महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

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

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

इंडस्ट्रियल फ्लुइड फ्लो ऑपरेशन

INDUSTRIAL FLUID FLOW OPERATION

(314310)

रसायन अभियांत्रिकी गट

(CHEMICAL ENGINEERING)

मराठी माध्यम

अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील चौथे सत्र पदविका

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

इंडस्ट्रियल फ्लुइड फ्लो ऑपरेशन
INDUSTRIAL FLUID FLOW OPERATION

(314310)

रासायनीक अभियांत्रिकी गट
(Chemical Engineering)

मराठी माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील चौथे सत्र पदविका)

महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

(स्वायत्त) (ISO ९००१:२०१५) (ISO/IEC २७००१:२०१३)

शासकीय तंत्रनिकेतन ठाणे

मुख्य समन्वयक
डॉ. डी. आर. महाजन

समन्वयक
चारुशीला बी. पाटील

मार्गदर्शक

श्री प्रदीप सिताराम चव्हाण

अधिव्याख्याता (निवड श्रेणी) रासायनिक अभियांत्रिकी
शासकीय तंत्रनिकेतन ठाणे

समिक्षक

श्री. पी. एस. चव्हाण

अधिव्याख्याता, रसायन अभियांत्रिकी)
शासकीय तंत्रनिकेतन ठाणे

विषय तज्ञ

श्रीमती चारुशीला भास्कर पाटील

अधिव्याख्याता, रसायन अभियांत्रिकी
शासकीय तंत्रनिकेतन ठाणे

श्री . एन. एम. गरड

विभागप्रमुख, रसायन अभियांत्रिकी
पद्मश्री डॉ. विठ्ठलराव विखे पाटील इन्स्टिट्यूट ऑफ टेक्नॉलॉजी अँड इंजिनीअरिंग, (पॉलिटेक्निक), लोणी

डॉ. एस. एस. रिकामे

अधिव्याख्याता, रसायन अभियांत्रिकी
के . के. वाघ तंत्रनिकेतन नाशिक

डॉ. जि. के. देशपांडे

अधिव्याख्याता, रसायन अभियांत्रिकी
शासकीय तंत्रनिकेतन जालना

श्री. ए. एस. शिरसाट

अधिव्याख्याता, रसायन अभियांत्रिकी
पद्मश्री डॉ. विठ्ठलराव विखे पाटील इन्स्टिट्यूट ऑफ टेक्नॉलॉजी अँड इंजिनीअरिंग, (पॉलिटेक्निक), लोणी

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 तंत्रशिक्षणाशी संबंधित बाबींचे नियमन करण्यासाठी महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ वचनबद्ध असून विद्यार्थ्यांच्या सर्वांगिण विकासाकरिता वेळोवेळी प्रयत्नशील आहे. तंत्रज्ञान, उद्योग, समाज आणि जागतिकीकरण यामध्ये सतत घडून येणा-या बदलांच्या अनुषंगाने तांत्रिक शिक्षणाची भविष्यातील निकड वेधून पदविका स्तरावरील अभ्यासक्रम, परीक्षा पद्धती व शैक्षणिक सामुग्री ह्यांमधे अद्ययावत बदल करण्यात महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ अग्रगण्य आहे. विद्यार्थी हा शिक्षण क्षेत्राच्या केंद्रस्थानी असून त्यांची निकड व समस्या संवेदनशीलपणे हाताळल्यास भारत देशाचे 'ज्ञान महासत्ता' बनण्याचे स्वप्न पूर्णत्वास जाईल ह्याचा मला विश्वास आहे.

शहर आणि ग्रामीण भागातील शैक्षणिक सोयीसुविधांमधील दरी अनेक वेळा दिसून येत असून ग्रामीण भागातील विद्यार्थ्यांचे इंग्रजी भाषेतील ज्ञान व संवाद कौशल्याबाबतही ही वस्तुस्थिती प्रकर्षाने जाणवते. केवळ इंग्रजी भाषेतील संवाद कौशल्याअभावी ग्रामीण भागातील विद्यार्थी तंत्रशिक्षणापासून वंचित राहू नये, ह्या दृष्टिकोनातून महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळाने शैक्षणिक वर्ष २०२१-२२ पासून प्रथम वर्ष पदविका अभ्यासक्रमाकरिता तांत्रिक शिक्षण मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमात इच्छुक विद्यार्थ्यांना उपलब्ध करून दिले आहे. मात्र असे करताना कोणत्याही परिस्थितीत गुणवत्तेशी तडजोड केली जाऊ नये ह्या दृष्टीने प्रमुख विषयांसाठीच्या शैक्षणिक सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आली आहे.

राष्ट्रीय शिक्षण धोरण २०२० मध्ये प्रादेशिक भाषांमध्ये सर्वांना शिक्षणाची कल्पना मांडण्यात आली आहे. त्यास अनुसरून मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय द्वितीय व तृतीय वर्षाकरिताही उपलब्ध करून देण्यात आला आहे. तसेच त्याकरिता शैक्षणिक सामुग्रीही विद्यार्थी व अध्यापकांना उपलब्ध करून देण्यात येत आहे.

महाराष्ट्र राज्यातील अनुभवी अध्यापकांकरवी ही शैक्षणिक सामुग्री तयार करण्यात आली असून व्यावहारिक मराठी भाषा, इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावलीचा उपयोग आणि संदर्भ पुस्तके लक्षात घेऊन या सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आलेली आहे. सदर सामुग्रीची पुनर्तपासणी सुकाणू समितीमार्फत करण्यात आलेली असल्याने ही शैक्षणिक सामुग्री अधिक समृद्ध झालेली आहे. त्यामुळे विद्यार्थ्यांना तांत्रिक शिक्षण समजून घेणे अधिक सुकर होईल. तसेच व्यावहारिक मराठी भाषेच्या उपयोगाने विद्यार्थ्यांना विषयाचे सखोल आकलन होईल व इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावलीच्या वापरामुळे विद्यार्थ्यांचा उद्योग जगतातील वावर सुलभ होईल. त्यामुळे महाराष्ट्र राज्य तांत्रिक क्षेत्रातील वैश्विक मनुष्यबळाच्या निर्मितीत अग्रेसर राहील व त्यायोगे राष्ट्रनिर्मितीकरीता निश्चितच हातभार लागेल असा मला विश्वास आहे.

अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रमातील प्रमुख विषयांची मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक शैक्षणिक सामुग्री बनविण्यासाठी अध्यापक व सुकाणू समितीचे सदस्य हे कौतुकास पात्र असून मी त्यांचे अभिनंदन करतो.

(प्रमोद नाईक)
संचालक
म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई.

अनुक्रमणिका

अ. क्र.	युनिटचे नाव	पृष्ठ क्र
1	FLUID PROPERTIES फ्लुईड्सच्या प्रॉपरर्टीस	01
2	FLOW OF INCOMPRESSIBLE FLUIDS फ्लो ऑफ इनकॉम्प्रेसीबल फ्लूइड्स	34
3	FLOWRATES OF FLUIDS फ्लोरेट्स ऑफ फ्लूइड्स	56
4	TRANSPORTATION OF LIQUIDS ट्रान्स्पोर्टशन ऑफ लिक्वीड	90
5	PUMPINGS OF GASES पंपिंग ऑफ गॅसेस	136

Unit-1 FLUID PROPERTIES
द्रवपदार्थ आणि त्याचे गुणधर्म

CO1 - Identify the different properties of fluid used in chemical process.
रासायनिक प्रक्रियेतील फ्लुईडचे विविध गुणधर्म ओळखा

TLO 1.1: Explain the different properties of fluids.
एक्सप्लेन डिफरेन्ट प्रॉपर्टीस ऑफ फ्लूइड्स

TLO 1.2: Measure the viscosity of liquid by using redwood viscometer.
रेडवूड विस्कॉमीटरने फ्लुईडची व्हिस्कॉसिटी मेझर करा

TLO 1.3: Describe the principle of hydrostatic equilibrium
हैड्रोस्टॅटीक equlibrium चे तत्व सांगा

TLO 1.4 Measure the differential pressure by using U-tube manometer.
यू ट्यूब मॅनोमीटरने डिफरंसिल प्रेशर मेझर करा

TLO 1.5: Determine the relationships among physical quantities with the help of dimensional number.
डिटरमाईन रिलेशन बिटवीन फिजीकल quanteties यूजींग डायमेन्सलेस नंबर

1.1 द्रवपदार्थ आणि त्याचे गुणधर्म यांचा परिचय

फ्लुइड मेकॅनिक्स (Fluid Mechanics)ही विज्ञानाची एक शाखा आहे जी द्रव्यांच्या (द्रवपदार्थ किंवा वायूंच्या) वर्तन व गतिविषयी निगडित आहे. अशा प्रकारे विज्ञानाची ही शाखा द्रवपदार्थांच्या स्थिर, गतिशास्त्र आणि गतिमान(static, kinematics and dynamic) पैलूंशी संबंधित आहे. विश्रांतीच्या वेळी द्रवपदार्थांच्या अभ्यासाला द्रव स्थिरता (Fluid Statics) म्हणतात. गतीतील द्रवपदार्थांचा अभ्यास, जेथे दाब बलांचा विचार केला जात नाही, त्याला द्रव गतिशास्त्र (Fluid Kinematics) असे म्हणतात आणि जर गतीतील द्रवपदार्थांसाठी दाब शक्तींचाही विचार केला, तर विज्ञानाच्या त्या शाखेला द्रव गतिशास्त्र(Fluid Dynamics) असे म्हणतात.

द्रव एक द्रव, वायू किंवा इतर सामग्री आहे जी लागू केलेल्या शिअर फोर्स (shear force)किंवा बाह्य शक्ती मुळे सतत हलते आणि प्रवाह करू शकते. हे असे पदार्थ आहेत जे त्यांच्यावर लागू केलेल्या कोणत्याही shear force (कातरण शक्ती)चा प्रतिकार करू शकत नाहीत

जेव्हा शिअर फोर्स (shear force) लागू होते, तेव्हा द्रव सतत प्रवाहित असतो. द्रवपदार्थावर लावलेला कोणताही कातर ताण, कितीही लहान असला तरी, त्या द्रवाची हालचाल होईल. जोपर्यंत कातरण ताण लागू आहे तोपर्यंत द्रव सतत हलतो आणि प्रवाहित राहील. शिअर फोर्स (shear force): ही एक शक्ती आहे जी पृष्ठभागाच्या समांतर कार्य करते द्रव शिअर फोर्सचा प्रतिकार करू शकत नाहीत, म्हणून ते सतत प्रवाह होतात.

निश्चित आकार नसतो: द्रवांना निश्चित आकार नसतो आणि ते बाह्य दाबाला सहज प्राप्त होतात. द्रवपदार्थांमध्ये लागू केलेला ताण प्रवाहच्या प्रमाणात असतो. द्रव एकतर द्रव किंवा वायू असू शकतो.

द्रव: एक द्रव मजबूत संयोजित शक्तींसह तुलनेने जवळ- रेणूंनी बनलेला असतो जो त्याचे आकारमान टिकवून ठेवतो आणि वरून अपरिमित असल्यास गुरुत्वीय क्षेत्रात एक मुक्त पृष्ठभाग तयार करतो.

उदाहरणे: पाणी, तेल, पारा, गॅसोलीन, अल्कोहोल इ.

वायू हा ठेवलेल्या कंटेनरच्या भिंतीपर्यंत विस्तारतो व असलेली संपूर्ण जागा व्यापतो. याचे कारण असे की वायूचे रेणू मोठ्या प्रमाणात अंतरावर असतात आणि त्यांच्यातील एकसंध शक्ती फारच लहान असतात. वायूचे कोणतेही निश्चित आकारमान नसते आणि जेव्हा ते बंदिस्त न ठेवता स्वतःला सोडले जाते तेव्हा ते एक वातावरण तयार करते जे मूलत: हायड्रोस्टॅटिक असते.

उदाहरणे: हवा, हेलियम, हायड्रोजन

द्रवपदार्थांचे गुणधर्म (Properties of Liquid)

1.दाब (Pressure):

दाब म्हणजे एखाद्या वस्तूच्या पृष्ठभागावर प्रति युनिट क्षेत्रफळावर लंब लागू केलेल्या बलाचे प्रमाण.
त्याचे चिन्ह "p" किंवा P आहे.
गणिती

$p=F/A$

जेथे p दबाव आहे,
F हे सामान्य बलाचे परिमाण आहे आणि
A हे संपर्कावरील पृष्ठभागाचे क्षेत्रफळ आहे.

दाबासाठी SI एकक पास्कल (Pa), एक न्यूटन प्रति चौरस मीटर (N/m^2, किंवा $kg{\cdot}m^{-1}{\cdot}s^{-2}$) आहे. दबावाची इतर एकके, जसे की पाउंड प्रति चौरस इंच (lbf/in2) आणि बार. दाबाचे CGS एकक म्हणजे बार, 1 $dyn{\cdot}cm^{-2}$, किंवा 0.1 Pa. दाब काहीवेळा ग्राम-बल किंवा किलोग्राम-बल प्रति चौरस सेंटीमीटर ("g/cm2" किंवा "kg/cm2) द्वारे व्यक्त केला जातो.

2. **घनफळ** (Volume**):**

द्रवाचे प्रमाण म्हणजे द्रवपदार्थाने व्यापलेली एकूण जागा, द्रवपदार्थाचे प्रमाण मूलत: लीटर किंवा क्यूबिक मीटर सारख्या घन युनिट्समध्ये मोजले जाते,

3. **घनता किंवा वस्तुमान घनता (**Density or Weight Density**):**

द्रवपदार्थाची घनता किंवा वस्तुमान घनता हे द्रवपदार्थाच्या वस्तुमानाचे त्याच्या घनफळाचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते, अशा प्रकारे द्रवाच्या प्रति युनिट घनतेला घनता म्हणतात. हे ρ (rho) या चिन्हाने दर्शविले जाते. SI युनिटमधील वस्तुमान घनतेचे एकक किलो प्रति घनमीटर आहे, म्हणजे kg/m^3.

द्रवांची घनता स्थिर मानली जाऊ शकते तर वायूंची घनता दाब आणि तापमानाच्या फरकाने बदलते.

गणितीयदृष्ट्या, वस्तुमान घनता असे लिहिले जाते

ρ=(द्रवांचे वस्तुमान)/(द्रवांचे प्रमाण)

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

वजनाची घनता किंवा विशिष्ट वजन(Weight density or Specific weight): हे द्रवपदार्थाचे वजन आणि त्याचे घनफळ यांच्यातील गुणोत्तर आहे. द्रवाच्या प्रति युनिट व्हॉल्यूमला वजन घनता म्हणतात

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

वजनाची घनता किंवा विशिष्ट वजन: हे द्रवपदार्थाचे वजन आणि त्याचे घनफळ यांच्यातील गुणोत्तर आहे. द्रवाच्या प्रति युनिट व्हॉल्यूमला वजन घनता म्हणतात. हे w द्वारे दर्शविले जाते.

पाण्यासाठी वजन घनता w चे मूल्य SI युनिट्समध्ये 9810 N/m^3 आहे.

विशिष्ट घनफळ (Specific Volume): हे एकक वस्तुमानाने व्यापलेल्या द्रवाचे घनफळ आहे किंवा द्रवाच्या प्रति युनिट वस्तुमानाला विशिष्ट घनफळ म्हणतात.

विशिष्ट खंड=(द्रवांचे प्रमाण)/(द्रवांचे वस्तुमान)= 1/((द्रवांचे वस्तुमान)/(द्रवांचे प्रमाण))=1/(घनता (ρ))

हे वस्तुमान घनतेचे परस्पर आहे. हे m^3/kg म्हणून व्यक्त केले जाते. हे सामान्यतः वायूंवर लागू केले जाते.

स्पेसिफिक ग्रॅव्हिटी (Specific Gravity)**(S):** ते द्रवपदार्थाच्या वजन घनतेचे (किंवा घनता) प्रमाण द्रवपदार्थाच्या वजन घनतेचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते.

S(द्रवांसाठी) = (द्रवाची वजन घनता (घनता))/(पाण्याची वजन घनता (घनता))

S (वायूंसाठी) = (द्रवाची वजन घनता (घनता))/ (हवेची वजन घनता (घनता))

द्रवाचे वजन घनता=S*पाण्याचे वजन घनता=S*9810 N/m^3

द्रवाची घनता=S*पाण्याची घनता=S*1000 kg/m^3.

4. पृष्ठभागावरील ताण(Surface Tension**):**

पृष्ठभागावरील ताण म्हणजे पृष्ठभागावर कार्य करणारी तन्य शक्ती किंवा वायूच्या संपर्कात असलेला द्रव किंवा दोन अविचल द्रव्यांच्या दरम्यान पृष्ठभागावर कार्य करणारी तन्य शक्ती अशी व्याख्या केली जाते जसे की संपर्क पृष्ठभाग तणावाखाली पडद्याप्रमाणे वागतो. मुक्त पृष्ठभागाच्या प्रति एकक लांबीच्या या बलाच्या विशालतेचे मूल्य प्रति युनिट क्षेत्राच्या पृष्ठभागाच्या ऊर्जेइतकेच असेल. हे ग्रीक अक्षर σ (ज्सिग्मा) द्वारे दर्शविले जाते.

MKS युनिट्समध्ये, ते kgf/m म्हणून व्यक्त केले जाते, तर SI युनिटमध्ये N/m म्हणून व्यक्त केले जाते.

पृष्ठभागावरील तणावाची घटना खालील आकृतीद्वारे स्पष्ट केली आहे.

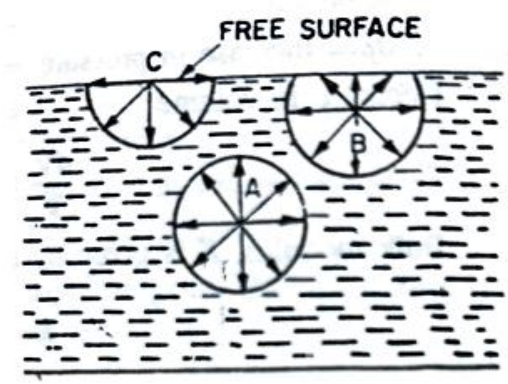


Fig 1.1 पृष्ठभागावरील तणाव

द्रवाच्या वस्तुमानात द्रवाचे तीन रेणू A, B, C विचारात घ्या. A हा रेणू द्रवाच्या आजूबाजूच्या रेणूंद्वारे सर्व दिशांनी समान रीतीने आकर्षित होतो.

अशा प्रकारे Aरेणूवर क्रिया करणारी परिणामी शक्ती शून्य असते. परंतु मुक्त पृष्ठभागाजवळ असलेला B रेणू वरच्या आणि खालच्या दिशेने असमतोल असलेल्या शक्तींद्वारे कार्य करतो. अशा प्रकारे B रेणूवरील निव्वळ परिणामी बल खालच्या दिशेने कार्य करत आहे.

द्रवाच्या मुक्त पृष्ठभागावर स्थित C रेणू, परिणामी खालच्या बाजूस बल अनुभवतो. मुक्त पृष्ठभागावरील सर्व रेणू एक खालच्या बाजूस शक्ती अनुभवतात. अशा प्रकारे द्रवाच्या पृष्ठभागाच्या तणावाखाली द्रवाचा मुक्त पृष्ठभाग अत्यंत पातळ फिल्मप्रमाणे कार्य करतो जसे की तो तणावाखाली एक लवचिक पडदा आहे.

5.कॅपिलरिटी(Capillarity**):** जेव्हा ट्यूब द्रवामध्ये उभी असते तेव्हा द्रवाच्या समीप सामान्य पातळीच्या सापेक्ष लहान ट्यूबमध्ये द्रव पृष्ठभागाची वाढ किंवा पडण्याची घटना म्हणून केशिकाची व्याख्या केली जाते. द्रव पृष्ठभागाच्या उदयास केशिका वाढ(Capillarity rise) म्हणतात तर द्रव पृष्ठभागाच्या पडणास केशिका उदासीनता (Capillarity fall)म्हणून ओळखले जाते.

हे द्रवाच्या सेमी किंवा मिमीच्या रूपात व्यक्त केले जाते. त्याचे मूल्य द्रवाचे विशिष्ट वजन, ट्यूबचा व्यास आणि द्रव पृष्ठभागावरील ताण यावर अवलंबून असते.

केशिका उदय साठी अभिव्यक्ती. लहान व्यासाची 'd' काचेची नळी दोन्ही टोकांना उघडली जाते आणि ती द्रवात घातली जाते, म्हणा, पाण्याचा विचार करा. ट्यूबमध्ये द्रव द्रव पातळीपेक्षा वर जाईल.

h = ट्यूबमधील द्रवाची उंची समजा. समतोल स्थितीत, h उंचीच्या द्रवाचे वजन ट्यूबमधील द्रवाच्या पृष्ठभागावरील बलाने संतुलित केले जाते. परंतु ट्यूबमधील द्रवाच्या पृष्ठभागावरील बल हे पृष्ठभागावरील ताणामुळे होते

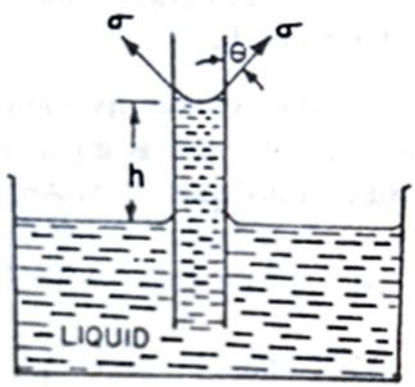


Fig 1.2 केशिका उदय (Capillarity rise)

σ हे द्रवाचे पृष्ठभाग ताण असू द्या

ϴ-द्रव आणि काचेच्या नळीमधील संपर्काचा कोन.

ट्यूबमधील h उंचीच्या द्रवाचे वजन

= (नळीचे क्षेत्रफळ x h) x ρ x g

=(π/4 d2 x h) x ρ x g   eq.1

जेथे ρ = द्रवाची घनता

पृष्ठभागाच्या तन्य शक्तीचा अनुलंब घटक

=(σ x परिघ)xcos ϴ

= (σ x πd)xcos ϴ   eq.2

समतोल साठी, I आणि II चे समीकरण, आपल्याला मिळेल

(π/4 d2 x h)x ρ x g = (σ x πd)xcos ϴ

h= (4σcos ϴ)/ρgd

पाणी आणि स्वच्छ काचेच्या नळीमधील ϴ चे मूल्य अंदाजे शून्य आणि बरोबर आहे आणि म्हणून cosϴ एकता बरोबर आहे .मग पाण्याचा उदय असे दिले जाते

h = 4σ/ρgd

कॅपिलरी फॉलसाठी अभिव्यक्ती:(Principle) जर काचेची नळी पारामध्ये बुडवली असेल तर, अंजीर मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे ट्यूबमधील पाराची पातळी बाहेरील द्रवाच्या सामान्य पातळीपेक्षा कमी असेल.

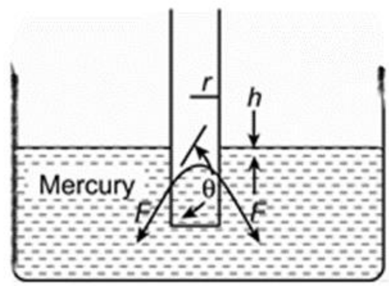


Fig 1.3 Principle of Capilary rise

h = ट्यूबमधील नैराश्याची उंची समजा.

नंतर समतोल स्थितीत, दोन शक्ती ट्यूबच्या आत पारावर कार्य करत आहेत. पहिले खालच्या दिशेने काम करणाऱ्या पृष्ठभागावरील ताणामुळे आहे आणि ते $\sigma \pi d \cos \Theta$ च्या बरोबरीचे आहे.

दुसरे बल हे हायड्रोस्टॅटिक शक्तीमुळे वरच्या दिशेने कार्य करते आणि 'h' x क्षेत्राच्या खोलीवर दाबाच्या तीव्रतेइतके असते.

$$= px\ \pi/4\ d2$$

$\rho gh\ \pi/4\ d2\ p=\rho gh$ म्हणून

दोन बलांचे समीकरण $\sigma \pi d \cos \Theta = \rho gh\ \pi/4\ d^2$

$$\mathbf{h=\frac{(4\sigma\cos\theta)}{\rho gd}}$$

पारा आणि काचेच्या नळीसाठी Θ चे मूल्य 128^0 आहे.

6. व्हिस्कॉसिटी (Viscosity):

व्हिस्कॉसिटी ही द्रवपदार्थाची मालमत्ता म्हणून परिभाषित केली जाते जी द्रवपदार्थाच्या दुसऱ्या समीप थरावर द्रवपदार्थाच्या एका थराच्या हालचालीला प्रतिकार देते.

द्रवपदार्थांचे वर्गीकरण:

1.Ideal Fluid**:** एक द्रवपदार्थ जो दाबण्यायोग्य नसतो आणि चिकटपणा नसतो तो आदर्श द्रवपदार्थाच्या श्रेणीत येतो. आदर्श द्रव वास्तवात आढळत नाही म्हणून त्याला काल्पनिक द्रव (imaginary fluid)म्हटले जाते.

कारण वातावरणात अस्तित्वात असलेल्या सर्व द्रवांमध्ये काही प्रमाणात चिकटपणा असतो. प्रत्यक्षात कोणताही आदर्श द्रव नाही.

2.वास्तविक द्रव(Real fluid**):** ज्या द्रवामध्ये कमीत कमी काही चिकटपणा असतो त्याला वास्तविक द्रव म्हणतात. वास्तविक, वातावरणात अस्तित्वात असलेल्या किंवा उपस्थित असलेल्या सर्व द्रव्यांना वास्तविक द्रव म्हणतात. त्याची काही उदाहरणे म्हणजे पेट्रोल, हवा इ.

द्रवपदार्थाची संकुचितता दाबाच्या भिन्नतेसह त्याच्या आवाजातील फरक म्हणून परिभाषित केली जाते. द्रवपदार्थांचे त्यांच्या संकुचिततेनुसार वर्गीकरण केले जाऊ शकते:

संकुचित करण्यायोग्य द्रव:(Compressible Fluids) एक द्रव ज्यामुळे द्रवपदार्थावर दबाव टाकला जातो तेव्हा आवाज कमी होतो किंवा घनता बदलतो.

Compressible फ्लुइड: दाब किंवा प्रवाह वेग (म्हणजे, ρ = स्थिर) जसे की पाणी किंवा तेलात बदलांसह आकारमानात फरक नसलेला द्रव.

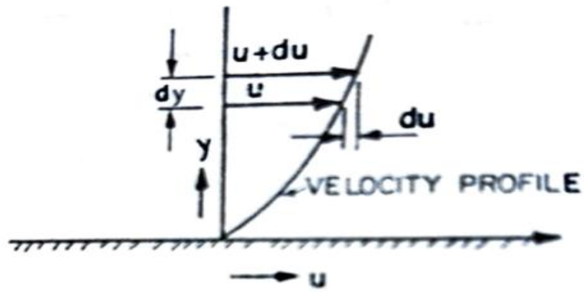
न्यूटनच्या व्हिस्कॉसिटी (Newton's Law of viscosity**)नियमावर आधारित**:

न्यूटोनियन द्रवपदार्थांचे नाव शास्त्रज्ञ सर आयझॅक न्यूटन यांच्या नावावर ठेवले गेले आहे ज्यांनी शिअर फोर्स आणि शिअर रेट यांच्यातील साध्या रेखीय संबंधासह द्रव प्रवाहाच्या वर्तनाचे वर्णन केले आहे. हा संबंध आता न्यूटनचा स्निग्धपणाचा नियम म्हणून ओळखला जातो, जेथे प्रमाण स्थिरता μ ही द्रवपदार्थाची चिकटपणा आहे.

नॉन-न्यूटोनियन द्रव(Non-Newtonian Fluids**):** जर वास्तविक द्रव न्यूटनच्या स्निग्धतेच्या नियमाचे पालन करत नसेल, म्हणजे जर शिअर स्ट्रेन किंवा वेग ग्रेडियंटच्या प्रमाणात नसेल तर त्याला नॉन-न्यूटोनियन द्रव म्हणतात. त्याची काही उदाहरणे रक्त, लाळ, साबण द्रावण, सौंदर्य प्रसाधने आणि टूथपेस्ट इ. न्यूटोनियन द्रव

न्यूटोनियन द्रव(Newtonian Fluids): जर वास्तविक द्रव न्यूटनच्या स्निग्धतेच्या नियमाचे पालन करत असेल म्हणजे शिअर फोर्स किंवा वेग ग्रेडियंटच्या थेट प्रमाणात असेल तर त्याला न्यूटोनियन द्रव म्हणून ओळखले जाते. त्याची काही उदाहरणे पाणी, हवा, अल्कोहोल, ग्लिसरॉल, पातळ मोटर तेल इ.

न्यूटनचा व्हिस्कॉसिटी नियम(Newton’s Law of viscosity):
हे असे नमूद करते की द्रव घटक स्तरावरील शिअर फोर्स (shear force) हा व्हेलॉसिटी ग्रेडियंट (velocity gradient) च्या थेट प्रमाणात आहे.
न्यूटनच्या स्निग्धतेच्या नियमाची व्युत्पत्ती:



गणिती

जेव्हा द्रवपदार्थाचे दोन स्तर, एक अंतरावर असतात, एकावर एक भिन्न गतीने सरकतात तेव्हा u आणि u+ du म्हणा, खालील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, सापेक्ष वेगासह चिकटपणा एकत्रितपणे द्रवपदार्थाच्या थरांमध्ये एक कातर तणाव निर्माण करतो.

वरच्या थरामुळे शेजारच्या खालच्या थरावर शिअरचा ताण पडतो तर खालच्या थरामुळे शेजारच्या वरच्या थरावर शियरचा ताण येतो. हा शिअर ताण y च्या संदर्भात वेग बदलण्याच्या दराच्या प्रमाणात आहे. हे तौ म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या τ चिन्हाने दर्शविले जाते.

गणितानुसार $\tau \propto du/dy$

म्हणून $\tau = \mu du/dy$ eq.1

जेथे μ (mu) ला आनुपातिकता स्थिरांक(proportionalty constant) म्हटले जाते आणि डायनॅमिक स्निग्धता किंवा फक्त चिकटपणाचे गुणांक म्हणून ओळखले जाते.
du/dy गुणोत्तर शिअर स्ट्रेनचा किंवा व्हेलॉसिटी ग्रेडियंट दर्शवतो.
1 समीकरणावरून आपण लिहू शकतो

$\mu = \tau/(du/dy)$ eq.2

अशा प्रकारे व्हिस्कॉसिटी देखील कातरणे ताण एकक दर निर्माण करण्यासाठी आवश्यक कातरणे ताण म्हणून परिभाषित केले आहे.

स्निग्धतेची (Viscosity)एकके: स्निग्धतेची एकके समीकरण II मध्ये परिमाणांची परिमाणे टाकून प्राप्त केली जातात.

$$\mu = \frac{shear\ stress}{\frac{Change\ of\ velocity}{Change\ of\ distance}}$$

$$\mu = \frac{\frac{Force}{Area}}{\frac{length}{time} X \frac{1}{Length}}$$

$$\mu = \frac{\frac{Force}{Length^2}}{\frac{1}{Time}}$$

$$\mu = \frac{Force\ X\ Time}{Length^2} 5x$$

MKS प्रणालीमध्ये, बल kgf द्वारे आणि लांबी मीटर (m) द्वारे दर्शविले जाते, CGS प्रणालीमध्ये, बल डायनद्वारे आणि लांबी सेंटीमीटर (सेमी) ने दर्शवले जाते आणि SI प्रणालीमध्ये बल न्यूटनद्वारे आणि लांबी मीटर (m) द्वारे दर्शविले जाते.

MKS स्निग्धता एकक = $\frac{\text{kgf}-\text{sec}}{\text{m}^2}$

चिकटपणाचे CGS एकक = $\frac{\text{dyne}-\text{sec}}{\text{cm}^2}$

चिकटपणाचे SI एकक = $(N.s)/m^2$

स्निग्धतेच्या CGS युनिटला Poise (Poise = (dyne-sec)/(cm2)) असे म्हणतात.

एक पॉईस(Poise) = 10 (N.s)/m2

कायनेमॅटिक व्हिस्कॉसिटी (Kinematic Viscosity): "ते डायनॅमिक स्निग्धता आणि द्रवपदार्थाची घनता यांच्यातील गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते."

हे 'नु' नावाच्या ग्रीक चिन्हाने दर्शविले जाते.

v= व्हिस्कॉसिटी /घनता=μ/ρ

v=μ/ρ

MKS, CGS आणि SI प्रणाली m^2/sec, cm^2/s आणि m^2/sec मध्ये किनेमॅटिक व्हिस्कोसिटीचे एकक.

CGS प्रणाली cm^2/s मधील युनिटला स्टोक म्हणतात.

अशा प्रकारे एक स्टोक = cm^2/s= 10^{-4} m^2/sec

एक सेंटिस्टोक = 10^{-2} स्टोक

चिकटपणाचे मोजमाप(Measurement of viscosity)

रेडवुड व्हिस्कोमीटर(Redwood Viscometer):

तत्त्व (Principle):

रेडवुड सेकंदांमधील स्निग्धता एका प्रमाणित छिद्रातून जाण्यासाठी तेलाला लागणारा वेळ लक्षात घेऊन आणि 50cc फ्लास्कमध्ये ते गोळा करून शोधता येते.

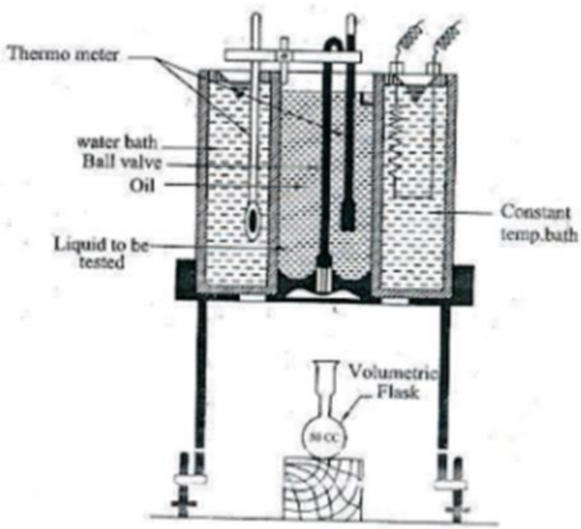


Fig 1.5 Redwood Viscometer

रचना: (Construction)

यात एक दंडगोलाकार तेलाचा कप असतो जो शीर्षस्थानी उघडलेला असतो आणि कपमधून सामग्रीचा संपूर्ण निचरा करण्यासाठी खाली अवतल आकाराचा असतो. कपमध्ये तळाशी मध्यभागी स्थित एक छिद्र आहे. कपच्या बाजूला दिलेला पॉईंटर कपमध्ये तेल कोणत्या स्तरावर भरायचे आहे हे सूचित करतो. कपमध्ये एका टोकाला बॉल असलेला दांडा असतो, ज्याचा वरचा भाग हुक बनवण्यासाठी वाकलेला असतो.

या बॉलचा वापर कपच्या तळाशी असलेले छिद्र उघडण्यासाठी आणि बंद करण्यासाठी केला जातो. कप water bath ने वेढलेला आहे. कपमधील सामग्रीचे तापमान मोजण्यासाठी कप आणि वॉटर बाथमध्ये थर्मामीटर ठेवलेले असतात. कपमधून तेल गोळा करण्यासाठी 50 मिली क्षमतेच्या कोहलरॉश फ्लास्कचा(Kohlrausch flask) वापर केला जातो.

कार्य (Working)

पॉइंटरच्या टोकापर्यंत कपमध्ये तेल भरले जाते. मेटल बॉल उचलून तेल कोहलरॉश फ्लास्कमध्ये (Kohlrausch flask)जाऊ दिले जाते. त्याचबरोबर घड्याळ सुरू केले जाते. फ्लास्कमध्ये 50 मिली तेल गोळा करण्यासाठी लागणारा वेळ लक्षात घेतला जातो.

