



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ (स्वायत्त)

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

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

HYDRAULICS

(314303)

K-Scheme

हायड्रॉलिक्स

स्थापत्य अभियांत्रिकी गट
(के स्कीम)

मराठी-इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञानातील चतुर्थ सत्र पदविका)

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

हायड्रॉलक्स
HYDRAULICS
(314303)

स्थापत्य अभियांत्रिकी गट
(के स्कीम)

K-Scheme

मराठी-इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम
(अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञानातील चतुर्थ सत्र पदविका)



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई
(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

हायड्रॉलक्स
HYDRAULICS
(314303)

मार्गदर्शक

श्री राजेश त्र्यंबकराव आघाव
वरिष्ठ अधिव्याख्याता, उपयोजित यंत्र शास्त्र विभाग

संकलक

श्री. विवेक तुकाराम बाबर
अधिव्याख्याता,, स्थापत्य अभियांत्रिकी विभाग

श्री. कुणाल केवळ काळे
अधिव्याख्याता, स्थापत्य अभियांत्रिकी विभाग

श्री. कुलदिप प्रकाश माळी
विभाग प्रमुख, स्थापत्य अभियांत्रिकी विभाग

श्री. पियुष अंकुश करांडे
अधिव्याख्याता, स्थापत्य अभियांत्रिकी विभाग

श्री. विजय दिपक वडनेरे
अधिव्याख्याता, स्थापत्य अभियांत्रिकी विभाग

समीक्षक

श्री. विजय दिपक वडनेरे
श्री. कुलदिप प्रकाश माळी
श्री. सागर एकनाथ शिंदे
श्री. कुणाल केवळ काळे
श्री. गौरव धनराज अहिरे

मुख्य समन्वयक

श्री. हणमंत शामराव जाधव
प्राचार्य

संस्था समन्वयक

श्री. कुलदिप प्रकाश माळी
विभाग प्रमुख, स्थापत्य अभियांत्रिकी विभाग

प्रकल्प संस्था

राजारामबापू इन्स्टिट्यूट ऑफ टेक्नॉलॉजी, राजारामनगर. (1740)



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



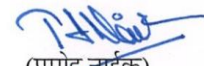
प्रास्ताविक

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, विश्लेषण, विवेकपूर्ण पुरावे, कारणमीमांसा आणि सुस्पष्ट निकष यांचा वापर करून अर्थाची उकल करण्याची, विश्लेषण व मूल्यमापन करण्याची तसेच तर्काने 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 सामग्रीची 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 शिक्षणाकरिता 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 संबंधित 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 सामग्रीचा दर्जा, तसेच इतर बाबींची तपासणी करण्यात आलेली आहे. त्यामुळे सदर शैक्षणिक सामग्री 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 करिता निश्चितच हातभार लागेल , असा मला विश्वास आहे.

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


(प्रमोद नाईक)
संचालक

म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई.

अनुक्रमणिका

Sr. No.	Name of Unit	Page Nos.
1	द्रव आणि द्रव दाब मोजण्याचे गुणधर्म (Properties of Fluid and Fluid Pressure Measurement)	1
2	हायड्रोस्टॅटिक्स (Hydrostatics)	26
3	हायड्रो कायनेमॅटिक्स आणि हायड्रो डायनॅमिक्स (Hydro kinematics and Hydro dynamics)	35
4	पाईप्स आणि पंपांमधून प्रवाह (Flow through Pipes and Pumps)	45
5	ओपन चॅनेलद्वारे प्रवाह (Flow through Open Channel)	67

युनिट-1: द्रव आणि द्रव दाब मोजण्याचे गुणधर्म (Properties of Fluid & Fluid Pressure Measurement)

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcomes)

CO1: द्रवपदार्थांमध्ये दाब मोजण्याच्या उपकरणांमधून मिळवलेल्या दाब मापदंडांचा अर्थ लावा.

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes)

TLO 1.1 दिलेल्या सिव्हिल इंजिनिअरिंग अनुप्रयोगात हायड्रॉलिक्सची भूमिका स्पष्ट करा.

TLO 1.2 दिलेल्या डेटावरून द्रवाचे वेगवेगळे गुणधर्म मोजा.

TLO 1.3 दिलेल्या डेटासाठी गेज प्रेशरचे अब्स्युलूट प्रेशरमध्ये रूपांतर करा आणि उलट करा.

TLO 1.4 दिलेल्या डेटासाठी योग्य उपकरणाचा वापर करून एका बिंदूवरील दाब आणि दोन बिंदूंमधील दाब फरक मोजा.

1.1 द्रवाचे गुणधर्म (Properties of Fluid)

1.1.1 द्रव यांत्रिकी (Fluid Mechanics): द्रव यांत्रिकी ही विज्ञानाची एक शाखा आहे जी स्थिर आणि गतिमान स्थितीत द्रवपदार्थांच्या वर्तनाचा अभ्यास करते.

द्रव(Fluid) : द्रव किंवा वायू असलेल्या कोणत्याही पदार्थात प्रवाहित होण्याची क्षमता असते.

1.1.2 द्रवपदार्थांचे प्रकार (Types of Fluids)

a. आदर्श द्रवपदार्थ (Ideal Fluid): ज्या द्रवपदार्थांचे दाब कमी असते आणि ज्याला चिकटपणा नसतो त्याला

आदर्श द्रवपदार्थ म्हणतात. हा केवळ एक काल्पनिक द्रवपदार्थ आहे परंतु प्रत्यक्षात द्रवपदार्थात काही चिकटपणा असतो.

b. वास्तविक द्रव (Real Fluid): ज्या द्रवात चिकटपणा असतो त्याला वास्तविक द्रव म्हणतात. उदाहरणार्थ: वास्तविक व्यवहारात सर्व द्रव हे वास्तविक द्रव असतात.

c. न्यूटोनियन द्रवपदार्थ (Newtonian Fluid): ज्या वास्तविक द्रवपदार्थात शिअर स्ट्रेस शिअर केले जातात तो शिअर स्ट्रेन दराशी थेट प्रमाणात असतो त्याला न्यूटोनियन द्रवपदार्थ म्हणतात.

d. नॉन-न्यूटोनियन फ्लुइड (Non-Newtonian Fluid): एक वास्तविक द्रव ज्यामध्ये शिअर स्ट्रेस हा शिअर स्ट्रेन दराशी थेट प्रमाणात नसतो. नॉन-न्यूटोनियन फ्लुइड.

1.1.3 हायड्रॉलिक्स (Hydraulics):

हायड्रॉलिक्स ही सिव्हिल इंजिनिअरिंगची एक उपशाखा आहे ज्यामध्ये पाण्याशी संबंधित प्रणालींची रचना, विश्लेषण आणि व्यवस्थापन समाविष्ट आहे. किंवा

सिव्हिल इंजिनिअरिंगमधील हायड्रॉलिक्स ही एक शाखा आहे जी विविध प्रणालींद्वारे द्रवपदार्थांच्या, प्रामुख्याने पाण्याच्या, प्रवाह आणि वहनाशी संबंधित आहे.

हे क्षेत्र दाब, प्रवाह दर आणि ऊर्जा हस्तांतरण यासारख्या वेगवेगळ्या परिस्थितींमध्ये द्रव वर्तन नियंत्रित करणारी तत्त्वे आणि कायदे समाविष्ट करते. सिव्हिल अभियंते धरणे, वाहिन्या, पाईप्स आणि स्पिलवे सारख्या जलप्रणालींचे विश्लेषण आणि डिझाइन करण्यासाठी हायड्रॉलक्सचा वापर करतात.

1.1.4 हायड्रोस्टॅटिक्स (Hydrostatics) :

हायड्रोस्टॅटिक्स ही द्रव यांत्रिकीची एक शाखा आहे जी स्तिरतेच्या वेळी द्रवाचा अभ्यास करते, विशेषतः असंकुचित द्रव आणि वायूचे वर्तन आणि गुणधर्म.

हा शब्द "हायड्रो", ज्याचा अर्थ पाणी आहे आणि "स्टॅटिकोस", ज्याचा अर्थ स्थिर आहे, या ग्रीक शब्दांपासून बनलेला आहे. हायड्रोस्टॅटिक्स द्रवपदार्थावर कार्य करणाऱ्या शक्तींच्या समतोल आणि संतुलनावर लक्ष केंद्रित करते. जहाजे आणि पाणबुड्या डिझाइन करण्यापासून ते पाईप्स आणि जलाशयांमध्ये पाण्याचा दाब मोजण्यापर्यंत विविध अभियांत्रिकी अनुप्रयोगांमध्ये हायड्रोस्टॅटिक्सची तत्त्वे समजून घेणे आवश्यक आहे.

1.1.5 हायड्रोडायनामिक्स (Hydrodynamics) :

हायड्रोडायनामिक्स ही द्रव यांत्रिकीची एक शाखा आहे जी द्रवांच्या विशेषतः द्रवांच्या (हालचाली आणि त्यांच्यावर कार्य करणाऱ्या दबावाचा अभ्यास करते

1.1.6 स्थापत्य अभियांत्रिकी क्षेत्रात हायड्रॉलक्सचा वापर (Application of hydraulics in Civil Engineering field)

- **पाणी प्रणाली (Water systems)**- धरणे, कालवे, पाईप्स आणि स्पिलवे डिझाइन करण्यासाठी हायड्रॉलक्सचा वापर केला जातो.
- **जलमार्ग व्यवस्थापन (Waterway management)**- पूर संरक्षण आणि झीज संरक्षणासाठी जलमार्गांचे व्यवस्थापन करण्यासाठी हायड्रॉलक्सचा वापर केला जातो.
- **हायड्रॉलिक संरचना (Hydraulic structures)**- ब्रेकवॉटर, सांडपाणी नलिका आणि धरणे यासारख्या हायड्रॉलिक संरचना डिझाइन करण्यासाठी हायड्रॉलक्सचा वापर केला जातो.
- **पर्यावरण व्यवस्थापन (Environmental management)** -पृष्ठभागावरील पाण्यात प्रदूषकांच्या वाहतुकीचा आणि मिश्रणाचा अंदाज घेण्यासाठी हायड्रॉलक्सचा वापर केला जातो.
- **पिण्याच्या पाण्याचा पुरवठा (Drinking water supply)** -घरांना पिण्याच्या पाण्याचा पुरवठा त्याच्या स्रोतापासून करण्यासाठी हायड्रॉलक्सचा वापर केला जातो.

1.2 द्रवाचे गुणधर्म (Properties of Fluid):

a. **वस्तुमान (Mass) (m):** कोणत्याही शरीरात असलेल्या पदार्थाच्या प्रमाणाला वस्तुमान म्हणतात. त्याची युनिट्स आहेत kg, gm.

b. **वजन (Weight)(W):** कोणत्याही वस्तूवर होणाऱ्या गुरुत्वाकर्षण बलाच्या प्रमाणाला वजन म्हणतात

$$a. W = mg$$

त्याची युनिट्स आहेत Newton (N).

c. आकारमान (Volume)(v): कोणत्याही पदार्थाने किंवा द्रवपदार्थाने व्यापलेली जागा

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ lit.}$$

$$1. \text{ lit.} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

d. द्रव्यमान घनता किंवा विशिष्ट द्रव्यमान घनता (Mass Density or Specific Mass or Density)(ρ):

द्रवपदार्थाच्या वस्तुमानाचे त्याच्या आकारमानाशी असलेले गुणोत्तर म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते.

$$\text{Mass Density} = \frac{\text{Mass}}{\text{Volume}}$$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

जिथे, m = द्रवपदार्थाचे वस्तुमान

v = द्रवपदार्थाने व्यापलेले प्रमाण

त्याचे एकक असे आहे $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

शुद्ध पाण्याची वस्तुमान घनता = $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

e. वजन घनता किंवा विशिष्ट वजन (Weight Density or Specific Weight) (w):

द्रवपदार्थाच्या वजनाचे त्याच्या परिमाणाशी असलेले गुणोत्तर म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते.

$$\text{Weight Density} = \frac{\text{Weight}}{\text{Volume}}$$

$$w = \frac{W}{v}$$

जिथे, W = द्रवपदार्थाचे वजन

v = द्रवपदार्थाने व्यापलेले प्रमाण.

त्याचे एकक असे आहे $\frac{N}{\text{m}^3}$

तसेच, $w = \rho g$

$$\text{शुद्ध पाण्याची वजन घनता} = 9810 \frac{N}{\text{m}^3}$$

f. स्पेसिफिक ग्रेविटी (Specific Gravity) (S):

कोणत्याही द्रवाचे स्पेसिफिक ग्रेविटी अशी व्याख्या केली जाऊ शकते की हे त्या द्रवाच्या वस्तुमान घनतेचे पाण्याच्या वस्तुमान घनतेशी गुणोत्तर आहे.

कोणत्याही द्रवाचे स्पेसिफिक ग्रेविटी देखील परिभाषित केले जाऊ शकते कारण हे त्या द्रवाच्या वजन घनतेचे आणि पाण्याच्या वजन घनतेचे गुणोत्तर आहे.

$$\text{Specific Gravity of Fluid} = \frac{\text{Mass Density of fluid}}{\text{Mass Density of water}}$$

or

$$\text{Specific Gravity of Fluid} = \frac{\text{Weight Density of fluid}}{\text{Weight Density of water}}$$

g. स्पेसिफिक वॉल्यूम (Specific Volume) (Vs):

कोणत्याही द्रवाचे विशिष्ट आकारमान हे द्रवाच्या आकारमानाचे त्याच्या वस्तुमानाशी असलेले गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाऊ शकते. ते वस्तुमान घनतेचे परस्परसंबंध आहे.

$$\text{Specific Volume} = \frac{\text{Volume}}{\text{Mass}}$$

$$V_s = \frac{v}{m}$$

जिथे, v = द्रवपदार्थाने व्यापलेले प्रमाण..

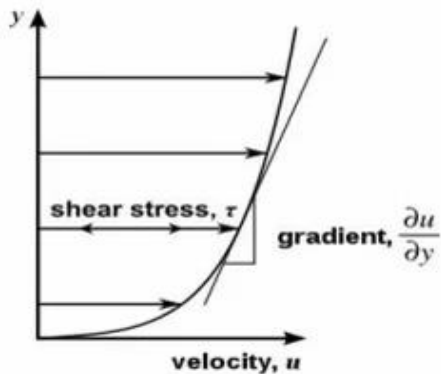
m = द्रव पदार्थाचे वस्तुमान

त्याचे एकक असे आहे $\frac{m^3}{kg}$

h. बाष्प दाब (Vapour Pressure) :

- सर्व द्रव पदार्थांचे बाष्पीभवन होते. जेव्हा बंदिस्त जागेत बाष्पीभवन होते, तेव्हा बाष्पाच्या रेणूंद्वारे होणाऱ्या अंशतः दाबाला बाष्पदाब म्हणतात.
- द्रवाचा बाष्पाचा दाब तापमानावर अवलंबून असतो. तापमानाबरोबर बाष्पाचा दाब वाढतो..

i. चिकटता (Viscosity):



$$\text{Viscosity, } \tau = \mu \frac{du}{dy}$$

Where,

μ = Dynamic viscosity |

τ = Shear stress = F/A

$\frac{du}{dy}$ = Rate of shear deformation

Fig.1.2.1 शेअर आणि व्हेलॉसिटी डिस्ट्रिब्युशन

(स्तोत्र - <https://rb.gy/1mj5y>)

- सामान्यतः द्रवपदार्थांची चिकटता द्रवपदार्थांचा गुणधर्म म्हणून परिभाषित केली जाऊ शकते जी द्रवपदार्थांचा एक थर दुसऱ्या शेजारच्या थरावर सामायिक करण्याविरूद्ध प्रतिकार प्रदान करते

- ii) हे अंतर्गत द्रव घर्षणाचे मोजमाप आहे ज्यामुळे द्रव प्रवाहास प्रतिकार होतो. हे द्रव प्रवाहातील कणांमधील परस्परक्रिया आणि सामंजस्यामुळे होते.
- iii) आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे द्रवपदार्थाच्या दोन थरांचा विचार करा. वरचा थर खालच्या थरापेक्षा जास्त वेगाने चालतो आणि थरातील अंतर "dy" असते.
- iv) वरच्या थरामुळे खालच्या थरावर तर खालच्या थरावर वरच्या थरावर ताण येतो.
- v) हा शेअर स्ट्रेस थेट "y" च्या संदर्भात वेग बदलण्याच्या दराच्या प्रमाणात असतो

j. न्यूटनस लॉ ऑफ व्हिस्कोसिटी (Newton's Law of Viscosity) :

द्रव थरांमधील शेअर स्ट्रेस थेट "y" म्हणजेच वेग प्रवणतेच्या संदर्भात वेग बदलाच्या दराच्या प्रमाणात असतो..

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

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

जिथे, τ = शेअर स्ट्रेस N/m²

μ = चिकटपणाचे गुणांक Ns/m²

du/dy = वेग प्रवणता (ग्रेडियंट) s⁻¹

k. डायनॅमिक व्हिस्कोसिटी (Dynamic Viscosity) (μ):

शीअर स्ट्रेसचा युनिट रेट तयार करण्यासाठी आवश्यक असलेला शीअर स्ट्रेस अशी त्याची व्याख्या केली जाते.

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

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

$$\mu = \tau / \left(\frac{du}{dy} \right)$$

जिथे, τ = शेअर स्ट्रेस N/m²

μ = चिकटपणाचे गुणांक Ns/m²

du/dy = वेग प्रवणता s⁻¹

l. कायनेमॅटिक व्हिस्कोसिटी (Kinematic Viscosity)(ν):

डायनॅमिक व्हिस्कोसिटी आणि वस्तुमान घनतेचे गुणोत्तर कायनेमॅटिक व्हिस्कोसिटी म्हणतात.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

याचे एकक m²/s.

m. पृष्ठभाग ताण (Surface Tension) (σ):

द्रव रेणूंमध्ये संयोग आणि आसंजन हे गुणधर्म आहेत.

संयोग बल (Cohesion force): द्रव पदार्थाची कणांच्या एका समूहाप्रमाणे राहण्याची प्रवृत्ती

आसंजन (Adhesion): म्हणजे द्रवाच्या रेणू आणि द्रवाच्या संपर्कात असलेल्या घन सीमा पृष्ठभागाच्या रेणूंमधील आकर्षण

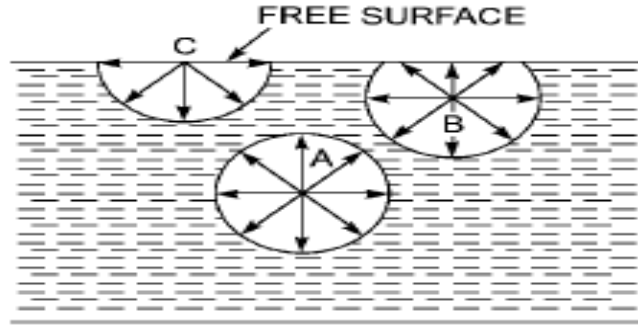


Fig 1.2.2 . पृष्ठभागावरील ताण
(स्तोत्र - <https://rb.gy/1mjQ5y>)

- पृष्ठभागावरील तणावाची घटना आकृतीद्वारे स्पष्ट केली आहे. द्रवाच्या वस्तुमानातील द्रवाचे A, B आणि C या तीन रेणूंचा विचार करा.
- द्रवाच्या सभोवतालच्या रेणूंमुळे 'A' हा रेणू सर्व दिशांना समानपणे आकर्षित होतो आणि परिणामी A रेणूवर कार्य करणारे बल शून्य असते का?
- परंतु मुक्त पृष्ठभागाजवळ असलेल्या 'B' या रेणूवर असंतुलित असलेल्या वरच्या व खालच्या बलांनी कार्य केले जाते. त्यामुळे रेणू 'B'वरील निव्वळ परिणामी बल अधोगतीच्या दिशेने कार्य करीत असते.
- द्रवाच्या मुक्त पृष्ठभागावर असलेल्या 'C' या रेणूला परिणाम व अधोगतीचा अनुभव येतो. मुक्त पृष्ठभागावरील सर्व रेणूंना अधोगतीचा अनुभव येतो. अशा प्रकारे, द्रवाचा मुक्त पृष्ठभाग अत्यंत पातळ फिल्मप्रमाणे कार्य करतो आणि द्रवाच्या पृष्ठभागाची धारणा तणावाखाली लवचिक पडदा असल्यासारखे कार्य करते.

n. केशिका (Capillarity) (h):

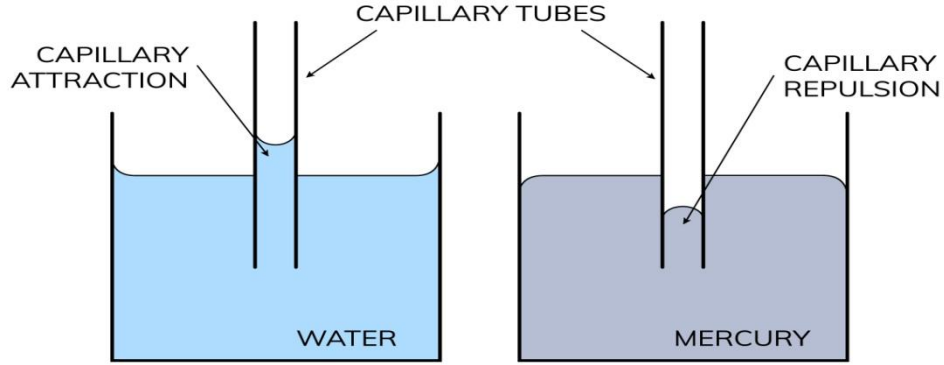


Fig.1.2.3 केशिका

(स्तोत्र -<http://bit.ly/3Q5RxuB>)

- जर पातळ काचेची नळी द्रवात बुडवली तर द्रव नळीत वर येईल किंवा पडेल, या घटनेला केशिका म्हणतात. हे संयोग किंवा आसंजनामुळे होते.
- जर द्रवाचे आसंजन संयोग पेक्षा जास्त असेल, तर द्रव वरच्या दिशेने अंतर्वक्र पृष्ठभाग असलेल्या नळीत वर येईल, उदाहरणार्थ, पाणी.
- जर संयोग आसंजनापेक्षा जास्त असेल तर नळीमध्ये द्रव पातळी कमी होईल. उदाहरणार्थ, पारा

Let, h = केशिका वाढू द्या किंवा कमी होऊ द्या

σ = पृष्ठभागावरील ताण

α = नळीच्या पृष्ठभागाशी द्रवाच्या संपर्काचा कोन

w = द्रव पदार्थाचे वजन..

d = नळीचा व्यास..

समतोल स्थितीसाठी (For equilibrium condition)

,

Weight of liquid in column of height 'h' acting down = Force exerted by vertical component of surface tension.

$$\frac{\pi}{4} d^2 \cdot h \cdot w = \pi \cdot d \cdot \sigma \cdot \cos \alpha$$

$$h = \frac{4 \sigma \cdot \cos \alpha}{w d}$$

$$h = \frac{4 \sigma \cdot \cos \alpha}{\rho g d}$$

..... (as $w = \rho g$)

o. संकुचितता (Compressibility) (C):

बाह्य शक्तींच्या प्रभावाखाली द्रवपदार्थाच्या आकारमानात बदल होण्याची ही एक घटना आहे. हे लवचिकतेच्या बल्क मापांकाच्या व्यस्त प्रमाणात असते.

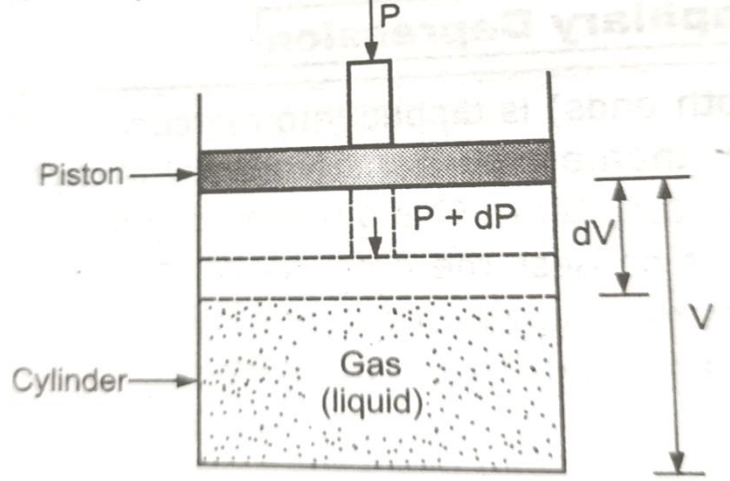


Fig.1.2.4 संकुचितता
(स्तोत्र - <https://rb.gy/1mq5y>)

Let, V = सिलिंडरमध्ये बंदिस्त द्रवपदार्थाचे प्रमाण

P = व्हॉल्यूम ' V ' असताना द्रवपदार्थावरील दाब

dP = दाब वाढणे

dV = व्हॉल्यूम कमी होणे

As,

$$\text{Volumetric strain} = \frac{-dV}{V}$$

बल्क मॉड्यूलस,,

$$K = \frac{\text{Change in pressure}}{\text{Volumetric strain}}$$

$$K = \frac{dP}{-\left(\frac{dV}{V}\right)}$$

$$K = \frac{-VdP}{dV}$$

$$\text{Compressibility} = \frac{1}{\text{Bulk Modulus}}$$

$$C = \frac{1}{K}$$

$$C = \frac{1}{\frac{-VdP}{dV}}$$

$$C = \frac{-dV}{VdP}$$

1.3 विविध प्रकारचे दबाव (Various types of pressure):

1.3.1 द्रवदाब (Fluid Pressure) :

1. स्थिर दाब (Static Pressure) : कंटेनरच्या पृष्ठभागावर स्तिरतेच्या वेळी द्रवाने त्याच्या वजनामुळे जो दाब टाकला त्याला स्थिर दाब असे म्हणतात. दाबाची दिशा नेहमी पृष्ठभागावर सामान्य असते ज्यावर ती कार्य करते.

2. दाबाची तीव्रता (The Intensity of Pressure): ज्या एकक क्षेत्रावर ती कार्य करते त्या क्षेत्रफळाला सामान्य बल म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते.

$$\text{Intensity of Pressure } P = \frac{F}{A}$$

याचे एकक N/m^2 .

1.3.2 प्रेशर हेड (Pressure Head):

This is used for measuring the velocity of a fluid.

