाह दर) नुसार:
 - o सामान्यतः लिटर प्रति सेकंद (L/s) मध्ये मोजले जाते.
3. उंची:
 - o पंप किती उंची मिळवू शकतो ति फूट किंवा मीटरमध्ये मोजले जाते.
 - o जास्तीत जास्त आवश्यक हेड निर्दिष्ट करा, उदा., 50-200 m.
4. वीज आवश्यकता:
 - o इलेक्ट्रिकल पॉवर: व्होल्टेज (उदा. 220V, 380V), फेज (सिंगल किंवा थ्री-फेज).
 - o मोटर पॉवर रेटिंग: हॉर्सपॉवर (HP) किंवा किलोवॉट्स (kW), विशेषतः औद्योगिक अनुप्रयोगांसाठी 1 ते 50 HP पर्यंत.
5. साहित्य:
 - o केसिंग आणि इंपेलर: कास्ट आयर्न, स्टेनलेस स्टील, कांस्य किंवा विशेष मिश्रधातूंसारखे साहित्य.
 - o शाफ्ट: स्टेनलेस स्टील किंवा इतर गंज-प्रतिरोधक साहित्य.

6. कार्यक्षमता:

- ० एकूण पंप कार्यक्षमता, सामान्यतः टक्केवारीमध्ये निर्दिष्ट केली जाते.
- ० ऊर्जेचा वापर कमी करण्यासाठी उच्च-कार्यक्षमतेचे पंप पहा, विशेषतः 70% पेक्षा जास्त.

7. पंप वक्र आणि कार्यप्रदर्शन डेटा:

- ० प्रवाह दर, डोके, कार्यक्षमता आणि वीज वापर यांच्यातील संबंध दर्शविणारे तपशीलवार पंप वक्र उपलब्धता.
- ० आवश्यक ऑपरेटिंग रेंजमध्ये पंपचे कार्यप्रदर्शन सत्यापित करा.

8. सील प्रकार:

- ० यांत्रिक सील: एकल किंवा दुहेरी यांत्रिक सील.
- ० ग्रंथी पॅकिंग: कमी गंभीर अनुप्रयोगांसाठी.
- ० सील साहित्य: पंप केल्या जाणाऱ्या द्रवाशी सुसंगत.

9. बेअरिंग प्रकार:

- ० स्लीव्ह बियरिंग किंवा बॉल बेअरिंग्स: लोड आणि देखभाल आवश्यकतांवर आधारित निर्दिष्ट करा.
- ० ते मजबूत आणि ऑपरेटिंग परिस्थितीसाठी योग्य असल्याची खात्री करा.

10. द्रवांसह सुसंगतता:

- ० pH, तापमान आणि स्निग्धता लक्षात घेऊन द्रवासह रासायनिक सुसंगतता.
- ० पंप हाताळण्यासाठी तापमान श्रेणी निर्दिष्ट करा.

11. स्थापना आणि देखभाल:

- ० इंस्टॉलेशनची सुलभता: माउंटिंग पर्याय आणि जागेची आवश्यकता विचारात घ्या.
- ० देखभाल आवश्यकता: वारंवारता आणि देखभाल कार्याची सुलभता.
- ० स्पेअर पार्ट्सची उपलब्धता: बदली भागांसाठी सुलभ प्रवेश सुनिश्चित करा.

12. सुरक्षितता वैशिष्ट्ये:

- ० मोटरसाठी थर्मल ओव्हरलोड संरक्षण.
- ० सुरक्षितता प्रमाणपत्रे आणि उद्योग मानकांचे पालन (उदा. ISO, ANSI).

13. किंमत आणि हमी:

- ० मालकीची एकूण किंमत, प्रारंभिक खरेदी, स्थापना आणि ऑपरेटिंग खर्चासह.
- ० वॉरंटी कालावधी आणि अटी (उदा. 1-वर्ष, 2-वर्ष वॉरंटी).

14. ब्रँड प्रतिष्ठा आणि समर्थन:

- ० विश्वासार्हता आणि गुणवत्तेसाठी ओळखले जाणारे ब्रँड निवडा.
- ० तांत्रिक समर्थन, सेवा केंद्रे आणि वापरकर्ता पुनरावलोकनांची उपलब्धता.

या तपशीलवार वैशिष्ट्यांचा विचार करून, अभियंते एक सेंट्रीफ्यूगल पंप निवडू शकतात जो त्यांच्या विशिष्ट अनुप्रयोग आवश्यकता पूर्ण करतो आणि विश्वसनीय आणि कार्यक्षम ऑपरेशन सुनिश्चित करतो.