ही वेळ रेडवुड सेकंदात(Redwwod Seconds) खोलीच्या तपमानावर तेलाची स्निग्धता देते. जास्त तपमानावर तेलाची चिकटपणा शोधण्यासाठी, थर्मोस्टॅट समायोजित करून वॉटर बाथमध्ये पाणी गरम करा (तपमान राखून ठेवण्यासाठी समायोजन केले पाहिजे). जेव्हा दोन्ही थर्मामीटरने दर्शवलेले तापमान स्थिर राहते, तेव्हा वरील प्रक्रिया पुन्हा करा, ज्यामुळे त्या तापमानात तेलाची स्निग्धता काही सेकंदात मिळेल.

रेडवुड सेकंदांना किनेमॅटिक व्हिस्कोसिटी युनिट (सेंटिस्टोक्स) मध्ये रूपांतरित करण्याचे सूत्र आहे

$$v = 0.002\, t - \frac{1.8}{t}$$

$$\mu = v*\rho$$

उपयोग (Applications): पेट्रोलियम उद्योगात पेट्रोलियम घटक आणि कच्च्या तेलाची किनेमॅटिक स्निग्धता मोजण्यासाठी वापरली जाते, खाद्यतेल, द्रव इंधन इत्यादींची चिकटपणा मोजण्यासाठी वापरली जाते.

रेडवुड व्हिस्कोमीटरचे दोन प्रकार आहेत - रेडवुड व्हिस्कोमीटर क्रमांक: 1 (कमी स्निग्धतेसाठी वापरला जातो) आणि रेडवुड व्हिस्कोमीटर क्रमांक: 2 (उच्च स्निग्धतेसाठी वापरला जातो.

1.2 जलस्थिर समतोलाचे तत्व(Hydrostatic Equilibrium**):**

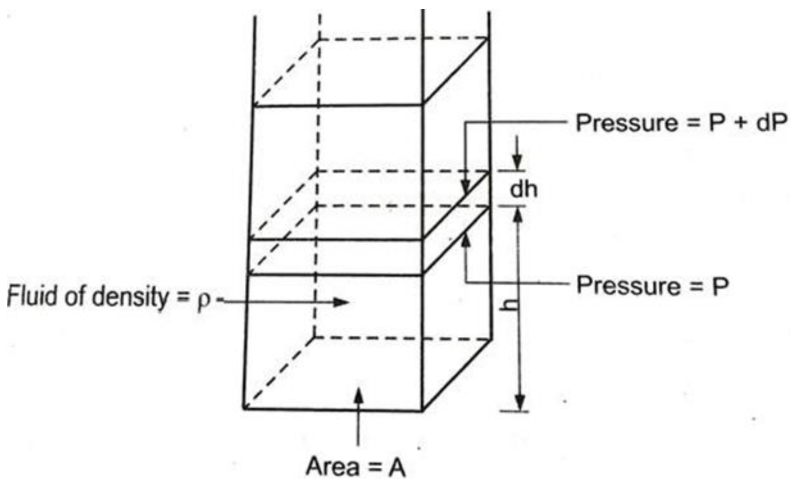
जलस्थिर समतोलाचे तत्व:

जलस्थिर समतोला म्हणजे स्थिर स्थितीत असलेल्या द्रव किंवा प्लास्टिकच्या घन पदार्थात गुरुत्वाकर्षण आणि दाब यांच्यातील संतुलनाची अवस्था. यालाच जलस्थिर समतोल असेही म्हणतात.
जलस्थिर समतोल म्हणजे अशी स्थिती ज्यामध्ये गुरुत्वाकर्षण बल आणि दाब बल यासारख्या बाह्य बलांमध्ये संतुलन असते.

द्रवपदार्थाने दिलेला दाब म्हणजे कंटेनरच्या भिंतींवर द्रवपदार्थाने लावलेला बल.

ते असे सांगते की स्थिर स्थितीत असलेल्या द्रवपदार्थाच्या कोणत्याही बिंदूवर दाब हा त्या द्रवपदार्थाच्या वजनामुळे असतो.

दाब मोजण्यासाठी अभिव्यक्ती:



m^2 मध्ये स्तंभ, ρ ही द्रवाची घनता kg/m^3 मध्ये आहे.

P आणि P+dP हे स्तंभाच्या पायथ्यापासून अनुक्रमे h आणि h+ dh उंचीवर दाब मानावे.

द्रवाच्या लहान घटकावर कार्य करणारे बल आहेत

बल (P+dP)A खाली दिशेने कार्य करत आहे

बल PA वर दिशेने कार्य करत आहे

गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारे बल Adhρg खाली दिशेने कार्य करत आहे.

वरच्या दिशेने कार्य करणारे बल धन मानले जाते आणि खालच्या दिशेने कार्य करणारे बल ऋण मानले जाते.

समतोलात, या सर्व बलांची बेरीज शून्य असते.

$$PA - (P + dP)A - Adh\rho g = 0$$

$$dP + dh\rho g = 0$$

कोणत्याही उंचीवर दाब मिळविण्यासाठी हे सामान्य समीकरण आहे

असंकुचित द्रवपदार्थांसाठी, घनता स्थिर असते.

समीकरण (1) चे समीकरण समीकरण (1)

$$\int_{P_1}^{P_2} dP + \rho g \int_0^h dh = 0$$

P1 हा स्तंभाच्या पायथ्याशी असलेला दाब आहे जिथे h = 0

$$P_2 - P_1 + \rho gh = 0$$

$$P_1 - P_2 = \rho gh$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \rho gh$$

स्तंभाच्या पायथ्याशी जिथे h = 0 आहे, तिथे जास्तीत जास्त दाब दिला जाईल.

अनुप्रयोग(Applications):

- पृथ्वीचे वातावरण

जलस्थिर समतोल गुरुत्वाकर्षणामुळे वातावरण पातळ कवचात कोसळण्यापासून रोखते, तसेच वातावरणाला अवकाशात पसरण्यापासून रोखते

- तरंगण्याची शक्ती

तरंगण्याची शक्ती एखाद्या वस्तूने विस्थापित केलेल्या द्रवाच्या वजनाइतकी असते

- अभियांत्रिकी

जलस्थिर समतोलमधील द्रवांचे गुणधर्म धरणे, जहाजे आणि ट्रान्समिशन सिस्टमच्या डिझाइनमध्ये वापरले जातात

- खगोलशास्त्र

एखादी वस्तू ग्रह, बटू ग्रह किंवा लहान सौर मंडळ आहे की नाही हे निर्धारित करण्यासाठी हायड्रोस्टॅटिक समतोल वापरला जातो.

१.३ दाबाचे मोजमाप(Measurement of Pressure):

एका बिंदूवर असलेला द्रव दाब:

द्रवाच्या मोठ्या वस्तुमानात dA हे लहान क्षेत्र विचारात घ्या. जर द्रव स्थिर असेल, तर dA क्षेत्रावरील सभोवतालच्या द्रवाने लावलेला बल नेहमीच dA पृष्ठभागाला लंब असेल. समजा dF हा क्षेत्र dA वर सामान्य दिशेने कार्य करणारा बल आहे. मग dF चे गुणोत्तर दाबाची तीव्रता किंवा फक्त दाब म्हणून ओळखले जाते आणि हे गुणोत्तर p ने दर्शविले जाते. म्हणून गणितीयदृष्ट्या स्थिर असलेल्या द्रवाच्या बिंदूवरील दाब

$p = dF/dA$ आहे

जर बल (F) क्षेत्र (A) वर समान रीतीने वितरित केले असेल, तर कोणत्याही बिंदूवरील दाब

बल किंवा दाब बल, *F = p x A* द्वारे दिला जातो.

दाबाची एकके आहेत: (i) kgf/m2 आणि kgf/cm2 *MKS* एककांमध्ये, (ii) N/m2 किंवा N/m2 आणि N/mm2 आणि SI एककांमध्ये N/ m2 ला पास्कल म्हणून ओळखले जाते आणि ते Pa ने दर्शविले जाते.

दाबाची इतर सामान्यतः वापरली जाणारी एकके आहेत:

kPa = किलो पास्कल = 1000 (N)⁄m2

$$bar = 100kPa = 10^5\ N/m$$

पास्कलचा नियम(Pascal’s Law**):**

“स्थिर द्रवपदार्थाच्या एका बिंदूवर दाब किंवा तीव्रता सर्व दिशांना समान असते.”

दाब आणि त्याचे मापन(Pressure and it’s measurement)

परिपूर्ण(absolute), गेज(gauge), वातावरणीय (atmospheric)आणि निर्वात (vacuum) प्रेशर (Pressure):

द्रवावरील दाब दोन वेगवेगळ्या प्रणालींमध्ये मोजला जातो. एका प्रणालीमध्ये, तो निरपेक्ष शून्य किंवा पूर्ण व्हॅक्यूमच्या वर मोजला जातो आणि त्याला निरपेक्ष दाब म्हणतात आणि दुसऱ्या प्रणालीमध्ये, वातावरणाच्या दाबाच्या वर दाब मोजला जातो आणि त्याला निरपेक्ष दाब म्हणतात.

वातावरणीय दाब(Atmospheric Pressure**):**

हा १ चौरस मीटर क्षेत्र फळावर आणि वातावरणाच्या समान उंची असलेल्या हवेच्या स्तंभाद्वारे टाकलेला दाब आहे

वातावरणीय दाब 760 mm of Hg. = 1 atm = 14.7 Psi= $1.01325*10^5$ N/m^2 = $1.01325*10^5$ Pa = 1.01325 bar =$1.033kg_f$ $/cm^2$

1)निरपेक्ष दाब (Absolute Pressure**):**

हा वायुमंडलीय आणि गेज दाबांच्या बीजगणितीय बेरजेइतका दाब असतो. हे लक्षात घेतले पाहिजे

जर गेज दाब वजा असेल (जसे की व्हॅक्यूम किंवा सक्शनच्या बाबतीत), निरपेक्ष दाब वातावरणीय दाब वजा गेज दाब असेल. उदा., जर कोणत्याही बिंदूवर निरपेक्ष दाब 150kN/m^2 असेल आणि वातावरणीय दाब 103 kN/m^2 असेल, तर त्या बिंदूवर गेज दाब 150– 103=47 kN/m^2 असेल. थोडा विचार केल्यास दिसून येईल की, जर एखाद्या बिंदूवर दाबाची तीव्रता स्थानिक वातावरणीय दाबापेक्षा जास्त असेल, तर या दोन्ही दाबांमधील फरकाला सकारात्मक गेज दाब म्हणतात. तथापि, जर दाबाची तीव्रता स्थानिक वातावरणीय दाबापेक्षा कमी असेल, तर या दोन्ही दाबांमधील फरकाला नकारात्मक गेज दाब किंवा व्हॅक्यूम दाब म्हणतात.

2)गेज दाब (Gauge Pressure):म्हणजे दाब मोजण्याच्या उपकरणाच्या मदतीने मोजला जाणारा दाब, ज्यामध्ये वातावरणीय दाब डेटा म्हणून घेतला जातो. स्केलवर वातावरणीय दाब शून्य म्हणून चिन्हांकित केला जातो. साधारणपणे, हा दाब वातावरणीय दाबापेक्षा जास्त असतो

3. व्हॅक्यूम दाब (Vacuum Pressure) म्हणजे वातावरणीय दाबाच्या खाली असलेला दाब.

असे आढळून आले आहे की समुद्रसपाटीवर, 1 चौरस मीटर क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रफळाच्या आणि वातावरणाच्या उंचीइतक्या उंचीच्या हवेच्या स्तंभाने दिलेला दाब 101 kN असतो. म्हणून आपण असे म्हणू शकतो की समुद्रसपाटीवर वातावरणीय दाब 101 kN/m2 (किंवा 101 kPa) आहे. समतुल्य पाण्याच्या स्तंभाच्या बाबतीत ते 10.1 मीटर पाण्याच्या किंवा समतुल्य पारा स्तंभाच्या बाबतीत 760 मिमी पाराच्या स्वरूपात देखील व्यक्त केले जाऊ शकते.

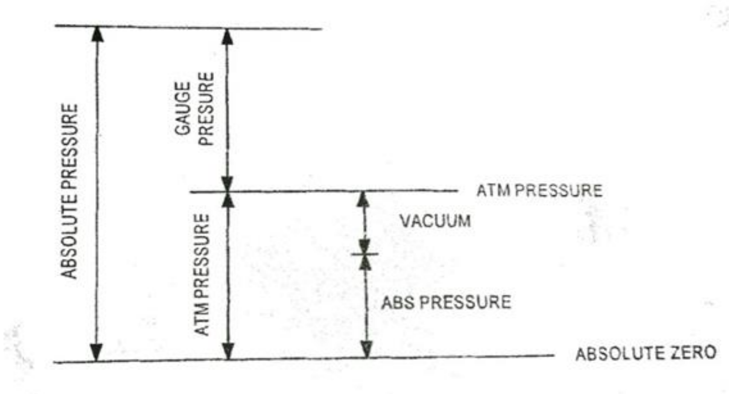


Fig 1.6 Different types of Pressure

गणितीयदृष्ट्या:

परिपूर्ण दाब = वातावरणाचा दाब + गेज दाब

व्हॅक्यूम दाब = वातावरणाचा दाब- परिपूर्ण दाब.

समुद्रसपाटीवर 15°C वर वातावरणाचा दाब SI एककात 101.3 kN/m^2 किंवा 10.13 N/cm2 असतो. MKS एककांच्या बाबतीत, तो 1.033 kgf/cm^2 इतका असतो

दाबाचे मोजमाप (Measurement of Pressure**):**

द्रवाचा दाब खालील उपकरणांद्वारे मोजला जातो

१. मॅनोमीटर(Manometers)

२ यांत्रिक गेज (Mechanical Gauges)

१) मॅनोमीटर(Manometers): मॅनोमीटर म्हणजे द्रवाच्या स्तंभाचे द्रवाच्या त्याच किंवा दुसऱ्या स्तंभाद्वारे संतुलन करून द्रवाच्या बिंदूवर दाब मोजण्यासाठी वापरले जाणारे उपकरण आहे.

(अ) साधे मॅनोमीटर (Simple manometer),

(ब) विभेदक मॅनोमीटर(Differential Manometer).

२) यांत्रिक गेज असे वर्गीकृत केले आहे. यांत्रिक गेज म्हणजे स्प्रिंग किंवा डेड वेटने(Spring or Dead weight meter) द्रवपदार्थाच्या स्तंभाचे संतुलन करून दाब मोजण्यासाठी वापरले जाणारे परिभाषित उपकरण. सामान्यतः वापरले जाणारे यांत्रिक दाब मापक म्हणजे

(अ) डायफ्राम प्रेशर गेज. (Diaphragm pressure gauge)

(ब) बोर्डन ट्यूब प्रेशर गेज(Bourdon tube pressure gauge)

(क) डेड-वेट प्रेशर गेज (Dead-weight pressure gauge)आणि

(ड) बेलोज प्रेशर गेज(Bellows pressure gauge)

साधे मॅनोमीटर(Simple Manometer**)**

साध्या मॅनोमीटरमध्ये एका काचेच्या नळीचा समावेश असतो ज्याचे एक टोक एका बिंदूशी जोडलेले असते जिथे दाब मोजायचा असतो आणि दुसरे टोक वातावरणात उघडे असते.

साध्या मॅनोमीटरचे सामान्य प्रकार आहेत:

1. पिझ्झोमीटर (Piezometer),
2. यू-ट्यूब मॅनोमीटर (U-tube Manometer) आणि
3. सिंगल कॉलम मॅनोमीटर (Single Column Manometer)

1. पिझोमीटर (Piezometer):गेज प्रेशर मोजण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या मॅनोमीटरचा हा सर्वात सोपा प्रकार आहे. या मॅनोमीटरचा एक टोक दाब मोजण्याच्या बिंदूशी जोडलेला असतो आणि दुसरा टोक वातावरणासाठी खुला असतो. आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे.

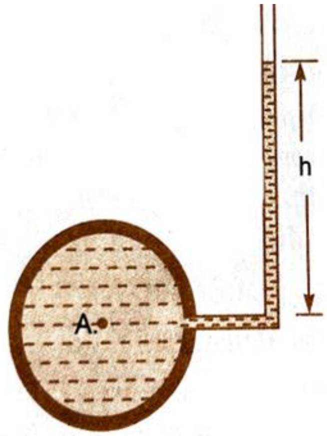
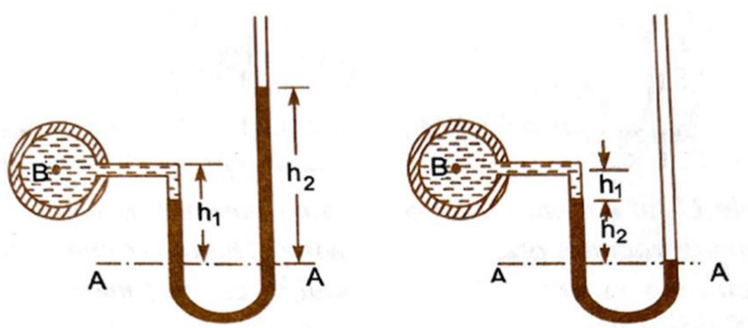


Fig 1.7 Piezometer

2. यू-ट्यूब मॅनोमीटर (U-Tube Manometer): यात काचेची नळी असते जी यू-आकारात वाकलेली असते, ज्याचा एक टोक दाब मोजण्याच्या बिंदूशी जोडलेला असतो आणि दुसरे टोक वातावरणासाठी खुला असतो जसे आकृतीमध्ये दाखवले आहे. नळीमध्ये सामान्यतः पारा किंवा इतर कोणताही द्रव असतो ज्याचे विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण ज्या द्रवाचा दाब मोजायचा आहे त्याच्या विशिष्ट गुरुत्वाकर्षणापेक्षा जास्त असते.



अ) गेज प्रेशरसाठी. (ब) व्हॅक्यूम प्रेशरसाठी.

Fig 1.8 U Tube Manometer

(अ) गेज प्रेशरसाठी. समजा B हा दाब मोजायचा बिंदू आहे, ज्याचे मूल्य p आहे. datum रेषा A-A आहे.

समजा h_1= संदर्भ पातळी रेषेवरील हलक्या द्रवाची उंची संदर्भ पातळी

h_2= संदर्भ पातळी रेषेवरील जड द्रवाची उंची

S_1 = Spहलक्या द्रवाचे प्रमाण

ρ_1= हलक्या द्रवाची घनता = 1000 x S_1

S_2= Sp. जड द्रवाचे प्रमाण

ρ_2= जड द्रवाची घनता = 1000 x S_2

आडव्या पृष्ठभागासाठी दाब समान असल्याने, U-ट्यूब मॅनोमीटरच्या डाव्या स्तंभात आणि उजव्या स्तंभात आडव्या संदर्भ पातळी रेषेवरील A-A दाब समान असावा.

डाव्या स्तंभात A-A वरील दाब = $p + \rho_1 xgx\, h_1$

उजव्या स्तंभात A-A वरील दाब = $\rho_2 xgx\, h_2$

म्हणून दोन्ही दाबांचे समीकरण

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

$$p = \rho_2 g h_2 - \rho_1 g\, h_1$$

(ब) व्हॅक्यूम प्रेशरसाठी: व्हॅक्यूम प्रेशर मोजण्यासाठी, मॅनोमीटरमधील जड द्रवाची पातळी आकृतीमध्ये दर्शविली जाईल. नंतर

डाव्या स्तंभात A-A वरील दाब

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

A-A वरील उजव्या स्तंभात दाबाचा वरचा भाग = 0

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

$$p = -(\rho_2 g h_2 + \rho_1 g\, h_1)$$

(ब) व्हॅक्यूम प्रेशरसाठी(Vacuum Pressure): व्हॅक्यूम प्रेशर मोजण्यासाठी, मॅनोमीटरमधील जड द्रवाची पातळी आकृतीमध्ये दर्शविली जाईल. नंतर

डाव्या स्तंभात A-A वरील दाब

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

A-A वरील उजव्या स्तंभात दाबाचे शीर्ष = 0

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

$$p = -(\rho_2 g h_2 + \rho_1 g\, h_1)$$

डिफरेंशियल मॅनोमीटर(Differential manometer)

डिफरेंशियल मॅनोमीटर हे पाईपमधील दोन बिंदूंमधील किंवा दोन वेगवेगळ्या पाईपमधील फरक दाब मोजण्यासाठी वापरले जाणारे उपकरण आहेत. डिफरेंशियल मॅनोमीटरमध्ये एक यू-ट्यूब असते, ज्यामध्ये एक जड द्रव असतो, ज्याचे दोन्ही टोक त्या बिंदूंशी जोडलेले असतात ज्यांच्या दाबाचा फरक मोजायचा असतो.

डिफरेंशियल मॅनोमीटरचे सर्वात सामान्य प्रकार आहेत.

१. यू-ट्यूब डिफरेंशियल मॅनोमीटर(U-tube differential Manometer) आणि

२. उलटा यू-ट्यूब डिफरेंशियल मॅनोमीटर(Inverted U-tube differential Manometer)

१. यू-ट्यूब डिफरेंशियल मॅनोमीटर. आकृतीमध्ये यू-ट्यूब प्रकारातील डिफरेंशियल मॅनोमीटर दाखवले आहेत.

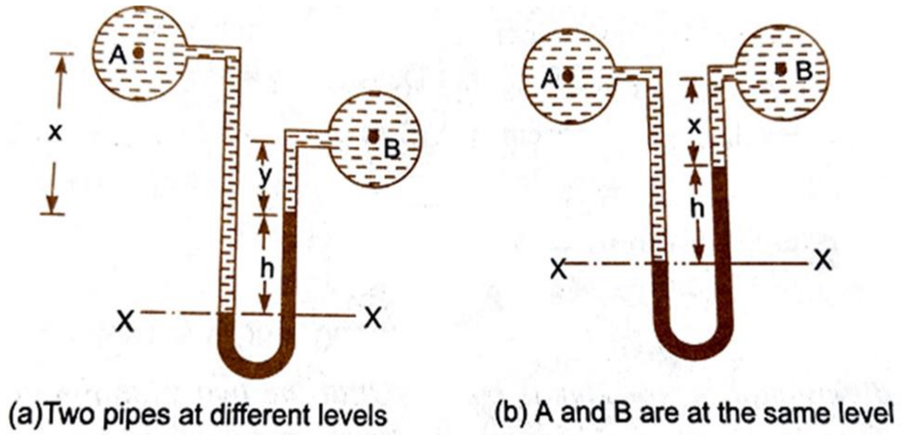


Fig 1.9 U Tube Differential Manometer

आकृती (अ). समजा A आणि B हे दोन बिंदू वेगवेगळ्या पातळीवर आहेत आणि त्यामध्ये वेगवेगळ्या sp चे द्रव देखील आहेत. gr. हे बिंदू डिफरेंशियल मॅनोमीटरशी जोडलेले आहेत. समजा A आणि B वरील दाब p_A आणि p_B आहे

समजा h = U-ट्यूबमधील पारा पातळीचा फरक.

y = उजव्या अंगातील पारा पातळीपासून B च्या केंद्राचे अंतर.

x = उजव्या अंगातील पारा पातळीपासून A च्या केंद्राचे अंतर.

ρ_1 =A वर द्रवाची घनता.

ρ_2= B वर द्रवाची घनता.

ρ_g= जड द्रव किंवा पाराची घनता.

X-X वर डेटाम रेषा घेणे.

डाव्या अंगात X-X वरील दाब =$\rho_g gh + \rho_2 gy + p_B$

जिथे p_A= A वर दाब.

उजव्या अंगात X-X वरील दाब = $\rho_g gh + \rho_2 gy + p_B$

जिथे p_B = B वर दाब.

दोन्ही दाबांचे समीकरण केल्यास,

$$\rho_1 . g(h + x) + p_A = \rho_g gh + \rho_2 gy + p_B$$

$$p_A - p_B = \rho_g gh + \rho_2 gy - \rho_1 . g(h + x)$$

$$p_A - p_B = hg(\rho_g - \rho_1) + \rho_2 gy - \rho_1 gx$$

A आणि B मधील दाबातील फरक =

$p_A - p_B = hg(\rho_g - \rho_1) + \rho_2 gy - \rho_1 gx$

आकृती (ब). अ आणि ब एकाच पातळीवर आहेत आणि त्यात समान द्रव आहे

उजव्या अंगात X-X वरील दाब

$= \rho_g gh + \rho_1 gx + p_B$

डाव्या अंगात X-X पेक्षा जास्त दाब

$= \rho_1 g(h + x) + p_A$

दोन्ही दाबांचे समीकरण केल्यास,

$$\rho_g gh + \rho_1 gx + p_B = \rho_1 g(h + x) + p_A$$

$$p_A - p_B = \rho_g gh + \rho_1 gx - \rho_1 g(h + x)\, p_A$$

$$p_A - p_B = gh(\rho_g - \rho_1)$$

1.4 मितीय विश्लेषण (Dimensional Analysis)

प्रस्तावना

मितीय विश्लेषण ही परिमाणांची एक पद्धत आहे, ती डिझाइन आणि मॉडेल चाचण्यांसाठी संशोधन कार्यात वापरली जाणारी एक गणितीय तंत्र आहे.

हे घटनेत समाविष्ट असलेल्या भौतिक राशींच्या परिमाणांशी संबंधित आहे. सर्व भौतिक राशी तुलना करून मोजल्या जातात, जे अनियंत्रितपणे निश्चित मूल्याच्या संदर्भात केले जाते. लांबी L, वस्तुमान M आणि वेळ T हे स्थिर परिमाण आहेत जे द्रव यांत्रिकीमध्ये महत्त्वाचे आहेत. जर द्रव यांत्रिकींच्या कोणत्याही समस्येत उष्णता समाविष्ट असेल तर तापमान देखील निश्चित परिमाण म्हणून घेतले जाते. या निश्चित परिमाणांना मूलभूत परिमाण किंवा मूलभूत परिमाण म्हणतात.

दुय्यम किंवा व्युत्पन्न परिमाण(Secondary or Derived quantities**)**

दुय्यम व्युत्पन्न परिमाण म्हणजे अशा राशी ज्या एकापेक्षा जास्त मूलभूत परिमाण असतात. उदाहरणार्थ, वेग प्रति युनिट वेळेचे अंतर (L/T), प्रति युनिट आकारमान वस्तुमानाने घनता (M/L^3), अंतर प्रति सेकंद चौरसाने प्रवेग (L/T^2) द्वारे दर्शविला जातो. नंतर वेग, घनता आणि प्रवेग दुय्यम किंवा व्युत्पन्न परिमाण बनतात. L/T, (M/L^3) आणि (L/T^2) या पदावलींना अनुक्रमे वेग, घनता आणि त्वरण यांचे परिमाण म्हणतात.

द्रव यांत्रिकीमध्ये बहुतेक वापरल्या जाणाऱ्या भौतिक राशींचे परिमाण खालील तक्त्यात दिले आहेत.

Sr.No.	Physical Quantity	Symbol	Dimensions
a)Fundamental			
1	Length	L	L
2	Mass	M	M
3	**Time**	T	T
b)Geometric			

4	Area	A	L^2
5	Volume	V	L^3
c)Kinematic Quantity			
6	Velocity	V	LT^{-1}
7	Angular velocity	ω	T^{-1}
8	Acceleration	a	LT^{-2}
9	Angular Acceleration	α	T^{-2}
10	Discharge	Q	L^3T^{-1}
11	Acceleration due to Gravity	g	LT^{-2}
12	Kinematic Viscosity	υ	L^2T^{-1}
d)Dynamic Quantities			
13	Force	F	MLT^{-2}
14	Weight	W	MLT^{-2}
15	Density	ρ	ML^{-3}
16	Specific Weight	w	$ML^{-2}T^{-2}$
17	Dynamic Viscosity	μ	$ML^{-1}T^{-1}$
18	Pressure Intensity	p	$ML^{-1}T^{-2}$
19	Surface Tension	σ	MT^{-2}
20	Shear Stress	τ	$ML^{-1}T^{-2}$
21	Work, Energy	W or E	ML^2T^{-2}
22	Power	P	MLT^{-3}
23	Torque	T	$ML^{-2}T^{-2}$
24	Momentum	M	MLT^{-1}

मितीय एकरूपता(Dimensional Homogeneity):

मितीय एकरूपता (Dimensional Homogeneity) म्हणजे समीकरणातील दोन्ही बाजूंच्या प्रत्येक पदाचे परिमाण समान असणे. अशा प्रकारे जर समीकरणाच्या दोन्ही बाजूंच्या प्रत्येक पदाचे परिमाण समान असतील, तर समीकरणाला मितीय एकरूपता समीकरण म्हणतात. समीकरणाच्या दोन्ही बाजूंच्या मूलभूत परिमाणांचे (म्हणजेच L, M, T) घात एका मितीय एकरूपता समीकरणासाठी समान असतील. अशी समीकरणे एककांच्या प्रणालीपासून स्वतंत्र असतात.

चला समीकरणाचा विचार करूया . उदाहरणार्थ $V = \sqrt{2gH}$

डाव्या बाजूचे परिमाण = $V = \frac{L}{T} = LT^{-1}$

उजव्या बाजूचे परिमाण = $\sqrt{2gH} = \sqrt{\frac{L}{T^2} * L} = \sqrt{\frac{L^2}{T^2}} = \frac{L}{T} = LT^{-1}$

डाव्या बाजूचे परिमाण = उजव्या बाजूचे परिमाण

समीकरण $V = \sqrt{2gH}$ हे मितीयदृष्ट्या एकसंध आहे. म्हणून ते कोणत्याही युनिट सिस्टममध्ये वापरले जाऊ शकते.

परिमाणात्मक विश्लेषणाच्या पद्धती

जर भौतिक घटनेत समाविष्ट असलेल्या चलांची संख्या ज्ञात असेल, तर चलांमधील संबंध खालील दोन पद्धतींनी निश्चित करता येतो:

1. रेलीघ ची पद्धत (Reyleigh's Method)आणि
2. बकिंगहॅमचा π-प्रमेय (Buckingham's π-theorem)

1. रेलीघची पद्धत(Reyleigh's Method**):** ही पद्धत जास्तीत जास्त तीन किंवा चार चलांवर अवलंबून असलेल्या चलासाठी पदावली निश्चित करण्यासाठी वापरली जाते. जर स्वतंत्र चलांची संख्या चारपेक्षा जास्त झाली, तर अवलंबित चलासाठी पदावली शोधणे खूप कठीण आहे.

समजा X हा एक चल आहे, जो X_1, X_2 आणि X_3 चलांवर अवलंबून आहे. नंतर रेलीघच्या पद्धतीनुसार, X हे X_1, X_2 आणि X_3चे कार्य आहे आणि गणितीयदृष्ट्या ते म्हणून व्यक्त केले जाते $X = f[X_1, X_2, X_3]$

हे असे देखील लिहिले जाऊ शकते.

$$X = KX_1^a . X_2^b . X_3^c$$

जिथे K स्थिरांक आहे आणि a,b आणि c हे अनियंत्रित घात आहेत.

a,b आणि c ची मूल्ये दोन्ही बाजूंच्या मूलभूत परिमाणांच्या घातांची तुलना करून मिळवता येतात. अशा प्रकारे अवलंबित चलासाठी पदावली मिळते.

2.बकिंगहॅमचा π-प्रमेय (Buckinghams's π-theorm)**: जर** चल मूलभूत परिमाणांच्या संख्येपेक्षा (M, L, T) जास्त असतील तर रेलेची मितीय विश्लेषण पद्धत कष्टदायक बनते. बकिंगहॅमच्या - π-प्रमेय वापरून ही अडचण दूर केली जाते, ज्यामध्ये असे म्हटले आहे की, "जर एखाद्या भौतिक घटनेत n चल (स्वतंत्र आणि अवलंबित चल) असतील आणि जर या चलांमध्ये m मूलभूत परिमाण (M, L, T) असतील, तर चल (n- m) परिमाणहीन पदांमध्ये व्यवस्थित केले जातात. प्रत्येक पदाला π पद म्हणतात."

समजा $X_1, X_2, X_{3,...} X_n$ हे भौतिक समस्येमध्ये समाविष्ट असलेले चल आहेत. समजा X_1हा अवलंबित चल आहे आणि $X_2, X_{3,...} X_n$ हे स्वतंत्र चल आहेत ज्यावर X_1 अवलंबून आहे. मग X_1 हे $X_2, X_{3,...} X_n$ चे फंक्शन आहे आणि गणितीयदृष्ट्या ते समीकरण म्हणून व्यक्त केले जाते.

$X_1 = f(X_2, X_{3,...} X_n)$ eq.1

समीकरण I हे असे देखील लिहिले जाऊ शकते

$f_1(X_1, X_2, X_{3,...} X_n) = 0 \qquad eq. 2$

समीकरण II हे एक आयामी एकसंध समीकरण आहे. त्यात n चल आहेत. जर m मूलभूत परिमाणे असतील तर बकिंगहॅमच्या π -प्रमेयानुसार, समीकरण II हे परिमाणहीन गटांच्या संख्येच्या किंवा π -पदांच्या अंतर्भागात लिहिले जाऊ शकते ज्यामध्ये π -पदांची संख्या (n-m) च्या बरोबरीची असते. म्हणून, समीकरण II असे बनते

$f(\pi_1, \pi_2, \ldots \ldots \ldots \ldots .. \pi_{n-m}) = 0$

प्रत्येक π -पद हे आयामहीन आहे आणि ते प्रणालीपासून स्वतंत्र आहे. स्थिरांकाने भागाकार किंवा गुणाकार केल्याने π -पदाचे स्वरूप बदलत नाही. प्रत्येक π -पदामध्ये m+1 चल असतात, जिथे m ही मूलभूत परिमाणांची संख्या असते आणि त्याला पुनरावृत्ती चल देखील म्हणतात. वरील प्रकरणात समजा X_2,X_(3,) X_4 हे पुनरावृत्ती चल आहेत जर मूलभूत परिमाण m (M,L,T) = 3 असेल. नंतर प्रत्येक π -पद असे लिहिले जाते.

$\pi_1 = X_2^{a_1}.X_3^{b_1}.X_4^{c_1}.X_1$

$\pi_2 = X_2^{a_2}.X_3^{b_2}.X_4^{c_2}.X_2$

……………………..

……………………..

………………..........

$\pi_{n-m} = X_2^{a_{n-m}}.X_3^{b_{n-m}}.X_4^{c_{n-m}}.X_n \qquad eq. IV$

प्रत्येक समीकरण आयामी एकरूपतेच्या तत्त्वाने सोडवले जाते आणि a_1,b1,c_1 इत्यादी मूल्ये मिळवली जातात. ही मूल्ये समीकरण IV मध्ये बदलली जातात आणि π_1,π_2,………….π_(n-m) ची मूल्ये मिळवली जातात.

'π s' ची ही मूल्ये समीकरण III मध्ये बदलली जातात. घटनेचे अंतिम समीकरण π -पदांपैकी कोणत्याही एका पदाला इतरांच्या कार्य म्हणून व्यक्त करून मिळवले जाते.

$\pi_1 = \varphi[\pi_2, \pi_3 \ldots \ldots \ldots \pi_{n-m}]$

$\pi_2 = \varphi[\pi_1, \pi_3 \ldots \ldots \ldots \pi_{n-m}]$

पुनरावृत्ती होणाऱ्या चलांची निवड करण्याची पद्धत: पुनरावृत्ती होणाऱ्या चलांची संख्या समस्येच्या मूलभूत परिमाणांच्या संख्येइतकीच आहे. पुनरावृत्ती होणाऱ्या चलांची निवड खालील बाबींवर अवलंबून असते:

1. शक्यतो, अवलंबित चल पुनरावृत्ती होणाऱ्या चल म्हणून निवडू नये.

2. पुनरावृत्ती होणाऱ्या चलांची निवड अशा प्रकारे करावी की एका चलात भौमितिक गुणधर्म असेल, दुसऱ्या चलात प्रवाह गुणधर्म असेल आणि तिसऱ्या चलात द्रव गुणधर्म असेल.