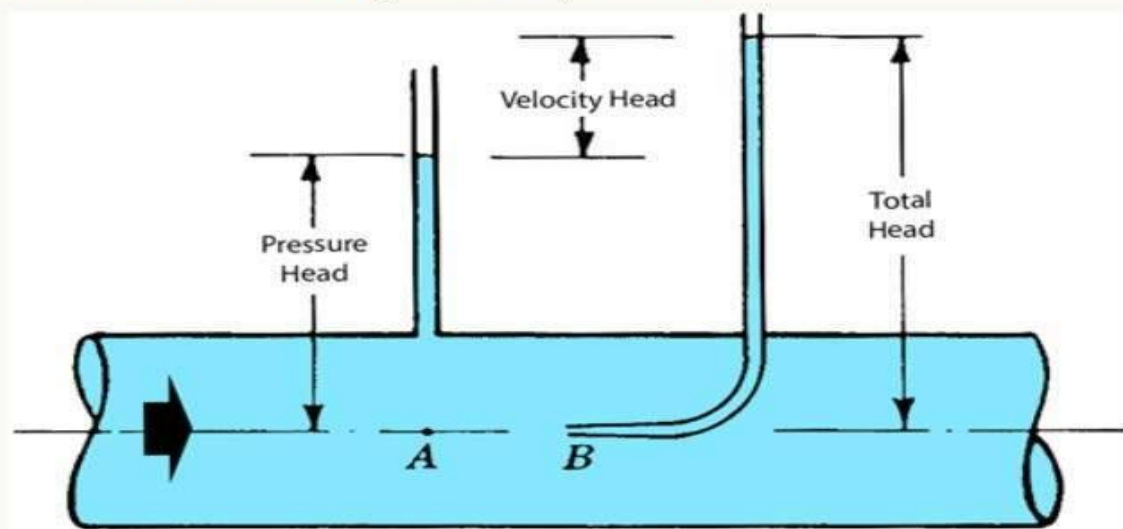


Fig. 1.3.1 द्रव युक्त पाईप

(स्तोत्र -<https://rb.gy/1mjQ5y>)

व्याख्या:- प्रेशर हेड हे द्रवपदार्थाच्या दाबामुळे त्याच्या अंतर्गत ऊर्जेचे मोजमाप आहे, ज्याला द्रव स्तंभाच्या उभ्या उंचीच्या रूपात व्यक्त केले जाते ज्याला द्रवाच्या हायड्रोस्टॅटिक दाबाने आधार दिला जाऊ शकतो.

प्रेशर हेडला स्टॅटिक प्रेशर हेड किंवा फक्त स्टॅटिक हेड असेही म्हणतात.

प्रेशर हेड लांबीच्या युनिट्समध्ये मोजले जाते, जसे की मीटर

प्रेशर हेड खालील सूत्र वापरून मोजले जाऊ शकते:

$$\text{प्रेशर हेड} = \text{दाब} / (\text{घनता} * \text{गुरुत्वाकर्षण}) \quad \text{किंवा} \quad \text{प्रेशर हेड} = p / \rho g.$$

p = स्थिर दाब

ρ = द्रव घनता

g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारा प्रवेग

1.3.3 पास्कल नियम (Pascals law): स्थिर असलेल्या द्रवपदार्थाच्या कोणत्याही बिंदूवरील दाबाची तीव्रता सर्व दिशांना सारखीच असते.

पास्कल नियमाचे उपयोग (Applications of Pascals Law) -

1. हायड्रॉलिक ब्रेक सिस्टम
2. हायड्रॉलिक क्लच सिस्टम
3. हायड्रॉलिक प्रेस
4. हायड्रॉलिक उपकरणे

1.3.4 वातावरणीय, मापक व निरपेक्ष दाब ही संकल्पना (Concept of Atmospheric, Gauge & Absolute Pressure):

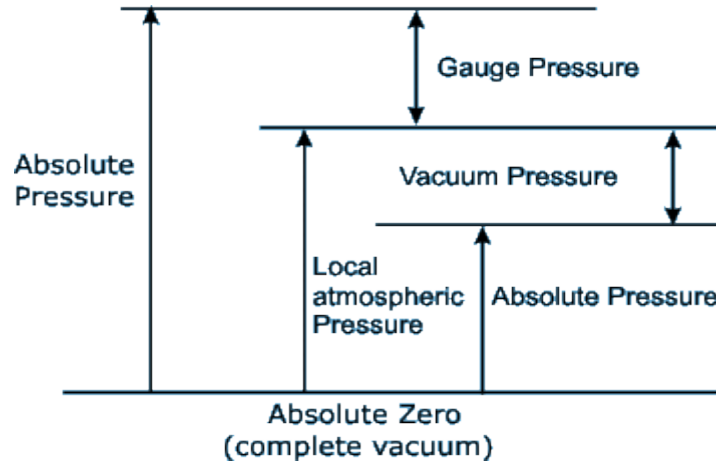


Fig.1.3.3 प्रेशर रिलेशनशिप

(स्रोत - <https://rb.gy/1mj6y>)

- a. **वातावरणीय दाब (Atmospheric Pressure):** वातावरणीय हवेमुळे पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर त्याच्या वजनामुळे पडणाऱ्या दाबाला वातावरणीय दाब असे म्हणतात. हे मर्क्युरी बॅरोमीटरद्वारे मोजले जाते.

$$\begin{aligned} 1 \text{ Atmospheric Pressure} &= 10.33 \text{ m head of water column} \\ &= 760 \text{ mm of Hg column} \end{aligned}$$

$$= 1.013 \text{ bar}$$

$$= 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

- b. **गेज प्रेशर (Gauge Pressure)** : वातावरणीय दाब डॅटम म्हणून घेऊन मोजला जाणारा दाब म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते. दाब मोजण्याच्या यंत्राच्या साहाय्याने त्याचे मोजमाप केले जाते
- c. **पॉझिटिव्ह गेज प्रेशर (Positive Gauge Pressure)** : वातावरणीय दाबापेक्षा दाब मोजला गेला तर त्याला पॉझिटिव्ह गेज प्रेशर म्हणतात.
- d. **निगेटिव्ह गेज प्रेशर (Negative Gauge Pressure)** : वातावरणीय दाबाच्या खाली दाब मोजला गेला तर त्याला निगेटिव्ह गेज प्रेशर म्हणतात
- e. **निरपेक्ष दाब (Absolute Pressure)**: जर दाब निरपेक्ष शून्य किंवा पूर्ण निर्वाताच्या वर मोजला गेला तर त्याला निरपेक्ष दाब म्हणतात
- f. **निरपेक्ष निर्वात (Absolute Vacuum)**: निरपेक्ष निर्वात म्हणजे शून्यता किंवा जागा ज्यामध्ये पदार्थाचे कोणतेही रूप नसते

1.4 दाबाचे मोजमाप (Measurement of Pressure):

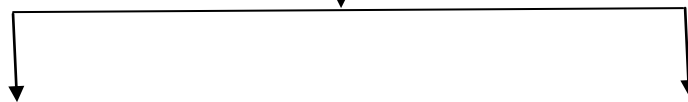
कोणत्याही बिंदूवर द्रवाचा दाब किंवा दोन बिंदूंमधील दाबाचा फरक मोजणारे उपकरण प्रेशर गेज म्हणून ओळखले जाते. या उपकरणांचे वर्गीकरण खालीलप्रमाणे केले जाते:

1. मॅनोमीटर(Manometers)
2. यांत्रिक गेज (Mechanical Gauges)

1.4.1 मॅनोमीटर (Manometers):

द्रवपदार्थाच्या कोणत्याही बिंदूवर द्रवपदार्थाच्या स्तंभाचे त्याच किंवा दुसऱ्या स्तंभाने संतुलन साधून दाब मोजण्यासाठी वापरली जाणारी उपकरणे त्यांचे वर्गीकरण खालीलप्रमाणे केले जाते

मॅनोमीटर(Manometers)



A. साधे (Simple)

(Differential)

1. पिझोमीटर (Piezometer)
2. यू-ट्यूब मॅनोमीटर(U-tube manometer)
3. सिंगल कॉलम मॅनोमीटर (Single column manometer)

B. डिफरेंशियल

1. यू-ट्यूब डिफरेंशियल मॅनोमीटर
2. इन्व्हर्टेड यू-ट्यूब डिफरेंशियल

A. साधे मॅनोमीटर (Simple Manometers):

साध्या मॅनोमीटरमध्ये एका काचेच्या नळीचा समावेश असतो ज्याचे एक टोक एका बिंदूशी जोडलेले असते ज्याचा दाब मोजायचा असतो आणि दुसरे टोक वातावरणासाठी उघडे असते. नळी पाईपच्या आत बाहेर पडू नये आणि छिद्राजवळील सर्व बर आणि खडबडीतपणा काढून टाकावा.

1. पीजोमीटर (Piezometer) :

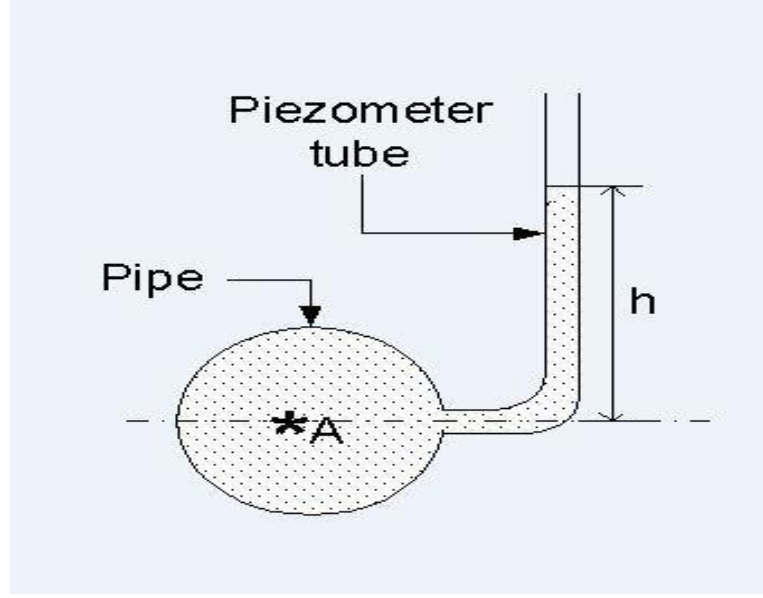


Fig.1.4.1 - पीजोमीटर

(स्तोत्र -<https://rb.gy/cgcy7y>)

मध्यम दाब मोजण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या मॅनोमीटरचा हा सर्वात सोपा प्रकार आहे. तो फक्त गेज दाब मोजतो. या मॅनोमीटरचा एक टोक ज्या बिंदूचा दाब मोजायचा आहे त्या बिंदूशी जोडलेला असतो आणि दुसरा टोक आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे वातावरणासाठी खुला ठेवला जातो. द्रवाच्या वाढीमुळे वातावरणीय दाबाच्या संदर्भात त्या बिंदूवर दाबाचे डोके मिळते. जर 'A' बिंदूवर द्रवाची उंची समजा पाण्याची उंची पायझोमीटर नळीमध्ये 'h' असेल, तर 'A' वरील दाब.

$$P = w \cdot h$$

Where, P = दाबाची तीव्रता. N/m^2 .

w = द्रवाचे विशिष्ट वजन

h = प्रेशर हेड मीटर मध्ये.

फायदे:

1. मांडणीसाठी खुप सोपे.
2. कमी खर्च..

मर्यादा :

1. उच्च दाब मापनासाठी त्याचा वापर करता येत नाही.
2. व्हॅक्यूम दाब मोजण्यासाठी याचा वापर करता येत नाही.

2 'यू' ट्यूब मॅनोमीटर (U-tube manometer):

त्यामध्ये एकसमान व्यासाची पातळ काचेची नळी असते जी 'U' आकारात वाकलेली असते. ज्याचे एक टोक ज्या बिंदूचा दाब मोजायचा आहे त्याच्याशी जोडलेले असते आणि दुसरे टोक आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे वातावरणासाठी उघडे असते. नळीमध्ये सामान्यतः मॅनोमेट्रिक द्रव असतो ज्याचे स्पेसिफिक ग्रेव्हिटी ज्या द्रवाचा दाब मोजायचा आहे त्याच्या विशिष्ट स्पेसिफिक ग्रेव्हिटी पेक्षा जास्त असते (स्पेसिफिक ग्रेव्हिटी 13.6 पारा वापरला जातो)

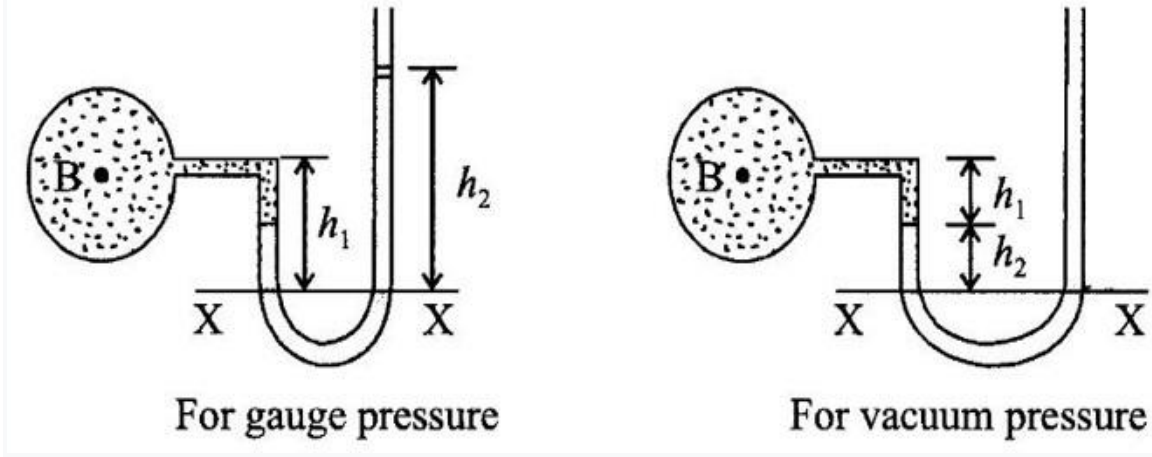


Fig.1.4.2. 'यू' ट्यूब मॅनोमीटर
(स्रोत - <https://rb.gy/qtpbrby>)

केस A - गेज दाब मापनासाठी:

ज्या बिंदूवर दाब मोजायचा आहे तो बिंदू 'B' आहे, ज्याचे मूल्य 'P' आहे, X-X ही डॅटम रेषा आहे

h = प्रेशर हेड B मीटर मध्ये

h_1 = डाव्या स्तंभातील डॅटम रेषेवरील हलक्या द्रवाची उंची

h_2 = उजव्या स्तंभातील डॅटम रेषेवरील जड द्रवाची उंची

S_1 = हलक्या द्रवाची स्पेसिफिक ग्रेव्हिटी

S_2 = जड द्रवाची स्पेसिफिक ग्रेव्हिटी

पास्कलच्या नियमानुसार, डॅटम X-X वर डाव्या आणि उजव्या स्तंभावरील दाब समान असणे आवश्यक आहे

डाव्या स्तंभात X-X वरील दाब = उजव्या स्तंभात X-X च्या वरचा दाब

$$h + S_1 h_1 = S_2 h_2$$

$$h = S_2 h_2 - S_1 h_1$$

दाबाची तीव्रता मोजण्यासाठी $P = wh$

केस B - व्हॅक्यूम दाब मापनासाठी :

डाव्या स्तंभात X-X वरील दाब = उजव्या स्तंभात X-X च्या वरचा दाब

$$h + S_1 h_1 + S_2 h_2 = 0$$

$$h = - S_1 h_1 - S_2 h_2$$

$$h = - \{S_1 h_1 + S_2 h_2\}$$

3. सिंगल कॉलम मॅनोमीटर (Single Column Manometer):

हे 'U'-ट्यूब मॅनोमीटरचे एक सुधारित स्वरूप आहे ज्यामध्ये मोठे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र (ट्यूबच्या व्यासापेक्षा सुमारे 100 पट जास्त) असलेले जलाशय मॅनोमीटरच्या एका स्तंभाशी जोडलेले असते. जलाशयाच्या मोठ्या क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रामुळे, दाबातील कोणत्याही फरकासाठी जलाशयातील द्रव पातळीतील बदल खूपच कमी असेल जो दुर्लक्षित केला जाऊ शकतो. म्हणून, दाब दुसऱ्या म्हणजे उजव्या स्तंभातील द्रवाच्या उंचीवरून दिला जातो. उच्च अचूकतेसह कमी दाब मोजण्यासाठी याचा वापर केला जातो.

सिंगल कॉलम मॅनोमीटर दोन प्रकार आहेत:

- व्हर्टिकल सिंगल कॉलम मॅनोमीटर
- इन्क्लाईड सिंगल कॉलम मॅनोमीटर

a. व्हर्टिकल सिंगल कॉलम मॅनोमीटर (Vertical Single Column Manometer):

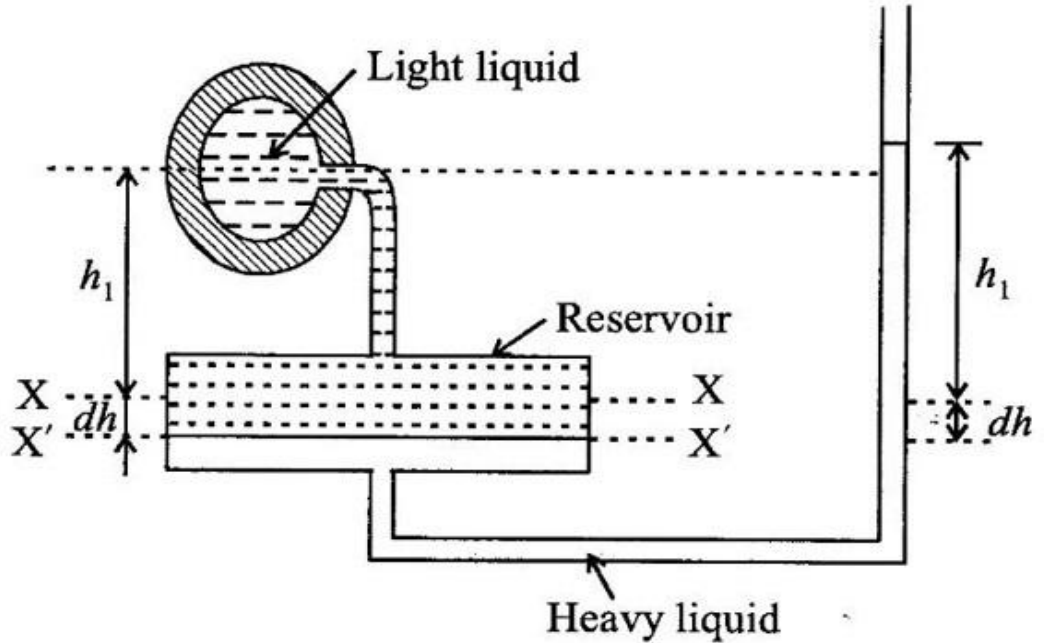


Fig.1.4.3 व्हर्टिकल सिंगल कॉलम मॅनोमीटर

(स्तोत्र - <https://rb.gy/nd4voc>)

आकृतीमध्ये (आ.1.4.3) दाबाखाली हलका द्रव असलेल्या पाईपला जोडलेला एक उभा सिंगल कॉलम मॅनोमीटर दर्शविला आहे. पाईपमधील द्रवाचा दाब जलाशयातील जड द्रव खाली उतरविण्यास भाग पाडतो. जलाशयाचे क्षेत्रफळ मोठे असल्याने जड द्रवपातळीची घसरण फारच कमी होईल. जलाशयातील जड द्रवाच्या या खालच्या हालचालीमुळे उजव्या स्तंभात जड द्रवाची वाढ होईल

जर 'A' ज्या बिंदूवर दाब मोजायचा आहे ज्याचे मूल्य 'P' आहे. समजा, X-X ही तारीख रेषा आहे

h = प्रेशर हेड B मीटर मध्ये

h_1 = डाव्या स्तंभातील डॅटम रेषेवरील हलक्या द्रवाची उंची

h_2 = उजव्या स्तंभातील डॅटम रेषेवरील जड द्रवाची उंची

S_1 = हलक्या द्रवाची स्पेसिफिक ग्रेविटी

S_2 = जड द्रवाची स्पेसिफिक ग्रेविटी

A = जलाशयाचे क्रॉस सेक्शनल क्षेत्र

a = उजव्या स्तंभाचे क्रॉस सेक्शनल क्षेत्र

Δh = जलाशयात जड द्रव पडणे.

जलाशयात जड द्रव पडल्यास उजव्या स्तंभात जड द्रवपातळी वाढेल.

$$A \cdot \Delta h = a \cdot h_2$$

$$\Delta h = \frac{a \cdot h_2}{A}$$

पास्कलच्या नियमानुसार, डॅटम X-X वर डाव्या आणि उजव्या स्तंभावरील दाब समान असणे आवश्यक आहे.

डाव्या स्तंभात X-X वरील दाब = उजव्या स्तंभात X-X च्या वरचा दाब

$$h + [\Delta h + h_1] S_1 = [\Delta h + h_2] S_2$$

$$h = [\Delta h + h_2] S_2 - [\Delta h + h_1] S_1$$

$$h = \Delta h S_2 + h_2 S_2 - \Delta h S_1 - h_1 S_1$$

$$h = \Delta h (S_2 - S_1) + h_2 S_2 - h_1 S_1$$

$$h = \frac{a \cdot h_2}{A} (S_2 - S_1) + h_2 S_2 - h_1 S_1$$

क्षेत्र 'A' च्या तुलनेत क्षेत्रफळ 'a' अतिशय लहान असल्याने a/A गुणोत्तर फारच कमी असल्याने त्याकडे दुर्लक्ष केले जाते

$$h = S_2 h_2 - S_1 h_1$$

दाबाची तीव्रता मोजण्यासाठी $P = wh$

b . इन्कलाईड सिंगल कॉलम मॅनोमीटर (Inclined Single Column Manometer)

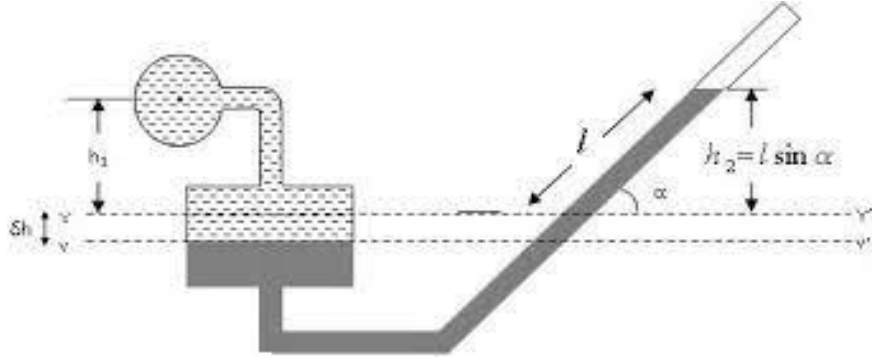


Fig.1.4.4 _इन्कलाईड सिंगल कॉलम मॅनोमीटर
(स्तोत्र - <https://rb.gy/nd6voc>)

आकृती (Fig.1.4.4) इन्कलाईड सिंगल कॉलम मॅनोमीटर दर्शविते. हे मॅनोमीटर अधिक संवेदनशील आहे. झुकावामुळे उजव्या स्तंभातील जड द्रवाने हलवलेले अंतर अधिक असेल.

Let,

L = डॅटम Y-Y पासून उजव्या स्तंभात हलविलेल्या जड द्रवाची लांबी.

θ = आडव्या असलेल्या उजव्या स्तंभाचा कल

h_2 = डॅटम Y-Y पासून उजव्या स्तंभात जड द्रवाची उभी वाढ

$$= L \sin \theta$$

प्रेसर हेड A मध्ये

$$h = h_2 S_2 - h_1 S_1$$

$$h = L \sin \theta S_2 - h_1 S_1$$

दाबाची तीव्रता मोजण्यासाठी

$$P = wh$$

B. डिफरेंशियल मॅनोमीटर (Differential Manometers): डिफरेंशियल मॅनोमीटर ही पाईपमधील दोन बिंदूंमधील दाबाचा फरक मोजण्यासाठी वापरली जाणारी उपकरणे आहेत.

1. यू-ट्यूब डिफरेंशियल मॅनोमीटर (U-tube Differential Manometer)

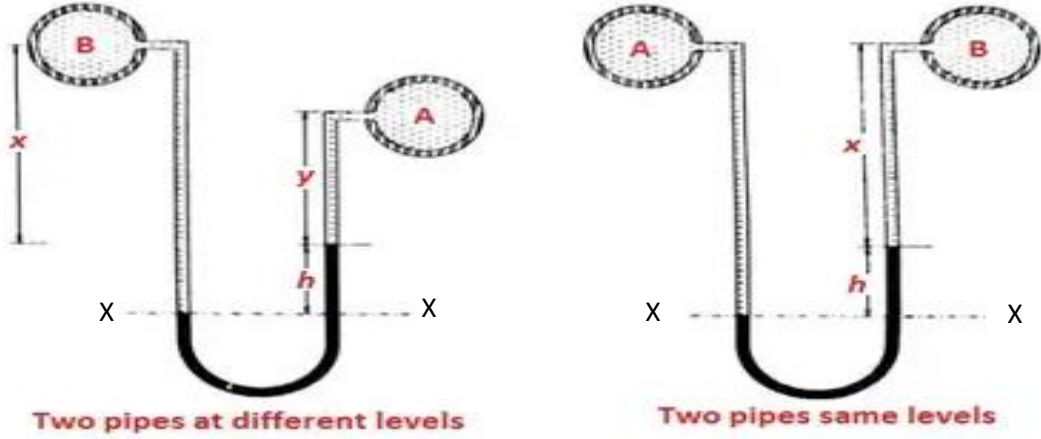


Fig.1.4.5- यू-ट्यूब डिफरेंशियल मॅनोमीटर
(स्तोत्र - <https://rb.gy/3i2b3o>)

केस - I: बिंदू 'A' आणि 'B' वेगवेगळ्या स्तरांवर वेगवेगळे द्रव पदार्थ असतात.

आकृतीमध्ये (आ.1.4.5) दर्शविल्याप्रमाणे मॅनोमीटरचा विचार करा. 'A' आणि 'B' हे बिंदू वेगवेगळ्या पातळ्यांवर असून त्यात वेगवेगळ्या स्पेसिफिक ग्रेव्हिटी चे द्रव पदार्थ असतात. हे बिंदू 'यू-ट्यूब डिफरेंशियल मॅनोमीटरशी जोडलेले असतात. बिंदू 'B'पेक्षा बिंदू 'A'वरील दाब जास्त आहे असे समजा. तर, डाव्या स्तंभातील द्रव खाली ढकलतो आणि उजव्या स्तंभात जड द्रवाची वाढ होते

Let, $h_1 = X-X$ च्या वर डाव्या स्तंभातील द्रवाची उंची

$h_2 = X-X$ च्या वर उजव्या स्तंभातील जड द्रवाची उंची

$h_3 =$ जड द्रवाच्या पातळीपेक्षा उजव्या स्तंभातील द्रवाची उंची

$h_a =$ प्रेशर हेड च्या दृष्टीने पाईप 'A' मधील दाब

$h_b =$ प्रेशर हेड च्या दृष्टीने पाईप 'B' मधील दाब

S_1 & $S_3 =$ पाईप 'A' व 'B' मधील द्रवाचे स्पेसिफिक ग्रेव्हिटी

$S_2 =$ जड द्रवाची स्पेसिफिक ग्रेव्हिटी

पास्कलच्या नियमानुसार, डॅटम $X-X$ वर डाव्या आणि उजव्या स्तंभावरील दाब समान असणे आवश्यक आहे.

डाव्या स्तंभात $X-X$ वरील दाब = उजव्या स्तंभात $X-X$ च्या वरचा दाब

$$h_a + S_1 h_1 = h_b + S_2 h_2 + S_3 h_3$$

$$h_a - h_b = S_2 h_2 + S_3 h_3 - S_1 h_1$$

केस - II: बिंदू 'A' आणि 'B' समान द्रवपदार्थ असलेल्या समान पातळीवर आहेत.