5.2.8 सेंट्रीफ्यूगल आणि रेसिप्रोकेटिंग पंपची तुलना करा

टेबल क्र. 5.2. सेंट्रीफ्यूगल आणि रेसिप्रोकेटिंग पंपची तुलना

अनु. (Sr. no)	गुणधर्म (Parameter)	सेंट्रीफ्यूगल पंप	रेसिप्रोकेटिंग पंप
1	स्थिरता (Flow)	यामध्ये प्रवाह प्रवाह स्थिर असतो	यामध्ये प्रवाह प्रवाह स्थिर नसतो

2	टॉर्क (Torque)	यामध्ये टॉर्क एकसमान असतो.	यामध्ये टॉर्क एकसमान नसतो.
3	कार्यक्षमता (Efficiency)	यामध्ये उच्च डिस्चार्जसाठी उच्च कार्यक्षमता असते.	कमी हेड पंपसाठी कमी कार्यक्षमता असते.
4	खर्च (Cost)	यामध्ये कमी प्रारंभिक खर्च असतो.	यामध्ये उच्च प्रारंभिक खर्च असतो
5	प्राइमिंग (Priming)	यामध्ये प्राइमिंग आवश्यक असते.	यामध्ये प्राइमिंगची आवश्यकता नाही
6	देखभाल (Maintenance)	यामध्ये देखभाल खर्च कमी असतो.	यामध्ये देखभाल खर्च जास्त असतो.

Exercise:

TLO 5.1: Describe the construction and working of different types of hydraulic pumps

1. Classify centrifugal pumps. [R]
2. List the main component parts of a centrifugal pump and explain them briefly. [R]
3. Explain the working of a centrifugal pump with a neat sketch [U]
4. Explain volute and vortex casing centrifugal pump with a neat sketch [U]
5. Describe construction and working of a single acting reciprocating pump[U]
6. Describe construction and working of a double acting reciprocating pump [U]
7. Explain the following terms (i) Static head, (ii) Manometric head, and (iii) Total head. [R]

TLO 5.2: Select the suitable hydraulic pump for given application with justification

8. State the selection parameters of pumps (U)
9. Select pump for a) lifting water in a two storage building with head of 15 m (A)

TLO 5.3: Evaluate the performance of given hydraulic pump

10. Define in given terms with respect to centrifugal pump: (i) Manometric efficiency (ii) Mechanical efficiency (iii) Overall efficiency (iv) Net positive suction head .[R]
11. Define slip, percentage slip and negative slip of a reciprocating pump. [R]
12. The centrifugal pump has an outer diameter equal to the two times the inner diameter which is running at 1250 RPM when working against the head of 45m. The velocity of flow through the impeller is constant and is equal to 2.5m/s. The vanes are set back at an angle of 30° at the outlet if the outer diameter of impeller is 400mm and width at outlet is 32mm find-i) Work done per second ii) Vane angles iii) Discharge [A]
13. A centrifugal pump is running at the 1300 RPM, the outlet vane angle of impeller is 40° and the velocity of flow at the outlet is 3.5 m/s. The discharge through the pump is 260litre/s when the pump is working against total head is 24m. the manometric efficiency of the pump is 90% determine-i) Diameter of the impeller ii) the width of impeller at the outlet.[A]
14. State the significance of characteristic curves [A]
15. Explain the use of Air vessel [U]
16. State the applications of Air vessels[A]

TLO 5.4: Apply the troubleshooting procedure to rectify identified fault in centrifugal pump