भौमितिक गुणधर्म असलेले चल म्हणजे (i) लांबी, (ii) d, (iii) उंची, H इ.

प्रवाह गुणधर्म असलेले चल (i) वेग, V, (ii) त्वरण इ.

द्रव गुणधर्म असलेले चल :(i)μ,(ii)ρ,(iii)ω इ.

3. निवडलेले पुनरावृत्ती होणाऱ्या चलांचा आकारहीन गट तयार करू नये.

4. पुनरावृत्ती होणाऱ्या चलांमध्ये एकत्रितपणे मूलभूत परिमाणांची संख्या समान असणे आवश्यक आहे.

5. कोणत्याही दोन पुनरावृत्ती होणाऱ्या चलांचे आकारमान समान नसावे.

बहुतेक द्रव यांत्रिकी समस्यांमध्ये, पुनरावृत्ती होणाऱ्या चलांची निवड (i) d, v, ρ (ü) l, v, ρ किंवा (iii) l, v, μ किंवा (iv) d, v, μ असू शकते.

आयामरहित संख्या (Dimensionless Numbers):

आयामहीन संख्या म्हणजे अशा संख्या ज्या जडत्व बलाला चिकट बल किंवा गुरुत्वाकर्षण बल किंवा दाब बल किंवा पृष्ठभाग ताण बल किंवा लवचिक बलाने भागून मिळवल्या जातात. हे एका बलाचे दुसऱ्या बलाशी गुणोत्तर असल्याने, ती एक आयामहीन संख्या असेल. खालील महत्त्वाच्या आयामहीन संख्या आहेत:

1. रेनॉल्डची संख्या (Reynolds Number)
2. फ्राउड्स संख्या (Froudes number),
3. युलर्स संख्या (Euler's number,)
4. वेबरची संख्या (Weber's number),
5. मॅकची संख्या (Mach's number)

1) रेनॉल्डची संख्या(Reynold's Number) (Re**):**

वाहत्या द्रवाच्या inertia forceआणि द्रवाच्या चिकट बलाचे(viscous force) गुणोत्तर म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते.

$$\boldsymbol{R_e = \frac{F_i}{F_v}}$$

रेनॉल्डच्या संख्येसाठीची अभिव्यक्ती अशी मिळते

जडत्व बल (Fi)=वस्तुमान*वाहत्या द्रवाचे प्रवेग

= ρ*आवाज*वेग/वेग

= ρ*आवाज/वेग*वेग (आवाज/वेग=क्षेत्रफळ*वेग=A*V)

जडत्व बल $(F_i) = \rho * A * V * V = \rho A V^2$

स्निग्ध बल (Fv) =शीअर स्ट्रेस*क्षेत्रफळ

$= \tau * A$

$= \left(\mu\left(\frac{du}{dy}\right) * A\right)$

स्निग्ध बल $(F_v) = \left(\mu \frac{u}{L} A\right)$ as $\frac{du}{dy} = \frac{u}{L}$

रेनॉल्ड्स संख्येच्या व्याख्येनुसार

$$\boldsymbol{R_e = \frac{\rho V L}{\mu}}$$

2. फ्रॉडची संख्या (Froudes number (Fe):

फ्रॉडची संख्या ही वाहत्या द्रवाच्या जडत्व बलाच्या (inertia force)गुरुत्वाकर्षण बलाशी(gravitational foece) असलेल्या गुणोत्तराचे वर्गमूळ म्हणून परिभाषित केली जाते.

गणितीयदृष्ट्या, ती

$$F_e = \sqrt{\frac{F_i}{F_g}}$$

जिथे $(F_i) = \rho * A * V * V = \rho A V^2$

Fg=गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारे बल=वस्तुमान x गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारे त्वरण

Fg=घनता*आवाज*गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारे त्वरण

$Fg=\rho L^3 g$ म्हणून $V=L^3$

$Fg=\rho ALg$ म्हणून $A= L^2$

जसे

$$F_e = \sqrt{\frac{F_i}{F_g}} = \sqrt{\frac{\rho AV^2}{\rho ALg}} = \sqrt{\frac{V^2}{Lg}} = \frac{V}{\sqrt{Lg}}$$

$$\boldsymbol{F_e = \frac{V}{\sqrt{Lg}}}$$

3) युलरची संख्या(Euler's Number)(Eu):

ही वाहत्या द्रवाच्या जडत्व बलाच्या (inertia force)दाब बलाशी (pressure force)असलेल्या गुणोत्तराचे वर्गमूळ म्हणून परिभाषित केली जाते. गणितीयदृष्ट्या, ती

$$E_u = \sqrt{\frac{F_i}{F_p}}$$

असे व्यक्त केली जाते जिथे $F_{p=}$ दाबाची तीव्रता x क्षेत्रफळ

$$F_{p=}pA$$

$$F_i = \rho AV^2$$

$$E_u = \sqrt{\frac{F_i}{F_p}} = \sqrt{\frac{\rho AV^2}{pA}} = \sqrt{\frac{V^2}{p/\rho}} = \frac{V}{\sqrt{p/\rho}}$$

$$\boldsymbol{E_u = \frac{V}{\sqrt{p/\rho}}}$$

4. वेबरची संख्या(Weber's number) (We):

हे पृष्ठभागाच्या तणाव शक्तीमध्ये वाहत्या द्रवपदार्थाच्या जडत्व शक्तीच्या प्रमाणात स्क्वेअर रूट म्हणून परिभाषित केले जाते.

गणिताने, ते म्हणून व्यक्त केले जाते

वेबरची संख्या, $W_e = \sqrt{\frac{F_i}{F_s}}$

Fs = पृष्ठभाग तणाव शक्ती=$F_i = \rho AV^2$

Fs = प्रति युनिट लांबी*पृष्ठभागावरील तणाव*लांबी

Fs = σ*l

$$F_s = \sigma * L$$

$$, W_e = \sqrt{\frac{F_i}{F_s}} = \sqrt{\frac{\rho AV^2}{\sigma * L}} = \sqrt{\frac{\rho L^2 v^2}{\sigma * L}} \quad as\ A = L^2$$

$$W_e = \sqrt{\frac{\rho L v^2}{\sigma}} = \sqrt{\frac{V^2}{\sigma/\rho L}} = \frac{V}{\sqrt{\sigma/\rho L}}$$

5. मॅच संख्या(Mach Number) (M)**:** माचची संख्या लवचिक शक्तीमध्ये वाहत्या द्रवपदार्थाच्या जडत्व शक्तीच्या गुणोत्तरांच्या वर्गमूळाएवढी असते.

गणिताने, हे परिभाषित केले आहे

$$M = \sqrt{\frac{Inertia\ force}{Elastic\ force}} = \sqrt{\frac{F_i}{F_e}}$$

$$F_i = \rho AV^2$$

$$F_e = Elastic\ force = Elastic\ stress\ X\ Area$$

$F_e = KA = KL^2$ where K = Elastic stress

$$M = \sqrt{\frac{\rho AV^2}{KL^2}} = \sqrt{\frac{\rho L^2 V^2}{KL^2}} = \sqrt{\frac{\rho V^2}{K}} = \sqrt{\frac{V^2}{K/\rho}} = \frac{V}{\sqrt{K/\rho}}$$

$$\boldsymbol{M = \frac{V}{C}}$$

Numerical:

1) Two horizontal plates are placed 1.25 cm apart, the space between them being filled with oil of viscosity 14 poises. Calculate the shear stress in oil if upper plate is moved with a velocity of 2.5 m/s.

Sol. Given

Distance between plates, dy = 1.25 cm = 0.0125 m

Viscosity=14 poise =0.14 Ns/m^2

Velocity of upper plate, u= 2.5 m/sec. oD lde

Shear stress is given by equation

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

du = Change of velocity between plates = 4-0 = u = 2.5 m/sec.

dy = 0.0125 m.

$$\tau = 014x\frac{2.5}{0.0125} = 280\ N/m^2$$

2) Determine the viscosity of a liquid having kinematic viscosity 6 stokes and specific gravity 1.9.

Solution:

Kinematic viscosity $=\nu = 6\ stokes = 6\ cm^2/s$ = 6x $10^{-4}\ m^2/s$

Specific gravity of liquid = 1.9

$$Specific\ gravity\ of\ a\ liquid\ = \frac{Density\ of\ the\ liquid}{Density\ of\ water}$$

$$1.9\ = \frac{Specific\ gravity\ of\ a\ liquid}{1000}$$

$$Specific\ gravity\ of\ a\ liquid\ = 1900\ kg/m^3$$

The relation between kinematic viscosity and dynamic viscosity is as follows

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

$$6\text{x}\ 10^{-4} = \frac{\mu}{1900}$$

$$\mu = 6\text{x}\ 10^{-4}x1900$$

$$\mu = 1.14\ Ns/m^2$$

$$\mu = 1.14\frac{Ns}{m^2} = \ 1.14\ x10 = 11.40\ poise$$

3) A single U-tube manometer containing mercury is connected to a pipe in which a fluid of specific gravity 0.8 and having vacuum pressure is flowing. The other end of manometer is open to atmosphere. Find the vacuum pressure in pipe. If the difference of mercury level in the two limbs is 40 cm and the height of fluid in the left from the centre of pipe is 15 cm below.

Solution:

Sp.gr.of fluid $S_1 = 0.8$

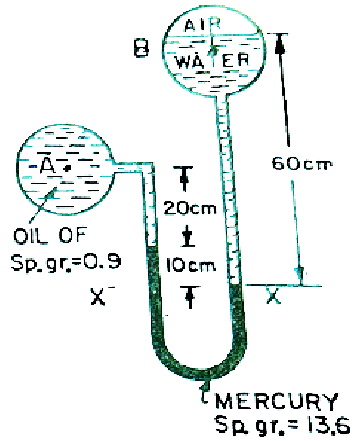
Sp.gr.of mercury $S_2 = 13.6$

Density of fluid $\rho_1 = 800\ kg/m^3$

Density of mercury $\rho_2 = 13600\ kg/m^3$

Difference in mercury level,$h_2\ = 40\ cm = 0.4\ m$

Height of liquid inleft limb , $h_1\ = 15\ cm = 0.15\ m$



Let the pressure in pipe =p

Equating pressure above datum level A-A, we get

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

$p = -(\rho_2 g h_2 + \rho_1 g h_1)$

$p = -[13600 * 9.81 * 0.4 + 800 * 9.81 * 0.15]$

$p = -54543\ N/m^2$

4) A pipe contains an oil of specific gravity 0.9.A differential manometer connected at the two points A and B shows a difference in mercury level as 15 cm.Find the difference of pressure at two points.

Solution:

Specific gravity of oil =0.9

Density of oil =ρ_1 = 0.9*1000 = 900 kg/m^3

Difference in mercury level h = 15 cm = 0.15 m

Sp.gr.of mercury = 13.6

Density of mercury $\rho_g = 13600\ kg/m^3$

The difference of pressure

$p_A - p_b = gh(\rho_g - \rho_1)$

$p_A - p_b = 9.81 * 0.15(13600 - 900)$

$p_A - p_b = 18688\ N/m^2$

5) The differential manometer is connected at the two points A and B of two pipes as shown in Fig. The pipe A contains a liquid of sp. gr. = 1.5 while pipe B contains a liquid of sp. gr. = 0.9, the pressures at A and B are l kgf/cm² and 1.80 kgf/cm² respectively. Find the difference in mercury level in the differential manometer.

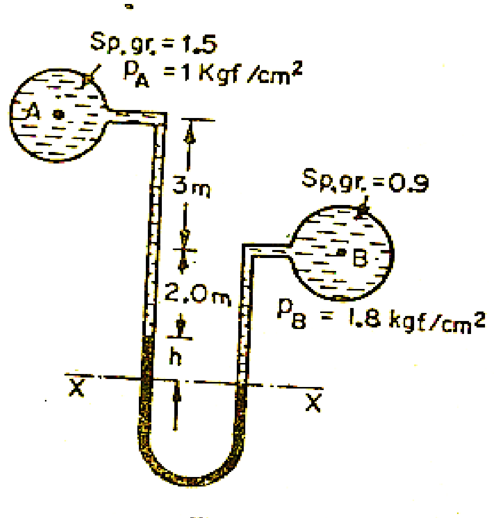
Solution: Given

Sp.gr.of fluid $at\ A\ \ S_1 = 1.5$

Sp.gr.of fluid at B $S_2 = 0.9$

Density of fluid $\rho_1 = 1500\ kg/m^3$

Density of mercury $\rho_2 = 900\ kg/m^3$



Pressure at A

$$p_A = 1kgf/cm^2 = 1x10^4 kgf/m^2$$

$p_A = 10^4 x\ 9.81 N/m^2$ as (1 kgf = 9.81 N)

Pressure at B,

$$p_B = 1.8kgf/cm^2 = 1.8x10^4 kgf/m^2$$
$$p_B = 1.8x10^4 x\ 9.81 N/m^2$$

Density of mercury $= 13600\ kg/m^3$

Taking X-X as datum line.

Pressure above X-X in the left limb

$= \rho_1 g(h + x) + p_A$

$= 13.6\ x\ 1000\ x\ 9.81\ x\ h + 1500\ x\ 9.81\ x\ (2\ + 3)\ +\ p_A$

$= 13.6\ x\ 1000\ x\ 9.81\ x\ h + 7500\ x\ 9.81\ +\ 9.81\ x\ 10^4$

Pressure above X-X jn the right limb

$= \rho_g gh + \rho_1 gx + p_B$
$= 900x9.81x(h+2) + p_B$
$= 900x9.81x(h+2) + 1.8x\ 10^4 x9.81$

Equating the two pressure, we get
$\rho_g gh + \rho_1 gx + p_B = \rho_1 g(h+x) + p_A$
$13.6 * 1000 * 9.81 * h + 7500 * 9.81 + 9.81 * 10^4 = 900 * 9.81 * (h+2) + 1.8x\ 10^4 *$
9.81
Dividing by 1000*9.81
$13.6\ h + 7.5 * 9.81 + 10 = (h+2) * 9 + 18$
$13.6h + 17.5 = 0.9h + 1.8 + 18 = 0.9h + 19.8$
$(13.6 - 0.9)h = 19.8 - 17.5$
$12.7h = 2.3$
$h = \frac{2.3}{12.7} = 0.181\ m = 18.1\ cm$

6) Find the expression for the power P developed by a pump when P depends upon the head H, the discharge Q and specific weight w of the fluid.

Solution:

Power P is a function of

i) Head ,H
ii) Discharge, Q
iii) Specific weight ,w

$P = KH^a.Q^b.w^c$ eq.I
$where\ K = Non - dimentional\ constant$
Substituting the dimensions on both sides of equation
$MLT^{-3} = K.L^a\ (L^3T^{-1})^b (ML^{-2}.T^{-2})^c$ $eq.II$
Equating the dimensions on both sides of eq II
Power of M, 1= c c = 1
Power of K 2 = a + 3b - 2c
a = 2-3b+2c
a = 2-3+2
a = 1
Power of T -3 = -b-2c
b =3 -2cP
b = 3-2
b = 1

Substituting the values of a,b and c in eq.I

$$\boldsymbol{P = KH^1.Q^1.w^1}$$

7) The pressure difference ΔP in a pipe of diameter D and length l due to turbulent flow depends on the velocity u,viscosity μ ,density ρ and roughness k. Using Buckingham's π-theorem ,obtain an expression for ΔP.

Sol. Given:

ΔP is a function of D,l,u, μ ,ρ ,k

$$\Delta P = f(D, l, u, \mu, \rho, k)$$

$$f_1(D, l, u, \mu, \rho, k) = 0 \qquad eq.I$$

Total number of variables ,n = 7

Writing dimensions of each variable,

Dimension of $\Delta P = ML^{-1}T^{-2}, D = L, l = L, u = LT^{-1}, \mu = ML^{-1}T^{-1}, \rho = ML^{-3}, k = L$

Number of fundamental dimensions, m=3

Number of – π terms =n-m=7-3 = 4

Now equation I can be grouped in 4 π terms as

Each -tern contains m+ 1 or 3+ 1 =4 variables. Out of four variables, three are repeating variables, Choosing D, v and v as the repeating variables, we have four π terms as

$$\pi_1 = D^{a1}u^{b1}\rho^{c1}\Delta P$$

$$\pi_2 = D^{a2}u^{b2}\rho^{c2}l$$

$$\pi_3 = D^{a3}u^{b3}\rho^{c3}\mu$$

$$\pi_4 = D^{a4}u^{b4}\rho^{c4}k$$

First –term

$$\pi_1 = D^{a1}u^{b1}\rho^{c1}\Delta P$$

Substituting dimensions on both sides,

$$M^{0,}L^0T^0 = L^{a1}.(LT^{-1})^{b1}.(ML^{-3})^{c1}.ML^{-1}T^{-2}$$

Equating the powers of M, L, T on both sides,

Power of M, $0 = c_1 + 1 \qquad c_1 = -1$

Power of L, $0 = a_1 + b_1 - 3c_1 - 1 \qquad a_1 = -b_1 + 3c_1 + 1 \quad a_1 = 2 - 3 + 1 = 0$

Power of T, $0 = -b_1 - 2$ $b_1 = -2$

Substituting the values of a_1, b_1 and c_1 in π_1

$$\pi_1 = D^0 u^{-2} \rho^{-1} \Delta P = \frac{\Delta P}{\rho u^2}$$

Second –π term.

$$\pi_2 = D^{a2} u^{b2} \rho^{c2} l$$

Substituting dimensions on both sides,

$$M^{0,} L^0 T^0 = L^{a2}.(LT^{-1})^{b2}.(ML^{-3})^{c2}.L$$

Equating the powers of M, L, T on both sides,

Power of M, $0 = c_2$ $c_2 = 0$

Power of L, $0 = a_2 - b_2 - 3c_2 + 1$ $a_2 = b_2 + 3c_2 - 1$ $a_2 = -1$

Power of T, $0 = -b_2$ $b_1 = 0$

Substituting the values of a_2, b_2 and c_2 in π_2

$$\pi_2 = D^{-1} u^0 \rho^0 l = \frac{l}{D}$$

Third –π term.

$$\pi_3 = D^{a3} u^{b3} \rho^{c3} \mu$$

Substituting dimensions on both sides,

$$M^{0,} L^0 T^0 = L^{a3}.(LT^{-1})^{b3}.(ML^{-3})^{c3}.\mu$$

Equating the powers of M, L, T on both sides,

Power of M, $0 = c_3 + 1$ $c_3 = -1$

Power of L, $0 = a_3 + b_3 - 3c_3 - 1$ $a_3 = -b_3 + 3c_3 + 1$ $a_3 = 1 - 3 + 1 = -1$

Power of T, $0 = -b_3 - 1$ $b_3 = -1$

Substituting the values of a_3, b_3 and c_3 in π_3

$$\pi_3 = D^{-1} u^{-1} \rho^{-1} \mu = \frac{\mu}{Du\rho}$$

Fourth –π term.

$$\pi_4 = D^{a4} u^{b4} \rho^{c4} k$$

Substituting dimensions on both sides,

$$M^{0,} L^0 T^0 = L^{a4}.(LT^{-1})^{b4}.(ML^{-3})^{c4}.k$$

Equating the powers of M, L, T on both sides,

Power of M, $0 = c_4$ $c_4 = 0$

Power of L, $0 = a_4 + b_4 - 3c_4 + 1$ $a_4 = b_4 + 3c_4 - 1$ $a_4 = -1$

Power of T, $0 = -b_4$ $b_4 = 0$

Substituting the values of $a_4, b_4\ and\ c_4\ in\ \pi_4$

$$\pi_4 = D^{-1}u^0\rho^0 k = \frac{k}{D}$$

Substituting the values of $\pi_1, \pi_2, \pi_3 and \pi_4$ in eq.II ,we get

$$f_1\left(\frac{\Delta P}{\rho u^2}, \frac{l}{D}, \frac{\mu}{Du\rho}, \frac{k}{D}\right) = 0$$

$$\frac{\Delta P}{\rho u^2} = \Phi\left[\frac{l}{D}, \frac{\mu}{Du\rho}, \frac{k}{D}\right]$$

UNIT II FLOW OF INCOMPRESSIBLE FLUIDS
असंकुचित द्रवपदार्थांचा प्रवाह

CO2 : Apply law of conservation of mass and energy to the flowing fluids.
अपलाय law ऑफ कॉनझारव्हेशन ऑफ मास अँड एनर्जी टू फ्लोविंग फ्लुईडस

TLO 2.1 State and derive equation of continuity.
स्टेट अँड Derive equation ऑफ कॉन्टीनुटी

TLO 2.2 State Eular,s equations of motion.
स्टेट यूलर्स equation ऑफ मोशन

TLO 2.3 Derive the Bernoullies equation
Derive बर्नोल्लीएस equation

TLO 2.4 Perform the Reynolds experiment to study different types of flow.
परफॉर्म रेनॉल्ड्स एक्सपेरिमेंट टू स्टडी डिफरेन्ट टाइप्स ऑफ फ्लो

TLO 2.5 Evaluate the losses in pipes due to pipte fittings.
पाईपमुळे पाईप फिटिंग मध्ये होणारे losses Evaluate kara

२.० प्रस्तावना: दाब वाढल्यावर असंकुचित द्रवपदार्थ त्याची घनता (Density) बदलत नाही. कोणताही वास्तविक असंकुचित द्रवपदार्थ अस्तित्वात नाही, परंतु जर बदल खूपच लहान असेल तर द्रवपदार्थ असंकुचित आहे असे म्हणता येईल. उदाहरणांमध्ये पाणी आणि तेल यांचा समावेश आहे. ब्रेकिंग सिस्टमसारख्या हायड्रॉलिक (Hydraulic Breaking System) सिस्टीममध्ये तेलाचा वापर याच कारणामुळे केला जातो.

२.१ सातत्य समीकरण: सातत्य समीकरण (Continuty equation) हे पाईपच्या क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्राचे गुणाकार आणि कोणत्याही बिंदूवर द्रवपदार्थाच्या वेगाचे गुणाकार म्हणून देखील परिभाषित केले जाऊ शकते जेव्हा पाईप नेहमीच स्थिर असतो आणि हे गुणाकार प्रति सेकंद आकारमान प्रवाहाच्या समान असते. जिथे, R = आकारमान प्रवाह दर. A = प्रवाह क्षेत्र.

सातत्य समीकरण हे द्रव गतिमानतेतील एक मूलभूत तत्व आहे जे असंकुचित द्रवपदार्थासाठी (Incompressible Fluids) वस्तुमानाचे संवर्धन व्यक्त करते. ते सांगते की द्रवपदार्थाचा वस्तुमान प्रवाह दर पाईपच्या एका क्रॉस-सेक्शनपासून दुसऱ्या क्रॉस-सेक्शनपर्यंत स्थिर राहतो.

संकुचित न होणाऱ्या द्रवपदार्थासाठी, समीकरण असे आहे:

$$A1\ v1 = A2\ v2$$

कुठे:

- A1, A2 = प्रवाहातील दोन वेगवेगळ्या बिंदूंवरील क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रे
- v1,v2 = या बिंदूंवरील द्रव वेग.

संकुचित न होणाऱ्या द्रवपदार्थांसाठी सातत्य समीकरण: संकुचित न होणाऱ्या द्रवपदार्थासाठी, समीकरण बदलत्या घनतेसाठी जबाबदार आहे:

$$\partial\rho/\partial t + \nabla\cdot(\rho v) = 0$$

• जर पाईप अरुंद झाला (A कमी झाला), तर समान वस्तुमान प्रवाह दर राखण्यासाठी वेग (v) वाढला पाहिजे.

जर पाईप रुंद झाला (A वाढला), तर वेग कमी होतो.

पाईप्समधील द्रव प्रवाह, एअरफोइल वायुगतिकी आणि धमन्यांमधील रक्त परिसंचरण समजून घेण्यासाठी हे तत्व महत्त्वाचे आहे.

२.१.१ वस्तुमान प्रवाह दर (मी): (Mass Flow Rate) वस्तुमान प्रवाह दर म्हणजे दिलेल्या क्रॉस-सेक्शनमधून प्रति युनिट वेळेत जाणारे वस्तुमान. द्रव गतिमानता, अभियांत्रिकी आणि उष्मप्रवाहशास्त्रात हे एक महत्त्वाचे पॅरामीटर आहे.

$$\dot{m} = \rho A v$$

कुठे:

- $\dot{m}$ = वस्तुमान प्रवाह दर (किलो/सेकंद)
- ρ = द्रवाची घनता (किलो/मी^{3})
- A = प्रवाहाचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र (मी ^{2})
- v = द्रवाचा वेग (मी /सेकंद)

• जर द्रव संकुचित करता येत नसेल (स्थिर घनता), तर वस्तुमान प्रवाह दर एका प्रवाहात स्थिर राहतो.

• जर द्रव संकुचित करता येत असेल, तर घनता बदलू शकते, ज्यामुळे वस्तुमान प्रवाह दरावर परिणाम होतो.

आकारमान प्रवाह दराशी संबंध:

$$\dot{m} = \rho Q$$

कुठे:

- Q = A v
- Av हा आकारमान प्रवाह दर (म^3/सेकंद) आहे.

अशाप्रकारे, असंकुचित द्रवपदार्थांसाठी, वस्तुमान प्रवाह दर केवळ क्षेत्रफळ आणि वेगावर अवलंबून असतो, तर संकुचित द्रवपदार्थांसाठी, घनतेतील फरक देखील विचारात घेतले पाहिजेत.

२.१.२ आकारमानात्मक प्रवाह दर (Q): (Volumetric Flow Rate) आकारमानात्मक प्रवाह दर म्हणजे दिलेल्या क्रॉस-सेक्शनमधून प्रति युनिट वेळेत वाहणाऱ्या द्रवाचे आकारमान. द्रव यांत्रिकी आणि अभियांत्रिकी अनुप्रयोगांमध्ये हा एक आवश्यक पॅरामीटर आहे.

$$Q = A v$$

कुठे:

- Q = आकारमानात्मक प्रवाह दर (मी ^{3}/सेकंद)
- A = प्रवाहाचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र (मी)

- v = द्रव वेग (मी /सेकंद)

वस्तुमान प्रवाह दराशी संबंध:

$$\dot{m} = \rho Q$$

कुठे:

- $\dot{m}$ = वस्तुमान प्रवाह दर (किलो/सेकंद)
- ρ = द्रव घनता (किलो/मी^{3})

• जर पाईप अरुंद झाला (A कमी झाला), तर स्थिर आकारमानात्मक प्रवाह दर राखण्यासाठी वेग (v) वाढतो.

• संकुचित न होणाऱ्या द्रवांसाठी, आकारमानात्मक प्रवाह दर एका प्रवाहरेषेसह स्थिर राहतो.

• संकुचित न होणाऱ्या द्रवांसाठी, घनतेतील फरक प्रवाहावर परिणाम करू शकतात.

२.१.३ द्रव प्रवाहातील सरासरी वेग (Vavg): (Average Velocity) नाल्यातील द्रवाचा सरासरी वेग म्हणजे क्रॉस-सेक्शनमध्ये प्रत्यक्ष बदलत्या वेग प्रोफाइलइतकाच आकारमानात्मक प्रवाह दर निर्माण करणारा एकसमान वेग.

$$V_{avg} = Q/A$$

कुठे:

- V_{avg} = सरासरी वेग (म/सेकंद)
- Q = आकारमानात्मक प्रवाह दर (मी ^{3}/सेकंद)
- A = प्रवाहाचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र (मी^{2})

वस्तुमान प्रवाह दराशी संबंध: $Q = A\,V_{avg}$ असल्याने, वस्तुमान प्रवाह दर आहे:

$$\dot{m} = \rho . Q$$

$$\dot{m} = \rho . A . V_{avg}$$

कुठे ρ हा द्रव घनता आहे.

उपयोग:

• पाईप्स आणि नलिकांमध्ये द्रव प्रवाह गणनांमध्ये वापरला जातो.

• प्रवाह व्यवस्था (लॅमिनेर किंवा अशांत) निश्चित करण्यास मदत करते.

• HVAC, पाणी वितरण आणि वायुगतिकी सारख्या अभियांत्रिकी अनुप्रयोगांमध्ये महत्वाचे.

२.१.४ वस्तुमान वेग (G): (Mass Velocity) वस्तुमान वेग हा प्रति युनिट क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्राचा वस्तुमान प्रवाह दर आहे. तो पृष्ठभागावरून द्रवाचा वस्तुमान प्रवाह दर्शवतो आणि नलिका, नोझल आणि उष्णता विनिमयकर्त्यांमध्ये द्रव प्रवाहाचे विश्लेषण करण्यासाठी उपयुक्त आहे.

$$G = \dot{m} / A$$

कुठे:

- G = वस्तुमान वेग (किलो/मी²• सेकंद)
- $\dot{m}$ = वस्तुमान प्रवाह दर (किलो/ सेकंद)
- A = प्रवाहाचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र (मी²)

कारण वस्तुमान प्रवाह दर $\dot{m} = \rho A v$ वस्तुमान वेग असे देखील लिहिले जाऊ शकते:

$$G = \rho . v$$

कुठे:

- ρ = द्रव घनता (किलो/मी³)
- v = प्रवाह वेग (मी /सेकंद)
- स्थिर, संकुचित न होणाऱ्या प्रवाहासाठी, G एका प्रवाहात स्थिर राहतो.
- संकुचित प्रवाहासाठी, घनता लक्षणीयरीत्या बदलल्यास G बदलू शकते.
- उष्णता हस्तांतरण, वायू गतिशीलता आणि रासायनिक अभियांत्रिकी प्रक्रियांमध्ये वापरले जाते.

२.१.५ द्रव प्रवाहातील बिंदू वेग: (Point Velocity) बिंदू वेग म्हणजे प्रवाह क्षेत्रामधील एका विशिष्ट ठिकाणी द्रवाचा वेग. सरासरी वेगाच्या विपरीत, जो पाईप किंवा चॅनेलच्या क्रॉस-सेक्शनमधील सरासरी वेग आहे, बिंदू वेग प्रवाह प्रोफाइल आणि द्रवातील स्थानानुसार बदलतो.

१. लॅमिनार फ्लो (पॅराबॉलिक प्रोफाइल) (Laminar Flow)

• लॅमिनार फ्लो ($Re < 2000$) मध्ये, वेग प्रोफाइल पॅराबॉलिक असतो, पाईपच्या मध्यभागी सर्वाधिक वेग असतो.

• वर्तुळाकार पाईपमध्ये r रेडियल स्थितीवरील बिंदू वेग याद्वारे दिला जातो:

$$v(r) = V_{max} (1 - r2 / R2)$$

कुठे:

V_{max} = केंद्रस्थानी कमाल वेग ($r=0$)

R = पाईप त्रिज्या

r = केंद्रापासून रेडियल स्थिती

कमाल वेग सरासरी वेग (V_{avg}) शी संबंधित आहे:

$$V_{max} = 2V_{avg}$$

2. Turbulent प्रवाह (फ्लॅटर प्रोफाइल)

o Turbulent प्रवाहात ($Re > 4000$), मध्यवर्ती भागात वेग प्रोफाइल सपाट असतो परंतु भिंतींजवळ तीव्रपणे खाली येतो.

o अनुभवजन्य पॉवर-लॉ वेग वितरण आहे:

$$v(r) = V_{max} (1 - r / R)n$$

जिथे n रेनॉल्ड्स संख्येवर अवलंबून असते (सामान्य अशांत प्रवाहासाठी $n \approx 7$).

3. सीमा स्तर आणि बिंदू वेग (Boundry Layer and Point velocity)

पाईपच्या भिंतींजवळ, एक सीमा स्तर तयार होतो, जो घर्षणामुळे वेग कमी करतो.

भिंतीवरील वेग ग्रेडियंट (dv/dy) भिंतीवरील कातरण्याचा ताण निश्चित करतो:

$$Tw = \mu\ (dv\ /\ dy)\ \text{भिंत}$$

जिथे μ ही गतिमान चिकटपणा आहे.

बिंदू वेगाचे मोजमाप:

- पिटॉट ट्यूब – (Pitot Tube) वेग निश्चित करण्यासाठी स्थिरता आणि स्थिर दाब मोजते.
- लेसर डॉप्लर ॲनिमोमेट्री (LDA) - एका बिंदूवर वेग मोजण्यासाठी लेसर बीम वापरते.
- हॉट-वायर ॲनिमोमेट्री - स्थानिक वेग निश्चित करण्यासाठी उष्णता कमी करण्याचे मोजमाप करते.

प्रवाहाचे प्रकार:

a. स्थिर प्रवाह: "स्थिर प्रवाह" (Static Flow) म्हणजे द्रव गतिमानतेतील अशा स्थितीचा संदर्भ जिथे दिलेल्या बिंदूवर द्रवाचा वेग, दाब आणि इतर गुणधर्म कालांतराने बदलत नाहीत. याचा अर्थ असा की प्रणालीतील प्रत्येक ठिकाणी द्रवाची गती स्थिर राहते.

स्थिर प्रवाहाची वैशिष्ट्ये:

१. प्रवाहाच्या कोणत्याही बिंदूवर वेग, दाब आणि घनता यासारखे गुणधर्म अपरिवर्तित राहतात.

२. द्रव कणांचा मार्ग कालांतराने बदलत नाही.

३. सातत्य समीकरण लागू होते: असंकुचित द्रवांसाठी, वस्तुमान प्रवाह दर संपूर्ण प्रणालीमध्ये स्थिर राहतो.

b. अस्थिर प्रवाह: (Dynamic Flow)अस्थिर प्रवाह म्हणजे द्रव गती जिथे वेग, दाब किंवा इतर प्रवाह गुणधर्म वेळेनुसार बदलतात, जागेतील कोणत्याही बिंदूवर. हे स्थिर प्रवाहाच्या विरुद्ध आहे, जिथे हे गुणधर्म कालांतराने स्थिर राहतात.

अस्थिर प्रवाहाचे वैशिष्ट्य आहे: $\partial v / \partial t \neq 0$ जिथे v हा द्रवाचा वेग आहे आणि t हा काळ आहे.

c) संकुचित प्रवाह: (Compressible Flow) संकुचित प्रवाह म्हणजे द्रव प्रवाह ज्यामध्ये द्रव घनता संपूर्ण गतीमध्ये लक्षणीयरीत्या बदलते.

d) संकुचित प्रवाह: संकुचित प्रवाह म्हणजे द्रव प्रवाह ज्यामध्ये द्रव घनता संपूर्ण गतीमध्ये स्थिर राहते.

e) अदृश्य प्रवाह: अदृश्य प्रवाह हा एक आदर्श द्रव प्रवाह आहे जिथे चिकट बलांकडे दुर्लक्ष केले जाते, म्हणजेच द्रवाची स्निग्धता शून्य असते (μ=0).

२.२. गतीची समीकरणे: (Equation of Motion) हे गतिमान वस्तूचे विस्थापन, वेग, प्रवेग आणि वेळ यांच्यातील संबंध वर्णन करते. समीकरणांचे दोन प्राथमिक संच आहेत:

१. न्यूटनची गतीची समीकरणे (गतिज समीकरणे): ही समीकरणे सरळ रेषेत स्थिर प्रवेगाने हालणाऱ्या वस्तूंना लागू होतात.

१. पहिले समीकरण (वेग-वेळ संबंध)

$$V = u + at$$

V = अंतिम वेग

u = प्रारंभिक वेग

a = प्रवेग

t = वेळ

२. दुसरे समीकरण (विस्थापन-वेळ संबंध)

s = u t + ½ at2

s = विस्थापन

३. तिसरे समीकरण (वेग-विस्थापन संबंध)

v2 = u2 + 2 म्हणून

गतीशी संबंधित समस्या सोडवण्यासाठी ही समीकरणे शास्त्रीय यांत्रिकीमध्ये मोठ्या प्रमाणात वापरली जातात.