डाव्या स्तंभात $X-X$ वरील दाब = उजव्या स्तंभात $X-X$ च्या वरचा दाब

$$h_a + S_1 h_1 = h_b + S_2 h_2 + S_3 h_3$$

$$h_a - h_b = S_2 h_2 + S_3 h_3 - S_1 h_1$$

$$= S_2 h_2 + S_3 h_3 - S_1 (h_2 + h_3)$$

$$= S_2 h_2 + S_3 h_3 - S_1 h_2 - S_1 h_3 \dots\dots\dots (h_1 = h_2 + h_3)$$

$$= S_2 h_2 + S_1 h_3 - S_1 h_2 - S_1 h_3 \dots \dots \dots (S_1 = S_3)$$

$$h_a - h_b = S_2 h_2 - S_1 h_2$$

2. इन्व्हर्टेड यू-ट्यूब डिफरेंशियल मॅनोमीटर (Inverted U-tube Differential Manometer) :

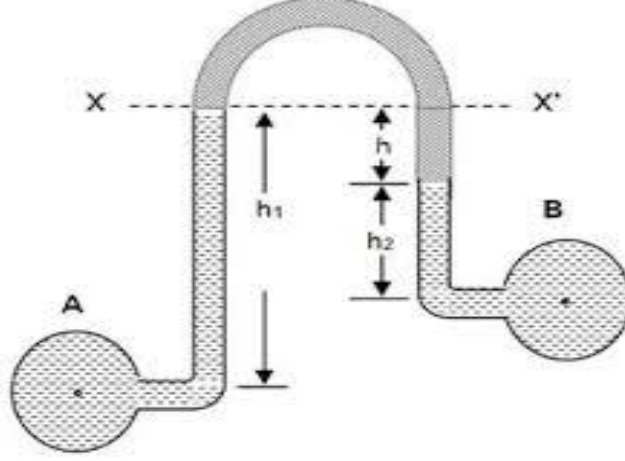


Fig.1.4.6 इन्व्हर्टेड यू-ट्यूब डिफरेंशियल मॅनोमीटर-

(स्तोत्र - <https://rb.gy/ns6rrs>)

U-ट्यूबचे दोन्ही टोक दोन बिंदूशी जोडलेले आहेत ज्यांच्या दाबातील फरक आकृतीत (Fig.1.4.6) दाखवल्याप्रमाणे मोजायचा आहे. कमी दाबातील फरक मोजण्यासाठी एक इन्व्हर्टेड डिफरेंशियल मॅनोमीटर वापरला जातो जिथे अचूकता सर्वात जास्त विचारात घेतली जाते. त्यात एक इन्व्हर्टेड U ट्यूब असतो ज्यामध्ये मॅनोमेट्रिक द्रव असतो.

बिंदू 'B' पेक्षा बिंदू 'A' वरील दाब अधिक आहे, याचा विचार करूया

let,

h_1 = X-X च्या खाली डाव्या स्तंभातील द्रवाची उंची

h_2 = उजव्या व डाव्या स्तंभातील हलक्या द्रवाच्या पातळीतील फरक

h_3 = उजव्या स्तंभातील द्रवाची उंची आहे

S_1, S_2, S_3 = हे डाव्या स्तंभातील द्रवपदार्थाचे स्पेसिफिक ग्रेव्हिटी आहेत, मॅनोमेट्रिक द्रव आणि उजव्या स्तंभात द्रव

h_a = प्रेशर हेड पाईप 'A' मधील

h_b == प्रेशर हेड पाईप 'B' मधील

पास्कलच्या नियमानुसार, डॅटम एक्स-एक्सवर डाव्या आणि उजव्या स्तंभावरील दाब समान असणे आवश्यक आहे.

डाव्या स्तंभात X-X वरील दाब = उजव्या स्तंभात X-X च्या वरचा दाब

$$h_a - S_1 h_1 = h_b - S_2 h_2 - S_3 h_3$$

$$h_a - h_b = S_1 h_1 - S_2 h_2 - S_3 h_3$$

1.4.2 यांत्रिक गेज (Mechanical Gauges) :

1. बोर्डन्स ट्यूब प्रेशर गेज:

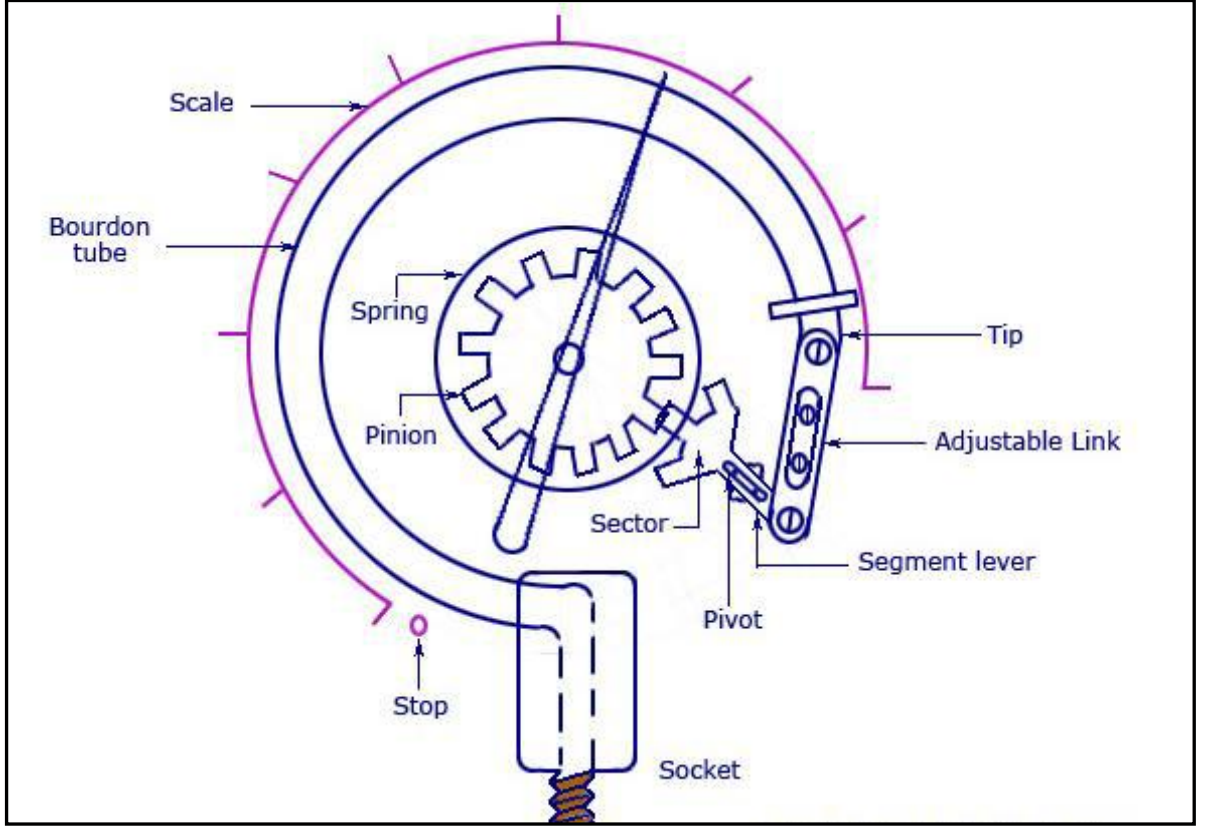


Fig.1.4.7 बोर्डन्स ट्यूब प्रेशर गेज
(स्तोत्र - <https://rb.gy/ns6rrs>)

१८४९ साली युजीन बोर्डन यांनी या उपकरणाचा शोध लावला. डिव्हाइसमागील मूळ कल्पना अशी आहे की, क्रॉस-सेक्शनल ट्यूबिंग कोणत्याही प्रकारे विकृत झाल्यास दाबाच्या क्रियेखाली त्याचे वर्तुळाकार रूप परत प्राप्त करेल. आज वापरल्या जाणारे या बोर्डन प्रेशर गेजमध्ये किंचित लंबवर्तुळाकार क्रॉस-सेक्शन असतो आणि ट्यूब सामान्यतः सी-आकार किंवा सुमारे 27 डिग्री आर्क लांबीमध्ये वाकलेली असते..

बांधणी :

आकृती (आ. १.४.७) मध्ये दाखविल्याप्रमाणे दाब इनपुट एका सॉकेटला दिले जाते जे पायथ्याशी असलेल्या नळीला सोल्डर केले जाते. डिव्हाइसचे दुसरे टोक किंवा फ्री टोक एका टिपद्वारे सील केले जाते. हे टिप समायोज्य लांबीच्या दुव्याद्वारे सेगमेंटल लिव्हरशी जोडलेले आहे. लिव्हरची लांबी देखील समायोजित केली जाऊ शकते. सेगमेंटल लिव्हर योग्यरित्या फिरविलेले आहे आणि स्पिंडल आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे पॉइंटर धारण करते. गिअर दातांच्या योग्य जाळीसाठी आवश्यक ताण प्रदान करण्यासाठी आणि त्याद्वारे सिस्टमला प्रतिक्रियेपासून मुक्त करण्यासाठी कधीकधी उपकरणाच्या फ्रेमचे स्पिंडल बांधण्यासाठी हेअर स्प्रिंगचा वापर केला जातो. ट्यूबच्या भिंतीची जाडी ०.०१ ते ०.०५ इंच असेल.

कार्य:

द्रवदाब बॉर्डन ट्यूबमध्ये प्रवेश करताच त्यात सुधारणा करण्याचा प्रयत्न केला जातो आणि विनामूल्य टिप उपलब्ध असल्याने या क्रियेमुळे टिप मोकळ्या जागेत प्रवास करते आणि नलिका मोकळी होते. अंतर्गत दाबामुळे वाकणे आणि ताण येणे या एकाच वेळी क्रिया मुक्त टोकाची अरेखीय हालचाल करतात. अंतर्गत दाबाच्या मोजमापासाठी हा प्रवास योग्य, मार्गदर्शित आणि विस्तारित आहे. परंतु उपकरणाची मुख्य गरज अशी आहे की जेव्हा जेव्हा तोच दाब लावला जातो तेव्हा टिपची हालचाल सारखीच असावी आणि दाब मागे घेतल्यावर टिप सुरुवातीच्या बिंदूवर परत यावी..

Suggestive Questions

Sr.No.	Questions
1	Define 1.Pressure head 2.Velocity head with neat sketches
2	Explain with neat sketch the working of Bourdons pressure gauge
3	What is the principle of Manometer?
4	Draw a neat sketch showing various types of fluids according to newton's law of viscosity
5	State Pascal's law of fluid pressure.Enlist any four applications of it.

युनिट-2 : हायड्रोस्टेटिक्स (Hydrostatics)

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcomes)

CO2: विविध परिस्थितींसाठी एकूण हायड्रोस्टेटिक प्रेशर आणि दबाव केंद्र निश्चित करा.

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes)

TLO 2.1 दिलेल्या द्रवांसाठी खोलीसह दबाव बदल निश्चित करा.

TLO 2.2 दिलेले विसर्जित पृष्ठभागासाठी एकूण दबाव आणि दाबाचा केंद्र शोधा.

TLO 2.3 दबाव आकृती वापरून परिणाम प्रेशर आणि त्याची स्थिती गणना करा.

2.0 परिचय (Introduction)

हे द्रव आहे जे विश्रांती आहे. याचा अर्थ असा की शेजारी किंवा शेजारी द्रव स्तरांमध्ये कोणतीही गती होणार नाही

2.1 हायड्रोस्टेटिक :- हायड्रोस्टेटिक ही द्रव यांत्रिकी ही शाखा आहे जी विश्रांतीच्या द्रव आणि ते वस्तू आणि पृष्ठभागावर असलेल्या शक्ती आणि दबावाशी हाताळते. हायड्रोस्टेटिक्समधील मूलभूत संकल्पना ही आहे की वरील द्रव वजनामुळे द्रव खोलीने वाढतो.

2.2 हायड्रोस्टेटिक प्रेशर :- विश्रांतीच्या वेळी द्रवणाद्वारे लागलेला दबाव हायड्रोस्टेटिक प्रेशर म्हणतात. या दबावाची दिशा नेहमी ज्या पृष्ठभागावर ते कार्य करतात ते सामान्य असते. हे द्रव खोली, द्रव घनता आणि गुरुत्वाकर्षण प्रवेग यावर अवलंबून असते.

S. I Units is N or KN

$$P = \rho \times g \times h$$

Or

$$P = S_L \times \gamma_L \times A \times h$$

Where:

- P = दबाव,
- ρ = द्रव घनता किंवा वस्तुमान घनता
- g = गुरुत्वाकर्षणामुळे प्रवेग,
- H = हे प्रश्नाच्या बिंदूवरील द्रव स्तंभची उंची (किंवा खोली) आहे.
- S_L = द्रव किंवा द्रव विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण
- γ_L = द्रव विशिष्ट वजनाचे वजन घनता

2.3 प्रेशर हेड (Pressure Head): दबाव हेड विश्रांतीच्या वेळी द्रवणातील कोणत्याही बिंदूपेक्षा मुक्त पृष्ठभागाची उभ्या उंची म्हणून परिभाषित केली जाते.

S.I Unit is 'm'

2.4 टोटल प्रेशर (F): विशिष्ट गुरुत्वाकर्षणाच्या द्रवांत विसर्जित क्षेत्राचा एक लॅमिना लक्षात घेऊन वजन W. मुक्त द्रव पृष्ठभागाच्या खाली Y च्या खोलीवर लॅमिनाचा घटक DA चा विचार करा.

$$\text{घटक क्षेत्रावरील दबावाची तीव्रता} = p = \gamma_L y$$

बद्दल लॅमिनावरील एकूण दबाव (Pressure)

$$\begin{aligned}
 &= \text{Total Pressure} \times \frac{\bar{h}}{\sin \theta} \\
 &= \gamma_L A \bar{y} \times \frac{\bar{h}}{\sin \theta} \\
 \therefore w A \bar{y} \times \frac{\bar{h}}{\sin \theta} &= w \sin \theta I_0 \\
 \bar{h} &= \frac{I_0}{A \bar{y}} \sin^2 \theta
 \end{aligned}$$

लेटिंग हे लॅमिनाच्या विमानांमधील केंद्रीय अक्षाच्या आसपास लॅमिनाची जडत्व चलन आहे, द्रव पृष्ठभागाशी समांतर आहे.

केंद्रीय अक्ष आणि द्रव पृष्ठभागातील अंतर, लॅमिनाच्या मैदानावर

$$\begin{aligned}
 &= \bar{y} \operatorname{cosec} \theta \\
 \text{समांतर अक्ष थर्मो, (By parallel axis thermo) } I_0 &= I_g + A (\bar{y} \operatorname{cosec} \theta)^2 = I_g + A \bar{y}^{-2} \operatorname{cosec}^2 \theta
 \end{aligned}$$

Substituting for I_g in the above expression for $\bar{h}$,

$$\begin{aligned}
 \bar{h} &= \left[\frac{I_g + A \bar{y}^{-2} \operatorname{Cosec}^2 \theta}{A \bar{y}} \right] \sin^2 \theta \\
 \bar{h} &= \bar{y} + \frac{I_g}{A \bar{y}} \sin^2 \theta
 \end{aligned}$$

उभ्या विसर्जित लेमिनासाठी केंद्रीय दबाव : $\theta = 90^\circ$

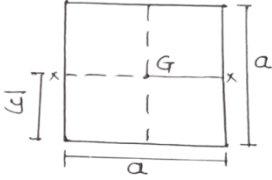
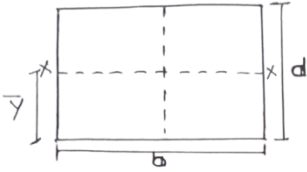
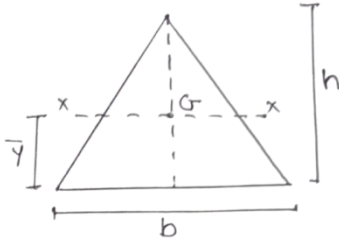
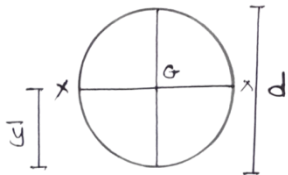
(Centre of Pressure for vertical immersed Lamina): $\theta = 90^\circ$

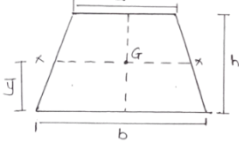
$$\therefore \sin 90^\circ = 1$$

$$\bar{h} = \frac{I_g}{A \bar{y}} + \bar{y}$$

सारणी 3.1 जडत्व आणि काही महत्वाच्या विमान पृष्ठभागाच्या इतर भौमितीय गुणधर्म

(Table 3.1 the movement of inertia and other geometric properties of some important plane surfaces)

अनु. क्र.	प्लान पृष्ठभाग	C.G from Base	Area	Movement of Inertia about C.G (I_{xx})
1	चौरस 	$\bar{y} = \frac{a}{2}$	a^2	$\frac{a^4}{12}$
2	आयताकार 	$\bar{y} = \frac{d}{2}$	$b \times d$	$\frac{bd^3}{12}$
3	त्रिकोण 	$\bar{y} = \frac{h}{3}$	$\frac{1}{2} \times b \times h$	$\frac{bh^3}{36}$
4	वर्तुळ 	$\bar{y} = \frac{d}{2}$	πr^2 or $\frac{\pi}{4} \times d^2$	$\frac{\pi d^4}{64}$

5	Trapezoidal 	$\bar{y} = \left(\frac{2a + b}{a + b} \right) \frac{h}{3}$	$\frac{(a + b)}{2} \times h$	$\left(\frac{a^2 + 4ab + b^2}{36(a + b)} \right) \times h^3$
---	---	---	------------------------------	---

2.6 हायड्रोस्टेटिक्स, एकूण प्रेशर आणि प्रेशर केंद्र यांचे अनुप्रयोग

- **धरण रचना:** धरणाचे दबाव वितरण आणि संरचनात्मक स्थिरता निर्धारित करण्यात मदत करतात.
- **जहाज आणि पाणबुडी स्थिरता:** योग्य उचलता आणि संतुलन सुनिश्चित करा.
- **हायड्रोलिक संरचना:** स्पिलवे, स्लुइस गेट्स आणि पाण्याच्या टाक्यांमध्ये वापरले जाते.
- **वैद्यकीय अनुप्रयोग:** मानवी शरीरातील दबावातील बदल समजून घेणे (उदाहरणार्थ, रक्तप्रेशर).

2.7 दबाव आकृती (Pressure Diagram): दबाव आकृती म्हणजे पृष्ठभागावरील दबावातील बदल खोलीसह ग्राफिकल प्रतिनिधित्व.

टाकीच्या उभ्या बाजूला एकूण हायड्रोस्टेटिक प्रेशर ॲक्टिन प्रति युनिट लांबी प्रेशर डायरेक्ट्रेड क्षेत्राशी बरोबर आहे. दबाव केंद्राच्या स्थिती म्हणजे दबाव आकृतीच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या केंद्राच्या स्थिती.

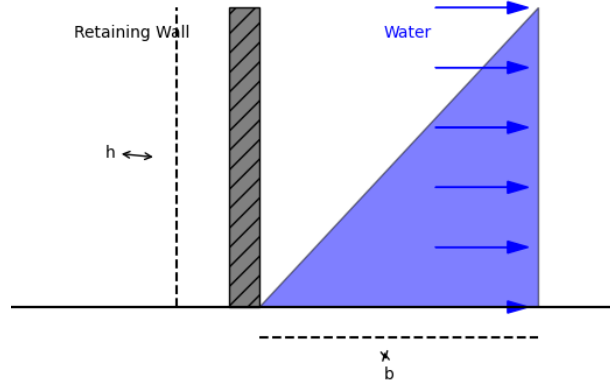


Fig No 2.2 Pressure Diagram

(स्रोत: Draw using AI Tool)

2.7.1 दबाव आकृती उपयोग (Application Of Pressure Diagram) :

1. पृष्ठभागाच्या बाजूला कोणत्याही प्रकारच्या द्रवांमुळे दबावाची गणना करा.
2. केवळ पृष्ठभागाच्या एका बाजूला वेगवेगळ्या प्रकारच्या द्रवांमुळे एकमेकांवर दबाव गणना करा.
3. पृष्ठभागाच्या दोन्ही बाजूंवर द्रव झाल्यामुळे दबावाची गणना.
4. पाण्याच्या टाकीच्या बाजूवर आणि तळावरील दबावाची गणना करण्यासाठी.

2.7.2 स्थिर किंवा प्रेशर आकृतीमध्ये क्षेत्रिज आणि उभ्या दिशेतील दाबाचा :

समजा खोलीपर्यंत पाणी किंवा द्रव असलेली रिटेनिंग भिंत विचार करतो ओह Fig 2.3 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे द्रव पृष्ठभागावरील भिंतीवर दबाव शून्य आहे आणि तळाशी $\gamma_L \cdot H$.

दबाव आकृती त्रिकोणात्मक आहे

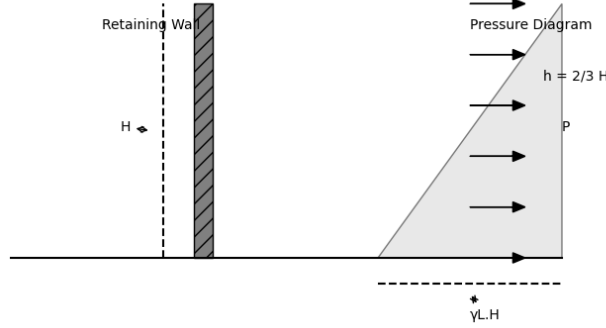


Fig No 2.3 Pressure Diagram

(स्तोत्र: Draw using AI Tool)

∴ प्रति युनिट लांबी भिंतीवर एकूण दबाव = प्रेशर आकृती प्रेशर क्षेत्र

∴ (Total Pressure on the wall per unit length = Area of Pressure Diagram)

Pressure

=

$\frac{1}{2} \times \text{base of triangle} \times \text{height of triangle}$

$$= \frac{1}{2} \times \gamma_L \cdot h \times h$$

$$P = \frac{1}{2} \times \gamma_L \cdot h^2$$

(The location of pressure acts at $\frac{2h}{3}$ from free liquid surface)

$\frac{2h}{3}$ दबाव स्थान मुक्त द्रव पृष्ठभागावरून कार्य करते

2.7.3 पाण्याच्या टाकीच्या तळाशी आणि बाजूला पाण्याचा दबाव

आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, पाणी असलेल्या पाण्याच्या टाकीचा विचार करूया, द्रव पृष्ठभागावरील भिंतीवर दबाव शीर्षस्थानी शून्य

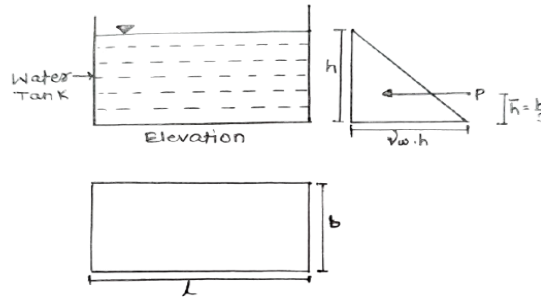


Fig No 2.4 Pressure Diagram

(स्तोत्र: Self Using analysis)

∴ प्रति युनिट लांबी भिंतीवर एकूण दबाव = प्रेशर आकृती क्षेत्र

∴ (Total Pressure on the wall per unit length = Area of Pressure Diagram)

$$\text{Pressure} = \frac{1}{2} \times \text{base of triangle} \times \text{height of triangle}$$

$$P = \frac{1}{2} \times \gamma_L \times H \times H$$

$$P = \frac{1}{2} \times \gamma_L \times H^2$$

The location of pressure acts at $\frac{h}{3}$ from base of tank.

∴ टँकच्या तळावरील एकूण दबाव = तळाच्या तळाशी x क्षेत्रातील दबाव तीव्रता

∴ Total Pressure on the bottom of tank = Pressure intensity at bottom x Area of base

$$P_b = \gamma_L \times h \times \text{Area of base}$$

2.7.4 उभ्या भिंतीच्या एका बाजूला दुसऱ्यावर वेगवेगळ्या प्रकारच्या द्रवांमुळे दबाव

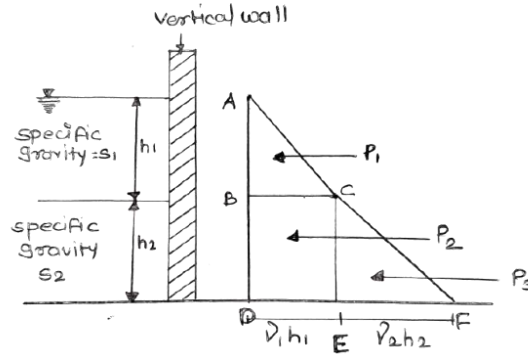


Fig No 2.5 Pressure Diagram

(स्त्रोत्र: Self Using analysis)

Fig 2.5 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे वेगवेगळ्या विशिष्ट वजन किंवा विशिष्ट ग्रेविटीसह (specific weights or specific gravities) γ_{L1} आणि γ_{L2} किंवा S_1 आणि S_2 असलेल्या दोन द्रव विचार करा.

∴ द्रव 1 मुळे एकूण हायड्रोस्टॅटिक प्रेशर = दबाव आकृती P_1 चे क्षेत्रफळ

P_1 = द्रव 1 द्वारे लागलेला दबाव

P_1 = त्रिकोण ABC चे क्षेत्रफळ

$$P_1 = \frac{1}{2} \times \text{base of triangle} \times \text{height of triangle}$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \times \gamma_{L1} \times h_1 \times h_1$$

∴ द्रव 2 मुळे एकूण हायड्रोस्टॅटिक प्रेशर = दबाव आकृती P_2 चे क्षेत्रफळ

P_2 = द्रव 2 द्वारे लागलेला दबाव

P_2 = त्रिकोण CEF चे क्षेत्रफळ

$$P_2 = \frac{1}{2} \times \text{base of triangle} \times \text{height of triangle}$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \times \gamma_{L2} \times h_2 \times h_2$$

∴ द्रव 1 व 2 मुळे एकूण हायड्रोस्टॅटिक प्रेशर = दबाव आकृती P_3 चे क्षेत्रफळ

P_3 = द्रव 1 व 2 द्वारे लागलेला दबाव

P_3 = आयत BDEC चे क्षेत्रफळ

P_3 = Area of Rectangle BDEC

$$P_3 = \gamma_{L1} \cdot h_1 \times h_2$$

∴ एकूण हायड्रोस्टॅटिक प्रेशर = $P = P_1 + P_2 + P_3$

∴ (Total Hydrostatic pressure) = $P = P_1 + P_2 + P_3$

For Center of Pressure

$\bar{h}_1$ = दबाव केंद्र (Center of pressure) for $P_1 = h_2 + \frac{h_2}{3}$ from base

$\bar{h}_2$ = दबाव केंद्र (Center of pressure) for $P_2 = \frac{h_2}{2}$

$\bar{h}_3$ = दबाव केंद्र (Center of pressure) for $P_3 = \frac{h_3}{3}$

$$\text{Now } \bar{h} = \frac{P_1 \bar{h}_1 + P_2 \bar{h}_2 + P_3 \bar{h}_3}{P_1 + P_2 + P_3}$$

2.7.5 पृष्ठभागाच्या दोन्ही बाजूंवर द्रव झाल्यामुळे दबाव.