17. State the significance of characteristic curves [A]

18. State the methods of priming of the centrifugal pumps. [R]

19. Write the procedure of priming in centrifugal pumps[U]

TLO 5.5: Distinguish between centrifugal and reciprocating pump

20. Differentiate between centrifugal pump and reciprocating pump (U)

21. State the difference between single stage and multi-stage pumps[A]

References:-

Sr.No	Author	Title	Publisher
1	Er. R.K. Rajput	A Textbook of Fluid Mechanics and Hydraulic Machines	S. Chand and Company Pvt. Ltd., New Delhi ISBN: 9789385401374
2	Dr. R.K. Bansal	Fluid Mechanics and Hydraulic Machines	Laxmi Publications Pvt. Ltd., New Delhi ISBN: 9788131808153
3	Dr. P.N. Modi, Dr. S.M. Seth	Hydraulics and Fluid Mechanics including Hydraulic Machines	Standard Book House, New Delhi ISBN: 13: 9788189401269
4	S. Ramamrutham	Hydraulic, Fluid Mechanics and Fluid Machines	Dhanpat Rai Publishing Company (P) Ltd. ISBN: 9789384378271
5	Victor Streeter, K.W. Bedford, E. Benjamin Wylie	Fluid Mechanics	McGraw-Hill Education ISBN: 9780070701403
6	K. Subramanya	Fluid Mechanics and hydraulic Machines: Problems and Solutions	Tata McGraw-Hill Co. Ltd., New Delhi ISBN: 9789353163426
7	R.S. Khurmi, N. Khurmi	A Textbook of Hydraulics, Fluid Mechanics and Hydraulic Machines	S. Chand and Company Pvt. Ltd., New Delhi ISBN: 9788121901628
8	Som S.K., Biswas G.	Introduction to Fluid Mechanics and Fluid Machines	Tata McGraw-Hill Co. Ltd., New Delhi ISBN: 9780071329194
9	Dr. Jagdish Lal	Fluid Mechanics and Hydraulic Machines	Metropolitan ISBN: 9788120004221
10	C.S.P. Ojha, P.N. Chandramouli, and R. Berndtsson	Fluid Mechanics and Machinery	Oxford University Press, New Delhi ISBN: 9780195699630
11	Raikar R.V.	Laboratory Manual Hydraulics and Hydraulic Machines	PHI Learning Pvt. Ltd., New Delhi ISBN: 9788120346642

Learning Websites: -

Sr.No	Link / Portal	Description
1	http://www.aboutmech.com/2016/08/total-pressure-and-centre-of-pressure.html	Total Pressure and Centre of Pressure
2	https://www.youtube.com/watch?v=UJ3-Zm1wbIQ	Bernoulli's Principle
3	https://www.youtube.com/watch?v=_bfcdRhY7Rw	Working Principle of Venturimeter
4	https://www.youtube.com/watch?v=iRdJHPFVHwM	Orifice Meter Working Principle
5	https://www.youtube.com/watch?v=3zEdtkuNYLU	Pitot Tube Working Animation
6	https://www.youtube.com/watch?v=Rwl1mu0TJmE	Types of Notches
7	https://www.youtube.com/watch?v=FHTVmKdS_Lk&list=PLdoIhVhbPQV5z6g7aT_LpC8mJb31hNiBx&index=2	Impact of Jet on Fixed Vertical Plate
8	https://www.youtube.com/watch?v=tOoBx4-iejU&list=PLdoIhVhbPQV5z6g7aT_LpC8mJb31hNiBx&index=3	Impact of Jet on Moving Vertical Flat Plate
9	https://www.youtube.com/watch?v=cpM6hF23eeQ&list=PLdoIhVhbPQV5z6g7aT_LpC8mJb31hNiBx&index=11	Impact Of Liquid Jet on Series of Flat Plate Mounted on a Wheel
10	https://www.youtube.com/watch?v=Jd5BN7SPkqI	Pelton Wheel
11	https://www.youtube.com/watch?v=0p03UTgpnDU	Kaplan Turbine Working and Design
12	https://www.youtube.com/watch?v=3BCiFeykRzo	Working of Francis Turbine
13	https://www.youtube.com/watch?v=liE8skW8btE	Centrifugal Pump
14	https://www.youtube.com/watch?v=41vb6T42_Tk	Reciprocating Pump animation
15	https://www.youtube.com/watch?v=xqGyPdxLIRg	Jet Pump Working Animation
16	https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines	Types of Hydropower Turbines
17	https://www.realpars.com/blog/manometer#:~:text=Measuring%20pressure,-The%20tube%20is&text=When%20the%20pressures%20are%20equal,side%20because%20P1%20equals%20P2	Manometer working principle
18	https://tameson.com/pages/bourdon-tube-pressure-gauge	Bourdon Tube Pressure Gauge
19	http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=1086	Major and Minor Hydraulic Losses Through Pipes And Fitting
20	http://ecoursesonline.iasri.res.in/course/view.php?id=27	Fluid Mechanics Course
21	https://theconstructor.org/fluid-mechanics/types-fluid-flow-pipe/38078/	Types of Fluid Flows
22	https://www.chaitanyaproducts.com/blog/ancient-indian-water-conservation-techniques-part-1/	Water Storage Systems used in Ancient India (IKS)

23	https://www.youtube.com/watch?v=hQr5Op4S5q4&t=83s	Water Lifting Devices (Arghatta) used in Ancient India (IKS)
24	https://www.youtube.com/watch?v=uTrajIJ79ME&t=49s	Water Lifting Devices (Chadas) used in Ancient India (IKS)