युलरचे गती समीकरण: हे द्रव यांत्रिकीमधील एक मूलभूत समीकरण आहे आणि वेग क्षेत्र आणि द्रवावर कार्य करणाऱ्या बलांमधील संबंधांचे वर्णन करते. हे न्यूटनच्या गतीच्या दुसऱ्या नियमापासून घेतले आहे आणि ते याद्वारे दिले आहे:

DV / Dt = −1/ρ ∇P + g + F

कुठे:

DV/Dt हे वेगाचे भौतिक (किंवा एकूण) व्युत्पन्न आहे, जे प्रवेग दर्शवते.

ρ हे द्रव घनता आहे.

P हे दाब क्षेत्र आहे.

g हे गुरुत्वाकर्षण प्रवेग (किंवा प्रति युनिट वस्तुमान कोणतेही बल) आहे.

F हे प्रति युनिट वस्तुमान इतर कोणत्याही बाह्य शरीर बलांचे प्रतिनिधित्व करते.

अदृश्य प्रवाह:

आदर्श (अ-चिकट) द्रवपदार्थासाठी, गुरुत्वाकर्षणाव्यतिरिक्त इतर बाह्य बलांकडे दुर्लक्ष करून, समीकरण सोपे करते:

DV / Dt = −1/ρ ∇P + g

हे समीकरण एका प्रवाहात एकत्रित केल्यावर बर्नौलीच्या समीकरणाचा आधार बनवते.

२.३ बर्नौलीचे समीकरण: "एका स्थिर, संकुचित न होणाऱ्या आणि चिकट नसलेल्या द्रवपदार्थाच्या प्रवाहात, एकूण यांत्रिक ऊर्जा (दाब ऊर्जा, गतिज ऊर्जा आणि स्थितीज ऊर्जेची बेरीज) स्थिर राहते." गणितीयदृष्ट्या, बर्नौलीचे समीकरण असे व्यक्त केले आहे:

P+1/2 ρv2 + ρ gh = स्थिर

कुठे:

- P = प्रति युनिट आकारमान दाब ऊर्जा (Pa)
- ρ = द्रव घनता (किलो/ मी^{3})
- v = प्रवाह वेग (मी/ सेकंद)
- g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारा प्रवेग (9.81 मी/ सेकंद ^{2})
- h = संदर्भ बिंदूपेक्षा उंची (मी)

बर्नौलीच्या समीकरणाचे गृहीतके:(Assumptions of Bernoullies equations)

अ) द्रवपदार्थ संकुचित न होणारा आहे (स्थिर घनता).

ब) प्रवाह स्थिर आहे (कालांतराने कोणताही बदल होत नाही).

क) द्रवपदार्थ चिकट नसलेला आहे (अंतर्गत घर्षण नाही).

ड) प्रवाह एका प्रवाहात होतो (अशांतता किंवा क्रॉस-स्ट्रीम प्रभाव नाही).

ई) प्रवाह फिरत नाही.

फ) घर्षणाचा परिणाम नगण्य आहे.

छ) द्रवपदार्थावर फक्त गुरुत्वाकर्षण आणि दाब बल कार्य करतात, इतर कोणतेही बाह्य बल नाहीत.

ह) क्रॉस सेक्शनवर वेग एकसमान असतो.

बर्नौलीच्या तत्त्वाचे उपयोग:

१. विमानाचे पंख (लिफ्ट जनरेशन): पंखांवरील जलद वायुप्रवाह कमी दाब निर्माण करतो, ज्यामुळे लिफ्ट निर्माण होते.

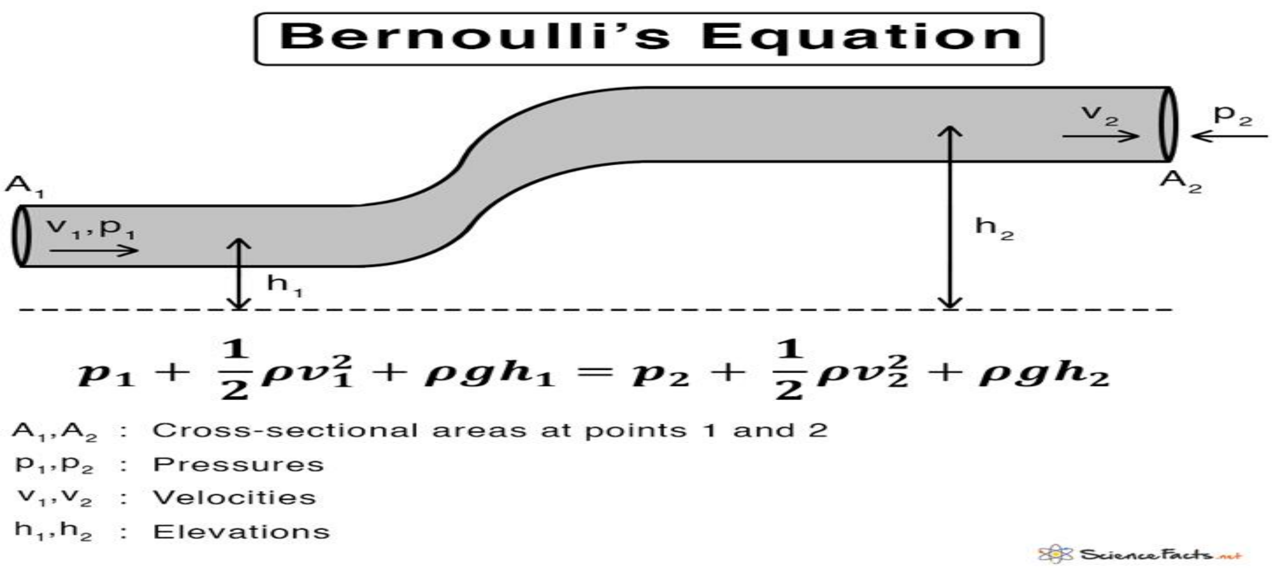
२. व्हेंचुरी मीटर: दाब फरकाने प्रवाहाचा वेग मोजण्यासाठी वापरला जातो.

३. कार्बोरेटर आणि ॲटोमायझर्स: दाब फरकाने इंधन-हवेचे मिश्रण नियंत्रित करा.

४. या ऊर्जा समजून घेतल्याने पंप, टर्बाइन, नोझल आणि हायड्रॉलिक प्रणाली कार्यक्षमतेने डिझाइन करण्यात मदत होते.

५. धमन्यांमधील रक्त प्रवाह: रक्तदाब आणि वेगातील फरक स्पष्ट करते.

बर्नौलीच्या समीकरणाची व्युत्पत्ती: बर्नौलीचे समीकरण मिळविण्यासाठी, आपण प्रवाहाच्या प्रवाहातून फिरणाऱ्या द्रव घटकावर उर्जेच्या संवर्धनाचे तत्व लागू करतो. आपण स्थिर, संकुचित न होणारा आणि चिकट नसलेला प्रवाह विचारात घेतो.



$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Fig. 2.1 Bernoullis diagram

पायरी १: द्रव घटकाचा विचार करा: एका प्रवाहमार्गावर फिरणाऱ्या Δm वस्तुमानाच्या एका लहान, द्रव घटकाचा विचार करा. द्रव घटक दोन बिंदूंमध्ये आहे, उदाहरणार्थ १ आणि २, प्रवाहमार्गावर.

बिंदू १ वर:

- दाब = P_1
- वेग = v_1
- उंची = h_1
- द्रव घनता = ρ

बिंदू २ वर:

- दाब = P_2
- वेग = v_2
- उंची = h_2

पायरी २: कार्य-ऊर्जा प्रमेय

कार्य-ऊर्जा प्रमेयानुसार, द्रव घटकावर बलांनी केलेल्या कार्यामुळे त्याची गतिज ऊर्जा आणि स्थितीज ऊर्जेत बदल होतो.

दाब बलांनी केलेले काम: द्रव घटकावर दाब बलांनी केलेले काम म्हणजे बिंदू १ आणि २ मधील दाबातील फरक, जो द्रव घटकाच्या आकारमानाने गुणाकार केला जातो.

दाब बलांनी केलेले काम = $(P1-P2)\ \Delta V$

जिथे ΔV हा द्रव घटकाचा आकारमान आहे.

गतिज ऊर्जा बदल: द्रव घटकाच्या गतिज ऊर्जेतील बदल असा आहे:

$\Delta K= 1/2\ \Delta m\ (v22-v12)$

संभाव्य ऊर्जा बदल: उंचीच्या फरकामुळे संभाव्य ऊर्जेतील बदल असा आहे:

$\Delta U = \Delta m\ g\ (h2-h1)$

पायरी ३: ऊर्जेचे संवर्धन लागू करा

यांत्रिक ऊर्जेच्या संवर्धनानुसार, दाब बलांद्वारे केलेल्या कामामुळे द्रवाच्या गतिज आणि संभाव्य उर्जेमध्ये बदल होतात. याचा अर्थ असा:

दाबाने केलेले काम = Δ गतिज ऊर्जा + Δ संभाव्य ऊर्जा

कार्य, गतिज ऊर्जा आणि संभाव्य उर्जेसाठी पदावली बदलणे:

$(P1-P2)\ \Delta V = ½\ \Delta m\ (v22-v12) + \Delta m\ g\ (h2-h1)\ (P1 - P2)$

पायरी ४: समीकरण सोपे करा

आता, संपूर्ण समीकरणाला Δm वस्तुमान आणि आकारमान $\Delta V = A\ \Delta x$ ने भागा (जिथे A हा क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र आहे आणि Δx हा द्रव घटकाची लांबी आहे). द्रवपदार्थ संकुचित न होणारा असल्याने, प्रति युनिट आकारमानाचे वस्तुमान ρ आहे आणि आपल्याकडे आहे:

$(P1-P2) / \rho = 1/2\ (v22-v12) + g\ (h2-h1)$

पुनर्रचना:

$$P1 + 1/2\ \rho v12 + \rho gh1 = P2 + 1/2\ \rho\ v22 + \rho\ gh2$$

पायरी ५: सामान्यीकृत बर्नौलीचे समीकरण (Bernoullies equation)
हे एका प्रवाहमार्गावर असंकुचित, स्थिर, चिकट नसलेल्या प्रवाहासाठी बर्नौलीच्या समीकरणाचे सामान्यीकृत रूप आहे:

$$P + 1/2 \rho v2 + \rho\ g\ h = \text{स्थिर}$$

या समीकरणाचा अर्थ असा आहे की स्थिर, असंकुचित प्रवाहात कोणत्याही प्रवाहमार्गावर दाब ऊर्जा, प्रति युनिट आकारमान गतीज ऊर्जा आणि प्रति युनिट आकारमान संभाव्य ऊर्जा यांची बेरीज स्थिर असते.

बर्नौलीचे समीकरण मूलतः द्रव प्रवाहासाठी यांत्रिक उर्जेच्या संवर्धनाचे विधान आहे. द्रव प्रवाहमार्गावर फिरत असताना प्रति युनिट आकारमान ऊर्जा स्थिर राहते. हे समीकरण द्रव गतिमानता समजून घेण्यासाठी मूलभूत आहे आणि द्रव मापन उपकरणांपासून ते वायुगतिकीपर्यंत विविध अनुप्रयोगांमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.

बर्नौलीचे वास्तविक द्रवपदार्थांसाठीचे समीकरण: (Bernoullies Equation for Real Fluids) बर्नौलीचे समीकरण आदर्श द्रवपदार्थांसाठी (असंकुचित, चिकट नसलेले आणि स्थिर प्रवाह) खूप उपयुक्त असले तरी, वास्तविक द्रवपदार्थांमध्ये चिकटपणा असतो आणि घर्षण, अशांतता आणि उष्णतेमुळे ऊर्जा नुकसान होते. परिणामी, वास्तविक द्रवपदार्थ प्रवाहातील या नुकसानाची गणना करण्यासाठी बर्नौली समीकरणात बदल करणे आवश्यक आहे.

वास्तविक द्रवपदार्थांसाठी दुरुस्त केलेले बर्नौली समीकरण: (Modified Bernoullies Equation)वास्तविक द्रवपदार्थांमध्ये, दुरुस्त केलेले बर्नौली समीकरण बहुतेकदा डोके नुकसान (घर्षण किंवा चिकटपणामुळे ऊर्जा गमावणे) आणि उद्भवणाऱ्या इतर कोणत्याही अपव्ययी परिणामांसाठी एक संज्ञा समाविष्ट करते. हे समीकरण असे लिहिता येईल:

$$P + 1/2 \rho v2 + \rho\ gh = \text{स्थिरांक} - hf$$

कुठे:

- P = बिंदूवरील दाब
- ρ = द्रव घनता
- v = बिंदूवरील वेग
- g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारे त्वरण
- h = उंची (संभाव्य ऊर्जा)
- hf = डोक्याचे नुकसान (घर्षण, अशांतता इत्यादींमुळे होणारे ऊर्जा नुकसान)

हेड लॉस (hf): hf (Head Loss) हा शब्द प्रवाहातील घर्षण आणि इतर प्रतिरोधक शक्तींमुळे गमावलेली ऊर्जा दर्शवतो. ते यासारख्या घटकांवर अवलंबून असते:

- पाईपची लांबी आणि व्यास
- पृष्ठभागाची खडबडीतपणा
- प्रवाह वेग
- द्रव गुणधर्म (उदा., चिकटपणा)
- प्रवाह व्यवस्था (लॅमिनेर किंवा अशांत)

हेड लॉस बहुतेकदा अनुभवजन्य सूत्रे वापरून निश्चित केले जाते, जसे की डार्सी-वेसबाख समीकरण किंवा कोलब्रुक-व्हाइट समीकरण, जे hf ला प्रवाह परिस्थिती आणि पाईप वैशिष्ट्यांशी जोडते.

दुरुस्त केलेल्या बर्नौली समीकरणाचे उपयोग:

१. पाईप्समधील प्रवाह: (Flow Through Pipe) वास्तविक पाईप सिस्टममध्ये, घर्षणामुळे प्रवाहाला ऊर्जा नुकसान सहन करावे लागते. दुरुस्त केलेले बर्नौली समीकरण या नुकसानांसाठी जबाबदार आहे.

२. व्हेंचुरी फ्लोमीटर: व्हेंचुरी ट्यूबमध्ये (प्रवाह मोजण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या) देखील, वास्तविक द्रव प्रवाहात काही ऊर्जा नुकसान होते ज्यांचा विचार करणे आवश्यक आहे.

३. टर्बाइन डिझाइन: टर्बाइन आणि पंपांच्या डिझाइनसाठी, कार्यक्षमता आणि कामगिरीचा अंदाज लावताना वास्तविक द्रव प्रभावांचा विचार केला जातो.

सुधारणांचा सारांश:

- आदर्श द्रवपदार्थांमध्ये, बर्नौलीचे समीकरण कोणत्याही बदलांशिवाय टिकते.
- वास्तविक द्रवपदार्थांसाठी, चिकटपणा, घर्षण आणि इतर घटकांमुळे होणारी ऊर्जा नष्ट होण्याला कारणीभूत ठरण्यासाठी हेड लॉस हा शब्द वापरला जातो.

२.४ रेनॉल्ड्स प्रयोग: (Reynolds Experiment) रेनॉल्ड्सचा प्रयोग पाईपमधून वाहणाऱ्या द्रवपदार्थात इंजेक्ट केलेल्या रंगाच्या वर्तनाचे निरीक्षण करून द्रव प्रवाहाचे स्वरूप - लॅमिनार, संक्रमणकालीन किंवा अशांत - प्रदर्शित करतो.

प्रायोगिक सेटअप:

१. उपकरण:

Constant head असलेल्या पाण्याच्या टाकीला जोडलेली एक लांब काचेची नळी.

डाई इंजेक्शन सिस्टम (सामान्यतः रंगीत द्रव).

पाण्याच्या प्रवाहाचे नियमन करण्यासाठी प्रवाह नियंत्रण झडप.

प्रवाह दर मोजण्यासाठी उपकरणे.

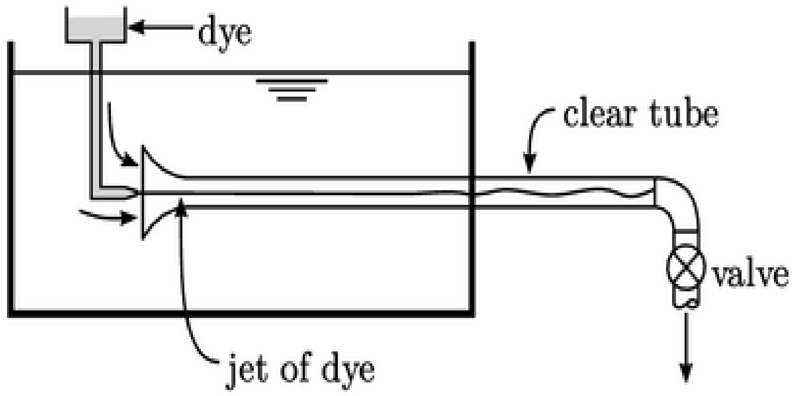


Fig. 2.2 Reynold experiment setup

२. प्रक्रिया:

- o पाईपमधून वेगवेगळ्या वेगाने पाणी वाहू दिले जाते.
- o द्रवपदार्थात रंगाचा एक बारीक प्रवाह टाकला जातो.
- o रंगाच्या वर्तनावर आधारित निरीक्षणे केली जातात.

निरीक्षणे आणि प्रवाहाचे प्रकार: रेनॉल्ड्स क्रमांक (Re) हा एक आयामहीन राशी आहे जो द्रव प्रवाहाचे स्वरूप ठरवतो. तो द्रव यांत्रिकी, अभियांत्रिकी आणि विविध औद्योगिक अनुप्रयोगांमध्ये महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावतो.

लॅमिनार प्रवाह (पुनः २०००): (Laminar Flow)

- o रंग मिसळल्याशिवाय सरळ, गुळगुळीत रेषेत फिरतो.
- o द्रवपदार्थाचे थर एकमेकांवरून व्यवस्थित सरकतात.
- o प्रवाहावर चिकट बलांचे वर्चस्व असते.
- • संक्रमणकालीन प्रवाह (Tranisitional Flow) (२००० <पुनः ४०००):
- o रंग अधूनमधून डगमगू लागतो आणि तुटू लागतो.
- o प्रवाह अस्थिरतेची चिन्हे दर्शवितो.

• Turbulent Flow (पुनः ४०००):

- o रंग अनियमितपणे पसरतो.
- o द्रवपदार्थाची गती अनियमित आणि अप्रत्याशित असते.
- o जडत्व बल चिकट बलांवर वर्चस्व गाजवतात.

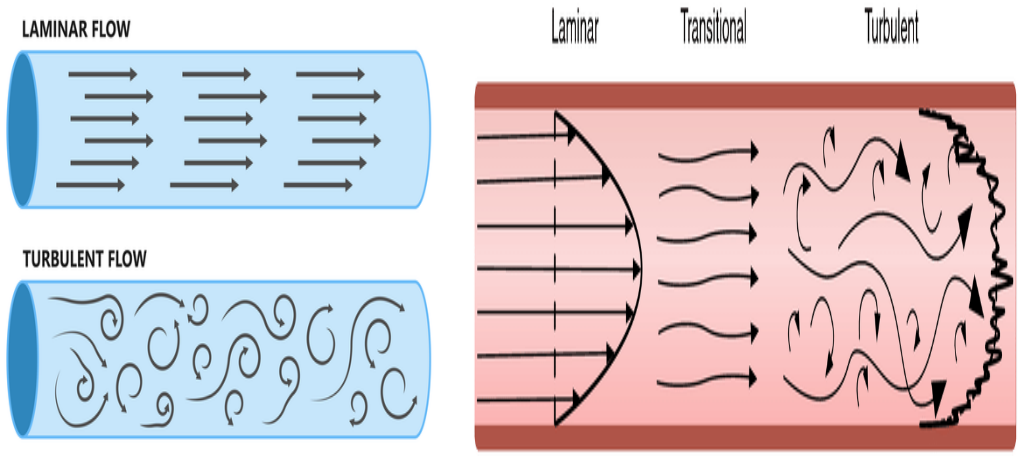


Fig. 2.3 Laminar, Transition and Turbulent flow pattern

रेनॉल्ड्स क्रमांक (NRe): या प्रवाह पद्धतींमधील संक्रमण रेनॉल्ड्स क्रमांकाद्वारे दर्शविले जाते:

NRe = ρ v D / μ

कुठे:

- ρ = द्रव घनता
- v = द्रवाचा वेग
- D = पाईपचा व्यास
- μ = गतिमान चिकटपणा

रेनॉल्ड्स क्रमांकातील गंभीर वेग: क्रिटिकल वेग (Vc) म्हणजे पाईपमध्ये द्रव प्रवाह लॅमिनारपासून टर्बुलरमध्ये ज्या वेगावर संक्रमण करतो. हे रेनॉल्ड्स क्रमांक (NRe) वापरून निश्चित केले जाते, जे याद्वारे दिले जाते:

NRe = ρ V D / μ

कुठे:

- NRe = रेनॉल्ड्स क्रमांक (आयामहीन)
- ρ = द्रव घनता (किलो/मी^{3})
- V = द्रवाचा वेग (मी / सेकंद)
- D = पाईपचा व्यास (मी)
- μ = द्रवाची गतिमान चिकटपणा (Pa•s किंवा N•s/m^2)

गंभीर वेगासाठी अभिव्यक्ती (Vc): पाईप प्रवाहासाठी गंभीर रेनॉल्ड्स क्रमांक (Rec) साधारणपणे २००० च्या आसपास असतो. या थ्रेशोल्डचा वापर करून, आपण गंभीर वेग मोजू शकतो:

Vc = Rec·μ / ρD

वर्तुळाकार पाईपमधील प्रवाहासाठी:

- जर V < Vc प्रवाह लॅमिनार असेल.

- जर V > Vc प्रवाह Turbulent असेल.

उदाहरण गणना

दिलेले:

- गतिज चिकटपणा $v = \mu / \rho = 1.0 \times 10{-}6\ m^2/s$ (पाण्यासाठी)
- पाईप व्यास D = 0.05 मीटर
- Rec = 2000

Vc = 2000×1.0×10−6 / 0.05

Vc = 0.04 मीटर/से

अशा प्रकारे, या पाईपसाठी, जर वेग 0.04 मीटर/से पेक्षा कमी असेल तर प्रवाह लॅमिनार राहील.

निष्कर्ष: (conclusion)

- हा प्रयोग वेगवेगळ्या प्रवाह पद्धतींची कल्पना करण्यास मदत करतो.
- अभियांत्रिकी अनुप्रयोगांमध्ये (उदा., पाईप प्रवाह, वायुगतिकी) द्रव वर्तनाचा अंदाज लावण्यासाठी ते एक निकष (रेनॉल्ड्स क्रमांक) प्रदान करते.

रेनॉल्ड क्रमांकाचे महत्त्व: रेनॉल्ड क्रमांक हा द्रव यांत्रिकीमध्ये एक मूलभूत साधन आहे, जो अभियंते आणि शास्त्रज्ञांना विविध वास्तविक-जगातील अनुप्रयोगांमध्ये द्रव प्रवाहाचा अंदाज लावण्यास, विश्लेषण करण्यास आणि ऑप्टिमाइझ करण्यास मदत करतो.

१. लॅमिनार, संक्रमण किंवा अशांतता आहे की नाही हे प्रवाह नमुना निश्चित करा.

२. पाईप्समधील दाब कमी होणे निश्चित करण्यासाठी वापरले जाते.

३. अभियांत्रिकी गणनांसाठी योग्य प्रवाह मॉडेल निवडण्यास मदत करते.

४. वायुगतिकीमध्ये ड्रॅग आणि लिफ्ट नियंत्रित करते. एखाद्या वस्तूवरील वायुप्रवाह (उदा. विमानाचा पंख) लॅमिनार आहे की अशांत आहे हे निर्धारित करते.

५. ड्रॅग फोर्सवर परिणाम करते, वाहनाच्या इंधन कार्यक्षमतेवर परिणाम करते.

६. लॅमिनार प्रवाहात, कमी मिश्रणामुळे उष्णता हस्तांतरण मंद होते. अशांत प्रवाहात, मिश्रण उष्णता आणि वस्तुमान हस्तांतरण वाढवते, उष्णता एक्सचेंजर्स आणि रासायनिक अणुभट्ट्यांमध्ये कार्यक्षमता सुधारते. उष्णता आणि वस्तुमान हस्तांतरण ऑपरेशनमध्ये ते महत्वाचे आहे.

७. पवन बोगदे आणि हायड्रॉलिक मॉडेल्समध्ये मॉडेलिंग आणि स्केलिंगमध्ये वापरले जाते.

८. पाइपलाइन, एचव्हीएसी सिस्टम आणि हायड्रॉलिक यंत्रसामग्री डिझाइन करण्यात वापरले जाते.

९. मशीनमध्ये स्नेहन अनुकूल करण्यास मदत करते.

रेनॉल्ड क्रमांकाचे महत्त्व: रेनॉल्ड क्रमांक हा द्रव यांत्रिकीमध्ये एक मूलभूत साधन आहे, जो अभियंते आणि शास्त्रज्ञांना विविध वास्तविक-जगातील अनुप्रयोगांमध्ये द्रव प्रवाहाचा अंदाज लावण्यास, विश्लेषण करण्यास आणि ऑप्टिमाइझ करण्यास मदत करतो.

१. लॅमिनार,Laminar, Turbulent or Tranisitional आहे की नाही हे प्रवाह नमुना निश्चित करा.

२. पाईप्समधील दाब कमी होणे निश्चित करण्यासाठी वापरले जाते.

३. अभियांत्रिकी गणनांसाठी योग्य प्रवाह मॉडेल निवडण्यास मदत करते.

४. वायुगतिकीमध्ये ड्रॅग आणि लिफ्ट नियंत्रित करते. एखाद्या वस्तूवरील वायुप्रवाह (उदा. विमानाचा पंख) लॅमिनार आहे की अशांत आहे हे निर्धारित करते.

५. ड्रॅग फोर्सवर (Drag Force) परिणाम करते, वाहनाच्या इंधन कार्यक्षमतेवर परिणाम करते.

६. लॅमिनार प्रवाहात, कमी मिश्रणामुळे उष्णता हस्तांतरण मंद होते. अशांत प्रवाहात, मिश्रण उष्णता आणि वस्तुमान हस्तांतरण वाढवते, उष्णता एक्सचेंजर्स आणि रासायनिक अणुभट्ट्यांमध्ये कार्यक्षमता सुधारते. उष्णता आणि वस्तुमान हस्तांतरण ऑपरेशनमध्ये ते महत्वाचे आहे.

७. पवन बोगदे आणि हायड्रॉलिक मॉडेल्समध्ये मॉडेलिंग आणि स्केलिंगमध्ये वापरले जाते.

८. पाइपलाइन, एचव्हीएसी सिस्टम आणि हायड्रॉलिक यंत्रसामग्री डिझाइन करण्यात वापरले जाते.

९. मशीनमध्ये स्नेहन अनुकूल करण्यास मदत करते.

२.५ पाईप्समधील घर्षण: हे पाईपमधून वाहताना द्रवपदार्थाला येणाऱ्या प्रतिकाराचा संदर्भ देते. हा प्रतिकार द्रव आणि पाईपच्या भिंतींमधील परस्परसंवादामुळे तसेच अंतर्गत द्रवपदार्थाच्या घर्षणामुळे होतो. यामुळे ऊर्जा कमी होते, जे सामान्यतः पाईपच्या लांबीसह दाब कमी म्हणून मोजले जाते.

२.५.१ पाईप्समधील घर्षणाचे प्रकार:

१. त्वचेचे घर्षण (भिंतीचे घर्षण) - पाईपच्या आतील पृष्ठभागाच्या खडबडीतपणामुळे होते.

२. फॉर्म फ्रिक्शन (आकार-संबंधित घर्षण) – अडथळे, वाकणे, फिटिंग्ज किंवा प्रवाह मार्गातील अचानक बदलांमुळे.

पाईप घर्षणावर परिणाम करणारे घटक

- द्रव गुणधर्म (घनता, चिकटपणा) (Properties of Fluid)
- प्रवाह वेग (Fluid Flow)
- पाईप व्यास आणि लांबी (Length and Diameter of Pipe)
- पाईप सामग्री आणि खडबडीतपणा
- प्रवाह व्यवस्था (लॅमिनार, अशांत किंवा संक्रमणकालीन)

प्रवाह व्यवस्था आणि घर्षण:

- लॅमिनार प्रवाह ($N_{Re} < 2000$) – घर्षण घटक स्निग्धतेवर अवलंबून असतो आणि घर्षण नुकसान वेगाच्या प्रमाणात असते.
- अशांत प्रवाह ($N_{Re} > 4000$) – घर्षण खडबडीतपणा आणि वेग वर्गावर अवलंबून असते.

संक्रमणकालीन प्रवाह ($2000 < N_{Re} < 4000$) – अस्थिर, लॅमिनार आणि अशांत दरम्यान स्थलांतर.

घर्षण तोटा गणना:

१. फॅनिंग घर्षण घटक: (Fanning Friction Factor) फॅनिंग घर्षण घटक (f) ही एक आयामहीन (Dimensionless) संख्या आहे जी पाईप प्रवाहातील घर्षणामुळे होणारा प्रतिकार मोजण्यासाठी वापरली जाते. त्याची व्याख्या अशी केली आहे:

F = τw / (1/2ρv2)

कुठे:

- τw = पाईपच्या भिंतीवरील कातर ताण (N/m^2)
- ρ = द्रव घनता (किलो/मी³)
- v = द्रवाचा सरासरी वेग (मी/सेकंद)

वेगवेगळ्या प्रवाह पद्धतींसाठी फॅनिंग घर्षण घटक

- लॅमिनार प्रवाह (Re<2000): फॅनिंग घर्षण घटक याद्वारे दिला जातो:

f = 16 / NRe

- अशांत प्रवाह (Turbulent Flow) (Re>4000Re): फॅनिंग घर्षण घटक पाईपच्या खडबडीतपणावर अवलंबून असतो आणि अनुभवजन्य सहसंबंध वापरून शोधता येतो, जसे की:

ब्लेसियस समीकरण (गुळगुळीत पाईप्ससाठी आणि (3000 <Re<100,000):

f = 0.079.NRe−0.25

प्रांड्टलचे समीकरण (खडबडीत पाईप्ससाठी):

F = 1 / (4 log10(Re. √ f) − 0.4)2

२.५.१ मानक घर्षण घटक चार्ट किंवा मूडी आकृती: मानक घर्षण घटक चार्ट, ज्याला मूडी चार्ट असेही म्हणतात, हा पाईप्समधील द्रव प्रवाहासाठी रेनॉल्ड्स क्रमांक (Re) आणि सापेक्ष खडबडीतपणा (ε/D) च्या कार्याच्या रूपात डार्सी-वेइसबॅक घर्षण घटक (f) चे व्यापकपणे वापरले जाणारे ग्राफिकल प्रतिनिधित्व आहे. रेनॉल्ड्स क्रमांक आणि सापेक्ष खडबडीतपणाच्या आधारे डार्सी घर्षण घटक f निश्चित करण्यासाठी याचा वापर केला जातो. संबंध वापरून मूडी आकृतीवरून फॅनिंग घर्षण घटक देखील निश्चित केला जाऊ शकतो.

f = fD / 4

जिथे, fD हा डार्सी-वेइसबॅक घर्षण घटक (Friction Factors) आहे.

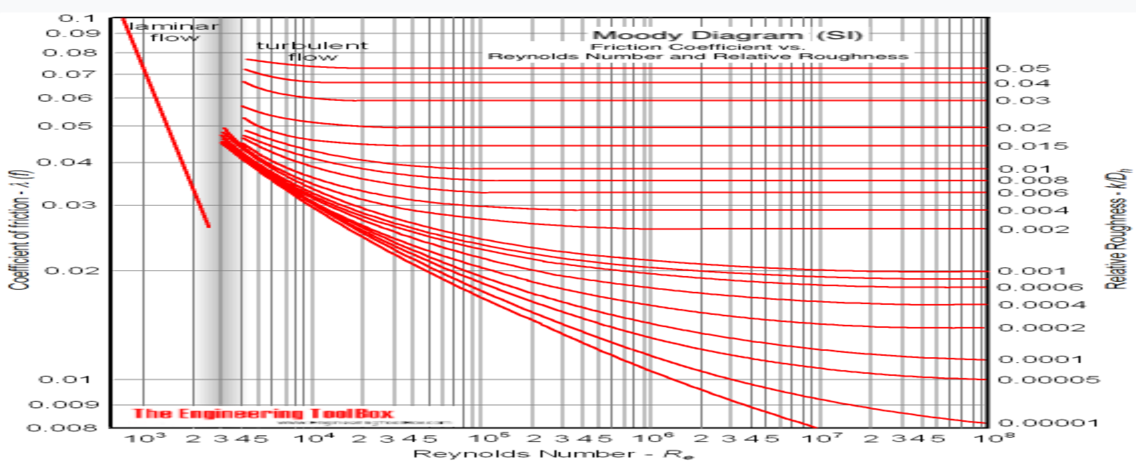


Fig. 2.4 Moody diagram

२.५.२ डार्सी-वेइसबॅक समीकरण: पाईपमध्ये घर्षणामुळे होणारे हेड लॉस (hf) असे व्यक्त करता येते:

$$Hf = f\,Lv^2 / D^2g$$

कुठे:

- hf = घर्षणामुळे होणारे हेड लॉस
- f = डार्सी घर्षण घटक
- L = पाईपची लांबी
- D = पाईप व्यास
- v = प्रवाह वेग
- g = गुरुत्वाकर्षण प्रवेग

फॅनिंग घर्षण घटक डार्सी-वेइसबॅक घर्षण घटकाशी संबंधित आहे. डार्सी-वेइसबॅक घर्षण घटक फॅनिंग घर्षण घटकापेक्षा चार पट जास्त आहे

$$F = fD / 4, fD = 4 f$$

कुठे fD हा डार्सी-वेइसबॅक घर्षण घटक आहे. डार्सी घर्षण घटक आणि रेनॉल्ड्स क्रमांक यांच्यातील संबंध आहे

fD = 64 / लॅमिनर प्रवाहासाठी NRe

fD = 0.316 / अशांत प्रवाहासाठी NRe

2.5.3 हेझेन-विल्यम्स समीकरण (पाण्याच्या प्रवाहासाठी)

Hf = 10.67 L Q 1.85 / C1.85 D4.87

कुठे:

- Q = प्रवाह दर
- L = पाईपची लांबी
- D = पाईप व्यास
- C = हेझेन-विल्यम्स गुणांक (पाईपच्या सामग्रीवर अवलंबून)

२.५.४ पाईपच्या अचानक विस्तारामुळे घर्षण नुकसान: (Sudden Expansion) अचानक विस्तारामुळे घर्षण नुकसान म्हणजे पाईपचा व्यास अचानक वाढतो तेव्हा द्रव प्रवाह प्रणालीमध्ये होणारी ऊर्जा हानी, ज्यामुळे विस्तार बिंदूवर अशांत एडीज तयार होतात, ज्यामुळे प्रवाहात वाढलेल्या द्रव घर्षणामुळे दाब आणि उर्जेचे नुकसान होते; मूलतः, पाईप प्रवाह प्रणालीमध्ये हा एक प्रकारचा "किरकोळ तोटा" आहे जिथे द्रव पाईपच्या आकारात अचानक बदल झाल्यामुळे सहजतेने अनुसरण करू शकत नाही, ज्यामुळे अशांततेद्वारे ऊर्जा अपव्यय होतो. हे एडीज ऊर्जा नष्ट करतात, ज्यामुळे दाब कमी होतो आणि द्रवाची संभाव्य ऊर्जा कमी होते.

पाईपच्या क्रॉस-सेक्शनच्या अचानक विस्तार/वाढीमुळे घर्षण हेड लॉस द्रवाच्या वेग हेडच्या प्रमाणात असतो. अचानक विस्तारामुळे होणारे हेड लॉस मोजता येते

hL = K (V1 - V2)2 / (2g),

V1 हा विस्तारापूर्वीचा वेग आहे

V2 हा विस्तारानंतरचा वेग आहे.

K हा नुकसान गुणांक आहे.