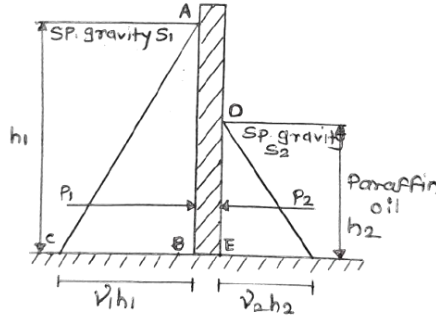


Fig No 2.6 Pressure Diagram

(स्त्रोत्र: Self Using analysis)

आम्ही एक उभ्या विभाजन भिंतीचा विचार करूया, ज्यामध्ये एक बाजूला द्रव असलेली स्टोरेज ताकी विभाजित करूया. Specific weight 1 with height h_1 and Specific weight 2 with height h_2 .

द्रव पृष्ठभागावरील भिंतीवर दबाव शीर्ष आहे आणि खाली एका बाजूला $\gamma_{L1} H_1$ आणि दुसऱ्या बाजूला $\gamma_{L2} H_2$ आहे. दबाव आकृती दोन्ही बाजूंवर त्रिकोणात्मक आहे.

∴ द्रव 1 मुळे एकूण हायड्रोस्टॅटिक प्रेशर = दबाव आकृती P_1 चे क्षेत्रफळ

P_1 = द्रव 1 द्वारे लागलेला दबाव

P_1 = त्रिकोण ABC चे क्षेत्रफळ

$$P_1 = \frac{1}{2} \times \text{base of triangle} \times \text{height of triangle}$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \times \gamma_{L1} \cdot h_1 \times h_1$$

∴ द्रव 2 मुळे एकूण हायड्रोस्टॅटिक प्रेशर = दबाव आकृती P_2 चे क्षेत्रफळ

P_2 = द्रव 2 द्वारे लागलेला दबाव

$P_2 = \text{त्रिकोण PQR चे क्षेत्रफल}$

$$P_2 = \frac{1}{2} \times \text{base of triangle} \times \text{height of triangle}$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \times \gamma_{L2} \cdot h_2 \times h_2$$

$$\therefore \text{परिणाम प्रेशर} = P = P_1 - P_2$$

$$\therefore (\text{Resultant Pressure}) = P = P_1 - P_2$$

दबाव केंद्र (For Center of Pressure)

$$\bar{h}_1 = \text{दबाव केंद्र for } P_1 = \frac{h_1}{3} \text{ from base}$$

$$\bar{h}_2 = \text{दबाव केंद्र for } P_2 = \frac{h_2}{3} \text{ from base}$$

$$\bar{h} = \frac{P_1 \bar{h}_1 - P_2 \bar{h}_2}{P_1 - P_2}$$

Suggestive Question

Sr No	Questions
1.	Define pressure diagram for vertical contact surface with neat sketch and mention two application of it.
2.	A rectangular plate 5 m × 3 m is immersed vertically in water with 3 m side parallel to free liquid surface and top of plate is 3.5 m below free liquid surface. Find total pressure and centre of pressure for plate.
3.	A tank 3 m × 5 m is filled with water up to depth of 2 m. Calculate total pressure on 5 m side of tank and bottom of tank.
4.	A circular plate 3 m in diameter is immersed in water such that, greatest and least depth below free surface of water are 4.5 m and 2 m respectively Determine total hydrostatic pressure on disc.
5.	Position of centre of pressure when a circular plate of 3m diameter is submerged in water. Its greatest and least depth below the free surface of water is 2m and 1m respectively.

युनिट-3: हायड्रो कायनेमेटिक्स आणि हायड्रो डायनेमिक्स

(Hydrokinematics and Hydrodynamics)

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcomes)

CO3: दिलेल्या द्रव प्रवाहासाठी संबंधित पैरामीटरची गणना करा

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes)

TLO 3.1: रेनॉल्ड नंबरची संकल्पना वापरून प्रवाहाचा प्रकार ओळखा.

TLO 3.2: सातत्य समीकरण वापरून दिलेल्या परिस्थितीत डिस्चार्ज आणि वेग मोजा..

TLO 3.3: दिलेल्या द्रव प्रवाहाची एकूण ऊर्जा मोजा.

TLO 3.4: दिलेल्या परिस्थितीत बर्नोलीचे प्रमेय वापरून तोटे आणि प्रवाहाची दिशा मोजा.

3.1 द्रव प्रवाहाचे प्रकार (Types of Flow)

3.1.1 स्थिरअस्थिर प्रवाह आणि :

1. स्थिर प्रवाह (Steady flow):

स्थिर प्रवाहात, कोणत्याही बिंदूवर वेग, दाब आणि घनता यासारखे द्रव गुणधर्म वेळेनुसार बदलत नाहीत तथापि, प्रवाह क्षेत्रात ते एका बिंदूपासून दुसऱ्या बिंदूपर्यंत बदलू शकतात.

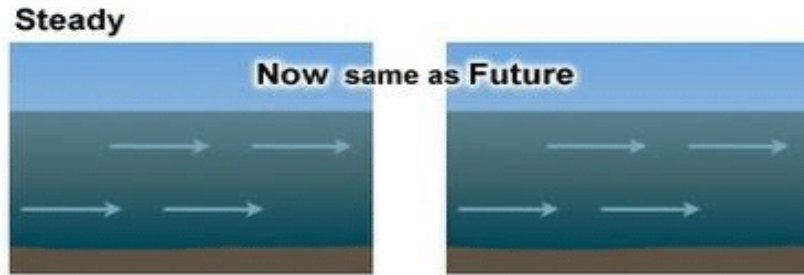


Fig. 3.1. स्थिर प्रवाह

(स्रोत- <https://tinyurl.com/233exj38>)

गणितीयदृष्ट्या:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial P}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial a}{\partial t} = 0;$$

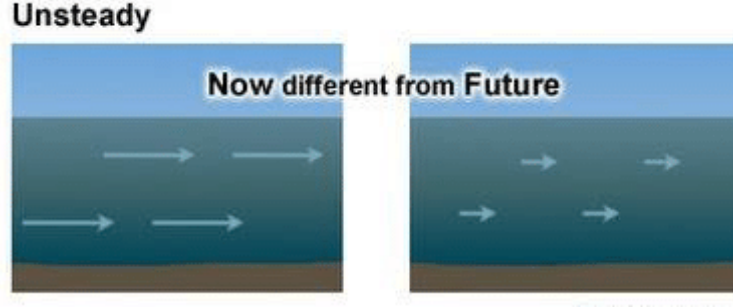
जिथे V म्हणजे वेग, P म्हणजे दाब आणि ρ म्हणजे घनता.

उदाहरणे:

- पाइपलाइनमधून स्थिर गतीने पाणी वाहते.
- कूझ फ्लाइटमध्ये विमानावरून स्थिर गतीने हवेचा प्रवाह.
- रिफायनरी पाइपलाइनमधून स्थिर पंप गतीने तेलाचा प्रवाह

2. अस्थिर प्रवाह (Unsteady flow):

अस्थिर प्रवाहात, दिलेल्या बिंदूवर द्रवाचे गुणधर्म वेळेनुसार बदलतात. याचा अर्थ प्रवाह क्षेत्रातील विशिष्ट स्थानावरील वेग, दाब किंवा घनता कालांतराने बदलते.

**Fig. 3.2 अस्थिर प्रवाह**(स्रोत- <https://tinyurl.com/233exj38>)**गणितीयदृष्ट्या:**

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0; \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} \neq 0; \quad \frac{\partial P}{\partial t} \neq 0; \quad \frac{\partial a}{\partial t} \neq 0;$$

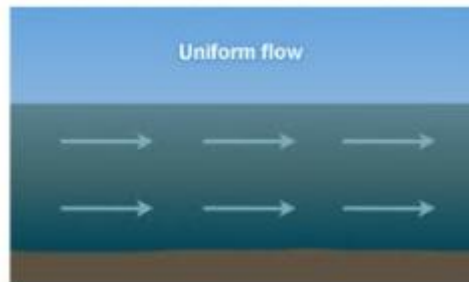
जिथे V म्हणजे वेग, P म्हणजे दाब आणि ρ म्हणजे घनता.

उदाहरणे:

- पूर आल्यावर नदीत पाण्याचा प्रवाह.
- इमारतीभोवती हवेच्या प्रवाहावर परिणाम करणारे वारे.
- पंप प्रणालीचा सुरू होण्याचा किंवा बंद होण्याचा टप्पा.

3.1.2 एकसमान आणि एकसमान नसलेला प्रवाह (Uniform and Non uniform flow)**1. एकसमान प्रवाह (Uniform flow):**

एकसमान प्रवाहात, द्रवाचा वेग प्रवाह क्षेत्राच्या प्रत्येक बिंदूवर दिलेल्या वेळेत स्थिर राहतो. याचा अर्थ प्रवाहाच्या दिशेने वेगात कोणताही अवकाशीय फरक नसतो.

**Fig. 3.3. एकसमान प्रवाह**(स्रोत- <https://tinyurl.com/233exj38>)

गणितीयदृष्ट्या:

$$\frac{\partial y}{\partial s} = 0, \frac{\partial V}{\partial s} = 0$$

उदाहरणे:

- सरळ, स्थिर व्यासाच्या पाईपमधून स्थिर दराने वाहणारे पाणी.
- एकसमान क्रॉस-सेक्शन असलेल्या पवन बोगद्यातून हवेचा प्रवाह.
- सरळ, खोल आणि रुंद वाहिनीत नदीचा प्रवाह

2. एकसमान नसलेला प्रवाह (Non-uniform flow):

एकसमान नसलेल्या प्रवाहात, द्रवाचा वेग प्रवाह क्षेत्रात बिंदू ते बिंदू बदलतो याचा अर्थ प्रवाहाच्या दिशेने वेगात अवकाशीय फरक असतो

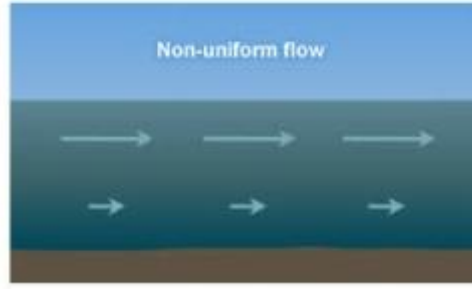


Fig. 3.4. एकसमान नसलेला प्रवाह
(स्रोत- <https://tinyurl.com/233exj38>)

गणितीयदृष्ट्या:

$$\frac{\partial y}{\partial s} \neq 0, \frac{\partial V}{\partial s} \neq 0$$

उदाहरणे:

- (नोझल किंवा डिफ्यूझर .उदा) ईपमधून वाहणारे पाणीवेगवेगळ्या व्यासाच्या पा
- कार किंवा विमानाभोवती हवेचा प्रवाह , जिथे आकारामुळे वेग बदलतो.
- नदीचा प्रवाह अरुंद आणि उथळ प्रदेशात जिथे गती खोली आणि रुंदीनुसार बदलते.

3.1.3 लॅमिनार आणि अशांत प्रवाह (Laminar and Turbulent Flow)

1. लॅमिनार प्रवाह (Laminar flow):

लॅमिनार प्रवाहात, द्रव कण समांतर थरांमध्ये कमीत कमी मिश्रणासह, गुळगुळीत आणि व्यवस्थित मार्गांनी फिरतात. प्रवाहावर चिकट शक्तींचे वर्चस्व असते आणि त्यात फारसे किंवा अजिबात अशांतता नसते.



Fig. 3.5. लॅमिनार प्रवाह
(स्रोत- (<https://tinyurl.com/2s94t5pp>)

वैशिष्ट्ये:

- द्रव कण सरळ किंवा किंचित वक्र रेषांमध्ये फिरतात.
- कमी वेगाने आणि उच्च-स्निग्धता असलेल्या द्रवांमध्ये उद्भवते.
- गुळगुळीत, अंदाजे आणि कार्यक्षम प्रवाह.
- जडत्वीय बलांपेक्षा चिकट बलांचे वर्चस्व.
- कमीत कमी मिश्रणामुळे कमी ऊर्जा नुकसान.

गणितीय निकष (रेनॉल्ड्स क्रमांक) :

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

जिथे

- Re = रेनॉल्ड्स संख्या,
- ρ = द्रव घनता,
- V = वेग,
- L = वैशिष्ट्यपूर्ण लांबी (उदा), पाईप व्यास,
- μ = गतिमान चिकटपणा.

लॅमिनार प्रवाहासाठी :

$$Re < 2000$$

उदाहरणे:

- नळीतून मध किंवा सिरपचा प्रवाह.
- लहान केशिकांमध्ये रक्त प्रवाह.
- अरुंद नळ्यांमध्ये तेल वाहते.

2. अशांत प्रवाह (Turbulent flow) :

अशांत प्रवाहात, द्रव कण अराजक आणि अनियमित पद्धतीने हालचाल करतात, ज्यामध्ये लक्षणीय मिश्रण आणि वेग प्रवाहावर जडत्वीय शक्तींचे वर्चस्व असते. असतात (फिरणारे प्रदेश द्रवपदार्थाचे)

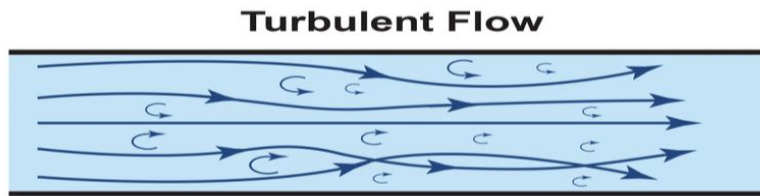


Fig. 3.6. अशांत प्रवाह
(स्रोत- <https://tinyurl.com/2s94t5pp>)

अशांत प्रवाहासाठी :

$$Re > 4000$$

वैशिष्ट्ये :

- द्रव कण यादृच्छिक आणि अप्रत्याशित मार्गांनी हालचाल करतात •
- उच्च वेगाने आणि कमी स्निग्धतेच्या द्रवांमध्ये उद्भवते.
- तीव्र मिश्रण आणि •घर्षणामुळे उच्च ऊर्जा नुकसान होते.
- द्रवाच्या वेगवेगळ्या थरांमध्ये मजबूत परस्परसंवाद •

उदाहरणे :

- खडबडीत पाईपमधून वेगाने वाहणारे पाणी.
- विमानाच्या पंखाभोवती हवेचा गोंधळ.
- महासागराचे प्रवाह आणि नदीतील जलद प्रवाह.

3. संक्रमणकालीन प्रवाह (Transitional Flow) :

- जेव्हा $2000 < Re < 4000$ असते, तेव्हा प्रवाह संक्रमणकालीन अवस्थेत असतो, जिथे तो लॅमिनार आणि अशांत प्रवाहामध्ये बदलू शकतो.

3.1.4 संकुचित आणि असंकुचित प्रवाह (Compressible and Incompressible Flow)**1. संकुचित प्रवाह (Compressible Flow) :**

संकुचित प्रवाहात, दाब आणि तापमानातील फरकांमुळे द्रवाची घनता लक्षणीयरीत्या बदलते. हे उच्च-गती वायू प्रवाहांमध्ये सामान्य आहे जिथे वेग आणि दाबातील बदलांमुळे द्रवाचे संकुचन किंवा विस्तार होतो.

वैशिष्ट्ये :

- घनता (ρ) दाब आणि तापमानानुसार बदलते.
- लक्षणीय संकुचितता प्रभाव उपस्थित असतात.
- उच्च-गती प्रवाहांमध्ये सामान्य, विशेषतः जेव्हा मॅक संख्या (M) > 0.3 असते.
- सुपरसॉनिक प्रवाहांमध्ये शॉक वेव्ह आणि एक्सपेंशन वेव्ह येऊ शकतात.

मॅक संख्या (MMM) निकष:

मॅक संख्या म्हणजे द्रव वेगाचे ध्वनीच्या वेगाशी असलेले गुणोत्तर:

$$M = V/c$$

जिथे:

- V = द्रव वेग,
- c = द्रवातील ध्वनीचा वेग.

संकुचितता प्रभाव लक्षणीय होतात जेव्हा:

$$M > 0.3$$

उदाहरणे :

- सुपरसॉनिक जेट्स (फायटर जेट्स, रॉकेट).

- वायुगतिकीमध्ये शॉक वेव्ह.
- टर्बाइन आणि नोजलमध्ये वायूचा प्रवाह.
- ज्वलन कक्षांमध्ये स्फोट लाटा.

2. संकुचित न होणारा प्रवाह (Incompressible Flow) :

संकुचित न होणारा प्रवाहात, द्रवाची घनता संपूर्ण प्रवाहात जवळजवळ स्थिर राहते. बहुतेक द्रव आणि कमी-गती असलेल्या वायूंसाठी हे एक वैध गृहीतक आहे.

वैशिष्ट्ये:

- घनता स्थिर राहते ($\rho \approx$ स्थिर).
- नगण्य संकुचितता प्रभाव.
- कमी-गती असलेल्या प्रवाहांमध्ये सामान्य जेथे माच क्रमांक $M < 0.3$
- द्रव गतिमान गणना सुलभ करते.

उदाहरणार्थ :

- पाइपलाइनमध्ये वाहणारे पाणी.
- कमी वेगाने हवेचा प्रवाह (उदा., पंखा किंवा वायुवीजन प्रणाली).
- जलप्रणाली.

3.1.5 रेनॉल्ड्स क्रमांक (Reynolds number) :

रेनॉल्ड्स क्रमांक (Re) हा एक आयामहीन राशी आहे जो द्रव यांत्रिकीमध्ये वेगवेगळ्या द्रव प्रवाह परिस्थितींमध्ये प्रवाह नमुन्यांचा अंदाज घेण्यासाठी वापरला जातो. त्याची व्याख्या अशी केली आहे:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu} \text{ or } Re = \frac{V \cdot L}{\nu}$$

- ρ = द्रव घनता (3 मीटर/किलो)
- V = द्रवाचा वेग (सेकंद/मी)
- L = वैशिष्ट्यपूर्ण लांबी (पाईप व्यास .उदा) (मी)
- μ = द्रवाची गतिमान चिकटपणा)Pa·s किंवा N·s/मीटर²
- ν = द्रवाची गतिमान चिकटपणा) $\nu = \mu/\rho$ मी²/सेकंद(

अर्थ लावणे :

- कमी **Re** (< 2000): लॅमिनार प्रवाह (द्रवाचे गुळगुळीत, सुव्यवस्थित थर)
- मध्यवर्ती **Re** ($2000-8000$): संक्रमणकालीन प्रवाह (लॅमिनार आणि अशांत वर्तनाचे मिश्रण)
- उच्च **Re** (> 8000): अशांत प्रवाह (अराजक, अनियमित गती)

रेनॉल्ड्स क्रमांक पाइपलाइन, विमानाचे पंख आणि द्रव प्रवाहाशी संबंधित विविध अभियांत्रिकी अनुप्रयोग डिझाइन करण्यात मदत करतो.

3.2 डिस्चार्ज (Discharge) Q :

डिस्चार्ज म्हणजे प्रति युनिट वेळेत पाईप, चॅनेल किंवा नदीच्या क्रॉस-सेक्शनमधून वाहणाऱ्या द्रवाचे (सामान्यतः पाणी) प्रमाण. ते द्रव प्रवाहाचा दर दर्शवते.

डिस्चार्जचे एकक

- SI युनिट: क्यूबिक मीटर प्रति सेकंद (m^3/s)
- इतर युनिट: लिटर प्रति सेकंद (L/s), क्यूबिक फूट प्रति सेकंद (cfs किंवा ft^3/s)

सातत्य समीकरण

सातत्य समीकरण वस्तुमानाच्या संवर्धनाच्या तत्वावर आधारित आहे, ज्यामध्ये असे म्हटले आहे की एका असंकुचित, स्थिर-प्रवाह द्रव प्रणालीसाठी, वस्तुमान प्रवाह दर स्थिर राहतो.

$$Q = Av$$

जिथे:

- Q = डिस्चार्ज (m^3/s)
- A = प्रवाहाचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र (m^2)
- v = द्रवाचा वेग (m/s)

बदलत्या क्रॉस-सेक्शनसाठी (उदा., बदलत्या व्यासासह पाईप), सातत्य समीकरण असे आहे:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

3.3 द्रव प्रवाहाशी संबंधित ऊर्जा (Energies Associated with Fluid Flow) :

द्रव यांत्रिकीमध्ये, वाहत्या द्रवातील ऊर्जा तीन मुख्य स्वरूपात असते: स्थितीज ऊर्जा, गतिज ऊर्जा आणि दाब ऊर्जा. या ऊर्जांच्या बेरीजवरून द्रवाची एकूण ऊर्जा मिळते.

१. स्थितीज ऊर्जा (Potential Energy) PE :

- स्थितीज ऊर्जा म्हणजे द्रवपदार्थाच्या संदर्भ बिंदूपेक्षा उंची किंवा उंचीमुळे त्याच्याकडे असलेली ऊर्जा.

$$PE = mgz$$

किंवा प्रति युनिट वजन:

$$PE \text{ प्रति युनिट वजन} = z$$

जिथे:

- m = द्रवपदार्थाचे वस्तुमान (kg)
- g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारे प्रवेग (m/s^2)
- z = संदर्भ बिंदूपेक्षा द्रवपदार्थाची उंची (m)

2. गतिज ऊर्जा (Kinetic Energy) KE :

- गतिज ऊर्जा म्हणजे द्रवाच्या वेगामुळे निर्माण होणारी ऊर्जा.

$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

किंवा

$$KE_{\text{per unit weight}} = \frac{v^2}{2g}$$

जिथे:

- m = द्रवाचे वस्तुमान (किलो)
- g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारा प्रवेग (m/s^2)
- v = द्रवाचा वेग (m/s)

3. दाब ऊर्जा (Pressure Energy) :

- दाब ऊर्जा म्हणजे द्रवपदार्थावर टाकलेल्या दाबामुळे त्यात साठवलेली ऊर्जा.

$$\text{दाब ऊर्जा} = P \times V$$

किंवा प्रति युनिट वजन:

$$\text{दाब ऊर्जा} =$$

जिथे:

- P = दाब (Pa किंवा N/m^2)
- V = द्रवाचे आकारमान (m^3)
- ρ = द्रवाची घनता (kg/m^3)

4. एकूण ऊर्जा (Total Energy) :

द्रव प्रवाहातील एकूण ऊर्जा ही तिन्ही ऊर्जा स्वरूपांची बेरीज असते:

$$\text{एकूण ऊर्जा} = \text{दाब ऊर्जा} + \text{गतिज ऊर्जा} + \text{स्थितीज ऊर्जा}$$

जिथे:

- P = दाब (N/m^2 किंवा Pa)
- ρ = द्रवाची घनता (kg/m^3)
- g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारा प्रवेग (m/s^2)
- v = द्रवाचा वेग (m/s)
- z = संदर्भ बिंदूपेक्षा उंची (m)

हे समीकरण बर्नौलीचे समीकरण आहे, जे हायड्रॉलक्स, वायुगतिकी आणि पाईप प्रवाह विश्लेषणात मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.

3.4 बर्नौलीचे समीकरण (Bernoulli's Equation) :

बर्नौलीचे समीकरण असे सांगते की द्रवपदार्थाच्या स्थिर, अदृश्य आणि घर्षणरहित प्रवाहात, एकूण यांत्रिक ऊर्जा (दाब ऊर्जा, गतिज ऊर्जा आणि स्थितीज ऊर्जेची बेरीज) एका प्रवाहात स्थिर राहते. गणितीयदृष्ट्या,

जिथे:

- P = दाब (N/m^2 किंवा Pa)
- ρ = द्रवपदार्थाची घनता (kg/m^3)
- g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारा प्रवेग (m/s^2)
- v = द्रवपदार्थाचा वेग (m/s)
- z = संदर्भ बिंदूवरील उंची (m)

याचा अर्थ असा की जर एका प्रकारच्या ऊर्जेत वाढ होत असेल तर दुसऱ्या प्रकारच्या ऊर्जेतही तशीच घट होणे आवश्यक आहे.

3.4.1 बर्नौलीच्या प्रमेयाचे गृहीतके (Assumptions of Bernoulli's Theorem) :

बर्नौलीचे समीकरण खालील आदर्श परिस्थितीत तयार केले आहे:

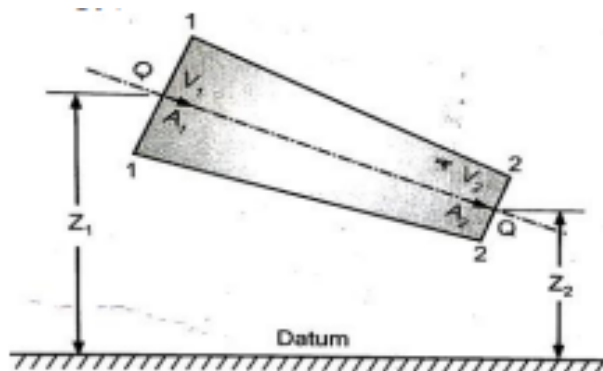
- स्थिर प्रवाह .प्रवाहाचे गुणधर्म वेळेनुसार बदलत नाहीत -
- असंकुचित प्रवाह .द्रवाची घनता स्थिर राहते -
- घर्षणरहित प्रवाह .चिकटपणा किंवा अशांततेमुळे ऊर्जा कमी होत नाही -
- एका सुव्यवस्थित मार्गावर .तहे समीकरण फक्त एकाच सुव्यवस्थि -मार्गावर लागू होते.
- बाह्य कार्य नाही .बाह्य शक्तीद्वारे कोणतीही ऊर्जा जोडली किंवा काढली जात नाही -

3.4.2 बर्नौलीच्या समीकरणाचे व्यावहारिक उपयोग (Practical Applications of Bernoulli's Equation):

- व्हेचुरी मीटरमधून प्रवाह .मोजण्यासाठी वापरला जातो पाइपलाइनमध्ये द्रव प्रवाह दर -
- पिटॉट ट्यूब वायुगतिकीमध्ये -े द्रव वेग मोजण्यासाठी वापरला जातो.
- इंजिनमधील कार्बरेटर .हवा आणि इंधन मिसळण्यासाठी बर्नौलीच्या तत्वाचा वापर करतो -
- विमानाचे पंख - (लिफ्ट जनरेशन)पंखांवरील जलद हवेचा वेग कमी दाब निर्माण करतो, ज्यामुळे लिफ्ट निर्माण होते.
- अँटोमायझर्स आणि स्प्रेअर्स दाब -फरकावर आधारित काम.
- ओपन चॅनेलमध्ये हायड्रॉलिक जंप .धरणाच्या स्पिलवे आणि नदी अभियांत्रिकीमध्ये वापरले जाते -

3.4.3 सुधारित बर्नौलीचे प्रमेय (Modified Bernoulli's Theorem):

वास्तविक जगात, घर्षण, उष्णता आणि अशांततेमुळे होणारे ऊर्जा नुकसान विचारात घेतले पाहिजे. सुधारित बर्नौली समीकरणात घर्षण आणि इतर प्रतिकारांमुळे होणारे हेड लॉस (H₁) समाविष्ट आहे.