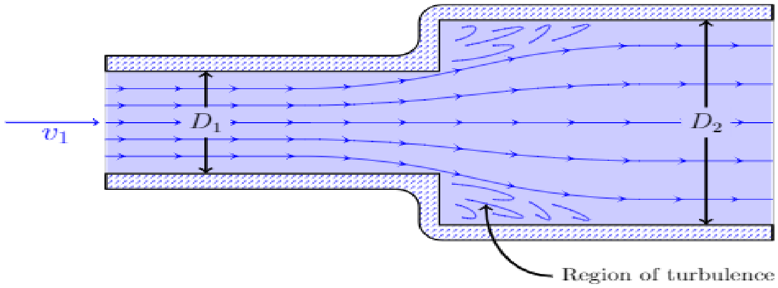


Fig. 2.5 Sudden expansion

$K = (1 - A1 / A2)^2$,

जिथे A1, A2 हे लहान आणि मोठ्या पाईप्सचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र आहेत.

२.५.५ पाईप अचानक कमी झाल्यामुळे घर्षण नुकसान (Sudden Contrction): "पाईप अचानक कमी झाल्यामुळे घर्षण नुकसान" म्हणजे मोठ्या व्यासाच्या पाईपमधून लहान व्यासाच्या पाईपमध्ये द्रव अचानक वाहतो तेव्हा होणारा ऊर्जेचा तोटा, ज्यामुळे आकुंचन बिंदूवर अशांतता आणि कातरण्याचा ताण वाढतो, ज्यामुळे दाब कमी होतो आणि पाईप प्रवाह गणनामध्ये तो "किरकोळ नुकसान" मानला जातो; मूलतः, द्रवाला लहान पाईपमध्ये बसण्यासाठी दिशा आणि वेग वेगाने बदलावा लागतो, ज्यामुळे उर्जेचा अपव्यय होतो कारण ते एडीज आणि व्हर्टिसेस तयार करते. पाईपच्या लांबीच्या घर्षणामुळे होणाऱ्या मोठ्या नुकसानांप्रमाणे, अचानक आकुंचन हे किरकोळ नुकसान म्हणून वर्गीकृत केले जाते कारण ते एका विशिष्ट बिंदूवर होते जिथे पाईपचा व्यास नाटकीयरित्या बदलतो. हळूहळू कमी करणारे (अचानक कमी करण्याऐवजी) ऊर्जा नुकसान लक्षणीयरीत्या कमी करतात.

जेव्हा द्रव मोठ्या पाईपमधून लहान पाईपमध्ये वाहतो, तेव्हा प्रवाह प्रवाह तात्पुरते लहान पाईप पूर्णपणे भरण्यापूर्वी "वेना कॉन्ट्रॅक्टा" नावाच्या लहान क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रात संकुचित होतो, ज्यामुळे ऊर्जा नुकसान होते. जास्त प्रवाह वेगामुळे अशांतता वाढते आणि जास्त ऊर्जा हानी होते.

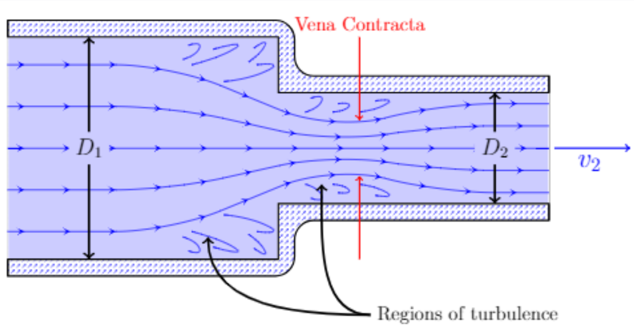


Fig.2.6 Sudden contraction

हे नुकसान सामान्यतः अचानक आकुंचनासाठी हेड लॉस समीकरण वापरून मोजले जाते:

hf = K v2 / 2g ------------1

कुठे:

- hf = अचानक आकुंचनामुळे हेड लॉस (मीटर)
- K = अचानक आकुंचनासाठी तोटा गुणांक
- v22 = लहान पाईपमध्ये वेग (मीटर / सेकंद)
- g = गुरुत्वाकर्षणामुळे प्रवेग (9.81 मीटर / सेकंद ^{2})

नुकसान गुणांक K व्यास गुणोत्तरावर अवलंबून असतो (D2/D1):

K = (0.5 [1−A2 / A1]) 2

कुठे:

- A1 = मोठ्या पाईपचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र

A2 = लहान पाईपचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रफळ

अचानक आकुंचन झाल्यामुळे होणारे एकूण दाब कमी होणे (ΔP) हे वापरून शोधता येते:

ΔP = ρ.g.hf --------------2

2 मध्ये पर्यायी समीकरण 1

ΔP = (K /2) ρ v2

जिथे ρ ही द्रव घनता आहे.

२.५.६ पाईप फिटिंगमुळे घर्षण नुकसान (Losses due to Pipe fittings): पाईप फिटिंगमध्ये घर्षण नुकसान अशांतता आणि प्रवाह वेगळेपणामुळे होते जेव्हा द्रव वाकणे, कोपर, झडपा आणि इतर अडथळ्यांमधून जातो. हे नुकसान सामान्यतः समतुल्य लांबी पद्धत किंवा K-घटक पद्धत वापरून मोजले जाते.

१. K-घटक (तोटा गुणांक) पद्धत

फिटिंगमुळे होणारा दाब कमी होणे असे व्यक्त केले जाते:

hf = K v22 / g

कुठे:

- hf = फिटिंगमुळे होणारा डोके कमी होणे (मीटर)
- K = तोटा गुणांक (फिटिंगच्या प्रकारावर अवलंबून)
- v = द्रवाचा वेग (मीटर/ सेकंद)
- g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारा प्रवेग (9.81 मीटर/से ^{2})

Table No. 2.1

Fitting Type	**Loss Coefficient K**
90° Elbow (long radius)	0.2 – 0.3
90° Elbow (short radius)	0.7 – 1.5

45° Elbow	0.2 – 0.4
Sudden Expansion	0.3 – 1.0
Sudden Contraction	0.5 – 1.0
Tee (flow through run)	0.2 – 0.4
Tee (flow through branch)	1.0 – 2.0
Fully Open Gate Valve	0.1 – 0.2
Fully Open Globe Valve	6 – 10
Fully Open Ball Valve	0.05 – 0.2

पाईप मटेरियल आणि विशिष्ट फिटिंग भूमितीनुसार ही मूल्ये थोडीशी बदलू शकतात.

२. समतुल्य लांबी पद्धत (Equivalent Length of Pipe) या दृष्टिकोनात, प्रत्येक फिटिंगला सरळ पाईपची समतुल्य लांबी दिली जाते ज्यामुळे समान हेड लॉस होईल:

hf = (fD Le v)2 / (D2g)

कुठे:

- fD = डार्सी-वेसबाख घर्षण घटक
- Le = फिटिंगची समतुल्य लांबी (मीटर)
- D = पाईप व्यास (मीटर)

फिटिंग्जसाठी समतुल्य लांबीची मूल्ये टेबलमध्ये उपलब्ध आहेत आणि पाईप व्यासाच्या गुणाकारात दिली आहेत.

३ पाईपिंग सिस्टीममध्ये एकूण हेड लॉस: जेव्हा पाईपिंग सिस्टीममध्ये अनेक फिटिंग्ज असतात, तेव्हा एकूण हेड लॉस ही वैयक्तिक नुकसानांची बेरीज असते:

hf,total = ∑Kv2 / (2g)

किंवा समतुल्य लांबी पद्धत वापरून:

hf,total = f / D ∑ Le. v2 / (2g)

२.५.७ Concept of Boundry layer म्हणजे पृष्ठभागाजवळील द्रवपदार्थाचा पातळ थर जिथे पृष्ठभागाच्या घर्षणामुळे द्रवपदार्थाचा प्रवाह प्रभावित होतो. सीमा थर हे अंतर्गत किंवा बाह्य वाहणाऱ्या द्रवपदार्थांमध्ये आढळू शकतात. सीमा थर म्हणजे घन पृष्ठभागाजवळील द्रवपदार्थाचा पातळ प्रदेश जिथे चिकटपणाचे परिणाम महत्त्वपूर्ण असतात. ही संकल्पना द्रव यांत्रिकीमध्ये मूलभूत आहे, जी घन सीमा द्रवपदार्थाच्या प्रवाहावर कसा परिणाम करते याचे वर्णन करते.

जेव्हा द्रवपदार्थ घन पृष्ठभागावर वाहतो तेव्हा पृष्ठभागाच्या थेट संपर्कात असलेले द्रव कण नो-स्लिप स्थितीमुळे (पृष्ठभागाच्या सापेक्ष शून्य वेग) त्याला चिकटून राहतात. वरील द्रवपदार्थ थरांना मुक्त-प्रवाह वेग (U) शी जुळत नाही तोपर्यंत वेगात हळूहळू वाढ होते.

ज्या प्रदेशात वेग पृष्ठभागावरील शून्यापासून मुक्त-प्रवाह वेगाच्या ९९% पर्यंत संक्रमण करतो त्याला सीमा थर (δ) म्हणतात.

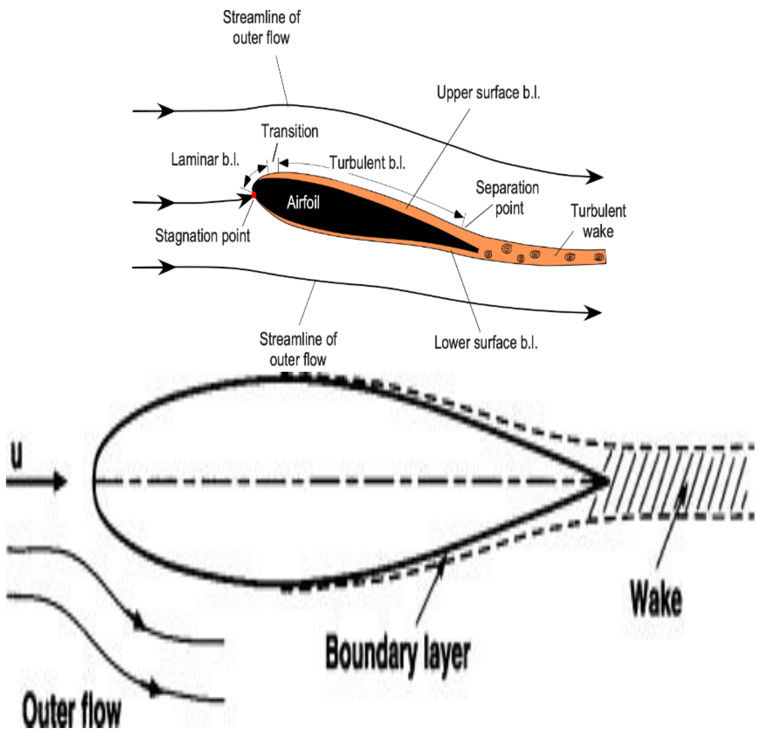


Fig. 2.7 Boundary layer

सीमा थराचे वर्तन रेनॉल्ड्स क्रमांक (NRe) वर अवलंबून असते आणि त्याचे वर्गीकरण केले जाते:

अ) लॅमिनार सीमा थर:

- कमी रेनॉल्ड्स संख्येवर (सपाट प्लेटसाठी NRe < 5×10^5) उद्भवते.
- समांतर थरांसह प्रवाह गुळगुळीत आणि व्यवस्थित असतो.
- पृष्ठभागावर जाडी हळूहळू वाढते.

ब) अशांत सीमा थर:

- उच्च रेनॉल्ड्स संख्येवर (NRe > 5×105) उद्भवते.
- गोंधळलेल्या, फिरणाऱ्या एडीज द्वारे वैशिष्ट्यीकृत.
- जास्त मिश्रण, ज्यामुळे त्वचेचे घर्षण जास्त होते.
- लॅमिनार सीमा थरापेक्षा जाड वाढते.

c) संक्रमण क्षेत्र:

- मध्यवर्ती क्षेत्र जिथे सीमा थर लॅमिनारपासून अशांततेकडे सरकतो.
- प्रवाहात अडथळा आणि अस्थिरता विकसित होते.

2.5.8 हेगन-पॉइस्युइल समीकरणाचे महत्त्व: हेगन-पॉइस्युइल समीकरण एका लांब, दंडगोलाकार पाईपद्वारे संकुचित न होणाऱ्या, न्यूटोनियन द्रवपदार्थाच्या लॅमिनार प्रवाहाचे वर्णन करते. हे द्रव यांत्रिकीमध्ये मूलभूत आहे आणि अभियांत्रिकी, औषध आणि औद्योगिक प्रक्रियांमध्ये त्याचा उपयोग आहे.

१. हेगन-पॉइस्युइल समीकरण

$$Q = \pi . r^4 . \Delta P / (8\mu L)$$

$$v = r^2.\Delta P./ (4\mu L)$$

कुठे:

- Q = आकारमानात्मक प्रवाह दर (मीटर ^{3}/ सेकंद)
- r = पाईपची त्रिज्या (मीटर)
- ΔP = दोन टोकांमधील दाब फरक (Pa)
- μ = द्रवाची गतिमान चिकटपणा (Pa• सेकंद)
- L = पाईपची लांबी (मीटर)
- v = द्रवाचा सरासरी वेग (मीटर / सेकंद)

गृहीतके

- प्रवाह लॅमिनार आहे (NRe < 2000).
- द्रव हा संकुचित न होणारा आणि न्यूटोनियन आहे.
- पाईप दंडगोलाकार आणि सरळ आहे.
- कोणताही गोंधळ नाही.
- प्रवाह दाब ग्रेडियंटद्वारे चालवला जातो.

महत्त्व आणि अनुप्रयोग

अ) पाईप्समधील द्रव प्रवाह

- पाइपलाइनमधील दाब कमी होणे आणि प्रवाह दर मोजण्यास मदत करते.
- मायक्रोफ्लुइडिक उपकरणे (उदा. लॅब-ऑन-ए-चिप सिस्टम) डिझाइन करण्यासाठी वापरले जाते.

ब) वैद्यकीय अनुप्रयोग

- धमन्या आणि शिरामधील रक्त प्रवाह स्पष्ट करते (लहान रक्तवाहिन्यांसाठी अंदाजे).
- रक्ताभिसरण प्रणालींमध्ये रक्तवहिन्यासंबंधी प्रतिकार समजून घेण्यास मदत करते.
- कॅथेटर आणि IV ड्रिप सारख्या वैद्यकीय उपकरणांमध्ये वापरले जाते.

c) अभियांत्रिकी अनुप्रयोग

- स्नेहन प्रणाली डिझाइन करण्यासाठी वापरले जाते.
- रासायनिक अणुभट्ट्यांना लागू होते जिथे द्रव अरुंद नळ्यांमधून वाहतो.
- अंतर्गत ज्वलन इंजिनांसाठी इंधन इंजेक्शन सिस्टममध्ये महत्वाचे.

d) पाईप त्रिज्याचा प्रभाव

- प्रवाह दर r4 च्या प्रमाणात असल्याने, त्रिज्येतील लहान बदलांमुळे प्रवाहात मोठे बदल होतात.
- हे जीवशास्त्रातील रक्तवहिन्यासंबंधी आणि रक्तवहिन्यासंबंधी संकोचन प्रभाव स्पष्ट करते.

मर्यादा

- अशांत प्रवाहासाठी वैध नाही (NRe >2000).
- द्रव जडत्व किंवा संकुचिततेसाठी विचारात घेत नाही.
- पूर्णपणे विकसित प्रवाह गृहीत धरतो, म्हणजेच प्रवेश परिणाम दुर्लक्षित केले जातात.

Unit 3: FLOWRATE OF FLUIDS
द्रवपदार्थांचा प्रवाह दर

CO3 - Estimate the flow rate of fluid in conduit and in open channels by using different flow meters.
इस्टिमेट फ्लो रेट ऑफ ओपन अँड क्लोज्ड चॅनल बाय डिफरेन्ट फ्लो मीटर्स

TLO 3.1 Compare the flow meters.
कंम्पेअर डिफरेन्ट फ्लो मीटर

TLO 3.2 Describe with sketches the construction and working of different flowmeters.
फ्लो मीटरची रचना व कार्य विशद करा

TLO 3.3 Explain the relative advantages and disadvantages of different flow meters.
Explain मेरीटस अँड डिमेरिट्स ऑफ डिफरेन्ट फ्लो मीटर्स

TLO 3.4 Measure the flow rate of process fluid in open channels by using notches and weirs.
मेझर फ्लो रेट ऑफ ओपन चॅनल बाय Notches & weirs

3. परिचय

फ्लो मीटर (किंवा फ्लो सेन्सर) (Flow meter or flow sensor) हे एक प्रवाह साधन आहे जे रेषीय, नॉन-रेषीय, वस्तुमान किंवा व्हॉल्यूमेट्रिक प्रवाह दर (Volumetric flowrate) मोजून पाईप किंवा नळीतून जाणारे द्रव, वायू किंवा बाष्प यांचे प्रमाण दर्शविण्यासाठी वापरले जाते. प्रवाह नियंत्रण बहुतेकदा आवश्यक असल्याने, अनेक औद्योगिक अनुप्रयोगांसाठी द्रव आणि वायूंचा प्रवाह मोजणे ही एक महत्त्वाची गरज आहे - आणि अनुप्रयोगाच्या स्वरूपानुसार अनेक प्रकारचे फ्लो मीटर (Flowmeter) वापरले जाऊ शकतात.

3.1 नळांमधील प्रवाह मोजण्याच्या उपकरणांचे वर्गीकरण: दाब कमी होण्याच्या फरकावर आधारित

विभेदक (Differential) दाब प्रवाह मीटर

द्रवाच्या प्रवाह दराचे (Fluid flowrate) अनुमानित मापन म्हणून डिफरेंशियल प्रेशर (Differential pressure) वापर सर्वज्ञात आहे. डिफरेंशियल प्रेशर हे आजकाल वापरात असलेले सर्वात सामान्य एकके आहेत. उच्च अचूकतेचा अभिमान बाळगणारे हे मीटर पाईपच्या निर्बंधातून दाब (Pressure) कमी होण्याचे वाचन करून द्रव प्रवाह मोजतात. अंदाजे 50 टक्क्यांहून अधिक द्रव प्रवाह (Fluid flow) मापन अनुप्रयोग या प्रकारच्या युनिटचा वापर करतात.

विभेदक दाब प्रवाह मीटरचे (Differential pressure flowmeter) मूलभूत कार्य तत्व या सिद्धांतावर आधारित आहे की मीटरमधील दाब कमी होणे प्रवाह दराच्या वर्गाच्या प्रमाणात आहे. दाब भिन्नता मोजून आणि वर्गमूळ काढून प्रवाह दर मिळवला जातो. बहुतेक फ्लो मीटरप्रमाणे, डिफरेंशियल प्रेशर फ्लो मीटरमध्ये (Differential pressure flowmeter) प्राथमिक आणि दुय्यम घटक असतात. प्राथमिक घटकामुळे गतिज उर्जेमध्ये (Kinetic energy) बदल होतो, ज्यामुळे पाईपमध्ये डिफरेंशियल प्रेशर (Differential pressure) निर्माण होतो.

युनिट पाईपच्या आकाराशी, प्रवाहाच्या परिस्थितीशी आणि द्रवाच्या गुणधर्मांशी योग्यरित्या जुळले पाहिजे. आणि, घटकाची मापन अचूकता वाजवी श्रेणीपेक्षा चांगली असणे आवश्यक आहे.

दुय्यम घटक डिफरेंशियल प्रेशर मोजतो आणि सिग्नल (Signal) किंवा रीड-आउट प्रदान करतो जो वास्तविक प्रवाह मूल्यात रूपांतरित होतो.

दोन प्रकारचे डिफरेंशियल फ्लो मीटर आहेत:

3.1.1. व्हेंचुरी फ्लो मीटर

व्हेंचुरी ट्यूब्सचा फायदा (Benefits of Ventury Tubes) असा आहे की ते कमी दाबाच्या (pressure drop) थेंबांवर मोठ्या प्रमाणात प्रवाह (volume) हाताळू शकतात. व्हेंचुरी ट्यूब ही मूलतः पाईपचा एक भाग असते ज्यामध्ये प्रवेशद्वार आणि सरळ Throat असतो. द्रव Throat असताना, त्याचा वेग वाढतो, ज्यामुळे इनलेट आणि आउटलेट क्षेत्रांमध्ये दाब फरक निर्माण होतो.

फ्लोमीटरमध्ये कोणतेही हलणारे भाग नसतात. ते मोठ्या व्यासाच्या पाईप्समध्ये फ्लँज्ड, वेल्डेड किंवा थ्रेडेड-एंड फिटिंग्ज वापरून स्थापित केले जाऊ शकतात. मोजलेल्या दाबाची सरासरी काढण्यासाठी युनिटमध्ये सहसा चार किंवा अधिक दाब नळ बसवले जातात. व्हेंचुरी ट्यूब बहुतेक द्रवांसह वापरल्या जाऊ शकतात, ज्यामध्ये जास्त घन पदार्थ असतात.

इंजिन सिस्टीममध्ये इंधन प्रवाहाचे नियमन आणि व्हेंटिलेटरमध्ये औषध वितरण यासह विविध अनुप्रयोगांमध्ये द्रव प्रवाह मोजमाप आवश्यक आहेत. म्हणूनच, यांत्रिक अभियांत्रिकीमध्ये हे मोजमाप महत्त्वाचे आहेत. या उद्देशांसाठी तीन प्रमुख उपकरणे वापरली जातात, त्यापैकी एक व्हेंचुरीमीटर आहे.

हे द्रव यांत्रिकीमध्ये पाईपमधून द्रव प्रवाहाचा दर मोजण्यासाठी सुसज्ज असलेले उपकरण आहे. या लेखात आपण या उपकरणाची किंवा उपकरणाची व्याख्या आणि कार्य तत्त्व समजून घेऊया.

3.1.1.1. व्हेंचुरी मीटर म्हणजे काय?

व्हेंचुरी **मीटर (Venturimeter)** हे एक प्रवाह-मापन (Flowrate) करणारे उपकरण आहे ज्यामध्ये अरुंद throat असतो जो पाईपमधून वाहणाऱ्या द्रवपदार्थाची स्थितीज ऊर्जा (Potential energy) गतिज उर्जेमध्ये (Kinetic energy) रूपांतरित करतो आणि प्रवाह दर मोजतो.

हे बर्नौलीच्या तत्त्वावर (Bernoullies Therom) कार्य करते. पाईपमधील द्रवपदार्थांच्या प्रवाह दरांचे निरीक्षण करण्यासाठी हे उपकरण पाणी, रसायन, औषध आणि तेल आणि वायू उद्योगांमध्ये मोठ्या प्रमाणात वापरले जाते.

पाणीपुरवठा, रसायने, औषधनिर्माण आणि तेल आणि वायू यासारख्या उद्योगांमध्ये व्हेंचुरी मीटरचा मोठ्या प्रमाणात वापर केला जातो.

बर्नौलीच्या समीकरणावर कार्य करून, ते पाईप क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र कमी करून दाब कमी करतात, ज्यामुळे मॅनोमीटर वापरून दाब मोजमापांद्वारे द्रव प्रवाह दर निश्चित करणे शक्य होते. अशा प्रकारे, व्हेंचुरी मीटर दाब उर्जेचे गतिज उर्जेमध्ये रूपांतर करतात आणि विभेदक प्रवाह मीटर म्हणून काम करतात.

या संकल्पनेला चांगल्या प्रकारे समजून घेण्यासाठी खालील प्रतिमेत पाईपला बसवलेले एक वास्तविक उपकरण (निळ्या रंगाचा भाग) दाखवले आहे. दाबातील बदलासाठी जबाबदार असलेल्या आकारातील आकुंचन लक्षात घ्या.

Fig 3.1 Venturimetr (www.indiamart.com)

आता, व्हेंचुरी ट्यूब ही एक मूलभूत रचना आहे जी मापन युनिटचा एक प्रमुख भाग बनवते ज्याच्या भागांची खाली चर्चा केली आहे. खालील प्रतिमेत दिलेला एक योजनाबद्ध व्हेंचुरिमीटर आकृती भागांचा अभ्यास करण्यासाठी आमचा संदर्भ आहे.

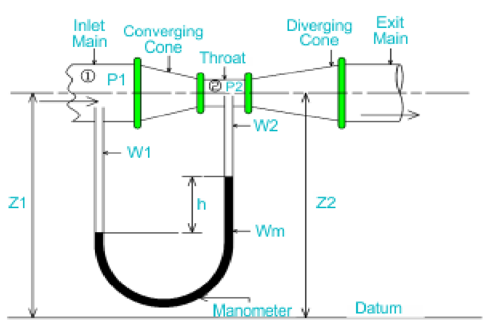


Fig 3.2 Venturimeter Line Diagram

- पाईप किंवा दंडगोलाकार (Cylindrical) इनलेट: मीटरचा हा टोक पाईपला जोडलेला असतो ज्यामधून द्रव वाहतो.
- अभिसरण (Converging) शंकू किंवा भाग: एक लहान पाईप जी पाईपच्या समान व्यासापासून लहान व्यासापर्यंत अभिसरण करते त्याला अभिसरण (Converging) शंकू किंवा भाग म्हणून ओळखले जाते. अभिसरण शंकूचा कोन 21 ± 2^0 आहे.
- Throat: हा एक लहान दंडगोलाकार विभाग आहे. सामान्यतः, घशाचा व्यास दंडगोलाकार इनलेटच्या व्यासाच्या 1/2 आणि 1/4 दरम्यान असतो आणि त्याच्या लांबीच्या समान असतो. येथे, दाब कमी केला जातो तर वेग वाढविला जातो.
- Diverging Cone किंवा भाग: या टप्प्यावर ट्यूबचा व्यास सतत वाढत जातो. परिणामी, दाब पुन्हा त्याच्या प्रारंभिक इनलेट दाबापर्यंत वाढतो. वळणारा शंकूचा कोन 5^0 ते 7^0 च्या दरम्यान असतो.
- डिफरेंशियल मॅनोमीटर (Differential manometer): मॅनोमीटर हे द्रव स्तंभावर दबाव मोजण्यासाठी एक उपकरण आहे. दाबातील फरक सामान्यत: विभेदक (Differential) मॅनोमीटर वापरून मोजले जातात.
- केशिका नलिका (Capillary tube): या नळ्या काचेच्या किंवा स्टीलसारख्या इतर कठीण पदार्थांपासून बनवलेल्या असतात, ज्यात उच्च दाबाने द्रव वाहतो त्या वेंचुरी नळीच्या वर बसवलेल्या असतात. हे दाब कमी करण्यासाठी किंवा नियंत्रित करण्यासाठी वापरले जातात.

3.1.1.3. व्हेंच्युरिमीटरचे कार्य तत्त्व

घटकांच्या अभ्यासामुळे आम्हाला व्हेंच्युरिमीटरच्या कार्याच्या तत्त्वाची आधीच कल्पना आली असेल. पण आपण ते तांत्रिकदृष्ट्या शिकले पाहिजे. चला कार्य शिकूया.

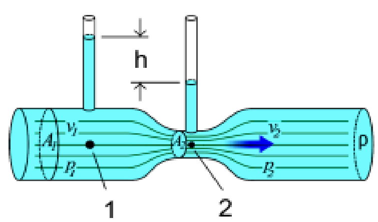


Fig 3.3 Venturimeter Line Diagram

उपकरणाच्या अगोदर एक सरळ पाईप असते ज्याद्वारे द्रव, ज्याचा प्रवाह दर मोजायचा असतो, वाहतो. ते वेग V_1 आणि दाब P_1 सह क्षेत्र A_1 (Cylindrical inlet) च्या दंडगोलाकार इनलेटमध्ये प्रवेश करते. जर दाब जास्त असेल तर द्रव केशिका (Capillary tube) नलिकांमध्ये वाहतो. A_2 लहान क्षेत्रातून जात असताना, दाब कमी होतो. याला "वेंचुरी इफेक्ट" म्हणतात.

या विभागात दाब कमी झाल्यामुळे वेग वाढतो. याचे कारण असे की V_1 आणि P_1 वर प्रवेश करणाऱ्या द्रवाचे प्रमाण एकाच वेळी त्या लहान क्षेत्र A_2 मधून गेले पाहिजे. पुन्हा, द्रवपदार्थ वाहताना संपूर्ण द्रवपदार्थाचा दाब समान करण्यासाठी विभाग २ च्या मागील केशिका ट्यूबमध्ये (Capillary tube) वाहतो.

परंतु विभाग 1 मधील केशिका नळीतील द्रवपदार्थ विभाग 2 पेक्षा कमी आहे.

यामुळे विभेदक दाब हेड 'h' तयार होते. हे बर्नौलीच्या तत्त्वाचे परिणाम आहेत ज्यात असे म्हटले आहे की "द्रवाच्या वेगात वाढ झाल्यानंतर स्थिर दाब किंवा द्रवपदार्थाची संभाव्य उर्जा (Potential Energy) कमी होते".

ही मूल्ये नंतर व्हेंच्युरिमीटरच्या डिस्चार्जचे गुणांक मोजण्यासाठी रेकॉर्ड केली जातात ज्यानंतर पाईपद्वारे वास्तविक (Actual) Q_{act} आणि सैद्धांतिक (Theoretical) डिस्चार्ज Q_{th} ची गणना केली जाते. साध्या व्युत्पत्तीद्वारे डिस्चार्ज समजून घेऊ.

3.1.1.4. डिस्चार्जसाठी समीकरण (Derivation for discharge)

डिस्चार्जचे सूत्र काढताना द्रव आदर्श (Ideal) असल्याचे गृहीत धरले जाते ज्याला व्हेंटुरिमीटर सूत्र म्हणून देखील ओळखले जाते. सातत्य समीकरण लागू करून मीटरचा सैद्धांतिक प्रवाह दर काढला जातो. सूत्राच्या नोटेशनसाठी आकृती २ आणि ३ चा संदर्भ घेऊ.

Let,

ρ= मोजण्यासाठी द्रवाची घनता (Density), Kg/m^3

g = गुरुत्वाकर्षणामुळे प्रवेग, m/s^2

Z_1 & Z_2 = विभाग 1 आणि 2 येथे तळाशी किंवा डेटाम हेडपासून अंतर, m

आम्ही अभ्यास केला की व्हेंच्युरिमीटर बर्नौलीच्या तत्त्वावर (Bernoulli’s principle) कार्य करते. दोन्ही विभागांना तत्त्व लागू करून,

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

डॅटम हेड (Datum head) आणि जमिनीपासूनचे अंतर दोन्ही समान आहे. तर,

$$\frac{P_1}{\rho g}+\frac{(V_1)^2}{2g}=\frac{P_2}{\rho g}+\frac{(V_2)^2}{2g}$$

$$\Rightarrow\frac{P_1-P_2}{\rho g}=\frac{(V_2)^2-(V_1)^2}{2g}$$

या समीकरणाच्या LHS ला डिफरेंशियल प्रेशर हेड म्हणतात आणि 'h' ने दर्शविले जाते.

i.e. $h=\frac{P_1-P_2}{\rho g}$ .... (a).

सातत्य (Continuity equation) समीकरणानुसार, $A_1V_1 = A_2V_2$

$\Rightarrow V_2 = \frac{A_1V_1}{A_2}$

अशा प्रकारे, समीकरण (a) मध्ये V2 चे मूल्य बदलून आणि V2 च्या मूल्याचे मूल्यमापन करणे,

$$(V_2)^2 = 2gh\left(\frac{(A_1)^2}{(A_1)^2-(A_2)^2}\right)$$

$$\Rightarrow$$

$$(V_2) = \sqrt{2gh}\left(\frac{(A_1)}{(A_1)^2-(A_2)^2}\right)$$

आता, डिस्चार्ज 'Q' हे प्रवाहाचे क्षेत्रफळ आणि वेग यांचे गुणाकार म्हणून परिभाषित केले आहे.

गणितीयदृष्ट्या, "

Q=A.V

हे विभाग २ मध्ये मोजले जाते. म्हणून, समीकरण बनते

$Q = \frac{A_1A_2}{\sqrt{(A_1)^2-(A_2)^2}}\sqrt{2gh}$ ....(b)

मूल्ये बदलणे आणि Q साठी समीकरण करणे,

समीकरण (b) हे सैद्धांतिक डिस्चार्ज (theoretical discharge) म्हणून ओळखले जाते. वास्तविक डिस्चार्जची (Actual discharge) गणना करण्यासाठी, आम्हाला व्हेंच्युरिमीटरच्या डिस्चार्जचे गुणांक समजून घेणे आवश्यक आहे C_d. हे व्हेंटुरिमीटरच्या सैद्धांतिक डिस्चार्जच्या वास्तविक डिस्चार्जचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले आहे, म्हणजे. $C_d = \frac{Q_{act}}{Q_{th}}$ अशा प्रकारे; वास्तविक डिस्चार्ज म्हणून दिले जाते

$Q_{act} = C_d\, x\, \frac{A_1A_2}{\sqrt{(A_1)^2-(A_2)^2}}\sqrt{2gh}$

म्हणून, हे व्हेंच्युरिमीटर व्युत्पन्न (Derivation) पूर्ण करते.

3.1.2. Orifice meter

3.1.2.1. ओरिफिस फ्लो मीटर

ओरिफिस फ्लो (Orifice flowmeter) मीटर हे आज वापरात असलेले सर्वात लोकप्रिय लिक्विड फ्लो मीटर आहेत. छिद्र म्हणजे फक्त धातूचा एक सपाट तुकडा आहे ज्यामध्ये एक विशिष्ट आकाराचे छिद्र आहे. वापरात असलेल्या बहुतेक छिद्रे एकाग्र (concentric) प्रकारातील आहेत, परंतु विक्षिप्त (eccentric), शंकूच्या (conical) आकाराचे (चतुर्थांश) आणि सेगमेंटल (Segmental) डिझाइन देखील उपलब्ध आहेत.

सराव मध्ये, दोन flanges दरम्यान पाईप मध्ये orifice plate स्थापित आहे. प्राथमिक यंत्र म्हणून काम करताना, छिद्र संपूर्ण प्लेटवर विभेदक दाब (differential pressure) निर्माण करण्यासाठी द्रवाचा प्रवाह मर्यादित करते.

फरक ओळखण्यासाठी प्लेटच्या दोन्ही बाजूला प्रेशर टॅप वापरले जातात.ओरिफिसेसचे मुख्य फायदे म्हणजे त्यांना हलणारे भाग नसतात आणि त्यांची किंमत पाईपच्या आकारानुसार लक्षणीय वाढत नाही.

शंकूच्या (Conical) आकाराचे आणि चतुर्भुज (Quadrant) छिद्र तुलनेने नवीन आहेत. युनिट्स प्रामुख्याने कमी रेनॉल्ड्स (Reynolds) क्रमांकासह द्रव मोजण्यासाठी विकसित केली गेली.

मूलत: स्थिर प्रवाह गुणांक 5000 पेक्षा कमी आर मूल्यांवर राखले जाऊ शकतात. शंकूच्या आकाराच्या छिद्र प्लेट्समध्ये अपस्ट्रीम बेव्हल असते, ज्याची खोली आणि कोन प्रत्येक अनुप्रयोगासाठी मोजले जाणे आणि मशीन केलेले असणे आवश्यक आहे.

सेगमेंटल वेज हे सेगमेंटल ओरिफिसचे भिन्नता आहे. हे एक निर्बंध छिद्र आहे जे प्रामुख्याने घन (solids) पदार्थ असलेल्या द्रवांचा प्रवाह मोजण्यासाठी डिझाइन केलेले आहे. युनिटमध्ये कमी रेनॉल्ड्स (Reynold Number) क्रमांकांवर प्रवाह मोजण्याची आणि तरीही इच्छित वर्ग-मूळ संबंध राखण्याची क्षमता आहे. त्याची रचना सोपी आहे, आणि वेज गॅपचा एकच महत्त्वाचा परिमाण आहे. युनिटद्वारे प्रेशर ड्रॉप पारंपारिक छिद्रांपेक्षा फक्त अर्धा आहे.इंटिग्रल वेज असेंब्ली वेज एलिमेंट आणि प्रेशर टॅप्स एका पारंपरिक (Conventional) प्रेशर ट्रान्समीटरला बोल्ट केलेल्या एक-पीस पाईप कपलिंगमध्ये एकत्र करतात. पाइपलाइनमध्ये डिव्हाइस स्थापित करण्यासाठी कोणत्याही विशेष पाईपिंग किंवा फिटिंगची आवश्यकता नाही.

सर्व ओरिफिस फ्लोमीटर्सची मीटरिंग अचूकता इंस्टॉलेशनची परिस्थिती, छिद्र क्षेत्राचे प्रमाण आणि मोजल्या जाणाऱ्या द्रवाच्या भौतिक गुणधर्मांवर अवलंबून असते.

3.1.2.2. ओरिफिस मीटर म्हणजे काय?

छिद्र (Orifice) म्हणजे सामान्यतः एक उघडणे जे काहीतरी पास करण्यास अनुमती देते. आणि, फ्लो मीटर हे एक साधन आहे जे पाईपमधून वाहणारे द्रव, वायू किंवा वाफ यांचे प्रमाण मोजते. अशाप्रकारे, द्रव यांत्रिकीमधील ओरिफिस मीटर हा प्रवाह मीटरचा एक प्रकार आहे जो विभेदक दाब (Differential pressure) मापनाच्या तत्त्वावर आधारित द्रव (द्रव किंवा वायू) प्रवाह दर मोजण्यासाठी वापरला जातो.

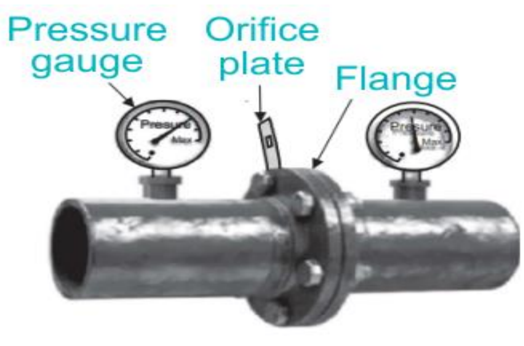


Fig 3.4 Orifice Meter

ही एक तांत्रिक संकल्पना असल्याने, आपण बांधकाम आणि भागांबद्दल जाणून घेऊन चर्चा सुरू करूया.

3.1.2.3. ओरिफिस मीटर (Orifice Meter) Construction

बांधकाम (Construction) सोपे आहे तरीही या मीटरच्या घटकांची भूमिका भिन्न आहे. या विभागात ओरिफिस फ्लो मीटरच्या भागांचा अभ्यास करत असताना आपण खालील चित्राचा संदर्भ घेऊ या.

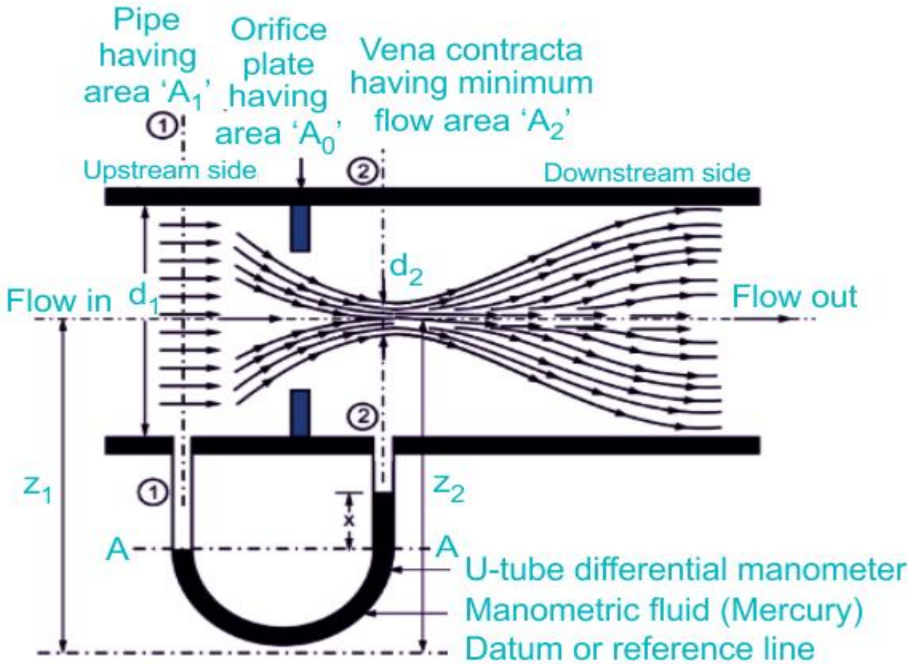


Fig 3.5 Orificemeter Line Diagram

o इनलेट विभाग **(Inlet Section):** पाईपच्या एका टोकाचा द्रव या विभागातून आत जातो**.** विभागाचा व्यास मोजण्यासाठी प्रवाहावर अवलंबून असतो**.**

o ओरिफिस प्लेट **(**Orifice plate**):** प्रवाह दर मोजण्यासाठी**,** दाब कमी करण्यासाठी किंवा प्रवाह प्रतिबंधित करण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या उपकरणाला ओरिफिस प्लेट (restriction plate**)** म्हणतात**.** या प्लेट्स सहसा पाईपमध्ये स्थापित केलेल्या छिद्रांसह पातळ असतात**.** निर्मात्याने मोजल्या जाणाऱ्या द्रवाच्या प्रकारावर आधारित कोणत्याही सूचीबद्ध प्रकारच्या ओरिफिस प्लेट्समधून निवड करू शकतो**.**

o विक्षिप्त प्लेट **(**Eccentric Plate**):** हे द्रवपदार्थ मोजण्यासाठी वापरले जाते ज्यामध्ये काही प्रमाणात द्रव आणि अपघर्षक घन पदार्थ असतात**.** त्यास एक गोलाकार छिद्र (Bore) आहे जे पाईपच्या आतील भिंतीला लंब आहे**.**

o शंकूच्या आकाराचे प्लेट **(**Conical Plate**):** हे कमी रेनॉल्ड्स क्रमांक (Reynolds number**)** असलेल्या द्रवपदार्थांसाठी वापरले जातात**.**

म्हणजे **80 < Re < 2000.** या शंकूच्या आकाराच्या प्लेट्सद्वारे प्रदान केलेले डिस्चार्ज गुणांक **30%** पर्यंत बदलू शकतात. याला शंकूच्या आकाराचे म्हटले जाते, त्याचे साधारणपणे **450^0** बेवेल **(bevel)** असते.

o सेगमेंटल प्लेट **(**Segmental Plate**):** जेव्हा हवा किंवा पाणी लक्षणीय प्रमाणात असेल किंवा द्रवपदार्थामध्ये काही निलंबन असेल तेव्हा या प्लेट्स सर्वोत्तम कार्य करतात. त्याचे छिद्र गॅस आणि द्रव पुरवठ्यासाठी अनुक्रमे तळाशी आणि शीर्षस्थानी स्थित आहे. तसेच, ओरिफिस प्लेटमध्ये कचरा जमा होत नाही.

o क्वाड्रंट एज प्लेट (Quadrant Edge Plate**):** या प्लेटच्या बोअर इनटेक एजला चौथाई वर्तुळाकार आकार दिला जातो. सामान्यतः, या प्लेट्स **2000** आणि **10000** दरम्यान रेनॉल्ड्स क्रमांका **(**Reynolds number) सह चिकट द्रव मोजतात.

o स्क्वेअर एज्ड कॉन्सेंट्रिक प्लेट्स (Square Edged Concentric Plates**):** जेव्हा ओरिफिस मीटर्स वापरून प्रवाह (Flow**)** मापनांचा विचार केला जातो, तेव्हा या सर्वात सामान्यतः वापरल्या जाणाऱ्या प्लेट्स असतात. ते बांधकामात (Construction**)** सोपे आहेत आणि मोजमापांमध्ये उच्च अचूकता आहेत. रेनॉल्ड्स क्रमांक **(**Reynolds number**)** **10** ते **10000** म्हणजेच **10 < Re< 10000** दरम्यान वायू आणि स्वच्छ द्रवपदार्थांसाठी एकाग्र प्लेट्सची शिफारस केली जाते.

o फ्लो कंडिशनर **(**Flow conditioners**):** व्यावहारिक परिस्थितींमध्ये, सरळ पाईप्स मर्यादित असतात परंतु बहुतेक पाईप्समध्ये वाकलेले असते. हे दिशात्मक बदल प्रवाहाच्या व्यत्ययासाठी संवेदनाक्षम असतात ज्यामुळे प्रवाह मापनात अडथळा (Hindrance**)** निर्माण होतो. या वास्तविक-जागतिक अनुप्रयोगामध्ये प्रयोगशाळेच्या वातावरणाची स्थिती सुनिश्चित करण्यासाठी, छिद्र मीटर **(**orifice meters**)** मध्ये फ्लो कंडिशनर वापरला जातो.

संकल्पना समजून घेण्यासाठी, खाली एक प्रतिमा प्रदान केली आहे ज्यामध्ये सर्व प्रकारचे फ्लो कंडिशनर्स (Flow conditioners) आहेत जे मीटरच्या इनलेट विभागात स्थापित केले आहेत.

Fig 3.6 Flow Conditioners

o यू-ट्यूब मॅनोमीटर (U-Tube Manometer)**:** मॅनोमीटर द्रवपदार्थांच्या दाबावर लक्ष ठेवतो**.** पारा भरलेला **U-**ट्यूब स्तंभ **U-**ट्यूब मॅनोमीटरमध्ये दाब (Pressure**)** वाचन प्रदर्शन म्हणून काम करतो**.** त्याचे एक टोक ओरिफिस प्लेटच्या आधी स्थापित केले आहे आणि दुसरे टोक त्याच्या नंतर स्थापित केले आहे**.**

o आउटलेट विभाग **(**Outlet Section): हा तो विभाग आहे जिथे द्रव सोडला जातो**.**

3.1.2.4. ओरिफिस मीटर **(**Orifice Meter**)** चे कार्य तत्त्व

आता, आकृती 7 मध्ये दिलेल्या योजनाबद्ध (schematic) आकृतीच्या मदतीने या मीटरचे कार्य समजून घेऊ. आपल्याला माहिती आहे की, काम मीटरच्या भागांवर किंवा घटकांवर अवलंबून असते.

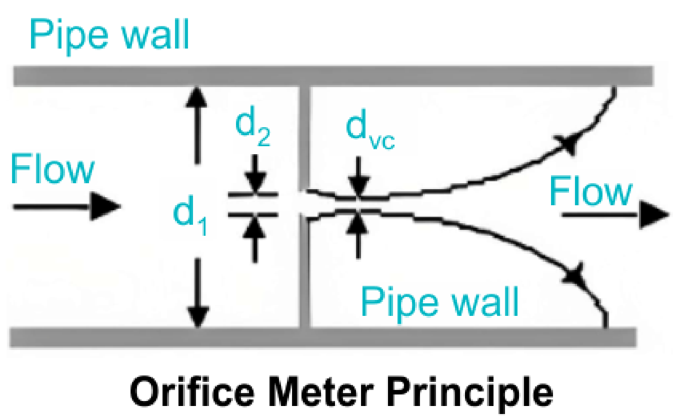


Fig 3.7 Principle of Orifice meter

कार्य समजून घेण्यासाठी, आपण एक ओरिफिस मीटर (Orifice meter) प्रयोग गृहीत धरू या जेथे द्रवपदार्थाचा प्रवाह दर d_1 व्यासाच्या पाईपमधून प्रवाहित केला जातो. प्रवाहात अडथळा आणण्यासाठी मीटरला पाईपच्या एका भागात छिद्र प्लेट्स (Orifice plate) सह निश्चित केले जाते. जेव्हा द्रव प्लेटच्या छिद्राजवळ येतो तेव्हा दाब (Pressure) हळूहळू वाढतो, नंतर तो अचानक कमी होतो. 'वेना कॉन्ट्रॅक्ट' (Vena contracta) पर्यंत दाब कमी होत राहते आणि नंतर कमाल दाब बिंदू गाठेपर्यंत हळूहळू वाढते. वेना कॉन्ट्रॅक्टा हे एक लहान क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र (व्यास d_{vc}) आहे जे छिद्राच्या डाउनस्ट्रीममध्ये विकसित केले जाते जेथे द्रवाची गतीज ऊर्जा (Kinetic energy) जास्तीत जास्त असते. हे आकृती 7 मध्ये दर्शविले आहे आणि हे छिद्र व्यास d_2 सह गोंधळून जाऊ नये.

आता, या वेना कॉन्ट्रॅक्टद्वारे वाढलेल्या वेगामुळे छिद्राच्या बाजूने द्रवाचा दाब कमी होतो. परंतु आउटलेट विभागातून (Outlet section) द्रव छिद्रातून बाहेर पडल्याने ते वाढते. या दाबाचा फरक विभेदक दाब (Differential pressure) म्हणून ओळखला जातो आणि याच्या मापनास विभेदक दाब मापन सिद्धांत म्हणतात (Differential pressure measurement principle). डिफरेंशियल प्रेशर मापन तत्त्व असे म्हटले आहे की "ओरीफिस मीटरमध्ये विकसित होणारा विभेदक दाब द्रवपदार्थाच्या प्रवाह दराशी थेट प्रमाणात असतो".

एक इंटिग्रल ऑरिफिस मीटर, ज्याला ऑरिफिस प्लेट फ्लो मीटर देखील म्हणतात, बर्नौलीच्या तत्त्वा (Bernoulli's principle) वर कार्य करते ज्यामध्ये असे म्हटले आहे की "द्रवाचा वेग वाढणे हे द्रवपदार्थाच्या स्थिर दाब किंवा त्याच्या संभाव्य उर्जेमध्ये (potential energy) **एकाच** वेळी घट होते". हा दाबाचा फरक δ_h "U-tube manometers" च्या मदतीने मोजला जातो. अशा प्रकारे, या प्रयोगाद्वारे, आम्हाला या मीटरचे कार्य समजले.

ओरिफिस मीटरचे हायड्रोलिक गुणांक (Hydralic coefficient)

आम्हाला काही तांत्रिक संज्ञा आढळल्या ज्या फ्लुइड मेकॅनिक्स (Fluid Mechanics) शिकताना समजून घेणे महत्त्वाचे आहे. हायड्रॉलिक गुणांक (Hydralic coefficient) हे असेच एक आहेत. हे गुणांक द्रवपदार्थाशी संबंधित आहेत आणि विचारात घेतलेल्या संबंधित मापन निकषांचे गुणोत्तर आहेत. या गुणांकाचे चार प्रकार आहेत आणि ते खाली स्पष्ट केले आहेत.

आकुंचन गुणांक (Coefficient of Contraction)

आकुंचन गुणांक म्हणजे वेना कॉन्ट्रॅक्टा (Vena Contracta) जवळील जेट *(Jet)* च्या क्षेत्रफळ आणि छिद्राच्या *(Orifice)* क्षेत्राचे गुणोत्तर. हे C_c द्वारे दर्शविले जाते. आकुंचन सूत्राचा गुणांक या व्याख्येवरून काढला जाऊ शकतो,

$$C_c = \frac{A_c}{A}$$

वेगाचा गुणांक (Coefficient of Velocity)

वेगाचा गुणांक म्हणजे व्हेना कॉन्ट्रॅक्टावरील जेटच्या वास्तविक वेगाचे त्याच्या सैद्धांतिक वेगाचे (Theoretical velocity) *गुणोत्तर. हे* C_v *द्वारे दर्शविले जाते. व्याख्येनुसार,* $C_v = \frac{V_{act}}{V_{th}}$.

परंतु, $V_{th} = \sqrt{2gh}$.

अशा प्रकारे, $C_v = \frac{V}{\sqrt{2gh}}$

प्रतिकार गुणांक (Coefficient of Resistance)

रेझिस्टन्सचे गुणांक म्हणजे बाहेर पडताना उपलब्ध पाण्याचे डोके (head at exit *)* आणि छिद्रातील डोके *(*Orifice head*)* गमावण्याचे गुणोत्तर**.** द्वारे दर्शविले जाते ***Cr.***

डिस्चार्जचे गुणांक **(**Coefficient of Discharge*)*

ऑरिफिस मीटरमधील डिस्चार्जचे गुणांक हे ऑरिफिसपासून सैद्धांतिक डिस्चार्ज (Theoretical discharge) पर्यंतच्या वास्तविक डिस्चार्ज (Actual discharge *)*च्या गुणोत्तराचा संदर्भ देते. हे *Cd* द्वारे दर्शविले जाते आणि व्याख्या निष्कर्ष काढते*,* $Cd=C_v \times C_c$.

डिस्चार्जसाठी समीकरणाची व्युत्पत्ती (Derivation of Equation for Discharge**)**

ओरिफिस मीटर डेरिव्हेशनमध्ये व्याख्या (Definition) *आणि नोटेशन आहेत जे या लेखाच्या आकृती* 7 *च्या आधारे जोडले गेले आहेत. या विभागात, डिस्चार्जचा दर किंवा ओरिफिस मीटर फॉर्म्युला मोजण्यासाठी एक समीकरण घेऊ.*

चला,

ρ= मोजण्यासाठी द्रवाची घनता (Density), Kg/m^3

g = गुरुत्वाकर्षणामुळे प्रवेग, m/s^2

Z_1 & Z_2 = विभाग 1 आणि 2 येथे तळाशी किंवा डेटाम हेडपासून अंतर, m

P_1 & P_2 = विभागात दाब 1 & 2;

V_1 and V_2 = विभागातील वेग 1 & 2;

A_1 = पाईपचे क्षेत्रफळ (Area of pipe); A_2 = वेना कॉन्ट्रॅक्टचे क्षेत्रफळ (Area of vena contracta);

d_1 = पाईप व्यास (Pipe diameter); d_2 = संकुचित शिरा व्यास (Vena contracta diameter);

बर्नौलीच्या तत्त्वा (Bernoulli’s principle) वरून, आम्ही दिलेल्या संबंधाचा अंदाज लावू शकतो

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

दोन्ही समीकरणे समीकरण करणे,

$$(\frac{P_1}{\rho g}+Z_1)-(\frac{P_2}{\rho g}+Z_2)=\frac{(V_2)^2}{2g}-\frac{(V_1)^2}{2g} \text{.............................(A)}$$

या समीकरणाच्या LHS ला 'डिफरेंशियल हेड' (Differential head) म्हणतात आणि ते h_d द्वारे दिले जाते. $h_d=(\frac{P_1}{\rho g}+Z_1)-(\frac{P_2}{\rho g}+Z_2)$

हे समीकरणात बदलणे (A),

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

आता, आकुंचन गुणांक (Coefficient of contraction) असे दिले आहे $C_c=\frac{A_2}{A_1}$ and डिस्चार्ज गुणांक (Discharge coefficient) म्हणून गणना केली जाते

$$C_d = C_c \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{{A_2}^2}{{A_1}^2}\right)}}{\sqrt{1 - \left(\frac{{A_2}^2}{{A_1}^2}\right)({C_c}^2)}}$$

आणि, सातत्य समीकरणाने (Continuty equation) $A_1.V_1=A_2.V_2$

द्रव प्रवाहाचे डिस्चार्ज (Discharge) हे वेग (Velocity) आणि क्षेत्रफळाचे उत्पादन आहे.

गणिती, Q = V.A

व्हेना कॉन्ट्रॅक्टद्वारे (Vena contracta) डिस्चार्जचा विचार करूया. आमच्याकडे आहे, $Q = V_2.A_2$.

सर्व मूल्ये बदलून, शेवटी आपल्याला मिळेल,

$$Q = C_d\, x\, \frac{A_1 A_2}{\sqrt{(A_1)^2 - (A_2)^2}} \sqrt{2gh_d}$$

हे समीकरण द्रव प्रवाहाचे डिस्चार्ज मोजण्यासाठी वापरले जाते. त्याला ओरिफिस फ्लो फॉर्म्युला (Orifice flow formula) देखील म्हणतात.

उदाहरण

उदाहरण 1. 0.9 विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण (Specific gravity) असलेल्या तेलाचा प्रवाह दर मोजण्यासाठी 150 मिमी × 75 मिमी आकाराचा व्हेंच्युरिमीटर वापरला जातो. व्हेंच्युरिमीटरला जोडलेल्या U ट्यूब मॅनोमीटरद्वारे दर्शविलेले वाचन हे पारा स्तंभाचे (Manometer) 150 मिमी आहे. जर प्रवाह दर 1.7 m^3/मिनिट असेल तर व्हेंच्युरिमीटरसाठी डिस्चार्जच्या गुणांकाची (coefficient discharge) गणना करा. (टीप: वेंचुरिमीटरचा आकार सामान्यतः इनलेट आणि घशाच्या (throat) व्यासाच्या संदर्भात निर्दिष्ट केला जातो)

Solution: प्रवाह वेग

$(V_2) = C_d(A_1)\sqrt{2gh_m\left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right)\left(\frac{1}{(A_1)^2-(A_2)^2}\right)}$ and $Q = A_2V_2$

त्यामुळे

$$Q = C_d(A_1)A_2\sqrt{2gh_m\left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right)\left(\frac{1}{(A_1)^2-(A_2)^2}\right)}$$

इनलेट क्षेत्र (Inlet area) $A_1 = \frac{\pi}{4} \times 0.15^2 = 0.0177\, m^2$

घसा क्षेत्र , Throat area $A_2 = \frac{\pi}{4} \times 0.075^2 = 0.00442\, m^2$

प्रवाह दर = 1.7/60 = 0.0288 m^3/s
त्यामुळे

$$0.0288 = C_d(0.0177)(0.00442)_2\sqrt{2\,x\,9.81\,x\,0.15\left(\frac{13.6}{0.9}-1\right)\left(\frac{1}{(0.0177)^2-(0.00442)^2}\right)}$$

$C_d = 0.963$

उदाहरण 2: 7500 लिटर प्रति मिनिट द्रव प्रवाह दर मोजण्यासाठी व्हेंच्युरिमीटरचा वापर केला जातो. व्हेंच्युरिमीटरमधील दाबातील फरक वाहत्या द्रवाच्या 8 मीटरच्या समतुल्य आहे. पाईपचा व्यास 19 सेमी आहे. व्हेंच्युरिमीटरच्या घशाच्या व्यासाची गणना करा. व्हेंच्युरिमीटरसाठी डिस्चार्जचे गुणांक 0.96 असे गृहीत धरा.

Solution:

$$Q = C_d(A_1)A_2\sqrt{2gh_m\left(\frac{1}{(A_1)^2-(A_2)^2}\right)}$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4}\times 0.19^2 = 0.0284\,m^2$$

$$\frac{7500\times 10^{-3}}{60} = 0.96(0.0284)A_2\sqrt{2\times 9.81\ \times 8\left(\frac{1}{(0.0284)^2-(A_2)^2}\right)}$$

Solving A_2=0.0098 m^2

म्हणून व्यास 'd' असू द्या, $\frac{\pi}{4}\times d^2 = 0.0098$

Solving d=9.9 cm

उदाहरण 3: एका उघड्या टाकीच्या उभ्या बाजूने असलेल्या 15 cm व्यासाच्या छिद्रा (Orifice) तून प्रति सेकंद 190 lit या वेगाने पाणी सोडले जाते. छिद्राच्या मध्यरेषेपासून पाणी 15 m वर आहे. व्हेना कॉन्ट्रॅक्टा (Vena Contracta) वरून मोजलेल्या जेटवरील एका बिंदूमध्ये 5 m आडवे आणि 0.5 m उभे निर्देशांक आहेत. छिद्राचे हायड्रॉलिक सहगुणक (hydraulic coefficients) Cv आणि Cd शोधा.

Solution:

प्रत्यक्ष डिस्चार्ज (Actual discharge)

$$Q = C_d\,A\sqrt{2gh}$$

$$190\times 10^{-3} = C_d\ \times\frac{\pi}{4}\times 0.15^2\sqrt{2\times 9.81\times 15}$$

$$C_d\ = 0627$$

जेटला वेळेच्या t मधून x अंतरावरून क्षैतिजरित्या (Horizontally) प्रवास करू द्या आणि या काळात जेट y अंतराने खाली पडेल,

$x = V \times t = C_v\sqrt{2ght}\ or\ x^2 = {C_v}^2 2ght^2$

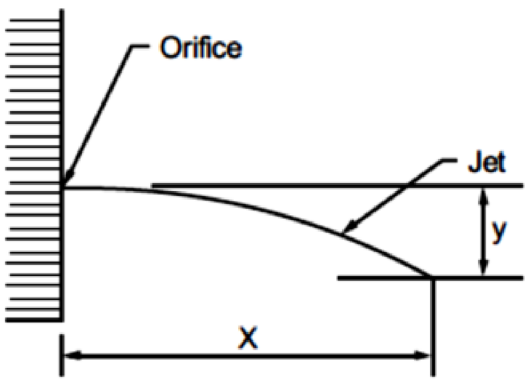
$y = \frac{1}{2} \times gt^2$

Therefore

$\frac{x^2}{y} = 4{C_v}^2 \times h$

Therefore $C_v = \sqrt{\frac{x^2}{4yh}}$

$C_v = \sqrt{\frac{5^2}{4 \times 0.5 \times 15}} = 0.913$



उदाहरण 4: एका उघड्या टाकीमध्ये बसवलेल्या 7 सेमी व्यासाच्या छिद्रातून बाहेर पडणाऱ्या द्रवाचा प्रत्यक्ष वेग (actual velocity) 3 मीटरच्या अंतराखाली 6 मीटर/सेकंद असतो. जर संकलन टाकीमध्ये मोजलेला स्त्राव 0.020 m per 3/सेकंद असेल, तर वेगाचा गुणांक, आकुंचनाचा गुणांक आणि छिद्रातून सैद्धांतिक स्त्राव काढा (coefficient of velocity, coefficient of contraction and the theoretical discharge).

Solution: छिद्रात प्रवाह वेग (Flow velocity in orifice) $V = C_v\sqrt{2gh} = 6 = C_v\sqrt{2 \times 9.81 \times 3}$

वेगाचा गुणांक **(Coefficient of velocity)** $C_v = 0.9124$

And प्रत्यक्ष डिस्चार्ज (Actual discharge) $Q = C_d A\sqrt{2gh}$

$0.020 = C_d \times \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{7}{100}\right)^2 \sqrt{2 \times 9.81 \times 3}$

$\therefore \boldsymbol{C_d = 0.6774}$

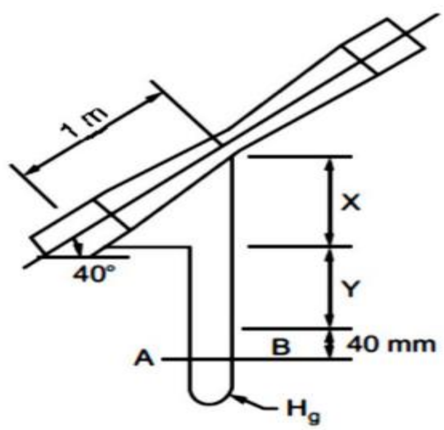
आकुंचनाचा गुणांक (**Coefficient of contraction)** $C_c = \frac{C_d}{C_V} = \frac{0.6774}{0.9124} = \mathbf{0.7424}$

उदाहरण 5: पेट्रोलचा प्रवाह दर मोजण्यासाठी 40^0 ते आडव्या दिशेने झुकलेल्या 30 सेमी व्यासाच्या पाईपमध्ये व्हेंटुरिमीटर बसवलेला आहे ज्याचे विशिष्ट गुरुत्व (specific gravity) 0.8 आहे. मुख्य पाईप आणि घशाच्या (throat) क्षेत्रफळांचे गुणोत्तर 5 आहे आणि घशाची लांबी इनलेटपासून 1 मीटर अंतरावर आहे. मॅनोमीटरच्या डोक्यातील (manometer head) फरक 40 मिमी पारा आहे. डिस्चार्जचा सहगुणांक 0.96 गृहीत धरून व्हेंटुरिमीटरमधून डिस्चार्ज मोजा.

Solution:

$$Q = C_d(A_1)A_2\sqrt{2gh_m\left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right)\left(\frac{1}{(A_1)^2 - (A_2)^2}\right)}$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \times 0.3^2 = 0.0707\, m^2$$



$$\frac{A_1}{A_2} = 5$$

$$\therefore A_2 = \frac{0.0707}{5} = 0.0141\, m^2$$

$$\therefore Q = \frac{0.96 \times 0.0141 \times 0.0707}{\sqrt{0.0707^2 - 0.0141^2}}\sqrt{2 \times 9.81 \times 0.04 \times \left(\frac{13.6}{0.8} - 1\right)}$$

$$\therefore Q = 0.0486\, m^3/s$$

उदाहरण 6: विशिष्ट गुरुत्वाकर्षणाच्या तेलाचा प्रवाह (specific gravity) 0.8 मोजण्यासाठी इनलेट व्यास 20 सेमी आणि घशाचा व्यास 10 सेमी असलेले क्षैतिज व्हेंटुरिमीटर (Horizontal Venturimeter) वापरले जाते. व्हेंटुरिमीटरमधून तेलाचे विसर्जन (Discharge) 60 लि/सेकंद आहे. तेल-पारा मॅनोमीटर (Oil manometer) चे वाचन (Reading) शोधा. विसर्जनाचे सहगुणांक (coefficient of discharge) 0.98 गृहीत धरा.

Solution:

Inlet area $A_1 = \frac{\pi}{4} \times 0.2^2 = 0.0314\, m^2$

Throat area $A_2 = \frac{\pi}{4} \times 0.1^2 = 0.00785\, m^2$

$$Q = C_d (A_1) A_2 \sqrt{2gh_m \left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right)\left(\frac{1}{(A_1)^2 - (A_2)^2}\right)}$$

$$\therefore 60 \times 1000 = \frac{0.0314 \times 0.00785}{\sqrt{0.0314^2 - 0.00785^2}} \sqrt{2 \times 9.81 \times hm \times \left(\frac{13.6}{0.8} - 1\right)}$$

$$\therefore hm = 18.1\, cm$$

3.2 प्रवाह क्षेत्राच्या फरकावर **(variation in flow area)** आधारित नलिकांमध्ये प्रवाह मोजण्याच्या उपकरणांचे वर्गीकरण:

3.2.1. रोटॅमीटर **(**Rotameter**)**

रोटामीटरला व्हेरिएबल एरिया फ्लो मीटर असेही म्हणतात**.** रोटामीटर ब्रँडचे नाव "GEC Elliot Automation" या ब्रिटिश कंपनीने सूचीबद्ध केले होते**.** त्याचप्रमाणे जर्मनीमध्ये**,** हे ब्रँड नाव रोटा योकोगावा GmbH & Co. KG द्वारे नोंदणीकृत आहे**.** म्हणून सध्या**,** ते योकोगावा इलेक्ट्रिक कॉर्पच्या मालकीचे आहे**.**

3.2.2. रोटॅमीटर म्हणजे काय**?** (What is a Rotameter?)

रोटॅमीटर हे एक विश्वासार्ह, सोपे आणि कमी किमतीचे प्रवाह (Flow) मोजण्याचे उपकरण आहे. म्हणून हे उपकरण द्रव किंवा वायूचा प्रवाह दर मोजण्यासाठी वापरले जाते. या मीटरमध्ये हलत्या अंतर्गत फ्लोटमधून जाणारी एक टॅपर्ड ट्यूब (Tapered tube) असते.

कधीकधी, रोटामीटरना गुरुत्वाकर्षण प्रवाह मीटर (gravity flow meters), यांत्रिक प्रवाह मीटर (Mechanical flow meters) किंवा परिवर्तनशील क्षेत्र प्रवाह मीटर (Variable area flow meters) असेही म्हणतात.

गुरुत्वाकर्षण प्रवाह मीटरमध्ये, गुरुत्वाकर्षण या शब्दाचा अर्थ असा आहे की, रोटामीटर उभ्या पद्धतीने स्थापित केला पाहिजे. रोटामीटर खाली दर्शविल्याप्रमाणे दिसेल.

Fig 3.8 The real image of Rotameter

रोटामीटर चे कार्य तत्व (Working) म्हणजे द्रवाचा प्रवाह दर (Flow rate) मोजणे कारण द्रव एका टॅपर्ड ट्यूबमधून पुरवला जातो. एकदा द्रव संपूर्ण ट्यूबमधून पुरवला की त्याचा क्रॉस-सेक्शनल प्रदेश (Cross sectional area) जास्त होईल.

3.2.3. रोटामीटर Construction

पारदर्शक ट्यूब, स्केल, फ्लोट (Float) आणि ट्रान्समीटर (Transmitter) सारख्या वेगवेगळ्या घटकांचा वापर करून रोटामीटरची रचना करता येते.

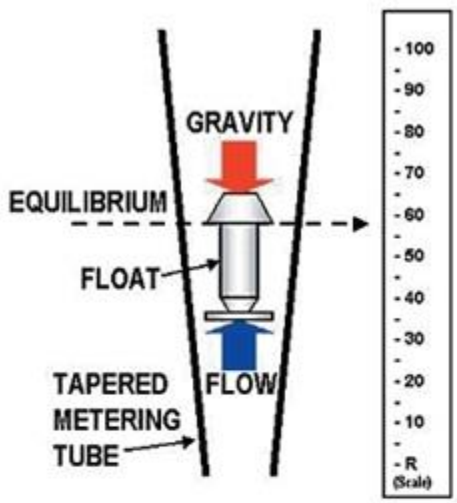


Fig 3.9 Structure of Rotameter

- बांधकामात (Construction), पारदर्शक नळीचा आकार शंकूच्या आकाराचा असतो ज्यामध्ये एक स्केल (Scale and float) असतो आणि तो त्याच्या आत तरंगतो. ही पारदर्शक नळी मोजमापांचे थेट निरीक्षण करण्यासाठी खूप उपयुक्त आहे.
- फ्लोट (Float) हे रोटामीटरच्या नळीमध्ये अचूक परिमाण असलेले एक लहान उपकरण आहे. नळीमधील द्रव प्रवाहाचा दर दर्शविण्यासाठी फ्लोटचा वापर केला जातो, जो प्लास्टिक (Plastic), काच (Glass) किंवा धातूने (Metal) डिझाइन केला जाऊ शकतो.
- या मीटरवरील स्केल फ्लोटसह दाखवून प्रवाह मापन (Flow Measurement) प्रदर्शित करतो.
- ट्रान्समीटर (Transmitter) थेट स्केलवर आपण निरीक्षकांच्या तुलनेत प्रवाह मापन अचूकपणे रेकॉर्ड करण्यात खूप उपयुक्त आहेत.
- यात फ्लोट आणि टेपर्ड ट्यूब (Tapered tube) समाविष्ट आहे जिथे फ्लोट टेपर्ड ट्यूबमध्ये व्यवस्थित केला जातो. उपकरणाच्या दोन्ही टोकांना, फ्लँज्ड कनेक्शन वापरून पाइपलाइनद्वारे जाळी व्यवस्थित केली जातात. रोटमीटर नेहमीच पाइपलाइनमध्ये उभ्या (Vertical) जोडलेले असतात आणि प्रवाह दर मूल्ये थेट तपासण्यासाठी ट्यूबवर एक स्केल उपलब्ध असतो.

3.2.4. रोटामीटर Working

रोटामीटरमध्ये, द्रव टेपर्ड ट्यूबच्या तळापासून वाहतो, त्यानंतर काही द्रव थेट फ्लोटच्या तळाशी आदळतो आणि उर्वरित द्रव फ्लोटपासून दूर वाहून जातो. म्हणून, रोटामीटरमधील फ्लोटला उलट दिशेने दोन बलांचा अनुभव येतो, गुरुत्वाकर्षण बल (Gravitational force) एक नकारात्मक बाजू आहे आणि ड्रॅग फोर्स (Drag force) वरच्या दिशेने आहे.