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

Where,

$\frac{P_1}{\gamma_L}$ and $\frac{P_2}{\gamma_L}$ = Pressure head or Pressure Energy per unit weight at section 1-1 and 2-2

$\frac{V_1^2}{2g}$ and $\frac{V_2^2}{2g}$ = Velocity head or kinetic energy per unit weight at section 1-1 and 2-2

Z_1 and Z_2 = Datum head or Potential Energy per unit weight at section 1-1 and 2-2

Fig. 3.7. सुधारित बर्नौलीचे प्रमेय
(स्रोत - (<https://tinyurl.com/2s94t5pp>))

Suggestive Questions

Sr.No.	Questions
1.	State impulse - momentum theorem
2.	State the practical applications of Bernoulli's theorem
3.	State and explain the equation of continuity of flow. State the assumptions also.
4.	State Bernoulli's theorem. State the assumptions made also. How Bernoulli's equation is modified ?
5.	Differentiate gravity flow and pressure flow

युनिट 4. पाईप आणि पंपांद्वारे प्रवाह (Flow through Pipes and Pumps)

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcomes)

CO4: दिलेल्या परिस्थितीत पाईपद्वारे प्रवाहासाठी हेड कमी होणे निश्चित करा.

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes)

- TLO 4.1 पाईपमधील प्रवाह संबंधित तोट्याची गणना करण्यासाठी डार्सी वीसबॅक समीकरण लागू करा
- TLO 4.2 दिलेल्या डेटामधून किरकोळ नुकसानीची गणना करा.
- TLO 4.3 पाईप सिस्टमच्या समतुल्य पाइप स्त्रावाची गणना करा (समांतर आणि मालिक)
- TLO 4.4 दिलेल्या डेटामधून एचजीएल आणि टीईएल काढा.
- TLO 4.5 व्हॅन्युरीमीटर वापरून दिलेल्या डेटासाठी पाईपमधील स्त्रावाची गणना करा.
- TLO 4.6 दिलेल्या डेटासाठी ओरिफाइस सीडी, सीसी, सीव्हीच्या गुणांकांची गणना करा.
- TLO 4.7 ओ 4.7 दिलेल्या परिस्थितीसाठी पंपाचा प्रकार सुचवा.
- TLO 4.8 स्केचसह सेंट्रीफ्यूगल पंपाच्या कार्याचे वर्णन करा.
- TLO 4.9 सेंट्रीफ्यूगल पंपाशी संबंधित विविध प्रकारच्या हेडचे वर्णन करा.
- TLO 4.10 दिलेल्या डेटावरून सेंट्रीफ्यूगल पंपासाठी आवश्यक असलेल्या विजेची गणना करा.

परिचय (Introduction) :

पाईप ही बंद नाली आहे. दाबाखाली द्रव वाहून नेण्यासाठी वापरले जाणारे पाईप सामान्यतः क्रॉस सेक्शनमध्ये वर्तुळाकार असतात. द्रव प्रवाह दाबाखाली असल्यास पाईप पूर्ण भरलेला असेल. पाईपमधून वाहणाऱ्या द्रवपदार्थाला नेहमी द्रवकण आणि पाईपच्या सीमाभिंती यांच्यातील कतरणी बलांमुळे प्रतिकार केला जातो आणि चिकटपणामुळे द्रव कण स्वतः उद्धवतात. द्रव प्रवाहाच्या या प्रतिकाराला घर्षण प्रतिकार म्हणतात. या घर्षण प्रतिकारावर मात करण्यासाठी वाहत्या द्रवाकडे असलेल्या ऊर्जेचा वापर केल्यामुळे प्रवाहाच्या दिशेने ऊर्जेचे काही प्रमाणात नुकसान होत राहते. हा तोटा मात्र प्रवाहाच्या प्रकारावर अवलंबून असेल. पाईपमधील द्रवपदार्थाचा प्रवाह एकतर लॅमिनर किंवा अशांत असू शकतो.

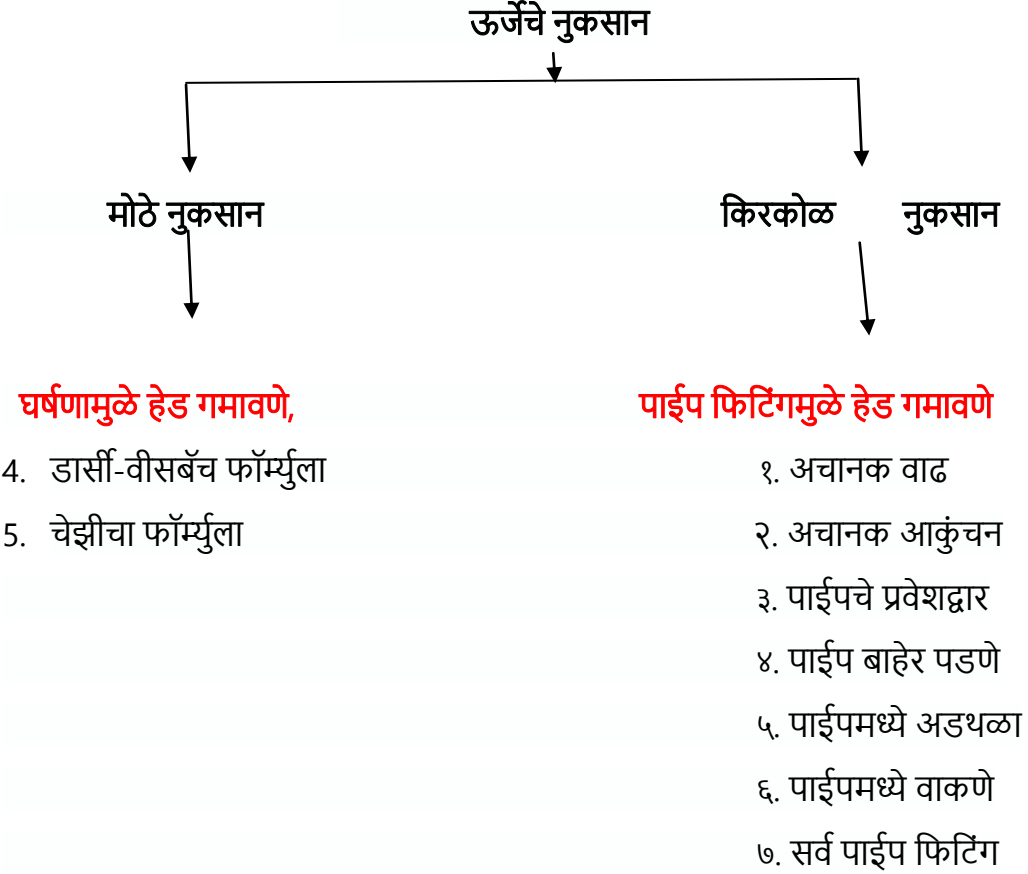
4.1 पाईपमधील मोठ्या हेड मुळे होणारे नुकसान (Major head loss in pipe)

लॅमिनार प्रवाहासाठी द्रव घर्षणाचे नियम :

१. प्रवाहाच्या वेगाच्या प्रमाणात.
२. दबावापासून स्वतंत्र.
३. संपर्कातील पृष्ठभागाच्या क्षेत्रफळाच्या प्रमाणात.
४. संपर्कातील पृष्ठभागाच्या स्वरूपापासून स्वतंत्र.
५. प्रवाही द्रवपदार्थाच्या तापमानातील भिन्नतेचा प्रामुख्याने परिणाम.

जेव्हा एखादा द्रव पाईपमधून वाहत असतो, तेव्हा द्रवाला काही प्रतिकाराचा अनुभव येतो, ज्यामुळे द्रवपदार्थाची काही ऊर्जा नष्ट होते. ऊर्जेच्या या नुकसानाचे वर्गीकरण असे केले जाते:

पाईपमधील ऊर्जेचे मोठे व किरकोळ नुकसान



डार्सी-वीसबॅच समीकरण (Darcy-Weisbach Equation):

इतर नुकसानाच्या तुलनेत लांब पाईपलाईनच्या बाबतीत घर्षणामुळे होणारे नुकसान जास्त असते आणि म्हणूनच ते मोठे नुकसान म्हणून वर्गीकृत केले जाते.

- पाईपची रुक्षता, लांबी, वेग आणि पाईपचा व्यास यावर मोठे नुकसान अवलंबून असते.
- घर्षणामुळे ऊर्जेचे मोठे नुकसान होते, हे डार्सी-वीसबॅच सूत्राद्वारे निर्धारित केले जाते.

$$hf = \frac{f l v^2}{2 g d}$$

म्हणजे,

hf = घर्षणामुळे हेड कमी होणे (Head loss due to friction)

f = घर्षण कारक (Friction factor)

l = पाईपची लांबी (Length of Pipe)

v = पाईपद्वारे प्रवाहाचा वेग (Velocity of flow through Pipe)

d = पाईपचा व्यास (Diameter of Pipe)

सुधारित डार्सी-वीसबॅच समीकरण (Modified Darcy-Weisbach Equation):

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

$$\text{But } v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

$$hf = \frac{fL}{2gd} \left(\frac{4Q}{\pi d^2} \right)^2$$

$$= \frac{16fLQ^2}{2g\pi^2 d^5}$$

$$hf = \frac{fLQ^2}{12.1d^5}$$

म्हणजे,

hf = घर्षणामुळे हेड कमी होणे (Head loss due to friction)

f = घर्षण कारक (Friction factor)

l = पाईपची लांबी (Length of Pipe)

v = पाईपद्वारे प्रवाहाचा वेग (Velocity of flow through Pipe)

d = पाईपचा व्यास (Diameter of Pipe)

Q = प्रवाह किंवा स्ताव दर (Rate of Flow or Discharge)

घर्षण घटक (Friction Factor) :

घर्षण घटक ही परिमाणहीन मात्रा आहे आणि त्यावर अवलंबून आहे.

- रेनॉल्ड्स चा नंबर

- पाईप पृष्ठभागाची सापेक्ष रुक्षता

रेनॉल्ड्सची संख्या वाढल्याने घर्षण घटक कमी होतो, परंतु सापेक्ष रुक्षतेच्या विशिष्ट मूल्यापलीकडे रेनॉल्ड्सच्या संख्येपासून स्वतंत्र झाला आहे.

सापेक्ष रुक्षता (Relative Roughness) :

सापेक्ष रुक्षता हे निरपेक्ष रुक्षता आणि पाईपच्या व्यासाचे गुणोत्तर आहे.

$$E = \frac{e}{D}$$

e = सापेक्ष रुक्षता (Relative roughness)

D = पाईपचा व्यास (Dia. of pipe)

रेनॉल्ड्स संख्येच्या स्थिर मूल्यासाठी घर्षण घटक सापेक्ष रुक्षतेसह वाढत जातो.

घर्षण घटकावर परिणाम करणारे घटक :

रेनॉल्ड चा नंबर (Reynold's Number) :

रेनॉल्डची संख्या वाढल्याने घर्षण घटक कमी होतो, परंतु सापेक्ष रुक्षतेच्या विशिष्ट मूल्यापलीकडे रेनॉल्डच्या संख्येपासून स्वतंत्र झाला.

सापेक्ष रुक्षता (Relative Roughness) :

रेनॉल्ड्स संख्येच्या स्थिर मूल्यासाठी घर्षण घटक सापेक्ष रुक्षतेसह वाढत जातो.

द्रव प्रवाहाची घनता (Density of Fluid Flow):

द्रवपदार्थाची घनता जसजशी वाढत जाते तसतसे घर्षण घटक कमी होतो.

पाईपचा आकार (Size of Pipe) :

पाईपचा व्यास वाढल्याने घर्षण घटक कमी होतो.

4.2 पाईपमध्ये किरकोळ ऊर्जा (हेड) मुळे होणारे नुकसान (Minor Energy (Head) losses in pipe)

4.2.1 अचानक वाढ झाल्यामुळे हेड कमी होणे (Loss of Head due to Sudden Enlargement):

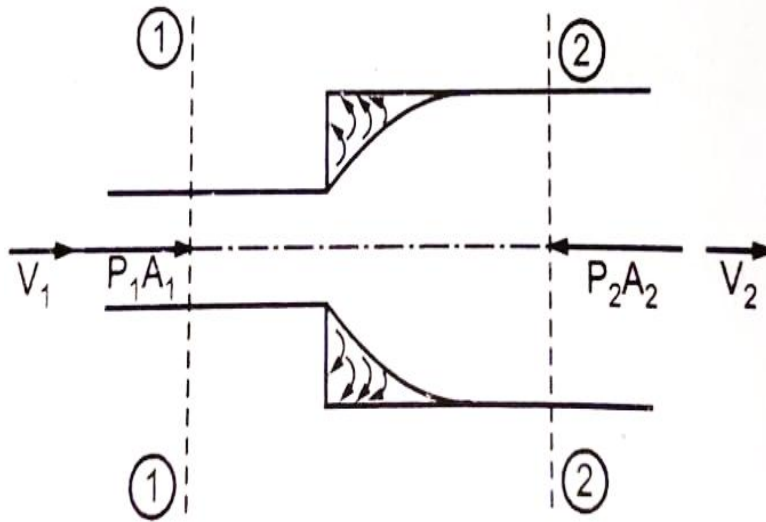


Fig. 4.2.1 अचानक वाढ झाल्यामुळे हेड कमी होणे

(स्रोत: A Textbook of Fluid Mechanics and Hydraulic Machines by R.K Bansal)

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

म्हणजे,

V1 - इनलेट वेग (Inlet Velocity)

V2 - आउटलेट वेग (Outlet Velocity)

4.2.2 अचानक आकुंचन झाल्यामुळे हेड कमी होणे (Loss of Head due to Sudden Contraction):

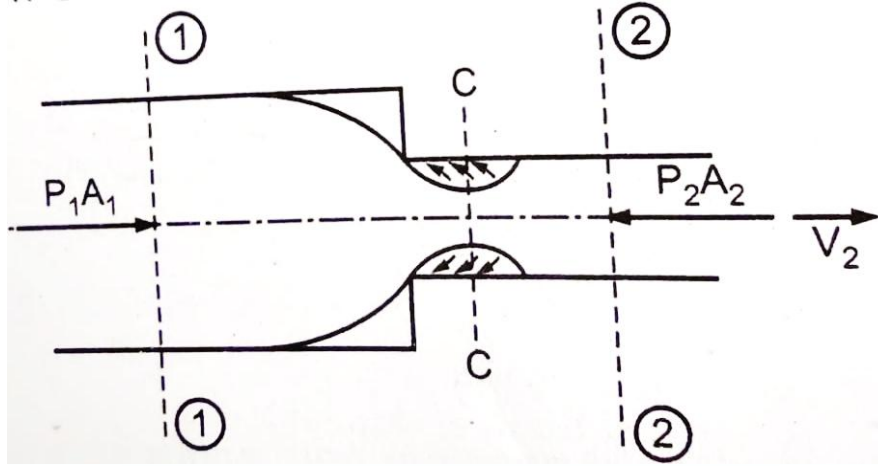


Fig. 4.2.2 अचानक आकुंचन झाल्यामुळे हेड कमी होणे

(स्रोत: A Textbook of Fluid Mechanics and Hydraulic Machines by R.K Bansal)

$$h_c = \left[\frac{1}{C_c} - 1 \right]^2 \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_c = 0.5 \frac{V_2^2}{2g}$$

... जर C_c - दिला नसेल तर

म्हणजे,

C_c - आकुंचन चा गुणांक (Coefficient of Contraction)

V_2 - आउटलेट वेग (Outlet Velocity)

4.2.3 पाईपच्या प्रवेशद्वारावर हेड कमी होणे (Loss of Head at the Entrance of Pipe):

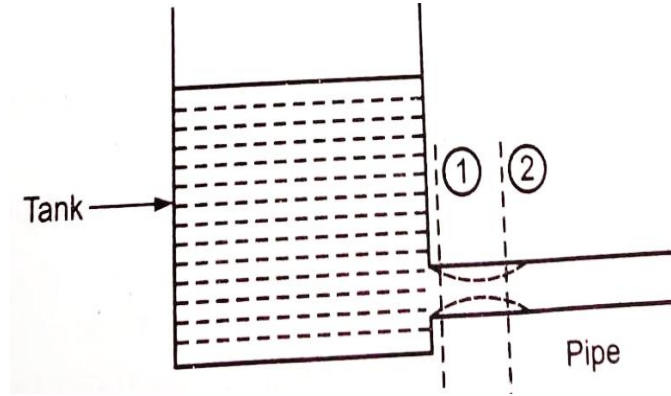


Fig. 4.2.3 पाईपच्या प्रवेशद्वारावर हेड कमी होणे

स्रोत: A Textbook of Fluid Mechanics and Hydraulic Machines by R.K Bansal

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

म्हणजे,

V = पाईपमधील प्रवाहाचा वेग (Velocity of flow in the pipe)

4.2.4 पाईपच्या एक्झिट / आउटलेटवर हेड कमी होणे (Loss of Head at the Exit/Outlet in Pipe):

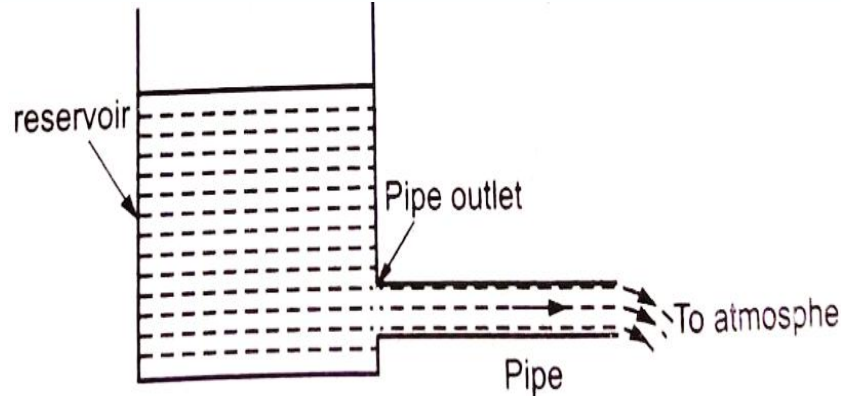


Fig. 4.2.4 पाईपच्या एक्झिट / आउटलेटवर हेड कमी होणे

(स्रोत: A Textbook of Fluid Mechanics and Hydraulic Machines by R.K Bansal)

$$h_o = \frac{v^2}{2g}$$

म्हणजे,

V = पाईपच्या बाहेरील प्रवाहाचा वेग (Velocity of flow at outlet of the pipe)

4.2.5 पाईपमध्ये अडथळा आल्याने हेड कमी होणे (Loss of Head due to Obstruction in Pipe):

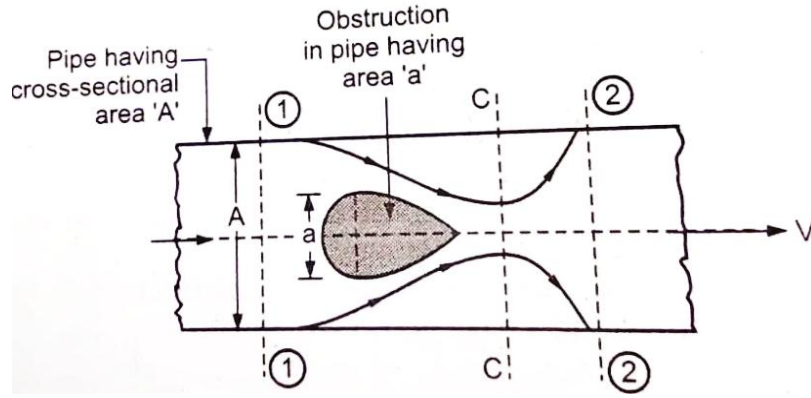


Fig. 4.2.5 पाईपमध्ये अडथळा आल्याने हेड कमी होणे

(स्रोत: A Textbook of Fluid Mechanics and Hydraulic Machines by R.K Bansal)

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

म्हणजे,

 V = पाईपमधील प्रवाहाचा वेग (Velocity of flow in the pipe) A = पाईपचे क्रॉस सेक्शनल क्षेत्र (Cross sectional area of pipe) a = अडथळ्याचे क्षेत्र (Area of Obstruction) C_c = आकुंचन चा गुणांक (Coefficient of Contraction)

4.2.6 पाईप वाकल्यामुळे हेड कमी होणे (Loss of Head due to Bend in Pipe):

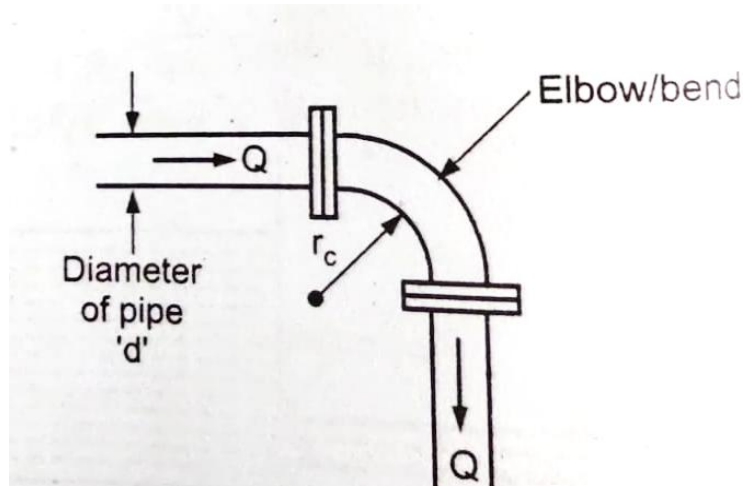


Fig. 4.2.6 पाईप वाकल्यामुळे हेड कमी होणे

(स्रोत: A Textbook of Fluid Mechanics and Hydraulic Machines by R.K Bansal)

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

म्हणजे,

k = वळणाचा गुणांक (coefficient of Bend)

4.2.7 विविध पाईप फिटिंगमुळे हेड कमी होणे (Loss of Head due to Various pipe Fittings):

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

म्हणजे,

k = पाईप फिटिंगचा गुणांक (coefficient of Pipe Fitting)

4.3.1 मालिकेतील पाईपद्वारे प्रवाह (Flow through Pipes in Series):

वेगवेगळ्या लांबीचे व व्यासाचे पाईप एकमेकांना जोडून पाईपलाईन तयार केली जाते तेव्हा, अशा पाईपलाईनला कंपाऊंड पाईप किंवा सिरीजमधील पाईप असे म्हणतात.

मालिकेत (Series) पाईप असताना प्रत्येक पाईपमधून होणारा स्त्राव समान असतो.

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 = A_3V_3$$

जर दोन वेगवेगळ्या जलाशयांना जोडणारा कंपाऊंड पाईप असेल तर द्रव पृष्ठभागाच्या पातळीतील फरक सर्व विभागातील डोक्याच्या नुकसानीइतका असतो.

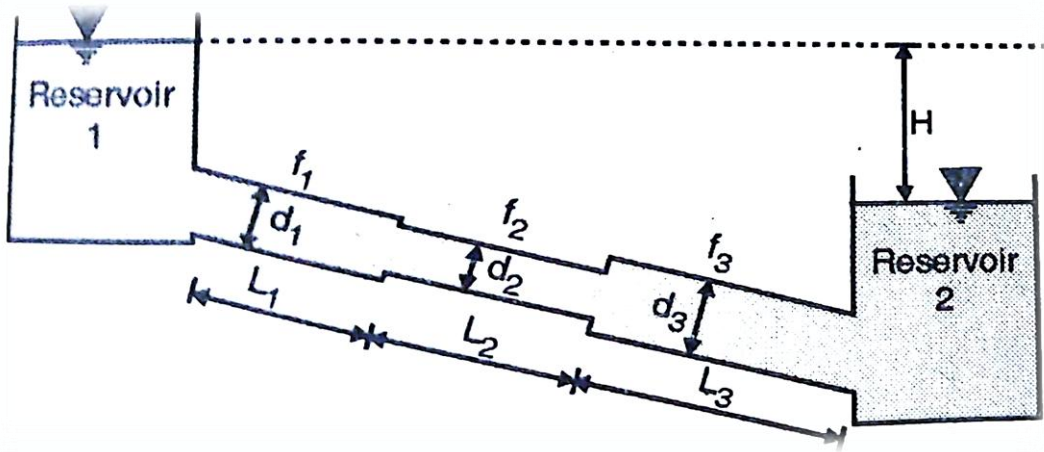


Fig. 4.3.1 मालिकेतील पाईपद्वारे प्रवाह

(स्रोत: A Textbook of Fluid Mechanics and Hydraulic Machines by R.K Bansal)

Q = पाईपलाईनद्वारे विसर्ग (Discharge through pipeline)

H = हेडचे एकूण नुकसान (Total Loss of Head)

D_1 = पाईपचा व्यास १ (Diameter of pipe 1)

L_1 = पाईपची लांबी 1 (Length of pipe 1)

f_1 = घर्षणाचा गुणांक (Coefficient of friction)

D_2, L_2, f_2 = पाईप 2 ची संबंधित मूल्ये (corresponding values of pipe2)

D_3, L_3, f_3 = पाईप 3 ची संबंधित मूल्ये (corresponding values of pipe3)

1. Considering all Losses:

हेडचे एकूण नुकसान = मोठे नुकसान + किरकोळ नुकसान

Total Loss of head = Major losses + Minor losses

$$H = hL1 + hL2$$

मोठे नुकसान = प्रत्येक पाईपमधील घर्षणामुळे हेड कमी होणे

Major Losses = Head loss due to friction in each pipe

$$hL1 = hf1 + hf2 + hf3$$

$$hL1 = \frac{f_1 L_1 V_1^2}{2gd_1} + \frac{f_2 L_2 V_2^2}{2gd_2} + \frac{f_3 L_3 V_3^2}{2gd_3}$$

किरकोळ तोटा = प्रवेशद्वारावर हेड कमी + आकुंचन तोटा + विस्तार हानी + एक्झिट लॉस

Minor Losses = Entrance loss + Contraction Loss + Expansion Loss + Exit Loss

$$hL2 = 0.5 \frac{V_1^2}{2g} + 0.5 \frac{V_2^2}{2g} + \frac{(V_2 - V_3)^2}{2g} + \frac{V_3^2}{2g}$$

2. Considering only Major losses or Neglecting Minor :

Total Loss of head = Major Losses

$$H = \left[\frac{f_1 L_1 V_1^2}{2gd_1} + \frac{f_2 L_2 V_2^2}{2gd_2} + \frac{f_3 L_3 V_3^2}{2gd_3} \right]$$

If Discharge through the pipe is given, then

$$H = \left[\frac{f_1 L_1 Q^2}{12.1d_1^5} + \frac{f_2 L_2 Q^2}{12.1d_2^5} + \frac{f_3 L_3 Q^2}{12.1d_3^5} \right]$$

4.4 हायड्रोलिक ग्रेडिएंट लाइन आणि एकूण ऊर्जा लाइन (Hydraulic Gradient Line and Total Energy Line):

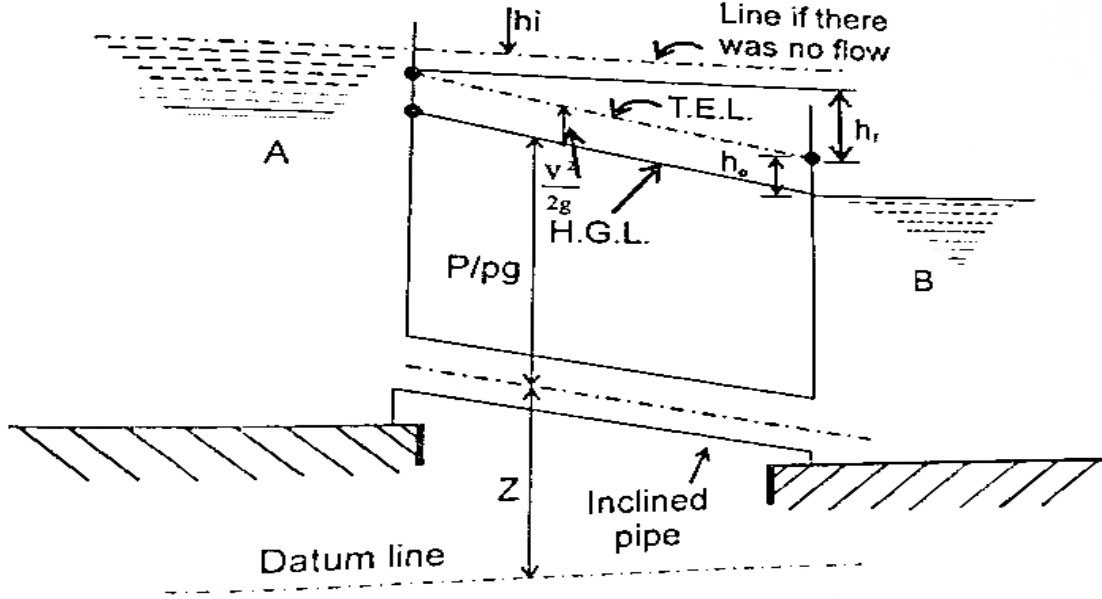


Fig. 4.4 हायड्रोलिक ग्रेडिएंट लाइन आणि एकूण ऊर्जा लाइन

(स्रोत: A Textbook of Fluid Mechanics and Hydraulic Machines by R.K Bansal)

दोन पाण्याच्या टाक्या जोडणाऱ्या पाईपलाईनचा विचार करा. लांबीच्या पाईपलाईनमध्ये अनेक ठिकाणी पिझोमीटर बसविण्यात आले आहेत. प्रत्येक पिझोमीटरमध्ये द्रव पाईपलाईनच्या अक्षापासून ठराविक उंचीपर्यंत वाढेल ज्यामुळे त्या विभागात दाब हेड मिळेल.