द्रवाचा प्रवाह गुरुत्वाकर्षणा (Gravity) पासून फ्लोटला वर ढकलतो. काही काळानंतर, वाहणारा प्रदेश अशा स्थितीत पोहोचतो (equilibrium) जिथे फ्लोटिंग बॉडीवर प्रेरित बल फ्लोटच्या वजनाशी अचूकपणे जुळते. म्हणून फ्लोटच्या प्रदेशातील क्षेत्र पुरेसे ड्रॅग (Drag) तयार करते जे वजनाच्या समतुल्य (equal) असते तेव्हा फ्लोट समतोल (equilibrium) शोधेल.

जेव्हा गुरुत्वाकर्षण (Gravity) आणि फ्लोट वजन (Float weight) दोन्ही स्थिर असतात, तेव्हा फ्लोट वरच्या दिशेने हलवलेले अंतर टेपर्ड ट्यूबमधून वाहणाऱ्या द्रवाच्या प्रवाह वेगाच्या सापेक्ष असते.

रोटामीटर निवडताना खालील पॅरामीटर्स (Parameters) विचारात घेणे आवश्यक आहे.

- प्रवाह दर (Flow rate) द्रव आणि वायूच्या व्हॉल्यूमेट्रिक प्रवाह (Volumetric flowrate) दरासारखे असतात.
- कार्यरत दाब (Operating pressure)
- द्रवाचे तापमान (Temperature of liquid)
- पाईपचा व्यास (Diameter of pipe)
- स्केलचा प्रकार दर्शविणारा (Type of scale)
- व्हॉल्व्हच्या आवश्यकता (Valve requirement)

3.2.5. रोटमीटर समीकरणे आणि व्युत्पत्ती (Derivation)

रोटामीटर उभ्या स्थितीत ठेवता येतो जिथे नळीचा पाया पातळ असतो आणि वर पोहोचल्यावर तो रुंद होतो. प्रवाह तळापासून सुरू होतो आणि त्या ठिकाणी जातो जिथे फ्लोटचे वजन (Float weight) द्रव प्रवाहाद्वारे वापरल्या जाणाऱ्या शक्तीचे संतुलन (weight balance) करते. जर द्रवपदार्थाच्या तुलनेत कमी राहिला तर ध्वनीच्या गतीसाठी (speed of sound), असंकुचित न होणारे बर्नौलीचे प्रमेय (Bernoulli’s theorem) समीकरण रोटामीटर प्रणालीवर फक्त समतोल म्हणून लागू केले जाते.

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{(V)^2}{2g} + Z = C \qquad \text{......(a)}$$

वरील समीकरणात,

‘g’ गुरुत्वाकर्षण प्रवेग आहे (Gravitational acceleration)

‘V’ द्रवाचा वेग आहे (fluid’s velocity)

'Z' अनियंत्रित उत्पत्तीच्या वरची उंची (height on top of an arbitrary origin)
'C' स्थिर (constant)
प्रथम, आपल्याला वरील समीकरण शून्यावर सेट करावे लागेल कारण फ्लोट निश्चित झाल्यानंतर रोटामीटरवर सर्व घात (Power) संतुलित होतात.

$$\rho g\left[\frac{(V)^2}{2g}+\frac{P}{\rho g}+Z\right]=0$$

$$\frac{(V)^2}{2g}+\frac{P}{\rho g}+Z=0$$

त्यानंतर, द्रव फ्लोटच्या वरच्या (a) आणि तळाशी (b) बिंदूंची तुलना करा.

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

वरील समीकरण असे सोपे करता येते की

$$\Delta P=\rho g h_f+\rho\frac{{V_b}^2}{2}+\left[1-\left(\frac{V_a}{V_b}\right)^2\right]$$

वरील समीकरणात, 'f' हा फ्लोटचे गुणधर्म दर्शवितो जिथे 'h_f' हा फ्लोटची उंची (Float height) आहे. द्रव फ्लोटच्या वरच्या आणि खालच्या भागात आकारमानात्मक द्रव प्रवाह दर (Volumetric flowrate) समान असतो, म्हणून

$Q=V_aA_a=V_bA_b$

वरील समीकरणात, 'Q' हा आकारमानाचा पुरवठा (Volumetric supply) आहे, 'V' हा आकारमानाचा प्रवाह (Volumetric flowrate) आहे आणि 'A' हा क्षेत्रफळ (Area) आहे.
वरील समीकरणावरून,

$$V_b=V_a\left[\frac{A_a}{A_b}\right]=\frac{Q}{A_b}$$

हे 'V_b' मूल्य मध्ये बदला, Bernoulli's equation.

$$\Delta P=\rho g h_f+\rho\left[\frac{Q}{2A_b}\right]^2+\left[1-\left(\frac{V_a}{V_b}\right)^2\right]$$

वरील समीकरणावरून, 'Q' सोडवण्यासाठी

$$Q=\left[\sqrt{2}[\Delta P-\rho g h_f]/\left[\rho\left[1-\left(\frac{A_b}{A_a}\right)^2\right]\right]\right]$$

दाबातील (Pressure difference) बदल सामान्यतः फ्लोटच्या वजनावरून दिसून येतो.

$$\Delta P=\frac{F}{A}$$

$$\Delta P=V_f(\rho_f-\rho)g/A_f$$

वरील समीकरणात, 'Vf' (amount of the float) हे फ्लोटचे प्रमाण आहे, 'ρf' हे फ्लोटची घनता (float's density) आहे आणि 'Af' (Region of float) हे फ्लोटचा प्रदेश आहे.
स्निग्ध द्रवांमध्ये आदर्श (Idea viscid liquids) म्हणजे वर दर्शविलेले प्रवाहाचे समीकरण शक्य होईल; तथापि, ऊर्जा उष्णतेमध्ये बदलता येते. साधारणपणे, द्रवाचा प्रत्यक्ष वेग (Actual velocity) कमी करते. द्रवाची स्निग्धता डिस्चार्ज गुणांक (Discharge coefficient) (C) वापरून मोजता येते.

३.३ स्थानिक वेगाचे मोजमाप:

३.३.१. पिटॉट ट्यूब (Pitot Tube)

पिटॉट ट्यूब फ्लो मीटर (Pitot Tube flowmeter)

पिटॉट ट्यूब सामान्यतः पाईपवर कपलिंग वेल्डिंग करून आणि कपलिंगमधून प्रोब (Coupling probe) घालून बसवल्या जातात. बहुतेक पिटॉट ट्यूबचा वापर सिंगल पॉइंट मापनांपुरता (Single point measurement) मर्यादित आहे. युनिट्स द्रवपदार्थात परदेशी पदार्थांने (Foreign material) प्लगिंग करण्यास संवेदनशील असतात. पिटॉट ट्यूबचे फायदे म्हणजे कमी किंमत, हलणारे भाग नसणे, सोपी स्थापना आणि कमीत कमी दाब कमी होणे.

पिटोट ट्यूब

पिटोट ट्यूब हे एक मोजण्याचे साधन आहे जे कोणत्याही वेळी पाईपमधून वाहणाऱ्या द्रवपदार्थांचा (हवा किंवा द्रव) वेग (Speed) मोजण्यासाठी वापरले जाते. 18 व्या शतकाच्या सुरुवातीला फ्रेंच अभियंता आणि शास्त्रज्ञ हेन्री पिटोट (Henry pitot) यांनी याचा शोध लावला होता, 19 व्या शतकाच्या मध्यात फ्रेंच अभियंता हेन्री डार्सी (Henry darcy) यांनी ते आधुनिक स्वरूपात आणण्यासाठी पुढील विकास केला.

विमान हवेतून प्रवास करताना हवेच्या दाबाचे प्रमाण शोधून द्रव प्रवाहाचा वेग निश्चित करण्यात ते मदत करते आणि त्या पातळीवरील स्थिर दाबाशी त्याची तुलना करते आणि फरक वेगात बदलतो.

3.3.1. पिटोट नळी सूत्र (Pitot tube formula)

पिटोट नळीच्या (Pitot tube) वापराने मिळणारा प्रवाह 'V' चा वेग गणितीय पद्धतीने असा व्यक्त करता येतो की,

$$V = C \times \sqrt{(2\,g\Delta h)} = C \times \left(\sqrt{2g(P_i - P_o)/\rho}\right) = C \times \sqrt{(2g(\frac{\rho_i}{\rho} - 1\,)}$$

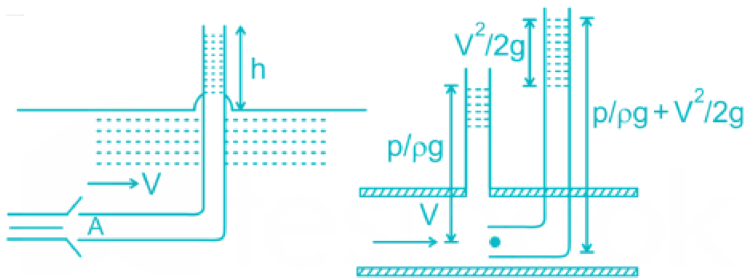
Here, P_i = आघात दाब (impact pressure)

P_o= स्थिर दाब (Static pressure)

C = गुणांक Coefficient (its value lies in the range, 1 ± 0.2)

g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारा प्रवेग (acceleration due to gravity)

ρ = द्रवाची घनता (density of fluid)



आकृती 10. अ) स्थिरता दाब (Stagnation pressure) मोजण्यासाठी ट्यूब ब) स्थिर आणि स्थिरता (Static and Stagnation) नळी एकत्र

3.3.2. पिटॉट ट्यूबची रचना (Construction)

यामध्ये दोन्ही क्लोजरवर उघडलेली काचेची नळी असते. खालचा भाग 90^0 पर्यंत वाकलेला असतो आणि इतका सेट केलेला असतो की तो अपस्ट्रीम बेअरिंगमधून येणाऱ्या द्रवाच्या प्रगतीला (Fluid flow) तोंड देतो. द्रव या खालच्या भागात जातो आणि नंतर सिलेंडरच्या सरळ टोकात वरच्या दिशेने चढतो कारण गतिज ऊर्जेचे दाब उर्जेमध्ये (Kinteic energy to pressure energy) रूपांतर होते. वेग (Speed), V, सिलेंडरमधील द्रवाच्या चढाईचा अंदाज घेऊन मोजला जातो.

3.3.3. कार्य तत्व (Pitot tube working)

हे तत्व या तत्वाशी संबंधित आहे की, "एका बिंदूवर प्रवाहाचा वेग शून्य झाला असे गृहीत धरल्यास, दाब उर्जेमध्ये (Pressure energy) वाढ होते. या बिंदूला स्थिरता बिंदू (Stagnation point) म्हणून ओळखले जाते.

नियमित प्रवाह (Static Pressure) आणि स्थिरता बिंदू (Stagnation point) मधील फरकांचा अंदाज घेऊन द्रव प्रवाहाचा अंदाज लावता येतो.

उदाहरण 1. पिटॉट स्टॅटिक ट्यूब ही 300 किमी प्रतितास वेगाने प्रवास करणाऱ्या विमानावर बसवली जाते आणि 20 किमी प्रतितास वेगाने वारा असतो. जर हवेचे विशिष्ट वजन 12 N/m3 असेल तर उपकरणाने नोंदवलेला दाबाचा फरक निश्चित करा.

Solution:
विमानाचा वेग , Aircraft Velocity = (300 x 1000)/3600 = 83.33 m/s
वाऱ्याचा वेग , Wind Velocity = (20 x 1000)/3600 = 5.56 m/s
विमानाचा सापेक्ष वेग , Relative velocity of the plane = 83.33 + 5.56 = 88.89 m/s
पिटोट ट्यूबद्वारे रेकॉर्ड केलेला वेग , Velocity recorded by Pitot tube = $V = C \times \sqrt{(2\,g\Delta h)}$

$$88.89 = 0.98 \times \sqrt{(2\;x\;9.81\;x\;\Delta h)}$$

Solving for h_{air} = 419.32 m and $\Delta P = 419.32\;x\;12 = 5032\;N/m^2$

उदाहरण 2. वाहिनीतून वाहणाऱ्या हवेचा वेग मोजण्यासाठी पिटोट स्टॅटिक ट्यूब वापरली जाते. मॅनोमीटर 5 सेमी पाण्याच्या वरच्या भागात फरक दाखवतो. जर हवा आणि पाण्याची घनता 1.13 kg/m3 आणि 1000 kg/m3 असेल तर हवेचा वेग निश्चित होतो. पिटोट ट्यूबचा सहगुणक 0.98 आहे असे गृहीत धरा.
Solution: प्रवाहाचा वेग , Flow Velocity

$$V = C \times \sqrt{(2g(\frac{\rho_i}{\rho} - 1\;)\text{h}}$$

$$V = 0.98 \times \sqrt{(2\;x\;9.81\;(\frac{1000}{1.13} - 1\;)x\frac{5}{100}}$$

$$V = 28.86\;m/s$$

3.4 फायदे आणि तोटे **(Advantages and Disadvantages):** व्हेंटुरिमीटर**,** ओरिफिस मीटर**,** रोटामीटर आणि पिटॉट ट्यूब

3.4.1. व्हेंटुरिमीटर **(Venturimeter)**

व्हेंटुरिमीटरचे फायदे **(Advantages of Venturimeter)**

व्हेंटुरिमीटरच्या विस्तृत वापरावरून असे दिसून येते की त्याचे काही महत्त्वपूर्ण फायदे आहेत. त्यापैकी काहींची चर्चा आपण खाली केली आहे.

- इतर द्रव मापन उपकरणांच्या तुलनेत, वीज कमी (power loss) होते
- लहान हेड (Small Head) उपलब्ध असतानाही ते वापरले जाऊ शकते
- डिस्चार्ज गुणांक (Discharge coefficient**)** अत्यंत उच्च आहे
- ही उपकरणे कॉम्प्रेस करण्यायोग्य (Compressible) आणि इनकॉम्प्रेस (Incompressible) करण्यायोग्य द्रवपदार्थांसाठी वापरली जाऊ शकतात
- ते ऑपरेट करण्यास सोपे (Simple)आहेत आणि अचूक (Accurate) परिणाम देतात
- अचूकता (Accuracy) अंतर्गत तापमान (Temperature) आणि दाबापेक्षा (Pressure) स्वतंत्र आहे.
- ब्लॉकिंगची (Clogging) शक्यता कमी आहे

व्हेंटुरिमीटरचे तोटे (Disadvantages of Venturimeter**)**

कोणतीही तांत्रिक संकल्पना पूर्ण करण्यासाठी, त्याचे फायदे आणि तोटे दोन्ही समजून घेणे आवश्यक आहे. आता आपण काही तोटे पाहूया.

- या उपकरणांना मोठ्या प्रमाणात स्थापनेचा खर्च (Installation cost) येतो
- या उपकरणांना देखभालीची (Maintainance)आवश्यकता असते
- या मीटरला ओरिफिस मीटरपेक्षा जास्त जागा (More space) लागते
- कारण व्हेंटुरिमीटर ओरिफिस मीटरपेक्षा मोठा असतो, त्यामुळे मर्यादित जागेच्या (Limited space) ठिकाणी ते वापरता येत नाही.
- त्यामध्ये ओरिफिस मीटरपेक्षा कमी प्रायोगिक डेटा (fewer experimental data) असतो.
- या उपकरणांचा वापर करून फक्त लॅमिनर फ्लो (रेनॉल्ड्स नंबर 150000) (laminar flow, Reynolds number of 150,000) असलेले द्रव मोजता येतात.

व्हेंटुरिमीटरचा वापर (Application of Venturimeter)

फायदे आणि तोटे याबद्दल थोडक्यात माहिती घेतल्यानंतर, खाली सूचीबद्ध केलेल्या व्हेंटुरिमीटरच्या व्यावहारिक वापराचा अभ्यास करूया.

- इंजिन कार्बोरेटरमध्ये (Engine Carborator) हवेचा प्रवाह (air flow) मोजण्यासाठी त्यांचा वापर केला जातो
- पॉवर पाईपिंग (Power piping industries) उद्योग प्रवाह नियंत्रित करण्यासाठी या उपकरणांचा वापर करतात
- जल प्रक्रिया संयंत्रे (water treatment plant), पाईपमधून वाहणारी वाफ (steam) किंवा गरम वायू मोजण्यासाठी वीज निर्मिती उद्योग आणि रासायनिक प्रक्रिया (Chemical Processing) उद्योगांमध्ये हे मोठ्या प्रमाणात वापरले जातात.

3.4.2. ओरिफिसमीटर (Orificemeter)

ओरिफिस मीटरचे फायदे

आम्ही अभ्यास केला की हे मीटर एक प्रवाह मोजण्याचे (Flow measurement) उपकरण आहे. या उपकरणांचे काही फायदे आहेत जे यांत्रिक अभियांत्रिकीमध्ये (Mechanical Engineering) महत्त्व देतात. चला त्यांचा अभ्यास करूया.

o व्हेंटुरिमीटरसारख्या इतर फ्लो मीटरशी तुलना केल्यास, ओरिफिस मीटर बऱ्यापैकी परवडणारे (Affordable) आहे

o ओरिफिस मीटर उपकरणाला आवश्यक असलेली स्थापना जागा कमी (less space) असते

o सामान्यतः, ते दोन पाईप्समध्ये बसेल इतके अरुंद (Narrow) असते

o ते सुरळीतपणे चालू ठेवण्यासाठी लागणारा खर्च कमी (less running cost) असतो.

o ते खूप कमी दाब (small pressure drop) देते

o ओरिफिस मीटरची ही रचना आणि निर्मिती (बांधकाम) (Fabrication) अगदी सोपी आहे.

ओरिफिस मीटरचे तोटे

जरी हे मीटर द्रव यांत्रिकी (Fluid Mechancs) मध्ये उपयुक्त ठरले आहे, परंतु त्याचे काही तोटे आहेत ज्यांची चर्चा खाली दिली आहे.

o व्हेना-कॉन्ट्रॅक्टा (Vena Contracta) च्या लांबीवरील निर्बंधांमुळे प्रवाह मोजण्यासाठी आवश्यक असलेला किमान दाब (Minimum pressure) कधीकधी आव्हानात्मक असू शकतो.

o द्रव चिकटपणा, घनता आणि दाब (Fluid viscosity, density and pressure)ओरिफिस मीटरच्या अचूकतेवर परिणाम करू शकतात.

o एकूण विभेदक दाब हेड लॉस (Differential pressure head loss) 40% ते 90% पर्यंत मोठ्या प्रमाणात येतो.

o डिस्चार्ज गुणांक (Discharge coefficient) नेहमीच कमी असेल.

ओरिफिस मीटरचा वापर

ओरिफिस मीटरचे प्राथमिक कार्य आणि वापर प्रवाह दर मोजणे आहे आणि ते रिफायनरीज (Refinaries), वॉटर ट्रीटमेंट प्लांट (Water Treatment Plant), नैसर्गिक वायू प्रक्रिया संयंत्र (natural gas processing plants), पेट्रोकेमिकल प्लांट (petrochemical plants) आणि तेल गाळण्याचे संयंत्र (Oil filtratation plant) यासह विविध अनुप्रयोगांमध्ये आढळू शकते.

3.4.3. रोटॅमीटर

रोटामीटरच्या फायद्यांमध्ये पुढील गोष्टींचा समावेश आहे.

- • स्वस्त (Inexpensive)
- • दाब कमी होणे कमी आहे (Pressure drop is less).
- • चांगली रेंजेबिलिटी (Rangability).
- • ते लहान प्रवाह दरां (Small flow rate) साठी योग्य आहे.
- ते फक्त स्विच (Switch), अलार्म (Alarm) किंवा कोणत्याही ट्रान्समिटिंग डिव्हाइस (Transmiting device) सह वापरले जाते.
- या मीटरचा वापर करून, संक्षारक द्रव प्रवाह दर (corrosive liquids flow rate) मोजता येतो.

रोटामीटरच्या तोट्यांमध्ये खालील गोष्टींचा समावेश आहे.

• ते उभ्या पद्धतीने (Vertical) जोडलेले असणे आवश्यक आहे

• काचेची नळी (Glass tube) हाताळणे कठीण आहे.

• ते स्पंदन सेवां (Pulsating flow) साठी योग्य नाही.

• ते लहान पाईप (Little pipe) सेवांसाठी मर्यादित आहे.

• ते कमी तापमानासाठी (low temperature) मर्यादित आहे.

• त्याची अचूकता ± 1/2 ते 10% आहे.

• ते इन-लाइन माउंटिंग (In line mounting) वापरते.

रोटामीटरच्या अनुप्रयोगांमध्ये खालील गोष्टींचा समावेश आहे.

- वेगवेगळ्या उद्योगां (Different industries)मध्ये रोटामीटर वापरले जातात.
- दर्जेदार हवा (Quality air supply) पुरवठा आवश्यक असलेल्या ठिकाणी हे वापरले जातात.
- कमी दाब (Low pressure) आवश्यक असलेल्या ठिकाणी हे वापरले जाते.
- प्रयोगशाळांमध्ये (Laboratories) वापरले जाते.
- प्रक्रिया आणि तेल उद्योग (Process and oil industries).
- ऑक्सिजन प्रवाह (Oxygen flow rate) दर मोजण्यासाठी वैद्यकीय क्षेत्रात (Medical) वापरले जाते.

3.4.4. पिटोट ट्यूब (Pitot Tube)

पिटोट ट्यूबचे काही मुख्य फायदे आणि तोटे खाली दिले आहेत.

फायदे

o वापरण्यास (Practically simple)सोपे आणि ते स्थापित करण्यास आर्थिकदृष्ट्या (Economically) योग्य आहे

o यात हलणारे भाग (Moving parts) नसतात; यामुळे घर्षणाचे (Frictional) नुकसान मर्यादित होते.

o त्याच्या लहान आकारामुळे, प्रवाह बंद न करता ते द्रव प्रवाहांशी परिचित होऊ शकते.

o दाब कमी होणे (Pressure) खूप कमी आहे.

o प्रतिकूल हवामान (Outrageous climate), उच्च तापमान (High temperature) आणि तणावाच्या परिस्थितीत सहजतेने वापरता येते.

तोटे

o कमी संवेदनशीलता (Sensitivity) आणि खराब अंदाज.

o त्यासाठी उच्च-गतीचा प्रवाह (High speed stream) आवश्यक आहे.

o सांडपाणी (Sewage) काढून टाकण्यासारख्या गोंधळलेल्या किंवा चिकट द्रवासाठी (Messy or tacky liquid) योग्य नाही.

o प्रवाहाच्या दिशेने संवेदनशील ता (Sensititvity) बिघडते

o पिटोट ट्यूबना व्यवसायांमध्ये मर्यादित अनुप्रयोग आढळले आहेत कारण ते द्रवपदार्थातील अपरिचित पदार्थांमुळे (Unfamilier material) निःसंशयपणे अडथळा आणू शकतात.

o पिटोट ट्यूबसाठी कोणतेही मानकीकरण (standardization) नाही

o स्पीड प्रोफाइल (Speed profile) मध्ये बदल मोठ्या चुका होऊ शकतात. स्पीड प्रोफाइलमधील प्रगतीमुळे, ते अपवादात्मकपणे कमी विभेदक दाब (Differential pressure) वाढवते जे मोजणे आव्हानात्मक आहे.

पिटॉट ट्यूबचे उपयोग

जरी ते सर्वात सोप्या प्रवाह सेन्सर्सपैकी (Flow sensors) एक आहे. ते विविध प्रकारच्या प्रवाह अंदाज अनुप्रयोगांमध्ये वापरले जाते.

त्याचे काही व्यावहारिक जीवन अनुप्रयोग खालीलप्रमाणे आहेत:

o हवेच्या दाबाचा (Air pressure) वापर करून त्याचा वेग (speed) मोजण्यासाठी जेट विमानां (Jet plane)मध्ये याचा वापर केला जातो

o प्रतिकूल (antagonistic) परिस्थितीत याचा वापर केला जातो

o तसेच ते हवेच्या चॅनेल (Air Channel) आणि रेषेच्या (Line) चौकटीत वापरला जातो

o सागरी (Marine) आणि वैमानिक (Aeronotical) स्पीडोमीटरमध्ये याचा वापर केला जातो

o प्रवाह दराचे **(**Stream rate**)** संकेत देण्यासाठी क्वचितच वापरला जातो

o अधिक योग्य स्टीम स्ट्रीम मीटर **(**Steam stream meter**)** कोणत्या पोहोचावर वापरता येईल हे ठरवणे**.**

3.5 खुल्या वाहिन्यां (Open Channel**)** मधील द्रव **(**Fluid) पदार्थांच्या प्रवाह दराचे **(**Flow rate**)** मापन**:**

खाच आणि वीअर्स **(**Notches and weir**)**

आयताकार (Ractangular)

त्रिकोणी **(**Triangular**)**

ट्रॅपेझॉइडल वीअर्स (Trapezoidal)

वीअर्स (Weirs) म्हणजे ओव्हरफ्लो (Overflow) स्ट्रक्चर्स आहेत ज्या प्रवाहात बदल करतात जेणेकरून:

1. आकारमानाचा प्रवाह दर (Volumetric flow rate) मोजता येतो,
2. पूर (Flooding) रोखता येतो, किंवा
3. पाण्याचा साठा अधिक जलवाहतूक (More navigable) करण्यायोग्य बनवता येतो

3.5.1. वीअर्सचे प्रकार (Types of Weirs)

वीअर्सचे मुख्य प्रकार

1. तीक्ष्ण-किरडा (Sharp-Crested) अ. आयताकृती ब. त्रिकोणी क. समलंब चौकोन
2. रुंद-किरडा (Broad-Crested) अ. आयताकृती

शार्प-क्रेस्टेड वेअर (Sharp-Crested Weir)

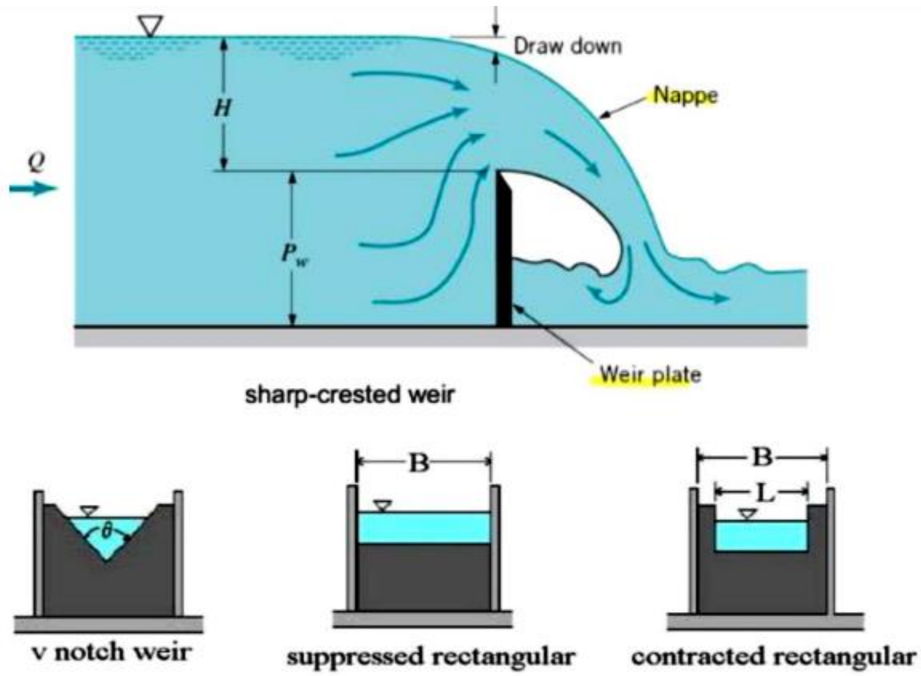
तीक्ष्ण-क्रेस्टेड वेअर्सचे (Sharp-Crested Weir) तीन मुख्य प्रकार आहेत:

1. आयताकृती—डिस्चार्ज मोजा आणि पाण्याची उंची बदला (Rectangular—Measure Discharge and Change Water Elevations)
2. त्रिकोणी - डिस्चार्ज मोजा (Triangular—Measure Discharge)
3. ट्रॅपेझॉइडल-डिस्चार्ज मोजा आणि मोठ्या डोक्याने पाण्याची उंची बदला (Trapezoidal—Measure Discharge and Change Water Elevations with Large Head)

शार्प-क्रेस्टेड वेअर्स सहसा लहान नद्या आणि कालव्यांसाठी वापरल्या जातात (smaller rivers and canals).

शार्प-क्रेस्टेड वेअर (Sharp crested) हे रुंद क्रेस्टेड (Broad crested) वेअरपेक्षा वेगळे असतात कारण संरचनेच्या डाउनस्ट्रीम कड्या (Downstream edge) पासून वेगळे पाण्याचा पृष्ठभाग खाली पडतो, ज्याला फ्री-फॉलिंग नॅप (Free falling nappe) म्हणतात

- नैपच्या वरच्या आणि खालच्या बाजूच्या प्रवाही पृष्ठभाग हवेच्या (Air pressure) आणि वातावरणाच्या दाबाने (atmospheric pressure) उघड होतात
- वेअर डिस्चार्ज (Weir discharge) गणनाची अचूकता (accuracy) सुधारण्यासाठी वेअरला चिकटून राहणारा नॅप टाळला पाहिजे.



आकृती 11. शार्प क्रेस्टेड वेअर (Sharp Crested Weir)

उघड्या वाहिनीतून (open channel) द्रवाचा प्रवाह दर (flowrate) मोजणे हे बंद पाईपमधून (closed pipe) द्रवाचा प्रवाह दर मोजण्यासारखे नाही: असे करण्यासाठी सर्वात सामान्य पद्धतींपैकी एक म्हणजे द्रव प्रवाहाच्या मार्गावर एक निर्बंध (restriction) घालणे आणि नंतर त्या निर्बंधावरून पडणारा "दाब" (pressure) मोजणे. हे करण्याचा सर्वात सोपा मार्ग म्हणजे वाहिनीच्या मध्यभागी एक कमी "धरण" (dam) बसवणे, नंतर प्रवाह दराचा अंदाज घेण्यासाठी धरणाच्या वरच्या प्रवाहातील द्रवाची उंची (height of liquid upstream) मोजणे. या धरणाला तांत्रिकदृष्ट्या बंधारा (weir) म्हणून संबोधले जाते आणि बंधारा सामान्यतः तीन प्रकारच्या बंधारा वापरल्या जातात:

द्रव प्रवाह मोजण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या ओपन-चॅनेल प्रतिबंधाचा आणखी एक प्रकार म्हणजे फ्ल्यूम (flume). पार्शॉल फ्ल्यूमचे (Parshall flume) उदाहरण येथे दाखवले आहे:

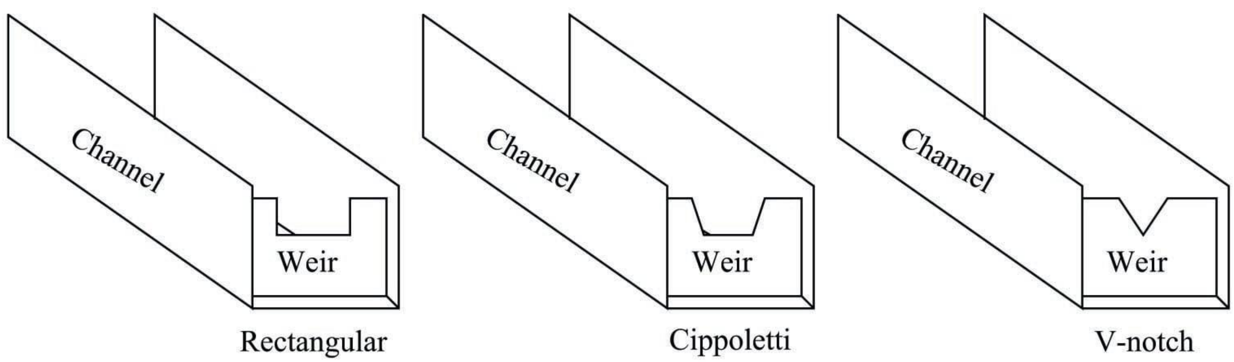
ओपन-चॅनेल द्रव प्रवाहासाठी वेअर (weir) आणि फ्ल्यूम (flume) हे अनुक्रमे "ओरिफिस प्लेट्स" (Orifice plate) आणि "व्हेंटुरी ट्यूब्स" (Venturi tube) सारखे असू शकतात. ओरिफिस प्लेटप्रमाणे, वेअर किंवा फ्ल्यूम एक विभेदक दाब (Differential pressure) निर्माण करतो जो त्यातून जाणाऱ्या प्रवाह दरानुसार (Flowrate) बदलतो. तथापि, येथेच समानता (similarities) संपते.

द्रव प्रवाहाला वातावरणीय दाबाशी जोडणे म्हणजे प्रवाह दरामुळे होणारा विभेदक दाब (Differential pressure) चॅनेलमधील वेगवेगळ्या बिंदूंवर द्रव उंचीमधील फरक (difference in liquid height) म्हणून प्रकट होतो. अशा प्रकारे, वेअर आणि फ्ल्यूम द्रव उंची ओळखून द्रव प्रवाहाचे अप्रत्यक्ष मापन (Indirect measurement) करण्यास अनुमती देतात.

वेअर आणि फ्ल्यूमचे एक मनोरंजक वैशिष्ट्य म्हणजे जरी ते नॉनलाइनर (Non-linear) प्राथमिक संवेदन घटक असले तरी, त्यांची नॉनलाइनरिटी ओरिफिसपेक्षा बरीच वेगळी आहे.