4.4.1 हायड्रोलिक ग्रेडिएंट लाइन (एच.जी.एल.)(H.G.L.)

पाईपच्या निरनिराळ्या विभागातील दाब हेड पाईपच्या अक्षाभोवती उभ्या रेषेप्रमाणे मोजण्याचे नियोजन केल्यास व सर्व बिंदू सरळ रेषेने जोडले गेले तर सरळ सरपटणारी रेषा प्राप्त होते ज्याला हायड्रोलिक ग्रेडिएंट रेषा म्हणतात.

कोणत्याही विभागात पाईपचे केंद्र आणि हायड्रोलिक ग्रेडिएंट रेषा यांच्यातील उभ्या अंतरामुळे त्या विभागात दाब हेड मिळते म्हणून याला दाब रेषा असेही म्हणतात.

जर 'झेड' म्हणजे मनमानी डॅटमवरील कोणत्याही विभागात पाईप अक्षाची उंची असेल, तर हायड्रोलिक ग्रेडिएंट रेषा कोणत्याही विभागात दाब हेड (आणि डॅटम हेड (झेड) ची बेरीज देते. याला एच.जी.एल. असेही म्हणतात. $\frac{P}{\rho g}$)

हायड्रोलिक ग्रेडिएंट लाइन = प्रेशर हेड + डॅटम हेड

$$\text{एच.जी.एल.} = \frac{P}{\rho g} + \text{झेड}$$

4.4.2 एकूण ग्रेडिएंट लाइन / एकूण ऊर्जा रेषा (टी.ई.एल.)(T.E.L.):

टोटल ग्रेडिएंट लाइन किंवा टोटल एनर्जी लाइन नावाच्या काही संदर्भ रेषेच्या संदर्भात पाईप रेषेतील प्रवाही द्रवाचे $\frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$ दाब हेड (), डॅटम हेड (झेड) आणि वेग हेड () यांची बेरीज देणारी रेषा.

एकूण ग्रेडिएंट/एनर्जी लाइन = प्रेशर हेड + वेग हेड + डॅटम हेड

$$\text{एच.जी.एल.} = \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + \text{झेड}$$

4.5. पाईप फ्लोसाठी स्त्राव मोजण्याची उपकरणे (Discharge measuring device for pipe flow) :

विविध अभियांत्रिकी आणि औद्योगिक अनुप्रयोगांसाठी पाईपमधील स्त्राव (प्रवाह दर) मोजणे आवश्यक आहे. पाईपमधील प्रवाह मोजण्यासाठी सामान्यतः अनेक उपकरणे वापरली जातात, त्यांच्या कार्य तत्वांच्या आधारे वर्गीकृत केली जातात.

4.5.1. डिफरेंशियल प्रेशर फ्लो मीटर :

प्रवाहमार्गातील निर्बंधामुळे प्रवाह दराच्या प्रमाणात दाब कमी होतो या तत्त्वावर हे मीटर काम करतात.

- छिद्र मीटर: छिद्र असलेली पातळ प्लेट ज्यामुळे दाब कमी होतो.
- व्हॅन्चुरी मीटर: हळूहळू अरुंद होणारा पाईप विभाग दाब कमी करतो आणि बर्नोली चे समीकरण वापरून प्रवाह दर मोजला जातो.
- फ्लो नोजल: व्हॅन्चुरी मीटरसारखेच परंतु अधिक कॉम्पॅक्ट डिझाइनसह.

4.5.2. व्हॅन्चुरीमीटर (Venturimeter, Construction, Working):

व्हॅन्चुरीमीटर हे बर्नोली च्या समीकरणाच्या सिद्धांतावर आधारित पाईपमधील द्रवपदार्थाचा प्रवाह दर (स्त्राव) मोजण्यासाठी वापरले जाणारे उपकरण आहे. द्रव आणि वायूंचा प्रवाह मोजण्यासाठी उद्योगांमध्ये याचा मोठ्या प्रमाणात वापर केला जातो.

व्हॅन्चुरीमीटर बर्नोली च्या प्रमेयावर कार्य करते, ज्यात असे म्हटले आहे की द्रव पदार्थाच्या प्रति एकक वजनासाठी दाब ऊर्जा, गतिज ऊर्जा आणि संभाव्य ऊर्जेची बेरीज नगण्य घर्षण हानी गृहीत धरून सुसूत्रतेने स्थिर राहते.

द्रव पदार्थ अभिसरण विभागातून वाहत असताना त्याचा वेग वाढतो, ज्यामुळे दाब कमी होतो. हा दाब फरक मोजून बर्नोली चे समीकरण वापरून प्रवाह दर ठरवता येतो.

व्हेचुरीमीटरचे बांधकाम :

व्हेचुरीमीटरमध्ये तीन मुख्य भाग असतात:

अभिसरण विभाग

- हळूहळू पाईपचा व्यास कमी होतो.
- त्यामुळे वेग वाढतो आणि दाब कमी होतो.

थ्रोट

- मीटरचा सर्वात अरुंद भाग.
- येथे वेग जास्तीत जास्त आणि दाब कमीत कमी असतो.
- मोजमापासाठी येथे दाबाचे नळ ठेवण्यात आले आहेत.

विभक्त विभाग

- हळूहळू व्यास वाढतो.
- वेग कमी होतो आणि दाब जवळजवळ त्याच्या मूळ मूल्यापर्यंत पुनर्प्राप्त होतो.
- जास्त ऊर्जेची हानी टाळते.

वापरलेले साहित्य :

- ब्रास, ब्रॉझ (लहान पाईपसाठी)
- स्टेनलेस स्टील (उच्च-दाब अनुप्रयोगांसाठी)
- कास्ट आयर्न (औद्योगिक वापरासाठी)

व्हेचुरीमीटरचे कार्य

- द्रव अभिसरण विभागात प्रवेश करतो, जिथे त्याचा वेग वाढतो आणि दाब कमी होतो.
- द्रव घशातून जातो, जिथे वेग जास्तीत जास्त असतो आणि दाब कमीतकमी असतो.
- दाब फरक मॅनोमीटर (द्रवाने भरलेली यू-ट्यूब) वापरून मोजला जातो.
- द्रव पदार्थ विभक्त विभागातून वाहत असल्याने वेग कमी होतो आणि दाब पूर्ववत होतो.
- बर्नोली चे समीकरण व सातत्य समीकरण वापरून स्त्राव (क्यू) मोजला जातो.

प्रवाह दराचे सूत्र (स्त्राव गणना) :

Using Bernoulli's theorem and the continuity equation, the discharge (Q) is given by:

$$Q = A_2 v_2 = A_2 C_d \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - (d_2/d_1)^2)}}$$

Where:

- Q = Flow rate (m^3/s)
- A_2 = Area of the throat ($\pi d_2^2/4$)
- C_d = Coefficient of discharge (0.95 - 0.99)
- P_1, P_2 = Pressure at inlet and throat
- ρ = Density of fluid
- d_1 = Diameter of inlet
- d_2 = Diameter of throat

व्हेंचुरीमीटरचे फायदे

- अत्यंत अचूक: कमीतकमी उर्जा हानीमुळे.
- विश्वासार्ह आणि टिकाऊ: हलणारे भाग नाहीत, दीर्घ आयुष्य ाची खात्री देतात.
- कमी दाबाचा थेंब : छिद्रमीटरच्या विपरीत, दाब विभक्त विभागात पुनर्प्राप्त केला जातो.
- मोठ्या पाइपलाइनसाठी उपयुक्त: उच्च प्रवाह दरांसाठी वापरले जाऊ शकते.

व्हेंचुरीमीटरचे तोटे

- महाग: उच्च उत्पादन आणि स्थापना खर्च.
- अवजड आणि आवश्यक जागा: लहान जागेसाठी आदर्श नाही.
- घाणेरड्या द्रवपदार्थासाठी आदर्श नाही: घशाच्या विभागात क्लॉजिंग होऊ शकते.

व्हेंचुरीमीटरचे अनुप्रयोग

- पाणीपुरवठा यंत्रणा - महापालिकेच्या पाइपलाइनमधील प्रवाह मोजमाप.
- पेट्रोलियम उद्योग - कच्चे तेल आणि इंधन प्रवाह मोजण्यासाठी वापरला जातो.
- रासायनिक संयंत्रे - अणुभट्ट्यांमधील द्रव आणि वायू प्रवाहाचे निरीक्षण करणे.
- एरोस्पेस - पवन बोगद्यांमधील वायुप्रवाह मोजणे.
- एचव्हीएसी प्रणाली - व्हेंटिलेशन सिस्टममध्ये हवा आणि वायू प्रवाह मोजणे.

4.6 टाकीसाठी स्त्राव मोजणे (Discharge measuring for a tank):

छिद्राचा वापर करून टाकीचा स्त्राव मोजण्यासाठी, आपण टाकीच्या भिंतीमध्ये एक लहान उघडे (छिद्र) तयार करून, छिद्रातील दाब फरक मोजून आणि नंतर छिद्रक्षेत्र आणि दाब फरकावर आधारित प्रवाह दराची गणना करून, सूत्र वापरून बर्नोली च्या समीकरणाचे तत्त्व वापरू शकता: $Q = C_d A \sqrt{2gh}$ * ए * स्केअरआरटी (2 जी), जेथे Q हा स्त्राव आहे, C_d हा स्त्रावाचा गुणांक आहे, A म्हणजे छिद्र क्षेत्र, g म्हणजे गुरुत्वाकर्षणामुळे त्वरण आणि h म्हणजे डोक्यातील फरक (छिद्राच्या वरच्या टाकीतील द्रव पातळी).

छिद्र हे टाकीतून द्रवपदार्थाचा स्त्राव मोजण्यासाठी एक सोपे आणि व्यापकपणे वापरले जाणारे उपकरण आहे. हे टाकीच्या भिंतीत किंवा तळाशी एक लहान उघडे (छिद्र) आहे ज्याद्वारे गुरुत्वाकर्षणाच्या प्रभावाखाली द्रव बाहेर पडतो.

छिद्र स्त्रावाचे तत्त्व (Orifice)

छिद्रातून होणारा स्त्राव टोरिसेलीच्या प्रमेयाद्वारे नियंत्रित केला जातो, ज्यात असे म्हटले आहे की बाहेर वाहणार्या द्रवपदार्थाचा वेग याद्वारे दिला जातो:

$$V = \sqrt{2g}$$

कुठे:

- v = छिद्रावरील द्रवपदार्थाचा वेग (मी/सेकंद)
- g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारे त्वरण (९.८१ मी/सेकंद²)
- h = छिद्राच्या वर द्रवाची उंची (मी)

छिद्र स्त्राव मापनाचे अनुप्रयोग

- हायड्रोलिक अभियांत्रिकी - जलाशय आणि टाक्यांमधील प्रवाह मोजमाप.
- पाणी वितरण प्रणाली - गळती शोधणे आणि नियंत्रण.
- सिंचन प्रणाली - कालव्यांमधील प्रवाह नियमन.
- औद्योगिक द्रव नियंत्रण - टाक्यांमधील द्रव स्त्राव व्यवस्थापित करणे.

स्त्राव मापनासाठी छिद्र वापरण्याचे फायदे

- सोपे आणि किफायतशीर - स्थापित करणे आणि वापरणे सोपे.
- कॉम्पॅक्ट डिझाइन - जास्त जागेची आवश्यकता नसते.
- वेगवेगळ्या द्रवपदार्थांना लागू - पाणी, तेल आणि इतर द्रवपदार्थांसाठी कार्य करते.

छिद्र वापरण्याचे तोटे

- ऊर्जेचे नुकसान - आकुंचन आणि अशांततेमुळे.
- कमी अचूकता - व्हॅन्युरीमीटर आणि इतर अचूक उपकरणांच्या तुलनेत.
- स्त्रावाचा गुणांक बदलतो - अचूकतेसाठी अंशांकन आवश्यक आहे.

छिद्राचे हायड्रोलिक गुणांक (Hydraulic Coefficients of Orifice)

जेव्हा पुरवठ्याच्या टाकीतून छिद्रातून प्रवाह होतो, तेव्हा छिद्रातून बाहेर पडणारे पाण्याचे जेट छिद्राच्या खालच्या बाजूस आकुंचन पावते आणि ज्या बिंदूला जास्तीत जास्त आकुंचन मिळते त्या बिंदूला वेना-कॉन्ट्रॅक्टा म्हणतात.

छिद्राचे तीन हायड्रोलिक गुणांक खालीलप्रमाणे आहेत:

- ०१. आकुंचन चा गुणांक (सीसी) (C_c)
- ०२. वेगाचा गुणांक (सीव्ही) (C_v)
- ०३. स्त्राव गुणांक (सीडी) (C_d)

1. आकुंचन चा गुणांक (C_c)

वेना-कॉन्ट्रॅक्टा येथील वॉटर जेटच्या क्षेत्रफळाचे छिद्राच्या क्षेत्रफळाशी हे गुणोत्तर आहे.

२. वेगाचा गुणांक (C_v)

वेना-कॉन्ट्रॅक्टावरील वॉटर जेटच्या वेगाचे सैद्धांतिक वेगाशी असलेले हे गुणोत्तर आहे.

3. स्त्राव गुणांक (C_d)

हे प्रत्यक्ष स्त्राव आणि सैद्धांतिक स्त्राव यांचे गुणोत्तर आहे.

हायड्रोलिक गुणांकामधील संबंध

तीन गुणांक खालीलप्रमाणे संबंधित आहेत:

$$\text{सीडी (Cd)} = \text{सीव्ही (Cv)} \times \text{सीसी (Cc)}$$

हे दर्शविते की स्त्राव वेग आणि आकुंचन दोन्ही प्रभावांमुळे प्रभावित होतो.

हायड्रोलिक गुणांकांचे अनुप्रयोग :

- प्रवाह मापन - स्त्राव गणनांमध्ये वापरले जाते.
- हायड्रोलिक अभियांत्रिकी - वेअर, नोजल आणि स्पिलवेचे डिझाइन.
- सिंचन प्रणाली - छिद्रांद्वारे पाण्याचे वितरण अनुकूल करणे.
- औद्योगिक प्रक्रिया - टाकी आणि पाईपमधील द्रव प्रवाह नियंत्रित करणे.

4.7. पंप (Pump) :

पंप हे यांत्रिक उपकरण आहे जे यांत्रिक ऊर्जेचे हायड्रोलिक ऊर्जेमध्ये रूपांतर करून द्रव (द्रव किंवा वायू) एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणी हलविण्यासाठी वापरले जाते. उद्योग, सिंचन, पाणीपुरवठा आणि इतर अनेक अनुप्रयोगांमध्ये पंपांचा मोठ्या प्रमाणात वापर केला जातो.

पंप हे एक यांत्रिक उपकरण आहे जे प्रवाही द्रवाला ऊर्जा देण्यासाठी वापरले जाते जेणेकरून द्रव हायड्रोलिक सिस्टममधील प्रतिकारावर मात करू शकेल. फक्त पंप यांत्रिक ऊर्जेचे रूपांतर प्रवाहाला दिलेल्या हायड्रोलिक ऊर्जेमध्ये करतो.

पंप विविध अनुप्रयोगांसाठी विविध आकारात येतात. त्यांचे त्यांच्या मूलभूत ऑपरेटिंग तत्त्वानुसार गतिशील किंवा विस्थापन पंप म्हणून वर्गीकरण केले जाऊ शकते. डायनॅमिक पंप सेंट्रीफ्यूगल आणि स्पेशल इफेक्ट पंप म्हणून उप-वर्गीकृत केले जाऊ शकतात. विस्थापन पंपांचे रोटरी किंवा रेस्पॉन्सिव्ह पंप म्हणून उपवर्गीकरण केले जाऊ शकते. तत्त्वतः, कोणतेही द्रव कोणत्याही पंप डिझाइनद्वारे हाताळले जाऊ शकते. जेथे वेगवेगळ्या पंप डिझाइनचा वापर केला जाऊ शकतो, तेथे सेंट्रीफ्यूगल पंप सामान्यतः सर्वात किफायतशीर असतो त्यानंतर रोटरी आणि रेस्पॉन्सिव्ह पंप असतात. जरी, सकारात्मक विस्थापन पंप सामान्यतः सेंट्रीफ्यूगल पंपापेक्षा अधिक कार्यक्षम असतात, परंतु उच्च कार्यक्षमतेचा फायदा वाढीव देखभाल खर्चाने भरून निघतो. जगभरात पंपांद्वारे वापरल्या जाणाऱ्या विजेत सेंट्रीफ्यूगल पंपांचा वाटा जास्त असल्याने या अध्यायाचा भर सेंट्रीफ्यूगल पंपावर आहे.

4.8 पंपाचे प्रकार (Types of Pumps) :

- सेंट्रीफ्यूगल पंप
- प्रतिगामी पंप
- सबमर्सिबल पंप.

पंप ही यांत्रिक उपकरणे आहेत जी द्रवपदार्थाचा दाब आणि वेग वाढवून हलवण्यासाठी वापरली जातात. त्यांच्या कार्यतत्त्वांच्या आधारे, पंपांचे विविध प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले जाते. खाली तीन सामान्य प्रकार आहेत.

4.8.1. सेंट्रीफ्यूगल पंप (Centrifugal Pump) :

तत्त्व: द्रव हलविण्यासाठी केंद्रापसारक बलाचा वापर करतो.

कार्य:

- सक्शन पाईपमधून द्रव पदार्थ आत शिरते.
- फिरणाऱ्या इंपेलरमुळे द्रवपदार्थाचा वेग वाढतो.
- डिफ्यूझर/व्होल्यूट वेगाचे दाबात रूपांतर करते.
- स्त्राव पाईपमधून द्रव बाहेर पडतो.

अनुप्रयोग:

- पाणीपुरवठा व्यवस्था
- सिंचन व ड्रेनेज
- औद्योगिक कूलिंग सिस्टम

फायदे:

- सोपी डिझाइन, उच्च कार्यक्षमता
- मोठ्या प्रवाह दरांची हाताळणी करते
- कमी देखभाल

तोटे:

- उच्च-दाब अनुप्रयोगांसाठी योग्य नाही
- पोकळी होण्याची शक्यता

4.8.2. परस्पर पूरक पंप :

तत्त्व: द्रव ढकलण्यासाठी पिस्टन / सिलिंडर यंत्रणा वापरते.

कार्य:

- सक्शन स्ट्रोकमध्ये पिस्टन मागे सरकते, द्रव आत खेचते.
- डिस्चार्ज स्ट्रोकमध्ये, पिस्टन पुढे सरकते, द्रव बाहेर काढण्यास भाग पाडते.

प्रकार:

- सिंगल-ऑक्टिंग (प्रति चक्र एक सक्शन आणि स्त्राव)
- दुहेरी अभिनय (प्रति चक्र दोन सक्शन आणि स्त्राव)

अनुप्रयोग:

- उच्च दाबाने पाणीपुरवठा

- हायड्रोलिक सिस्टम
- तेल आणि वायू उद्योग

फायदे:

- उच्च दाब क्षमता
- अचूक द्रव नियंत्रण

तोटे:

- कमी प्रवाह दर
- हलत्या भागांमुळे अधिक बिघाड आणि फाटणे

4.8.3. सबमर्सिबल पंप :

तत्त्व : पूर्णपणे पाण्यात बुडत असताना कार्य करते.

कार्य:

- पंप आणि मोटर वॉटरप्रूफ आवरणात एकत्र सील केले जातात.
- पंप खालून पाणी खेचून पृष्ठभागावर ढकलतो.

अनुप्रयोग:

- खोल विहिरी आणि बोअरवेल
- सांडपाणी प्रक्रिया प्रकल्प
- पूर निचरा व्यवस्था

फायदे:

- प्राईमिंगची आवश्यकता नाही
- शांतपणे काम करते
- खोल पाण्याच्या अनुप्रयोगांमध्ये उच्च कार्यक्षमता

तोटे:

- अवघड देखभाल (पाण्यातून काढून टाकणे आवश्यक आहे)
- नुकसान टाळण्यासाठी आवश्यक विद्युत इन्सुलेशन

4.8.4. सेंट्रीफ्यूगल पंप घटक भाग आणि कार्य :

सेंट्रीफ्यूगल पंपात प्रामुख्याने इंपेलर, आवरण आणि शाफ्ट असते, जिथे फिरणारा इंपेलर पंपाद्वारे आणि स्त्राव पाईपमध्ये द्रव हलविण्यासाठी सेंट्रीफ्यूगल बल तयार करतो; मुख्य घटकांमध्ये शाफ्टला आधार देण्यासाठी बेअरिंग, सक्शन आणि डिस्चार्ज पोर्ट आणि गळती रोखण्यासाठी सील यांचा समावेश आहे; आवरण इंपेलर ठेवते आणि द्रव प्रवाह निर्देशित करते, तर शाफ्ट मोटरमधून इंपेलरकडे शक्ती प्रसारित करते.

सेंट्रीफ्यूगल पंपाचे मुख्य घटक:

- **इंपेलर (Impeller)** : ब्लेडसह फिरणारा घटक जो द्रव हलविण्यासाठी केंद्रापसारक बल तयार करतो.
- **आवरण (Cover)** : इंपेलरला वेढणारे, द्रव प्रवाहाचे दिग्दर्शन करणारे आणि दाब निर्माण करणारे घर.
- **शाफ्ट (Shaft)** : मोटरला इंपेलरशी जोडणारी, शक्ती प्रसारित करणारी फिरती रॉड.
- **बेअरिंग्स (Bearings)** : शाफ्टला आधार देते आणि ते सुरळीतपणे फिरू देते.
- **सक्शन पोर्ट (Suction port)** : ज्या इनलेटमध्ये द्रव पंपामध्ये प्रवेश करतो
- **डिस्चार्ज पोर्ट (Discharge Port)** : आउटलेट जेथे पंपामधून द्रव बाहेर पडतो
- **सील (Sill)** : शाफ्ट आवरणातून बाहेर पडणाऱ्या ठिकाणी गळती रोखते.

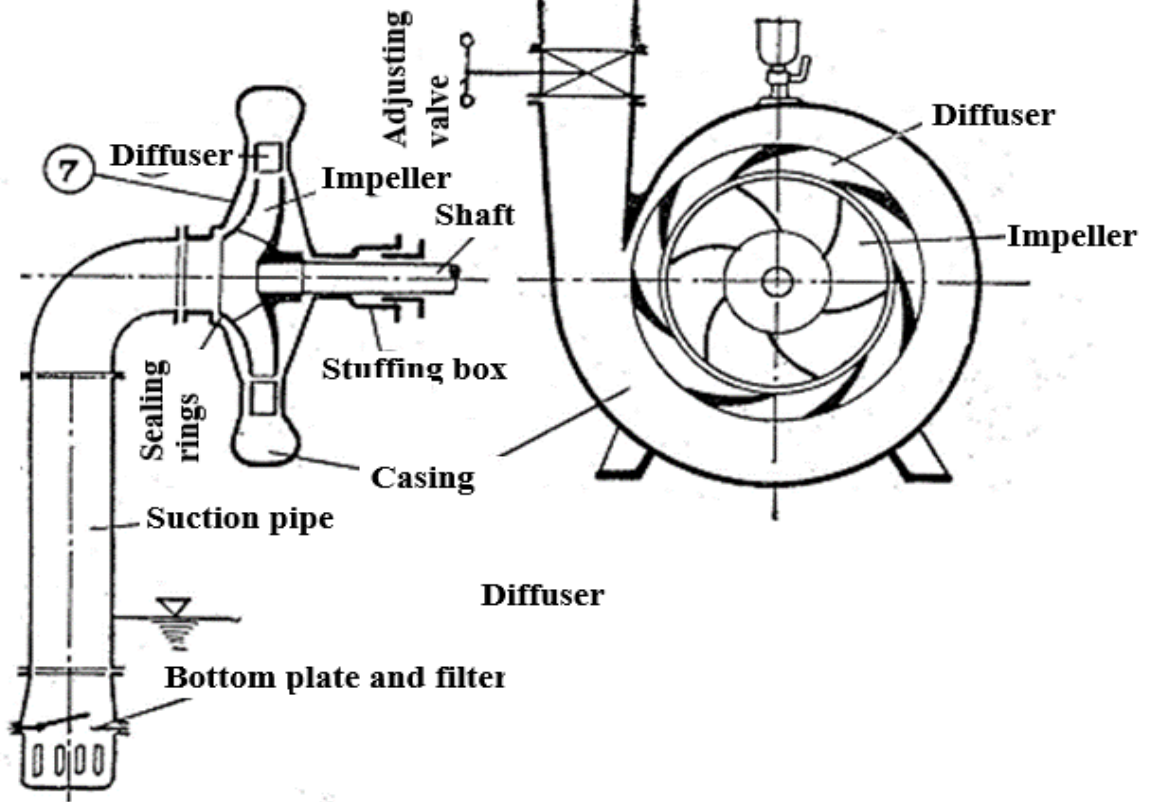


Fig. सेंट्रीफ्यूगल पंप (Centrifugal Pump)
(स्रोत : <https://shorturl.at/neoxz>)

सेंट्रीफ्यूगल पंपाचे कार्य

1. प्राईमिंग (आवश्यक असल्यास)
 - पोकळी रोखणे सुरू करण्यापूर्वी पंप द्रवाने भरलेला आहे याची खात्री करा.
2. सक्शन स्ट्रोक
 - पंप मोटर इंपेलर फिरवते.

- कमी दाबामुळे सक्शन पाईपमधून द्रव पदार्थ इंपेलर डोळ्यात प्रवेश करतो.
- 3. इंपेलरद्वारे ऊर्जा हस्तांतरण
 - इंपेलर उच्च वेगाने फिरतो, द्रवपदार्थाला गतिज ऊर्जा प्रदान करतो.
 - केंद्रापसारक बल द्रवाला आवरणाच्या दिशेने बाहेर ढकलते.
- 4. आवरणातील ऊर्जेचे रूपांतर
 - व्होल्यूट आवरण गतिज ऊर्जेचे दाब ऊर्जेत रूपांतर करते.
 - डिफ्यूझर (उपस्थित असल्यास) प्रवाह अधिक सुरळीत करतो.
- 5. द्रव स्त्राव
 - उच्च दाबाचा द्रव स्त्राव पाईपद्वारे इच्छित ठिकाणी सोडला जातो.

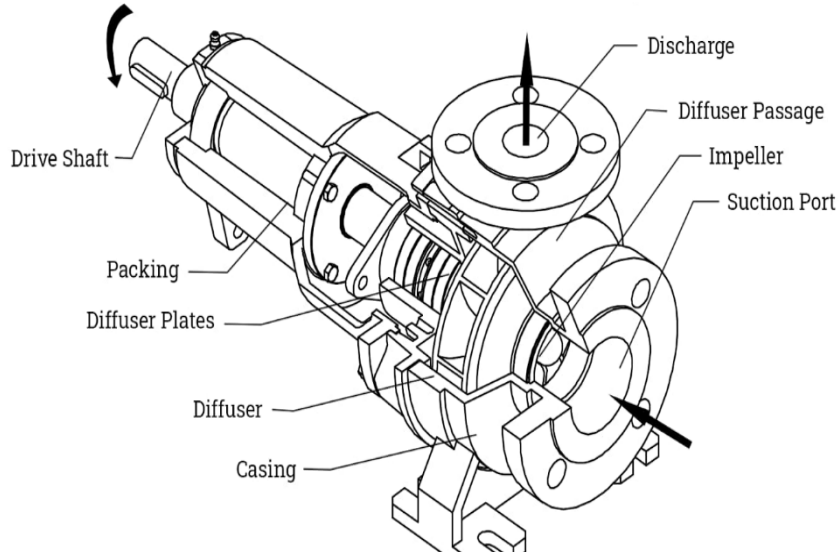


Fig. सेंट्रीफ्यूगल पंपाचे घटक भाग (Components of Pump)

(स्रोत : <https://shorturl.at/ytwz>)

सेंट्रीफ्यूगल पंपाचे अनुप्रयोग

1. तेल आणि ऊर्जा - कच्चे तेल, स्लरी, चिखल पंप करणे; रिफायनरी, वीजनिर्मिती प्रकल्पांद्वारे वापरला जातो
2. औद्योगिक आणि अग्नि संरक्षण उद्योग - हीटिंग आणि व्हेंटिलेशन, बॉयलर फीड अनुप्रयोग, वातानुकूलन, दाब वाढविणे, फायर प्रोटेक्शन स्प्रींकलर सिस्टम.
3. कचरा व्यवस्थापन, कृषी व उत्पादन - सांडपाणी प्रक्रिया प्रकल्प, महापालिका उद्योग, ड्रेनेज, गॅस प्रक्रिया, सिंचन आणि पूर संरक्षण

4. फार्मास्युटिकल, केमिकल आणि फूड इंडस्ट्रीज - पेंट्स, हायड्रोकार्बन, पेट्रो-केमिकल, सेल्युलोज, साखर शुद्धीकरण, अन्न आणि पेय उत्पादन
5. विविध उद्योग (उत्पादन, औद्योगिक, रसायने, फार्मास्युटिकल, अन्न उत्पादन, एरोस्पेस इ.) - क्रायोजेनिक्स आणि रेफ्रिजरटच्या उद्देशाने.

4.9. हेडचे प्रकार (Types of Heads) :

1. सक्शन हेड (Suction Head)

- हे पंप सेंटरलाइन आणि सक्शन टँकमधील द्रवाच्या पृष्ठभागामधील उभ्या अंतराचा संदर्भ देते.
- स्त्रोत पंपाच्या खाली असेल तर त्याला सक्शन लिफ्ट म्हणतात आणि वर असल्यास त्याला सक्शन हेड म्हणतात.

2. डिलिव्हरी हेड (Delivery Head)

- ही पंप सेंटरलाइन आणि द्रव सोडल्या जाणार्या बिंदू दरम्यानची उभी उंची आहे.
- हे द्रव इच्छित ठिकाणी हलविण्यासाठी आवश्यक ऊर्जेचे प्रतिनिधित्व करते.

3. स्थिर हेड (Datum Head)

- द्रव वाहत नसताना (म्हणजे शून्य प्रवाह स्थितीत) सक्शन हेड आणि डिलिव्हरी हेडची बेरीज.
- उंचीच्या फरकामुळे पंपाला पार करावी लागणारी ही एकूण उंची आहे.

4. मॅनोमेट्रिक हेड (Manometric Head)

- यंत्रणेतील सर्व तोटा विचारात घेऊन पंपाने प्रत्यक्ष डोके विकसित केले.
- हे पंपाद्वारे द्रवाला प्रदान केलेली एकूण ऊर्जा आहे, ज्यात वेग हेड, प्रेशर हेड आणि पाईप आणि फिटिंगमधील घर्षण नुकसान यांचा समावेश आहे.

4.10. सेंट्रीफ्यूगल पंपाची विजेची गरज मोजणे (Compute power requirement) :

सेंट्रीफ्यूगल पंपाची विजेची आवश्यकता मोजण्यासाठी, सूत्र वापरा:

$$P = (\pi * g * Q * H) / 1000$$

म्हणजे -

- P - ही किलोवॅटमधील शक्ती आहे,
- π - म्हणजे द्रव घनता (किलो / घनमीटर),
- g - म्हणजे गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारे त्वरण (मी/से²),
- Q - म्हणजे प्रवाह दर (m³/s)
- H - एकूण डोके (मी)

मोटरमधून आवश्यक असलेली वास्तविक वीज मिळविण्यासाठी पंप कार्यक्षमतेने विभाजन करणे नेहमीच लक्षात ठेवा.

- हायड्रोलिक पॉवर:

" $\pi * g * Q * H$ " हा शब्द दिलेल्या प्रवाह दराने आणि विशिष्ट डोक्याविरूद्ध द्रव हलविण्यासाठी आवश्यक हायड्रोलिक शक्तीचे प्रतिनिधित्व करतो.

- पंप कार्यक्षमता:

मोटारमधून आवश्यक असलेली वास्तविक वीज मिळविण्यासाठी, पंप कार्यक्षमतेने (दशांश मूल्य) हायड्रोलिक शक्तीची विभागणी करा.

पंप पॉवर मोजण्याचे टप्पे

१. पाणी वापरणार्या उपकरणांच्या प्रक्रियेच्या आवश्यकतांवर आधारित प्रवाह दर निश्चित करा.
२. पाइपलाइनचा व्यास आणि लांबी यावर आधारित प्रवाह दर निश्चित करा.
३. ऑपरेशनच्या आंतरमितीच्या आधारे प्रवाह दर निश्चित करा.
४. $P = \pi Q g h / 1000$ या सूत्राचा वापर करून शक्तीची गणना करा.

पंपिंग सिस्टीममध्ये ऊर्जा संवर्धनाच्या संधी

- स्थापनेच्या ठिकाणी पुरेसे एनपीएसएच सुनिश्चित करा
- प्रेशर गेज, फ्लो मीटर सारख्या पंपांवर मूलभूत उपकरणांची उपलब्धता सुनिश्चित करा.
- सर्वोत्तम कार्यक्षमतेच्या बिंदूजवळ पंप चालवा.
- थोटलिंग कमी करण्यासाठी पंपिंग सिस्टम आणि पंप नुकसान सुधारित करा.
- व्हेरिबल स्पीड ड्राइव्ह किंवा एकाधिक युनिट्सच्या अनुक्रमित नियंत्रणासह विस्तृत लोड भिन्नतेशी जुळवून घ्या.
- एकाधिक पंप चालविणे थांबवा - ऑन-लाइन स्पेअरसाठी ऑटो-स्टार्ट जोडा किंवा समस्येच्या भागात बूस्टर पंप जोडा.
- जास्त दाबाची आवश्यकता असलेल्या छोट्या भारांसाठी बूस्टर पंप वापरा.
- उष्णता विनिमयकांच्या बाबतीत पंपिंग दर कमी करण्यासाठी द्रव तापमानातील फरक वाढवा.
- ठिबक टाकून पाण्याची हानी कमी करण्यासाठी सील व पॅकिंग दुरुस्त करा.
- प्रवाह कमी करण्यासाठी आणि पंप विजेची आवश्यकता कमी करण्यासाठी प्रणालीसंतुलित करा.
- फ्री-फॉल रिटर्न (गुरुत्वाकर्षण) सह डोके पंप करणे टाळा; फायद्यासाठी सायफन इफेक्ट वापरा:
- पाण्याचा वापर कमीत कमी करण्यासाठी पाण्याचा समतोल राखणे
- डीजी संच, एअर कॉम्प्रेसर, रेफ्रिजरेशन सिस्टीम, कूलिंग टॉवर फीड वॉटर पंप, कंडेन्सर पंप आणि प्रोसेस पंपमध्ये थंड पाण्याचे पुन्हा सर्कुलेशन टाळा

Suggestive Questions :

- Q.1. Differentiate between centrifugal and reciprocating pump.
- Q.2. Draw neat sketch of installation of centrifugal pump.
- Q.3. Write modified Darcy-weisbach Equation.
- Q.4. Define static head and manometric head of centrifugal pump.
- Q.5. Enlist any four component parts of centrifugal pump and state their function.
- Q.6. Define static head and manometric head of centrifugal pump
- Q.7. Find power required for pump under following condition : i) Water to be pumped = 80 lit/sec. ii) Total lift = 20m iii) Frictional loss = 4m iv) Efficiency of Pump = 70%
- Q.8. Define hydraulic coefficients of orifice.
- Q.9. Water discharges at the rate of $0.0982 \text{ m}^3/\text{sec}$. through a 12cm diameter vertical sharp edges orifice placed under a constant head of 10m. A point on the jet measured from vena contracta of the jet has co-ordinates 4.5m horizontal and 0.54m vertical. Find the coefficients C_c , C_d and C_v of the orifice.
- Q.10. State the principle of venturimeter

युनिट – 5: ओपन चॅनेलमधून प्रवाह

(Unit - V Flow through Open Channel)

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcomes)

CO5: खुल्या वाहिन्यांमध्ये संबंधित द्रव प्रवाह मापदंड शोधा.

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes) : -

TLO 5.1 दिलेल्या चॅनेलच्या भौमितिक गुणधर्मांचे वर्णन करा.

TLO 5.2 दिलेल्या डेटासाठी संबंधित सूत्रे वापरून दिलेल्या चॅनेलमध्ये डिस्चार्ज निश्चित करा.

TLO 5.3 दिलेल्या परिस्थितीसाठी सर्वात किफायतशीर चॅनेल विभाग डिझाइन करा.

TLO 5.4 दिलेल्या प्रवाह मापन उपकरणाचा वापर करून वेग आणि स्त्राव शोधण्याच्या प्रक्रियेचे वर्णन करा.

TLO 5.5 दिलेल्या स्थितीसाठी खुल्या वाहिनीतून प्रवाहाचा वेग मोजा.

5.1 ओपन चॅनेल फ्लोचा परिचय आणि त्याचे महत्त्व (Introduction to Open Channel Flow and Its Importance)

ओपन चॅनेल फ्लो ही द्रव यांत्रिकीमध्ये एक मूलभूत संकल्पना आहे जी अशा वाहिन्यांमध्ये पाणी किंवा इतर द्रवांच्या हालचालींशी संबंधित आहे जिथे प्रवाहाची पृष्ठभाग वातावरणाच्या दाबाच्या संपर्कात मुक्त असते. पाईप प्रवाहाच्या विपरीत, जो बंद नळीमध्ये मर्यादित असतो, ओपन चॅनेल प्रवाह गुरुत्वाकर्षणाद्वारे चालविला जातो आणि त्याचा वेग आणि डिस्चार्ज वाहिनीच्या आकार, खडबडीतपणा आणि उतारावर अवलंबून असतो. हे नैसर्गिक प्रवाह, नद्या, सिंचन कालवे, ड्रेनेज खंदक आणि पाणी वाहतूक आणि सांडपाणी व्यवस्थापनासाठी वापरल्या जाणाऱ्या कृत्रिम वाहिन्यांमध्ये मोठ्या प्रमाणात दिसून येते.

कार्यक्षम जलवाहतूक प्रणाली डिझाइन करण्यासाठी चॅनेल विभागांचे भौमितिक गुणधर्म समजून घेणे अत्यंत महत्त्वाचे आहे. ओले क्षेत्र, ओले परिमिती आणि हायड्रॉलिक त्रिज्या यासारखे पॅरामीटर्स प्रवाह वेग आणि डिस्चार्जवर प्रभाव पाडतात. हे गुणधर्म कमीत कमी ऊर्जा नुकसानासह जास्तीत जास्त कार्यक्षमता सुनिश्चित करण्यासाठी योग्य चॅनेल परिमाणे निवडण्यास मदत करतात. आयताकृती आणि ट्रॅपेझॉइडल चॅनेल हे त्यांच्या संरचनात्मक साधेपणा आणि प्रवाह कार्यक्षमतेमुळे हायड्रॉलिक अभियांत्रिकीमध्ये वापरले जाणारे सर्वात सामान्य क्रॉस-सेक्शन आहेत.

खुल्या वाहिनीमध्ये पाण्याचा विसर्जन (प्रवाह दर) निश्चित करण्यासाठी, चेझीचे समीकरण आणि मॅनिंगचे समीकरण यांसारखी अनुभवजन्य सूत्रे वापरली जातात. ही समीकरणे प्रवाहाचा वेग चॅनेलच्या वैशिष्ट्यांशी आणि बेड स्लोपशी जोडतात, ज्यामुळे अभियंत्यांना विविध परिस्थितीत पाण्याच्या हालचालीचा अंदाज घेता येतो. मॅनिंगचे समीकरण वास्तविक जगात वापरल्या जाणाऱ्या वापरात त्याच्या साधेपणा आणि अचूकतेमुळे विशेषतः लोकप्रिय आहे.

किफायतशीर चॅनेल सेक्शन म्हणजे असा जो कमीत कमी बांधकाम खर्च आणि घर्षण नुकसानासह जास्तीत जास्त शक्य डिस्चार्ज देतो. चॅनेलचे परिमाण ऑप्टिमाइझ करून, अभियंते उत्खनन आणि

साहित्याचा खर्च कमीत कमी करून उच्च हायड्रॉलिक कार्यक्षमता प्राप्त करू शकतात. सर्वात किफायतशीर विभाग विशिष्ट भौमितिक संबंधांचे पालन करतात जे दिलेल्या क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रासाठी किमान ओले परिमिती सुनिश्चित करतात.

खुल्या कालव्यांमध्ये डिस्चार्ज मोजण्यासाठी, व्ही-नॉच आणि आयताकृती नॉच वेअर्स सारखी उपकरणे सामान्यतः वापरली जातात. हे नॉच नियंत्रित ओव्हरफ्लो तयार करतात, ज्यामुळे नॉचच्या वरच्या पाण्याच्या खोलीवर आधारित डिस्चार्जची अचूक गणना करता येते. अशा उपकरणांचा वापर सिंचन प्रणाली, जलविज्ञान अभ्यास आणि औद्योगिक अनुप्रयोगांमध्ये मोठ्या प्रमाणात केला जातो.

ओपन चॅनेल फ्लो विश्लेषणाचा वेग मोजणे हा आणखी एक महत्वाचा पैलू आहे. फ्लोट्स आणि पिटॉट ट्यूब्स सारखी उपकरणे प्रवाह वेग निश्चित करण्यात मदत करतात, जी डिस्चार्ज मोजण्यासाठी आणि हायड्रॉलिक वर्तनाचा अभ्यास करण्यासाठी आवश्यक आहे. फ्लोट्स पृष्ठभागाचा वेग मोजण्याचा एक सोपा मार्ग प्रदान करतात, तर पिटॉट ट्यूब्स नियंत्रित वातावरणात अधिक अचूक वेग मोजण्यासाठी वापरल्या जातात.

थोडक्यात, नैसर्गिक आणि कृत्रिम दोन्ही प्रणालींमध्ये कार्यक्षम पाणी व्यवस्थापनासाठी खुल्या जलवाहिनी प्रवाहाचा अभ्यास आवश्यक आहे. जलवाहिनी विभागांचे भौमितिक गुणधर्म समजून घेऊन, अनुभवजन्य स्त्राव समीकरणे लागू करून, जलवाहिनी डिझाइन ऑप्टिमायझेशन करून आणि योग्य मापन तंत्रांचा वापर करून, अभियंते शेती, शहरी निचरा आणि जलविद्युत निर्मितीच्या मागण्या पूर्ण करणाऱ्या प्रभावी जलवाहतूक प्रणाली विकसित करू शकतात. हा अध्याय हायड्रॉलिक अभियांत्रिकीमधील या मूलभूत तत्वांचा आणि त्यांच्या व्यावहारिक अनुप्रयोगांचा शोध घेतो.

खुल्या चॅनेलचे काही प्रकार खालीलप्रमाणे आहेत:

1. आकारावर आधारित (Based on Shape):

- **आयताकृती चॅनेल:** तळाशी सपाट आणि बाजू उभ्या आहेत (उदा., सिंचन कालवे).
- **ट्रॅपेझॉइडल चॅनेल:** त्याच्या बाजू उताराच्या आहेत, सामान्यतः पाण्याचा निचरा आणि सिंचनासाठी वापरल्या जातात.
- **त्रिकोणी चॅनेल:** सामान्यतः लहान ड्रेनेज सिस्टीममध्ये वापरले जाते.
- **वर्तुळाकार चॅनेल:** गटार आणि कल्व्हर्टमध्ये सामान्य, बहुतेकदा अंशतः भरलेले वाहते.
- **पॅराबॉलिक चॅनेल:** कार्यक्षम ड्रेनेज आणि धूप नियंत्रणासाठी वापरले जाते.

तक्ता क्रमांक 5.1 चॅनेल विभागांचे भौमितिक घटक

(स्रोत: डॉ. पी.एन.मोदी आणि डॉ.एस.एम.सेथ. हायड्रॉलक्स आणि फ्लुइड मेकॅनिक्स. राजसन्स पब्लिकेशन्स प्रा.लि.)

SECTION		AREA A	WETTED PERIMETER P	HYDRAULIC RADIUS R	TOP WIDTH T	HYDRAULIC DEPTH D	SECTION FACTOR Z
RECTANGLE		By	$B + 2y$	$\frac{By}{B + 2y}$	B	y	$B(y)^{3/2}$
TRAPEZOID		$(B + Zy)y$	$B + 2y\sqrt{Z^2 + 1}$	$\frac{(B + Zy)y}{B + 2y\sqrt{Z^2 + 1}}$	$B + 2Zy$	$\frac{(B + Zy)y}{B + 2Zy}$	$\frac{[(B + Zy)y]^3}{\sqrt{B + 2Zy}}$
TRIANGLE		Zy^2	$2y\sqrt{Z^2 + 1}$	$\frac{Zy}{2\sqrt{Z^2 + 1}}$	$2Zy$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{Z}{2}Z(y)^{3/2}$
CIRCLE		$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta)D^2$	$\frac{1}{2}\theta D$	$\frac{1}{4}(1 - \frac{\sin \theta}{\theta})D$	$D(\sin \frac{\theta}{2})$, or $2\sqrt{y(D - y)}$	$\frac{1}{8}(\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \frac{\theta}{2}})D$	$\frac{D^3}{32}(\frac{\theta - \sin \theta}{(\sin \frac{\theta}{2})^3})^{3/2} D^{2/3}$
PARABOLA		$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8}{3}\frac{y^2}{T}$	$\frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{2}{9}\sqrt{6}Ty^{3/2}$

2. सीमांच्या स्वरूपावर आधारित (Based on the Nature of Boundaries)

- कडक सीमा: काँक्रीट, स्टील किंवा दगड (उदा., अस्तरित कालवे) सारख्या न क्षीण होणाऱ्या पदार्थापासून बनलेले.
- मोबाइल सीमा: वाळू, गाळ किंवा चिकणमाती (उदा. नैसर्गिक नद्या) सारख्या क्षरणक्षम पदार्थापासून बनलेले.

3. प्रवाहाच्या प्रकारावर आधारित (Based on the Type of Flow)

- प्रिझ्मॅटिक चॅनेल: लांबीच्या बाजूने क्रॉस-सेक्शन स्थिर राहते (उदा. कृत्रिम कालवे).
- नॉन-प्रिझ्मॅटिक चॅनेल: प्रवाह मार्गावर क्रॉस-सेक्शन बदल (उदा., वेगवेगळ्या रुंदीच्या नैसर्गिक नद्या).

4. वापर किंवा उद्देशावर आधारित (Based on Use or Purpose)

- नैसर्गिक वाहिन्या: नैसर्गिकरित्या तयार झालेले (उदा., नद्या, ओढे).
- कृत्रिम चॅनेल: विशिष्ट उद्देशांसाठी बांधलेले (उदा., सिंचन कालवे, ड्रेनेज खंदके).

आयताकृती चॅनेल विभागाचे भौमितिक गुणधर्म (Geometrical Properties of a Rectangular Channel Section):

आयताकृती चॅनेल हा हायड्रॉलिक अभियांत्रिकीमध्ये सर्वात सोपा आणि सामान्यतः वापरला जाणारा चॅनेल आकार आहे. त्यात उभ्या बाजूंसह सपाट तळ असतो आणि बांधकाम आणि देखभालीच्या सोयीमुळे ते सिंचन, ड्रेनेज आणि औद्योगिक अनुप्रयोगांमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.

आयताकृती वाहिनीची कार्यक्षमता त्याच्या ओल्या क्षेत्रावर, ओल्या परिमितीवर आणि हायड्रॉलिक त्रिज्यावर अवलंबून असते, जे वेग आणि डिस्चार्ज सारख्या प्रवाह वैशिष्ट्यांचे निर्धारण करण्यासाठी आवश्यक असतात.

1. ओले क्षेत्र (A) Wetted Area (A) :

ओले केलेले क्षेत्र म्हणजे वाहिनीच्या सीमेच्या संपर्कात असलेल्या प्रवाहाचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र. ते वाहिनीची प्रवाह-वाहक क्षमता निश्चित करते आणि असे व्यक्त केले जाते:

$$A = b \times d$$

येथे:

- A = ओले क्षेत्र (चौकोनी चौरस मीटर)
- b = कालव्याची खालची रुंदी (मी)
- d = प्रवाहाची खोली (मी)

उदाहरण गणना (Example Calculation) :

जर एका आयताकृती कालव्याची तळाची रुंदी 5 मीटर आणि पाण्याची खोली 2 मीटर असेल, तर ओले झालेले क्षेत्र आहे:

$$A = 5 \times 2 = 10 \text{ m}^2$$

2. ओला परिमिती (P) (Wetted Perimeter) (P)

ओले परिमिती म्हणजे वाहत्या पाण्याच्या थेट संपर्कात असलेल्या वाहिनीच्या सीमेची एकूण लांबी. ते प्रवाहाच्या घर्षण प्रतिकारावर परिणाम करते आणि त्याची गणना खालीलप्रमाणे केली जाते:

$$P = b + 2d$$

येथे:

- P = ओले परिमिती (मी)
- b = तळाची रुंदी (मी)
- d = प्रवाहाची खोली (मी)

उदाहरण गणना (Example Calculation):

$b = 5$ मीटर आणि $d = 2$ मीटर असलेल्या चॅनेलसाठी:

$$P = 5 + 2(2)$$

$$= 5 + 4 = 9 \text{ m}$$

3. हायड्रॉलिक त्रिज्या (R) Hydraulic Radius (R):

ओपन चॅनेल फ्लोमध्ये हायड्रॉलिक त्रिज्या हा एक महत्वाचा पॅरामीटर आहे, जो ओल्या क्षेत्राचे ओल्या परिमितीशी गुणोत्तर दर्शवतो.

ते याद्वारे दिले जाते:

$$R = \frac{A}{P}$$

येथे:

- R = हायड्रॉलिक त्रिज्या (m)
- A = ओले क्षेत्र (चौकोनी चौरस मीटर)
- P = ओले परिमिती (मी)

उदाहरण गणना (Example Calculation):

मागील उदाहरणांमधील मूल्ये वापरणे:

$$R = \frac{10}{9} = 1.11 \text{ m}$$

ट्रॅपेझॉइडल चॅनेल सेक्शनचे भौमितिक गुणधर्म (Geometrical Properties of a Trapezoidal Channel Section)

ट्रॅपेझॉइडल चॅनेल हा हायड्रॉलिक अभियांत्रिकीमध्ये एक सामान्य चॅनेल आकार आहे कारण त्याची उच्च प्रवाह कार्यक्षमता आणि बांधकाम सुलभता आहे. आयताकृती चॅनेलच्या विपरीत, त्याच्या बाजू उताराच्या असतात, ज्यामुळे धूप आणि संरचनात्मक अस्थिरता कमी होण्यास मदत होते. सिंचन, ड्रेनेज आणि पूर नियंत्रण प्रणालींमध्ये याचा मोठ्या प्रमाणात वापर केला जातो.

ट्रॅपेझॉइडल चॅनेलचे प्रमुख भौमितिक गुणधर्म म्हणजे ओले क्षेत्र, ओले परिमिती आणि हायड्रॉलिक त्रिज्या. हे गुणधर्म चॅनेलची प्रवाह क्षमता, प्रतिकार आणि एकूण कार्यक्षमता प्रभावित करतात.

1. ओले क्षेत्र (A) Wetted Area (A)

ओले झालेले क्षेत्र म्हणजे वाहत्या पाण्याचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र. कालव्याला उतार असलेल्या बाजू असल्याने, त्याच्या क्षेत्रफळात तळाची रुंदी आणि उतार असलेल्या बाजूंनी योगदान दिलेले क्षेत्र समाविष्ट आहे.

$$A = (b + nd) d$$

येथे:

- A = ओले क्षेत्र (चौकोनी चौरस मीटर)
- b = कालव्याची खालची रुंदी (मी)
- d = प्रवाहाची खोली (मी)
- n = बाजूच्या उताराचे प्रमाण (आडवे ते उभे), म्हणजे प्रत्येक बाजू प्रत्येक १ मीटर उंचीसाठी क्षैतिजरित्या z मीटरने वाढते.

उदाहरण गणना (Example Calculation):

जर ट्रॅपेझॉइडल चॅनेलमध्ये असेल तर:

- तळाची रुंदी, $b = 8$ मीटर
- प्रवाहाची खोली, $y = 2$ मीटर

- बाजूच्या उताराचे प्रमाण, $z = 1.5$
मग,

$$\begin{aligned} A &= (4 + 1.5 \times 2) \times 2 \\ A &= (4 + 3) \times 2 \\ &= 7 \times 2 \\ A &= 14 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. ओला परिमिती (P) (Wetted Perimeter) (P)

ओले परिमिती म्हणजे पाण्याच्या संपर्कात असलेल्या कालव्याच्या सीमेची एकूण लांबी. त्यात तळाची रुंदी आणि दोन्ही उतार असलेल्या बाजूंची लांबी समाविष्ट आहे.

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

उदाहरण गणना (Example Calculation):

त्याच चॅनेलसाठी:

$$\begin{aligned} P &= 4 + 2(2)\sqrt{1 + (1.5)^2} \\ P &= 4 + 4 \times \sqrt{1 + 2.25} \\ P &= 4 + 4 \times \sqrt{3.25} \\ P &= 4 + 4 \times 1.803 \\ P &= 4 + 7.212 = 11.21 \text{ m} \end{aligned}$$

5.2 चेझीच्या समीकरणाद्वारे डिस्चार्जचे निर्धारण (Determination of Discharge by Chezy's Equation):

A. चेझीचे समीकरण (Chezy's Equation):

चेझीचे समीकरण हे खुल्या कालव्यांमध्ये वाहणाऱ्या पाण्याचा वेग आणि विसर्जन निश्चित करण्यासाठी वापरले जाणारे एक अनुभवजन्य सूत्र आहे. हे समीकरण १७७५ मध्ये फ्रेंच अभियंता अँटोइन चेझी यांनी विकसित केले होते. हे समीकरण प्रवाहाचा वेग जलवाहिनीच्या हायड्रॉलिक त्रिज्या आणि उताराशी जोडते, ज्यामुळे ते खुल्या कालव्यातील प्रवाहाची गणना करण्यासाठी उपयुक्त ठरते.

चेझीचे समीकरण असे दिले आहे:

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

येथे:

- V = प्रवाहाचा सरासरी वेग (m/s)
- C = चेझीचा गुणांक (वाहिनीच्या खडबडीतपणावर अवलंबून)
- R = हायड्रॉलिक त्रिज्या (m)
- S = वाहिनीचा उतार (परिमाणहीन, प्रति युनिट लांबी उभ्या ड्रॉपचे गुणोत्तर)

या वेगाचा वापर करून, डिस्चार्ज (Q) खालीलप्रमाणे निश्चित केला जाऊ शकतो:

$$Q = A V$$

येथे:

- Q = डिस्चार्ज (m^3/s)
- A = प्रवाहाचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रफळ (चौकोनी मीटर)

चेझीच्या समीकरणाचे उपयोग (Applications of Chezy's Equation):

- कालवे, नद्या आणि ड्रेनेज सिस्टम डिझाइन करण्यासाठी हायड्रॉलिक अभियांत्रिकीमध्ये वापरले जाते.
- सिंचन वाहिन्या आणि वादळी पाण्याच्या साठ्यांमध्ये पाण्याचा प्रवाह दर अंदाज लावण्यास मदत करते.
- पूर नियंत्रण नियोजन आणि धरणाच्या सांडपाण्याच्या डिझाइनमध्ये उपयुक्त.

5.2.1 मॅनिंगच्या समीकरणानुसार डिस्चार्जचे निर्धारण (Determination of Discharge by Manning's Equation)

A. मॅनिंगच्या समीकरणाचा परिचय (Introduction to Manning's Equation):

मॅनिंगचे समीकरण हे खुल्या वाहिन्यांमधील प्रवाहाचा वेग आणि स्त्राव मोजण्यासाठी वापरले जाणारे एक अनुभवजन्य सूत्र आहे. व्यावहारिक अनुप्रयोगांमध्ये साधेपणा आणि अचूकतेमुळे हायड्रॉलिक अभियांत्रिकीमध्ये हे समीकरण मोठ्या प्रमाणात वापरले जाते. १८८९ मध्ये आयरिश अभियंता रॉबर्ट मॅनिंग यांनी हे समीकरण विकसित केले होते.

मॅनिंगचे समीकरण असे दिले आहे:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

येथे:

- V = प्रवाहाचा सरासरी वेग (m/s)
- R = हायड्रॉलिक त्रिज्या (m)
- S = चॅनेल बेड स्लोप (आयामहीन)
- n = मॅनिंगचा खडबडीतपणा गुणांक (चॅनेल मटेरियलवर अवलंबून)

डिस्चार्ज (Q) ची गणना खालीलप्रमाणे केली जाते:

$$Q = A V$$

येथे:

- Q = डिस्चार्ज (m^3/s)
- A = प्रवाहाचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रफळ (चौकोनी मीटर)

मॅनिंगचे समीकरण खुल्या वाहिन्यांचे डिझाइन करण्यासाठी, नदीच्या प्रवाहांचा अंदाज घेण्यासाठी आणि ड्रेनेज सिस्टमचे विश्लेषण करण्यासाठी मोठ्या प्रमाणात वापरले जाते.

मॅनिंगचा खडबडीतपणा गुणांक (n) Manning's Roughness Coefficient (n):

मॅनिंगचा खडबडीतपणा गुणांक (n) चॅनेल पृष्ठभागाच्या स्थितीवर अवलंबून असतो. काही सामान्य मूल्ये अशी आहेत:

चॅनेल प्रकार	n मूल्य
गुळगुळीत काँक्रीट चॅनेल	०.०१२
मातीचा कालवा (स्वच्छ)	०.०२२
मातीचा कालवा (तणांसह)	०.०३०
नैसर्गिक नदी (स्वच्छ)	०.०३५
खडकाळ किंवा अनियमित चॅनेल	०.०४५

जास्त n मूल्य म्हणजे खडबडीतपणामुळे प्रवाहाला जास्त प्रतिकार दर्शविला जातो.

➤ **मॅनिंगच्या समीकरणाचे उपयोग (Applications of Manning's Equation):**

- सिंचन कालवे, वादळी पाण्याचे गटार आणि नदीकाठांची रचना करणे.
- नैसर्गिक नद्या आणि ओढ्यांमधील पूरप्रवाहांचा अंदाज घेणे.
- शहरी नियोजनासाठी ड्रेनेज नेटवर्कचे विश्लेषण करणे.
- कल्व्हर्ट आणि सीवर सिस्टममधील पाण्याच्या प्रवाहाची गणना करणे.

5.3 सर्वात किफायतशीर आयताकृती चॅनेल विभाग (The most economical rectangular channel section):

सर्वात किफायतशीर आयताकृती चॅनेल विभाग असा असतो जो दिलेल्या क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रासाठी ओले परिमिती कमी करतो, ज्यामुळे घर्षण प्रतिकार कमी होतो आणि प्रवाह कार्यक्षमता जास्तीत जास्त होते. सर्वात किफायतशीर आयताकृती चॅनेल विभागासाठी अटी आहेत:

1. हायड्रॉलिक रेडियस स्थिती (Hydraulic Radius Condition):

$$R = \frac{A}{P} = \frac{d \cdot b}{b + 2d}$$

सर्वात किफायतशीर भागासाठी, हायड्रॉलिक त्रिज्या जास्तीत जास्त वाढवावी. यामुळे पुढील स्थिती निर्माण होते:

$$b = 2d$$

म्हणजेच, कालव्याची रुंदी त्याच्या खोलीच्या दुप्पट असावी.

2. किमान ओले परिमिती स्थिती (Minimum Wetted Perimeter Condition): दिलेल्या क्षेत्र A साठी ओले परिमिती PP कमीत कमी करावी. इष्टतम स्थिती तेव्हा प्राप्त होते जेव्हा:

$$b = 2d$$

हे प्रवाह प्रतिकार कमी करते.

3. वेग वितरण स्थिती (Velocity Distribution Condition): वेग संपूर्ण विभागात शक्य तितका एकसमान असावा, जो रुंदी-ते-खोलीचे गुणोत्तर २:१ असताना साध्य होतो.

अंतिम अटी (Final Conditions):

सर्वात किफायतशीर आयताकृती चॅनेलसाठी:

- रुंदी(b) = $2d$ (खोली दुप्पट)
- खोली(d) = $b/2$ (अर्धी रुंदी)
- हायड्रॉलिक त्रिज्या (R) = $D/2$

या परिस्थितीमुळे घर्षणामुळे होणारे ऊर्जेचे नुकसान कमी करून आयताकृती चॅनेल जास्तीत जास्त कार्यक्षमतेने चालते याची खात्री होते.

5.3.1 सर्वात किफायतशीर ट्रॅपेझॉइडल चॅनेल विभाग (most economical trapezoidal channel section)

ट्रॅपेझॉइडल चॅनेल त्याच्या स्ट्रक्चरल स्थिरतेमुळे आणि कार्यक्षम प्रवाह वैशिष्ट्यांमुळे ओपन चॅनेल हायड्रॉलक्समध्ये मोठ्या प्रमाणात वापरले जाते. ट्रॅपेझॉइडल चॅनेलचा सर्वात किफायतशीर भाग म्हणजे तो जो बांधकाम खर्च कमी करतो आणि प्रवाह कार्यक्षमता वाढवतो. दिलेल्या क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रासाठी ओले परिमिती कमी करण्यासाठी क्रॉस-सेक्शनल परिमाणांना अनुकूलित करून हे साध्य केले जाते, ज्यामुळे घर्षण नुकसान कमी होते आणि जास्तीत जास्त डिस्चार्ज होतो.

सर्वात किफायतशीर विभागासाठी अटी (Conditions for the Most Economical Section)

ट्रॅपेझॉइडल चॅनेलला सर्वात किफायतशीर मानण्यासाठी, खालील अटी पूर्ण केल्या पाहिजेत:

1. समान हायड्रॉलिक त्रिज्या स्थिती (Equal Hydraulic Radius Condition)

- ऊर्जेचे नुकसान कमी करण्यासाठी हायड्रॉलिक त्रिज्या ($R=A/P$) जास्तीत जास्त वाढवावी.
- यासाठी इष्टतम परिस्थिती अशी आहे: Hydraulic radius = $\frac{\text{Depth of flow}}{2}$

2. वरच्या रुंदीचा अर्धा भाग = एक उतार असलेली बाजू (Half of the top width = one sloping side)

$$\frac{b + 2md}{2} = d\sqrt{1 + m^2}$$

5.4 डिस्चार्ज मापन यंत्र म्हणून 'V' नॉच (त्रिकोणी वेअर) ('V' Notch (Triangular Weir) as a Discharge Measuring Device)

'V' नॉच (ज्याला त्रिकोणी बंधारा असेही म्हणतात) हे प्रवाह-मापन करणारे उपकरण आहे जे ओपन चॅनेलचे डिस्चार्ज निश्चित करण्यासाठी वापरले जाते. प्रवाहातील फरकांबद्दल उच्च संवेदनशीलता असल्यामुळे ते लहान डिस्चार्ज मोजण्यासाठी मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.

ऑपरेशनचे तत्व (Principle of Operation):

'V' खाच हा बंधाऱ्यावरून प्रवाहाच्या तत्वावर कार्य करतो, जिथे खाचातून जाणारे पाणी गुरुत्वाकर्षण प्रवेगाच्या अधीन असते. हा स्त्राव खाच शिखराच्या वरील पाण्याच्या वरच्या भागाशी संबंधित असतो.

'व्ही' नॉचचे फायदे (Advantages of 'V' Notch):

- उच्च संवेदनशीलता: स्त्रावातील लहान बदलांमुळे डोक्यात लक्षणीय बदल होतात.
- स्वतःची स्वच्छता: तीक्ष्ण धार कचरा जमा होण्यास प्रतिबंध करते.
- कमी प्रवाहासाठी योग्य: लहान डिस्चार्जसाठी आयताकृती वायरपेक्षा अधिक अचूक.
- बांधणे आणि स्थापित करणे सोपे.

'V' नॉचसाठी डिस्चार्ज सूत्र (Discharge Formula for 'V' Notch):

'V' नॉचवरील प्रवाह दर (डिस्चार्ज) खालील प्रमाणे दिला जातो:

$$Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) H^{\frac{5}{2}}$$

येथे:

- Q = डिस्चार्ज (m^3/s)
- C_d = डिस्चार्जचे गुणांक (०.५८ ते ०.६२ पर्यंत बदलते)
- g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारा त्वरण (९.८१ मी/चौरस मीटर)
- θ = खाचाचा कोन (अंशांमध्ये)
- H = शिखराच्या वरचा पाण्याचा वरचा भाग (m)

मानक ९०° 'V' नॉचसाठी, सूत्र असे सोपे केले जाते:

$$Q = 1.38 H^{\frac{5}{2}}$$

($C_d \approx 0.6$ गृहीत धरून)

'V' खाचांचे प्रकार (Types of 'V' Notches):

1. ६०° व्ही-नॉच (कमी प्रवाहांना अधिक संवेदनशील)
2. ९०° व्ही-नॉच (सामान्यतः वापरले जाणारे)
3. १२०° व्ही-नॉच (जास्त प्रवाह दरांसाठी वापरले जाते)

'व्ही' नॉचचे अनुप्रयोग (Applications of 'V' Notch):

- सिंचन वाहिन्या
- सांडपाणी प्रक्रिया संयंत्रे
- प्रयोगशाळेतील प्रयोग
- लहान ओढे आणि नदी निरीक्षण

'V' नॉच वेअर हे कमी डिस्चार्ज उच्च अचूकतेसह मोजण्यासाठी एक साधे, अचूक आणि व्यापकपणे वापरले जाणारे उपकरण आहे.

5.4.1 डिस्चार्ज मापन यंत्र म्हणून आयताकृती खाच (आयताकृती वेअर)(Rectangular Notch (Rectangular Weir) as a Discharge Measuring Device):

आयताकृती खाच (ज्याला आयताकृती वेअर असेही म्हणतात) हे ओपन चॅनेलच्या डिस्चार्जचे मोजमाप करण्यासाठी सामान्यतः वापरले जाणारे उपकरण आहे. त्याच्या साध्या डिझाइन आणि अचूक मोजमापांमुळे मध्यम ते मोठ्या प्रवाह दरांसाठी ते मोठ्या प्रमाणात पसंत केले जाते.

ऑपरेशनचे तत्व (Principle of Operation):

आयताकृती खाच एका तीक्ष्ण धार असलेल्या बंधान्यावरील प्रवाहावर आधारित असते. खाचवरून पाणी वाहत असताना, गुरुत्वाकर्षणामुळे ते वेगवान होते आणि खाच शिखराच्या वरच्या पाण्याचे डोके मोजून स्त्राव निश्चित केला जाऊ शकतो.

आयताकृती खाचे फायदे (Advantages of Rectangular Notch):

- साधे बांधकाम: तयार करणे आणि स्थापित करणे सोपे.
- मोठ्या प्रवाहांसाठी अचूक: 'V' नॉचच्या तुलनेत जास्त डिस्चार्जसाठी योग्य.
- एकसमान वेग वितरण: स्थिर प्रवाह परिस्थिती सुनिश्चित करते.
- कॅलिब्रेट करणे सोपे: सुस्थापित डिस्चार्ज सूत्रे.

आयताकृती खाचसाठी डिस्चार्ज सूत्र (Discharge Formula for Rectangular Notch):

आयताकृती खाचवरील डिस्चार्ज खालील प्रमाणे दिला जातो:

$$Q = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}}$$

येथे:

- Q = डिस्चार्ज (m^3/s)
- C_d = डिस्चार्जचे गुणांक (सामान्यतः ०.६ - ०.६२)
- b = खाचची रुंदी (मी)
- H = शिखराच्या वरचा पाण्याचा वरचा भाग (m)
- g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारा त्वरण (९.८१ मी/चौरस मीटर)

शेवटच्या आकुंचन असलेल्या आयताकृती खाचसाठी (म्हणजे, जेव्हा खाच संपूर्ण चॅनेल रुंदीमध्ये पसरत नाही), प्रभावी रुंदी समायोजित केली जाते:

$$Q = \frac{2}{3} C_d (b - kH) \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}}$$

जिथे k हा आकुंचनासाठी सुधारणा घटक आहे (सहसा $k \approx 0.1$).

आयताकृती खाचांचे प्रकार (Types of Rectangular Notches):

1. **पूर्णपणे आकुंचन पावलेला आयताकृती खाच (Fully Contracted Rectangular Notch):**
 - चॅनेलच्या रुंदीच्या तुलनेत खाचची रुंदी लहान आहे.
 - डिस्चार्ज सूत्रामध्ये बाजूच्या आकुंचनांचा विचार केला जातो.
2. **अंशतः आकुंचन पावलेला आयताकृती खाच (Partially Contracted Rectangular Notch):**
 - खाचांची रुंदी मोठी आहे, परंतु बाजूंना काही आकुंचन होते.
3. **दाबलेला आयताकृती खाच (Suppressed Rectangular Notch):**
 - खाचची रुंदी चॅनेलच्या रुंदीइतकी आहे.
 - बाजूचे आकुंचन होत नाही आणि सूत्र असे सोपे करते:

$$Q = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}}$$

आयताकृती खाचचे अनुप्रयोग (Applications of Rectangular Notch):

- सिंचन कालवे आणि नद्या
- प्रवाह अभ्यासासाठी हायड्रॉलिक प्रयोगशाळा
- औद्योगिक आणि सांडपाणी प्रक्रिया संयंत्रे
- जलविद्युत आणि धरणातून पाणी साचण्याचे मार्ग

आयताकृती खाच हे खुल्या वाहिन्यांमधील मध्यम ते मोठ्या डिस्चार्ज मोजण्यासाठी एक बहुमुखी आणि अचूक उपकरण आहे.

5.5 वेग मोजण्याचे उपकरण (Velocity measurement devices):

A. फ्लोट (Floats):

उघड्या कालव्यांमध्ये, नद्या आणि ओढ्यांमध्ये वाहणाऱ्या पाण्याचा वेग मोजण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या सर्वात सोप्या आणि किफायतशीर उपकरणांपैकी एक म्हणजे फ्लोट्स. ते तरंगत्या वस्तूला ज्ञात अंतर पार करण्यासाठी लागणारा वेळ ट्रॅक करण्याच्या तत्त्वावर आधारित कार्य करतात.

फ्लोट्सचे प्रकार (Types of Floats):

1. **पृष्ठभाग तरंगते (Surface Floats):**
 - या हलक्या वजनाच्या वस्तू आहेत (उदा. कॉर्क, प्लास्टिक किंवा लाकडी गोल) ज्या पाण्याच्या पृष्ठभागावर तरंगतात.
 - पृष्ठभागाचा वेग मोजण्यासाठी वापरला जातो.
2. **पृष्ठभागाखाली तरंगणे (Subsurface Floats):**
 - हे भारित फ्लोट्स आहेत जे पृष्ठभागाच्या खाली राहून पृष्ठभागाचा वेग मोजतात.
 - वारा आणि पृष्ठभागावरील गोंधळाचा कमी परिणाम होतो.

3. डबल फ्लोट्स (Double Floats):

- यामध्ये बुडलेल्या फ्लोटशी जोडलेला पृष्ठभागाचा फ्लोट असतो.
- पाण्याच्या स्तंभाचा सरासरी वेग द्या.

फ्लोट्स वापरून वेग मोजण्याची प्रक्रिया (Procedure for Measuring Velocity Using Floats):

1. ज्या वाहिनीचा वेग मोजायचा आहे तो भाग निवडा.
2. कालव्याच्या बाजूने ज्ञात अंतर (L) चिन्हांकित करा (उदा., १०-२० मीटर).
3. प्रवाहाच्या वरच्या बिंदूवर फ्लोट सोडा आणि प्रवाहासोबत ते खाली वाहू द्या.
4. स्टॉपवॉच वापरून फ्लोटने चिन्हांकित अंतर पार करण्यासाठी घेतलेला वेळ (t) नोंदवा.
5. सूत्र वापरून वेग मोजा:

$$V = \frac{L}{t}$$

येथे:

- V = पृष्ठभागाचा वेग (m/s)
 - L = प्रवास केलेले अंतर (मी)
 - t = लागलेला वेळ
6. सुधारणा घटक लागू करून सरासरी वेगाचा अंदाज लावा:
 - रफ चॅनेलसाठी: $V_{avg} \approx 0.80 \times V_{surface}$
 - गुळगुळीत चॅनेलसाठी: $V_{avg} \approx 0.85 \times V_{surface}$

फ्लोट्स वापरण्याचे फायदे (Advantages of Using Floats):

- साधे आणि स्वस्त
- कमीत कमी प्रशिक्षणासह वापरण्यास सोपे
- नैसर्गिक ओढे आणि नद्यांमध्ये क्षेत्र मोजण्यासाठी योग्य.
- कोणत्याही अत्याधुनिक उपकरणांची आवश्यकता नाही

मर्यादा (Limitations):

- वारा, लाटा आणि अडथळ्यांमुळे प्रभावित
- पृष्ठभागावरील तरंग खरे सरासरी वेग देत नाहीत.
- अचूकता सरळ आणि एकसमान प्रवाह परिस्थितीवर अवलंबून असते
- खूप उथळ किंवा अशांत प्रवाहांसाठी कमी प्रभावी

फ्लोट पद्धतीचे अनुप्रयोग (Applications of Float Method):

- सिंचन कालवे आणि खुल्या कालवे
- नद्या आणि ओढ्यांमधील जलविज्ञान अभ्यास
- पूर निरीक्षणात विसर्जनाचा अंदाज
- पर्यावरणीय प्रवाह मूल्यांकन

फ्लोट पद्धत ही प्रवाह वेग मोजण्यासाठी एक सोपी पण प्रभावी पद्धत आहे, विशेषतः नैसर्गिक जलसाठ्यांमध्ये जिथे प्रगत उपकरणे उपलब्ध नसतील.

B. पिटोट ट्यूब (Pitot Tube):

पिटोट ट्यूब हे एक उपकरण आहे जे गतिज ऊर्जेचे दाबात रूपांतर करून द्रव प्रवाहाचा वेग मोजण्यासाठी वापरले जाते. हे हायड्रॉलक्स, वायुगतिकी आणि औद्योगिक प्रवाह मापनात मोठ्या प्रमाणात वापरले जाते.

ऑपरेशनचे तत्व (Principle of Operation):

पिटोट ट्यूब बर्नोलीच्या समीकरणावर काम करते, ज्यामध्ये असे म्हटले आहे की दाब ऊर्जा, गतिज ऊर्जा आणि स्थितीज ऊर्जेची बेरीज एका प्रवाहात स्थिर राहते. ती वाहत्या द्रवपदार्थातील स्थिरता (एकूण) दाब आणि स्थिर दाब मोजते, ज्यावरून वेग निश्चित केला जाऊ शकतो.

पिटोट ट्यूबचे घटक (Components of a Pitot Tube):

1. इम्पॅक्ट ट्यूब: स्थिर दाब मोजण्यासाठी थेट प्रवाहात तोंड देते.
2. स्टॅटिक ट्यूब: समान खोलीवर परंतु इम्पॅक्ट ट्यूबपासून दूर स्थिर दाब मोजते.
3. मॅनोमीटर किंवा डिफरेंशियल प्रेशर सेन्सर: स्थिरता आणि स्थिर दाबांमधील दाब फरक मोजतो.

पिटोट ट्यूबसाठी वेग सूत्र (Velocity Formula for a Pitot Tube):

$$V = \sqrt{2gh}$$

पिटोट ट्यूब वापरून वेग मोजण्याची प्रक्रिया (Procedure for Measuring Velocity Using a Pitot Tube):

1. पिटोट ट्यूब वाहत्या द्रवात घाला आणि इम्पॅक्ट ट्यूब थेट प्रवाहात तोंड करून ठेवा.
2. इम्पॅक्ट ट्यूब वापरून स्थिरतेचा दाब मोजा.
3. स्थिर नळी किंवा प्रवाहाच्या सभोवतालच्या प्रवाहातून येणारा स्थिर दाब मोजा.
4. पिटोट ट्यूब वेग समीकरण वापरून वेग मोजा.

पिटोट ट्यूबचे फायदे (Advantages of the Pitot Tube):

- उच्च-वेगाच्या प्रवाहांसाठी अचूक
- इतर वेग मापन उपकरणांच्या तुलनेत सोपे आणि स्वस्त
- हवा आणि पाणी दोन्हीमध्ये वापरता येते
- हलणारे भाग नाहीत, देखभाल कमी होते

मर्यादा (Limitations):

- खूप कमी वेगांसाठी योग्य नाही (कमी दाब फरक मोजणे कठीण आहे)
- अशांतता आणि प्रवाहातील अडथळ्यांमुळे प्रभावित
- अचूक वाचनासाठी प्रवाहाच्या दिशेशी काळजीपूर्वक संरेखन आवश्यक आहे.
- अचूक मोजमापांसाठी कॅलिब्रेशन आवश्यक आहे

पिटोट ट्यूबचे अनुप्रयोग (Applications of Pitot Tube):

- विमानाच्या हवेच्या वेगाचे मापन
- पाईप्स आणि खुल्या वाहिन्यांमध्ये पाण्याचा वेग मोजणे
- प्रयोगशाळांमध्ये हायड्रॉलिक मॉडेल चाचणी

- औद्योगिक द्रव प्रवाहाचे निरीक्षण

Suggestive Questions

1. Enlist any two types of open channels based on shape.
2. state the formula for calculating the wetted perimeter of a rectangular channel.
3. Define Wetted Area and Wetted Perimeter.
4. State any two advantage and limitations of Floats.
5. State the conditions for the most economical trapezoidal section.
6. State any two advantage and limitations of Pitot tube.
7. State and explain Chezy's equation for determining discharge in open channels.
8. Define most economical section and derive the conditions for the most economical rectangular channel section.
9. Explain the working principle, formula, and applications of a 'V' notch weir as a discharge measuring device.

संदर्भ:

1. <https://archive.org/details/openchannelhydra0000chow>
2. https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/WMM_3rd_2001.pdf
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Open-channel_flow
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Ch%C3%A9zy_formula
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Manning_formula
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_step_method
7. https://en.wikipedia.org/wiki/Antoine_de_Ch%C3%A9zy
8. https://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_radius
9. <https://www.scribd.com/presentation/476757947/uniform-flow-lec-1>
10. https://web.itu.edu.tr/~bulu/hydraulics_files/lecture_notes_04.pdf
11. https://www.engineeringtoolbox.com/flow-section-channels-d_965.html
12. <https://www.engr.scu.edu/~emaurer/hydr-watres-book/flow-in-open-channels.html>
13. https://en.wikipedia.org/wiki/Ch%C3%A9zy_formula
14. चाऊ, व्हीटी (१९५९). ओपन-चॅनेल हायड्रॉलक्स. मॅकग्रा-हिल.
15. सुब्रमण्य, के. (२०१५). ओपन चॅनेल्समध्ये प्रवाह. टाटा मॅकग्रा-हिल एज्युकेशन.
16. स्ट्रीटर, व्हीएल, वायली, ईबी, आणि बेडफोर्ड, केडब्ल्यू (१९९८). द्रव यांत्रिकी. मॅकग्रा-हिल.
17. विकिपीडिया - ओपन चॅनेल फ्लो.
18. डॉ. पी.एन.मोदी आणि डॉ.एस.एम.सेठ. हायड्रॉलक्स आणि फ्लुइड मेकॅनिक्स. राजसन्स पब्लिकेशन्स प्रा. लि.
19. <https://testbook.com/question-answer/the-most-economical-section-of-a-rectangular-chann--63a8132b7e2020ce498f199d>
20. <https://www.slideshare.net/slideshow/economic-channel-section/75182000#2>
21. https://law.researchgate.net/publication/374675493_A_Laboratory_Study_on_the_Design_and_Performance_Evaluation_of_Pitot-Tube
22. https://law.researchgate.net/publication/374675493_A_Laboratory_Study_on_the_Design_and_Performance_Evaluation_of_Pitot-Tube
23. https://law.researchgate.net/publication/374675493_A_Laboratory_Study_on_the_Design_and_Performance_Evaluation_of_Pitot-Tube