वेगवेगळ्या वेअर्स आणि फ्ल्यूम्ससाठी खालील ट्रान्सफर फंक्शन्स (Transfer functions) लक्षात घ्या, जे उपकरणातून द्रव प्रवाहाचा दर (Q) उपकरणाच्या वरच्या प्रवाहात द्रव वाढीच्या पातळीशी (ज्याला "हेड" किंवा H म्हणतात) जोडतात:

Different styles of weirs for measuring open-channel liquid flow



3.5.2. **तीव्र-क्रेस्टेड वेअर आयताकृती/दबलेल्या स्त्राव** (Sharp-Crested Weir Rectangular/Suppressed Discharge)

• आयताकृती (rectangular) आणि दबलेल्या वेअर (suppressed weirs) मध्ये सामान्य स्त्राव समीकरण समान असते (खाली), परंतु पाणी ज्या लांबीवरून वाहते त्या वेअरची लांबी (Weir length) वेगवेगळी असते.

$$Q = \frac{2}{3} C_D \sqrt{2g} B H^{3/2}$$

$$C_D = 0.602 + 0.083H/P$$

Where:

Q (m^3/s) is the बंधाऱ्यावरील आकारमानाचा प्रवाह दर, volumetric flow rate over the weir

C_D is the डिस्चार्ज गुणांक सामान्यतः 0.60 ते 0.62 पर्यंत असतो, discharge coefficient usually ranging from 0.60 to 0.62

H (m) is the head over the weir (from the weir crest to the upstream water surface)

P (m) is the वेअर प्लेटची उंची, height of the weir plate

B (m) is the संकुचित खाचची रुंदी (आयताकृती), किंवा चॅनेलची रुंदी (दाबलेली), width of the contracted notch (rectangular), or the width of the channel (suppressed)

g is the गुरुत्वाकर्षणाचा त्वरण , acceleration of gravity (9.81 m/s²)

शार्प-क्रेस्टेड वेअर व्ही-नॉच (त्रिकोणी), Sharp-Crested Weir V-Notch (Triangular)

- लहान डिस्चार्जच्या (Small discharge) बाबतीत वापरले जाते
- ओपन चॅनेलमध्ये (Open Channel) डिस्चार्ज मोजण्यासाठी सर्वोत्तम वेअर
- फ्लो रेट (Flow rate) मोजताना सर्वाधिक अचूकता ±2%

शार्प-क्रेस्टेड वेअर व्ही-नॉच (त्रिकोणी) डिस्चार्ज, Sharp-Crested Weir V-Notch (Triangular) Discharge

व्ही-नॉच वेअरमधून डिस्चार्जची (Discharge) गणना करणे अधिक क्लिष्ट आहे: Calculating discharge across a V-Notch weir is more complicated:

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

Where:

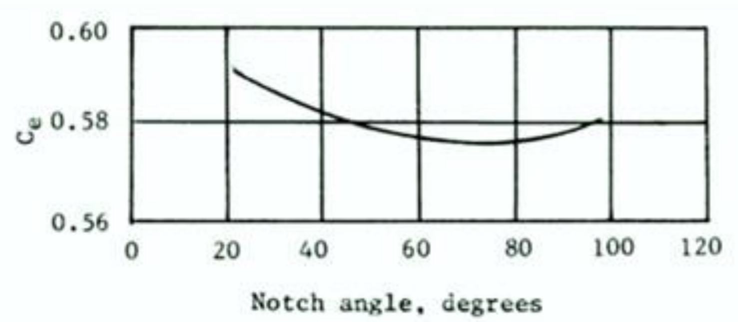
Q (m^3/s) is व्ही-नॉच वेअरवरून प्रवाह, flow over V-Notch weir

C_e, उजवीकडील आलेख वापरून शोधता येते

H(m) is the खाचातून वाहणारे डोके

θ(degrees) is the खाच कोन, notch angle

g is the गुरुत्वाकर्षणाचा त्वरण, acceleration of gravity (9.81 m/s^2)



शार्प-क्रस्टेड वेअर (ट्रॅपेझॉइडल), Sharp-Crested Weir (Trapezoidal)

- हे वेअर्स ट्रॅपेझॉइडल आकाराचे (Trapezoidal shape) आहेत ज्यांच्या खाच बाजूचा उतार (notch side angle) 4:1 आहे (उभ्या: क्षैतिज)
- आयताकृती (raectangular) आणि त्रिकोणी (riangular) वेअरचे संयोजन
- हे वेअर्स सामान्यतः सिंचनासाठी (irrigation) वापरले जातात
- जेव्हा आयताकृती (rectangular) वेअरसाठी डिस्चार्ज खूप जास्त असतो तेव्हा वापरले जातात

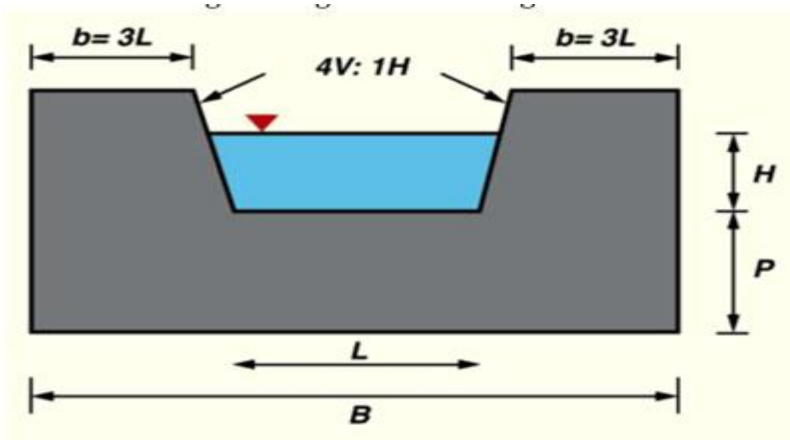


Fig 3.7 Sharp-Crested Weir (Trapezoidal)

ट्रॅपेझॉइडल वेअरसाठी डिस्चार्ज (Discharge for a trapezoidal Weir) खालीलप्रमाणे मोजला जातो:

$Q = 3.367LH^{3/2}$

- मुक्त-वाहणाऱ्या नॅपमधील आकुंचन (Contraction) नॉन-सप्रेस्ड वायर्स (weires) मध्ये होते कारण वायरच्या बाजूने जाणारे पाणी वायर प्लेटच्या कोपऱ्यांभोवती तात्काळ "वळू" शकत नाही.
- जर B>4H असेल तर वायर पूर्णपणे आकुंचन (fully contracted) पावते आणि जर 0<B असेल तर अंशतः आकुंचन (Partially contracted) पावते.
- आकुंचनाच्या उपस्थितीसाठी डिस्चार्ज करेक्शन फॅक्टर (Discharge correction factor) ची आवश्यकता असते, परंतु ट्रॅपेझॉइडल वायर्स (Trapezoidal weirs) अशा प्रकारे डिझाइन केले आहेत की कोणत्याही करेक्शन फॅक्टरची आवश्यकता नाही.

ब्रॉड-क्रेस्टेड वीअर (Broad-Crested Weir**)**

सामान्यत: तीक्ष्ण-क्रेस्टेड वेअरपेक्षा (sharp-crested weirs) स्टर्डीयर

Medium मध्यम ते मोठ्या आकाराच्या नद्या (Large Size River) आणि कालव्यांमध्ये वापरलेले (स्टर्डीयर)

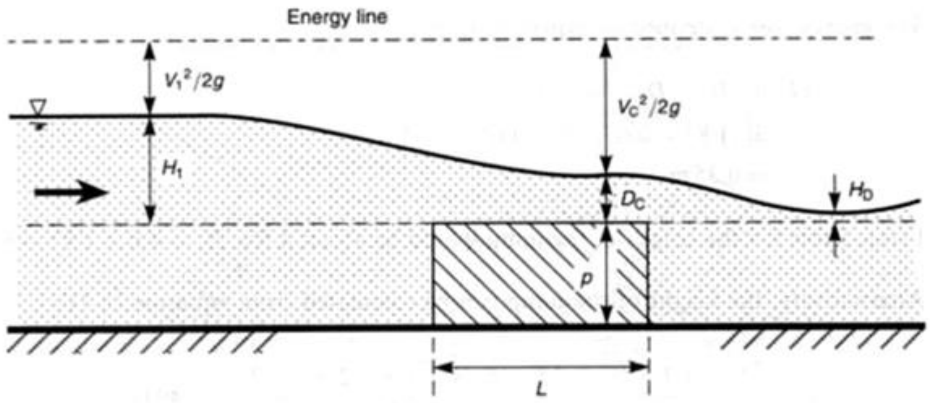
Flow प्रवाह मोजमाप आणि पाण्याचे स्तर नियामक (Water level regulator) म्हणून वापरले जाते

Sub सबक्रिटिकल रेंजमध्ये प्रवाहासाठी आवश्यक आहे - गुळगुळीत पाण्याच्या पृष्ठभागाचा (Smooth water surface) फायदा होतो

ब्रॉड-क्रेस्टेड वीअर डिस्चार्ज (Broad-Crested Weir Discharge)

ब्रॉड-क्रेस्टेड वीअर (Broad-Crested Weir Discharge) वर प्रवाह वीअरच्या भूमितीवर (Weir geometry) अवलंबून असतो. खालीलप्रमाणे फक्त डिस्चार्ज (Discharge) मोजले जाऊ शकते

$Q = CLH^n$



Where: Q = व्हॉल्यूमेट्रिक फ्लो रेट, Volumetric flow rate

C = विशिष्ट वीअर संरचनेसाठी स्थिर, Constant for the specific weir structure

L = Weir ची रुंदी, Width of the weir

H = Weir च्या क्रेस्टच्या संबंधात पाण्याच्या डोक्याची उंची अपस्ट्रीम, Height of water head upstream in relation to the weir's crest

n = स्ट्रक्चर व्हेरिएंट (सामान्यत: क्षैतिज विअरसाठी 3/2), structure variant (usually 3/2 for a horizontal weir)

डिझाइन कॉन्स्टंट्स (Design constant) ज्ञात असल्यास वरील समीकरण तीव्र-क्रेस्टेड वीअर (sharp-crested weirs) साठी देखील वापरले जाऊ शकते

Problems

उदाहरण 1 - अरुंद क्रेस्टेड वेअरवरून डिस्चार्ज (Discharge Over A Narrow Crested Weir)

10 मीटर लांबीचा एक अरुंद-क्रेस्टेड बंधारा (A narrow-crested weir) 400 मिमीच्या स्थिर मापा (constant head) खाली पाणी सोडत आहे. बंधारा वरील स्राव (discharge over the weir) लिटर/सेकंदात शोधा. स्त्राव सहगुणांक (coefficient of discharge) 0.623 गृहीत धरा. Given, ♣ L = 10 m ♣ H = 400 m = 0.4 m ♣ Cd = 0.623

So, तर, बांधणीवरील स्त्राव, the discharge over the weir,

$$Q = \frac{2}{3} C_D \sqrt{2g} B H^{3/2}$$

$$Q = \frac{2}{3}\ x\ 0.623\ x\ 10\ x\ \sqrt{2\ x\ 9.81}\ 0.4^{3/2}$$

$$Q = 18.4\ x\ 2.53$$

$$Q = 46.55 \frac{m^3}{s} = 4655\ liter/s$$

उदाहरण 2 - ट्रॅपेझॉइडल वेअरवरून डिस्चार्ज (Discharge Over A trapezoidal Weir)

1 मीटरच्या उंचीखाली 4 मीटर लांबीच्या ट्रॅपेझॉइडल बंधाऱ्या (**trapezoidal Weir)** वरून पाणी वाहत आहे. बंधाऱ्यासाठी स्त्राव गुणांक (coefficient of discharge) 0.6 असल्यास स्त्राव मोजा.

- Given, L = 4m, H = 1m, Cd = 0.62

आपल्याला माहित आहे की सिपोलेट्टी बंधाऱ्यावरील डिस्चार्ज, discharge over the Cippoletti weir,

$$Q = \frac{2}{3} C_D \sqrt{2g} B H^{3/2}$$

$$Q = \frac{2}{3}\ x\ 0.623\ x\ 4\ x\ \sqrt{2\ x\ 9.81}\ 1^{3/2}$$

$$Q = 7.32\ x\ 1$$

$$Q = 7.32\ \frac{m^3}{s}$$

उदाहरण 3 - आयताकृती बंधाऱ्यावरून होणारा स्त्राव (Discharge over a Rectangular Weir)

एका आयताकृती कालव्यावर (**Rectangular Weir**) 8 मीटर लांबीचा बंधारा बांधून 9 चौरस मीटर/सेकंद इतका प्रवाह सोडायचा आहे. जर बंधाऱ्याच्या वरच्या बाजूला पाण्याची कमाल खोली 2 मीटर असेल, तर बंधाऱ्याची उंची (Height of wier) किती असावी?

Adopt Cd = 0.62.

Given, L = 8 m, Q = 9 m^3/s, Depth of water = 2m, Cd = 0.62

Let, H = बांधणीच्या चौकटीच्या वरच्या पाण्याची उंची , Height of water above the sill of the weir.

So, तर, बांधणीवरील स्त्राव, the discharge over the weir,

$$Q = \frac{2}{3} C_D \sqrt{2g} B H^{3/2}$$

$$9 = \frac{2}{3}\ x\ 0.623\ x\ 8\ x\ \sqrt{2\ x\ 9.81}\ H^{3/2} = 14.65 H^{3/2}$$

$$H^{3/2} = \frac{9}{14.65} = 0.614$$

$$H = 0.72\ M$$

Therefore बंधाऱ्याची उंची, height of weir should be = 2.0 - 0.72 = 1.28 m

Height of weir = 1.28 m

उदाहरण 4: 1.3 मीटर रुंद असलेल्या आयताकृती कालव्यातील (rectangular weir) 60 सेमी उंच आयताकृती बांधा (rectangular channel) वरील डोके 21 सेमी मोजले जाते. बांधावरील डिस्चार्ज (Discharge) किती आहे?

Solution:

Flow coefficient

$$K = 0.40 + 0.052 H/P$$

$K = 0.40 + 0.052\left(\frac{21}{60}\right) = 0.417$

Discharge

$Q = K\sqrt{2g}LH^{3/2}$

$Q = 0.417\sqrt{2x9.81}(1.2)0.21^{3/2}$

$Q = 0.23\ m^3/s$

उदाहरण 5 - रुंद कणा असलेल्या बंधाऱ्यावरून स्त्राव (Discharge Over A Broad Crested Weir) (सरावासाठी न सोडवलेले)

त्याच्या क्रेस्टच्या वर 0.6 मीटर उंची असलेल्या 60 मीटर लांबीच्या ब्रॉड-क्रेस्टेड वीअर (broad-crested weir) वर जास्तीत जास्त स्त्राव निश्चित करा. 0.595 म्हणून स्त्राव गुणांक (coefficient of discharge) घ्या. दृष्टिकोनाचा वेग लक्षात घेता, वीअरवर नवीन स्त्राव (new discharge) देखील निश्चित करा. वीअरच्या अपस्ट्रीम (Upstream) बाजूला असलेल्या चॅनेलमध्ये क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र (Cross sectional area) 45 चौरस मीटर आहे. • दिले, L = 60 मीटर, h = 0.6 मीटर, Cd= 0.595, a = 45 m^2

Unit - IV द्रवांची वाहतूक
TRANSPORTATION OF FLUIDS

CO4 - Select the appropriate pumping device for transportation of liquids in chemical industries.
सिलेक्ट पंप फॉर ट्रान्सपोर्टेशन ऑफ फ्लूइड्स इन केमिकल इंडस्ट्रीस

TLO 4.1 Sketch the different pipe fittings.
स्केच डिफरेन्ट पाईप फिटीगं

TLO 4.2 Select the suitable valve based on the requirements.
सिलेक्ट सुटेबल व्हाल्व

TLO 4.3 Classify the pumps for handling liquids.
क्लासिफिकेशन ऑफ पम्प्स फॉर ट्रान्सपोर्टेशन ऑफ liquids

TLO 4.4 Describe the construction of Centrifugal pump.
सेन्ट्रिफुगलं पम्प्सची रचना सांगा

TLO 4.5 Explain the working of Reciprocating Pump.
रेसिप्रोकेटिंग पम्पचे कार्य सांगा

TLO 4.6 Explain the construction and working of Rotary Pump.
रोटरी पम्पचे रचना व कार्य सांगा

4.1 पाईपिंग आणि फिटिंग (Pipe & Pipe Fittings)

4.1.1 ओळख, रासायनिक प्रक्रिया संयंत्रामध्ये आवश्यकता

रासायनिक प्रक्रिया संयंत्रामध्ये कच्चा माल साठवण, कच्चा माल तयारी, अभिक्रिया (reaction), उत्पादन शुद्धीकरण आणि उत्पादन साठवण यांचा समावेश असतो. प्रत्येक टप्प्यावर घन, द्रव आणि वायू स्वरूपातील पदार्थ एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणी किंवा एका उंचीवरून दुसऱ्या उंचीवर नेण्याची गरज असते. या प्रक्रियेत कच्चा माल, मध्यम उत्पादन आणि अंतिम उत्पादन वाहतूक करण्यासाठी पाईप हे मुख्य साधन असते. त्यांच्या (पाईप) महत्त्वाचा वापर उत्पादन, बांधकाम, रासायनिक प्रक्रिया आणि ऊर्जा निर्मिती यासारख्या विविध क्षेत्रांमध्ये केला जातो.

पाईपिंग आणि फिटिंग रासायनिक प्रक्रिया उद्योगांचा महत्त्वाचा भाग आहेत. पाईपिंगचे कार्य केवळ कच्च्या मालाची वाहतूक करणे एवढेच नाही, तर वाफ (स्टीम), गरम पाणी, थंड पाणी यासारख्या उपयुक्त माध्यमांचे वाहतूक करण्यासाठीही पाईपिंग वापरले जाते. पाईपमधून द्रव्य किंवा वायू वाहून नेण्यासाठी दिशा बदलण्याच्या गरजेच्या ठिकाणी एल्बो, बेंड, टी, युनियन यांसारख्या फिटिंगचा वापर केला जातो.

कच्च्या मालाचा प्रवाह नियंत्रित करणे, डिस्टिलेशन कॉलममध्ये (Distillation Column) योग्य प्रमाणात फीड (Input) पुरवणे, उपयुक्त माध्यमांचा प्रवाह नियंत्रित करणे किंवा उत्पादन प्रवाह योग्य प्रकारे काढून टाकण्यासाठी प्रवाह नियमन करणे आवश्यक असते.

प्रवाह दर नियंत्रित करण्यासाठी 'व्हॉल्व' या उपकरणाचा उपयोग केला जातो. वेगवेगळ्या प्रकारच्या वाल्व जसे की बॉल व्हॉल्व, नीडल व्हॉल्व, गेट व्हॉल्व, ग्लोब व्हॉल्व इत्यादी प्रवाह दर (flow rate) नियंत्रित करण्यासाठी वापरले जातात.

रसायन प्रक्रिया उद्योगाच्याआवश्यकते नुसार, दाब, तापमान, आणि रासायनिक प्रक्रिया यावर आधारित पाईप्सच्या विविध सामग्री (पदार्थ) निवडल्या जातात.

उदाहरणार्थ : स्टील (कार्बन स्टील, स्टेनलेस स्टील, अलॉय स्टील)), तांबे आणि पितळ (Copper & Brass) ॲल्युमिनियम (Aluminum) प्लास्टिक आणि पॉलिमर (Plastics & Polymers) , PVC (पॉलीविनाइल क्लोराईड) , CPVC (क्लोरीनेटेड पॉलीविनाइल क्लोराईड).HDPE (हाय-डेन्सिटी पॉलीएथिलीन) काँक्रिट पाईप्स , ग्लास-लाइन पाईप्स, FRP (फायबरग्लास रेइनफोर्स्ड प्लास्टिक) –

4.1.2 पाईप आणि ट्यूब यातील फरक

वैशिष्ट्ये	पाईप	ट्यूब
परिभाषा	द्रव आणि वायू वाहून नेण्यासाठी वापरण्यात येणारी पोकळ सिलेंड्रीकल रचना.	यांत्रिक आणि संरचनात्मक उपयोगांसाठी वापरण्यात येणारी पोकळ सिलेंड्रीकल रचना.
आकाराचे प्रकार	नेहमी गोलसर असते.	गोल, चौकोनी किंवा आयताकृती असू शकते.
मापन मानक	नोमिनल पाईप साइज (NPS) किंवा शेड्यूलनुसार मोजले जाते (आंतरिक व्यास आणि भिंतीच्या जाडीच्या (thickness) आधारावर).	बाह्य व्यास (OD) आणि भिंतीच्या जाडीने (thickness) मोजले जाते (अचूक परिमाणे दिली जातात).
भिंतीची जाडी	शेड्यूल नंबरनुसार परिभाषित केली जाते (उदा. शेड्यूल 40, 80).	गेज किंवा अचूक मापनानुसार परिभाषित केली जाते (उदा. 1.5mm, 2mm).
सहिष्णुता (Tolerance)	तुलनेने कमी काटेकोर टॉलरन्स ; व्यास आणि भिंतीच्या जाडीमध्ये थोडा फरक स्वीकारला जातो.	अधिक काटेकोर टॉलरन्स, अत्यंत अचूक परिमाण असतात.
वापर	प्लंबिंग, तेल आणि वायू वाहतूक, जल वितरण इत्यादींसाठी वापरले जाते.	संरचनात्मक, उष्णता विनिमयक (heat exchanger), आणि बॉयलरमध्ये आधार व उष्णता विनिमयासाठी(एक्स्चेंज साठी वापरले जाते.
साहित्य	मुख्यतः कार्बन स्टील, स्टेनलेस स्टील, किंवा PVC पासून बनवले जाते.	स्टील, तांबे, ॲल्युमिनियम, ब्रास किंवा टायटॅनियमपासून बनवले जाऊ शकते.
जोडणी पद्धत	वेल्डिंग, थ्रेडिंग किंवा फ्लेनजेसद्वारे	वेल्डिंग, ब्रेझिंग किंवा फिटिंगद्वारे जोडले जाते.

वैशिष्ट्ये	पाईप	ट्यूब
	जोडले जाते.	
खर्च	मोठ्या प्रमाणावर उत्पादन आणि कमी काटेकोर टॉलरन्समुळे तुलनेने स्वस्त.	अचूक निर्मिती आणि विशिष्ट साहित्याच्या आवश्यकतेमुळे अधिक महाग.

4.1.3 नोमिनल पाईप साइज (NPS) आणि पाईप शेड्यूल (SCH) नंबर

नोमिनल पाईप साइज (NPS) ही उत्तर अमेरिकन मानक प्रणाली आहे, जी उच्च किंवा कमी दाब आणि तापमानासाठी वापरण्यात येणाऱ्या पाईप्सच्या प्रमाणित मापांसाठी निश्चित केली जाते. नोमिनल पाईप साइज (NPS) फक्त पाईपच्या बाह्य व्यासाला (OD) संदर्भित करते, त्यामुळे ती काहीशी वेगळी आहे. उदाहरणार्थ, जर पाईपचा आकार 2 NPS असेल, तर त्या सर्व पाईप्सचा बाह्य व्यास (OD) 2.375 इंच (60.3 mm) असेल, भिंतीच्या जाडीपेक्षा स्वतंत्र. मात्र, NPS आणि OD हे नेहमी समान नसतात, त्यामुळे गोंधळ निर्माण होऊ शकतो.

NPS आणि बाह्य व्यास (OD) यातील फरक:

- NPS ⅛ ते 12: NPS आणि OD वेगळे असतात. उदाहरणार्थ, NPS 12 पाईपचा खरा बाह्य व्यास 12.75 इंच (324 mm) असतो.
- NPS 14 आणि त्यापुढील: NPS आणि OD समान असतात. उदाहरणार्थ, NPS 14 पाईपचा बाह्य व्यास 14 इंच (360 mm) असतो.

पाईप शेड्यूल (SCH) आणि भिंतीची जाडी

प्रत्येक पाईप त्याच्या व्यास आणि भिंतीच्या जाडीवरून ओळखला जातो, आणि भिंतीच्या जाडीला शेड्यूल (SCH) या परिमाणाद्वारे दर्शवले जाते.

- पाईप शेड्यूल म्हणजे पाईपच्या भिंतीची जाडी दर्शविणारे परिमाण असते.
- भिंतीची जाडी वाढल्यास पाईपची यांत्रिक क्षमता वाढते, त्यामुळे उच्च दाब सहन करण्याची क्षमता सुधारते.

शेड्यूल नंबर (SCH) खालील सूत्राने परिभाषित केला जातो:

$$Schedule\ Number = 4000\,\frac{P}{S}$$

जिथे,

P = पाईपमधील अंतर्गत कार्यकारी दाब (psi मध्ये)

S = पाईप सामग्रीच्या परवान्याने सहन करता येण्याजोग्या ताणाची किंमत (psi मध्ये)

NPS आणि शेड्यूल संबंधित काही महत्त्वाचे नियम:

1. एखाद्या निश्चित NPS साठी, OD कायम राहतो, पण शेड्यूल नंबर वाढल्यास भिंतीची जाडी वाढते.
2. एका ठराविक शेड्यूल नंबरसाठी, NPS वाढल्यास OD वाढतो, तर भिंतीची जाडी स्थिर राहते किंवा वाढते.

सामान्यतः उपलब्ध असलेले पाईप शेड्यूल प्रकार:

SCH 5, 5S, 10, 10S, 20, 30, 40, 40S, 60, 80, 80S, 100, 120, 140, 160, STD, XS, आणि XXS.

नोमिनल पाईप साइज आणि शेड्यूलच्या आधारे पाईपची जाडी रूपांतरण तक्त्यांमधून (Conversion Tables) मिळवता येते.

PIPE SCHEDULES & WEIGHTS					
		SCHEDULE 40		SCHEDULE 80	
NOMINAL PIPE SIZE	OUTSIDE DIAMETER	Wall Thick.	Wt. Per Ft.	Wall Thick.	Weight Per Ft.
1/8	0.405	0.068	0.245	0.095	0.315
1/4	0.540	0.088	0.425	0.119	0.535
3/8	0.675	0.091	0.568	0.126	0.739
1/2	0.840	0.109	0.851	0.147	1.088
3/4	1.050	0.113	1.131	0.154	1.474
1	1.315	0.133	1.679	0.179	2.172
1-1/4	1.660	0.140	2.273	0.191	2.997
1-1/2	1.900	0.145	2.718	0.200	3.631
2	2.375	0.154	3.653	0.218	5.022
2-1/2	2.875	0.203	5.793	0.275	7.661
3	3.500	0.216	7.576	0.300	10.250
3-1/2	4.000	0.226	9.109	0.318	12.510
4	4.500	0.237	10.790	0.337	14.980
5	5.563	0.258	14.620	0.375	20.780
6	6.625	0.280	18.970	0.432	28.570
8	8.625	0.322	28.550	0.500	43.390
10	10.750	0.365	40.480	0.500	54.740
12	12.750	0.375	49.560	0.500	65.420

4.1.4 बर्मिंगहॅम वायर गेज (BWG)

बर्मिंगहॅम वायर गेज (BWG) ही एक प्रमाणित प्रणाली आहे जी तार आणि पाईपच्या भिंतीच्या जाडीचे मापन करण्यासाठी वापरली जाते आणि ती रासायनिक अभियांत्रिकीमध्ये देखील वापरली जाते. याला स्टब्स आयर्न वायर गेज असेही म्हणतात.

प्रक्रिया उद्योगांमध्ये बॉयलर, हीट एक्सचेंजर, बाष्पीभवन यंत्र (evaporator), कंडेन्सर यामध्ये वापरण्यात येणाऱ्या ट्यूबच्या जाडीचे मापन BWG क्रमांकाद्वारे केले जाते.

BWG प्रणाली ट्यूबचा बाह्य व्यास (OD) आणि भिंतीची जाडी दर्शवते. प्रत्येक BWG क्रमांक विशिष्ट जाडीशी संबंधित असतो, जी इंच किंवा मिलिमीटरमध्ये रूपांतरित करता येते.

BWG गेज सर्वात कमी गेज क्रमांक 5/0 किंवा 00000 पासून सुरू होते, जो 0.500 इंच (12.7mm) जाडीच्या सर्वात मोठ्या आकाराशी संबंधित असतो आणि 36 क्रमांकापर्यंत जातो, जो 0.004 इंच (0.102mm) जाडीच्या सर्वात लहान आकाराशी संबंधित असतो.

गौण क्रमांकांमधील जाडीतील फरक उच्च गेज क्रमांकांसाठी 0.001 इंच पासून सर्वात कमी गेज क्रमांकांसाठी 0.046 इंच पर्यंत असतो. हे फरक कोणत्याही विशिष्ट गणितीय पद्धतीचे पालन करत नाहीत, परंतु गौण क्रमांक वाढल्यास जाडीतील फरक कमी होत जातो.

बारीक तार आणि ट्यूबिंगसाठी, गेज क्रमांक बाह्य व्यास (OD) दर्शवतो, तर मोठ्या यांत्रिक ट्यूबिंगसाठी, गेज क्रमांक फक्त भिंतीच्या जाडीचा संदर्भ देतो आणि ट्यूबच्या एकूण आकाराशी संबंधित नसतो.

Gauge	BWG inches	BWG mm
(5/0)	0.500	12.7
(4/0)	0.454	11.532
(3/0)	0.425	10.795
(2/0)	0.380	9.652
0	0.340	8.636
1	0.300	7.62
2	0.284	7.213
3	0.259	6.579
4	0.238	6.045
5	0.220	5.588
6	0.203	5.156
7	0.180	4.572
8	0.165	4.191
9	0.148	3.759
10	0.134	3.404
25	0.020	0.508
26	0.018	0.457
27	0.016	0.406
28	0.014	0.356
29	0.013	0.330
30	0.012	0.305
31	0.010	0.254
32	0.009	0.229
33	0.008	0.203
34	0.007	0.178
35	0.005	0.127
36	0.004	0.102

4.1.5 वेगवेगळे पाइप फिटिंग आकृतिसह:

एल्बो (Elbow)

एल्बो हा पाईपिंग किंवा प्लंबिंग उपकरणाचा एक प्रकार आहे जो प्रवाहाची दिशा बदलण्यासाठी वापरला जातो. एल्बोच्या मदतीने प्रवाहाची दिशा 90° किंवा 45° ने बदलता येते.

एल्बोच्या आतील किंवा बाहेरील बाजूस थ्रेड (screw threads) असू शकतात, जे गरजेनुसार ठरवले जाते.

- कमी दाबाच्या द्रवासाठी (low-pressure fluid process), पाईप स्क्रू (screw) करून एल्बोशी जोडला जातो.
- उच्च दाबाच्या द्रवासाठी (high-pressure fluid process), पाईप वेल्डिंग (welding) किंवा फ्लँजिंग (flanging) करून एल्बोशी जोडला जातो.

टी (T) शी तुलना करता एल्बोमध्ये प्रेशर ड्रॉप कमी होतो, पण त्यासाठी अधिक जागेची आवश्यकता असते.एल्बो फेरस मटेरियल (ferrous material), कास्ट आयर्न (cast iron) आणि PVC पासून तयार केला जाऊ शकतो.

Fig 4.1 Example of Bend

बेंड (Bend)

एल्बोप्रमाणेच, बेंडचा उपयोग प्रवाहाची दिशा बदलण्यासाठी केला जातो. बेंड प्रवाहाची दिशा हळूहळू बदलतो, त्यामुळे बेंडमधील प्रेशर ड्रॉप कमी होतो. एल्बोपेक्षा प्रेशर ड्रॉप होण्याचे प्रमाण बेंड मध्ये कमी असते.

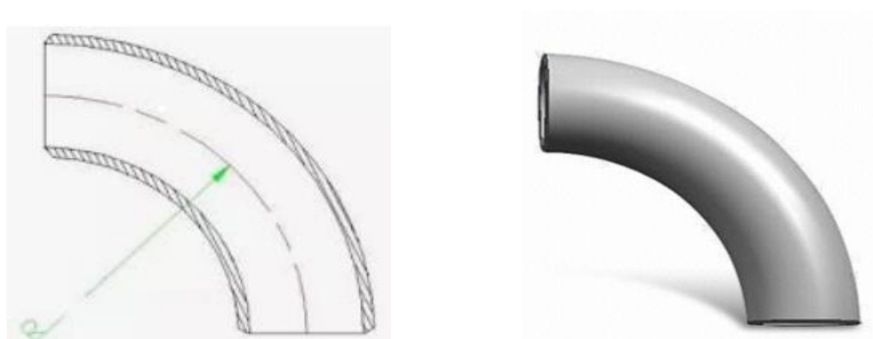


Fig 4.2 Bend

पिगिंग (Pigging) आवश्यक असलेल्या द्रव वाहतूक पाइपलाइनमध्ये लांब त्रिज्येचे (long radius) पाइप बेंड वापरले जातात. लांब त्रिज्येमुळे आणि प्रवाहाची दिशा सहज बदलल्यामुळे बेंडमध्ये प्रेशर ड्रॉप कमी पडतो, ज्यामुळे द्रव आणि पिग दोन्हीचा प्रवाह सुरळीत राहतो.

Tee (Tee Fitting): टी हे एक पाईप फिटिंग आहे जे "T" आकाराचे असते आणि त्यामध्ये एका इनलेटला 90° कोनात दोन आउटलेट असतात. टीचा उपयोग द्रव प्रवाह एकत्र आणण्यासाठी किंवा विभागण्यासाठी केला जातो.

टीचे प्रकार:

1. समान / सरळ टी (Equal / Straight Tee)
2. कमी होणारे / असमान टी (Reducing / Unequal Tee)

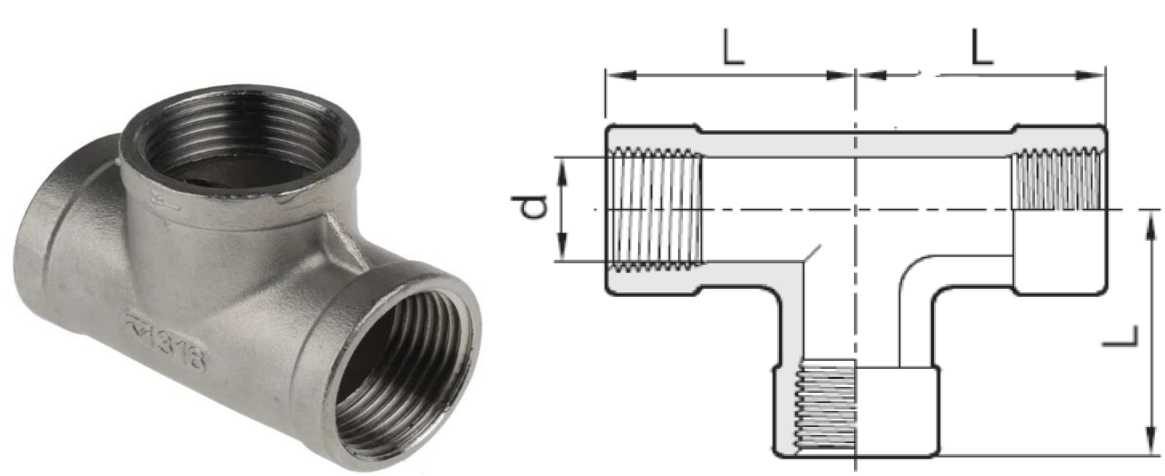


Fig 4.3 Tee pipe fitting

क्रॉस पाइप फिटिंग (Cross Pipe Fitting**)**

क्रॉस पाइप फिटिंग, ज्याला फोर वे फिटिंग असेही म्हणतात, हे प्लंबिंग उपकरण आहे जे मुख्य लाईनला तीन पाइप जोडण्यासाठी वापरले जाते. सर्व क्रॉस किंवा 4 वे फिटिंगच्या जोडण्या 90° कोनात असतात आणि त्या प्लस (+) चिन्हाचा आकार तयार करतात.

उपयोग: प्लंबिंग प्रणालीच्या फ्रेमवर्कमध्ये महत्त्वाची भूमिका बजावतात. त्यांचा उपयोग द्रव प्रवाहाचे विभाजन करण्यासाठी केला जातो.

संरचना: एका इनलेट आणि तीन आउटलेट असू शकतात (प्लंबिंगसाठी वापरले जाते). तीन इनलेट आणि एक आउटलेट असू शकतात (निचरा प्रणालीसाठी वापरले जाते).

इतर वैशिष्ट्ये: क्रॉस पाइप फिटिंग एकाच आकाराच्या चार पाइपांना जोडू शकते किंवा वेगवेगळ्या आकारांचे पाइप देखील जोडण्यासाठी वापरले जाते. हे दोन्ही प्रकार बाजारात उपलब्ध आहेत. या फिटिंगच्या सर्व टोकांवर फीमेल थ्रेड (Female Threads) असतात.

Fig 4.4 : Cross pipe fitting

पाइप कपलिंग (Pipe Coupling**)**

पाइप कपलिंग (किंवा कपलर) हे छोट्या लांबीचे पाइप किंवा ट्यूब असते, जे समान किंवा वेगवेगळ्या आकाराच्या दोन पाइप्सला जोडण्यासाठी वापरले जाते. या फिटिंगमध्ये एका किंवा दोन्ही टोकांना सॉकेट (socket) किंवा फीमेल थ्रेड्स (female threads) असतात.

पाइप कपलिंगचा उपयोग:

- पाइपलाइन वाढवण्यासाठी किंवा समाप्त करण्यासाठी.
- पाइपचा आकार बदलण्यासाठी.
- तुटलेले किंवा गळती होत असलेले पाइप दुरुस्त करण्यासाठी.

Fig 4.5 Coupling

Union: युनियन (Union)

युनियन हे एक थ्रेडेड फिटिंग आहे, जे पाइपलाईन कोणताही आडवा हालचाल न करता वेगळे करणे आणि पुन्हा जोडणे सुलभ करते.

युनियन तीन भागांपासून बनलेले असते:

1. नट (Nut)
2. मेल एंड (Male End)
3. फीमेल एंड (Female End)

मेल आणि फीमेल एंड नटच्या सहाय्याने एकत्र जोडले जातात आणि आवश्यक दाब दिला जातो, ज्यामुळे जॉईंट घट्ट बसतो.

युनियनचे वैशिष्ट्ये:

- युनियनच्या दोन्ही शेवटच्या जोडण्या एकमेकांना बदलण्याजोग्या असतात, त्यामुळे ते सहज आणि कमी वेळेत बदलता येते.
- कमी दाबाच्या आणि लहान व्यासाच्या पाइप्समध्ये, जिथे पाइप वारंवार वेगळे करावे लागते, तिथे युनियनचा वापर फ्लँज जोडण्याच्या पर्यायाप्रमाणे केला जातो.

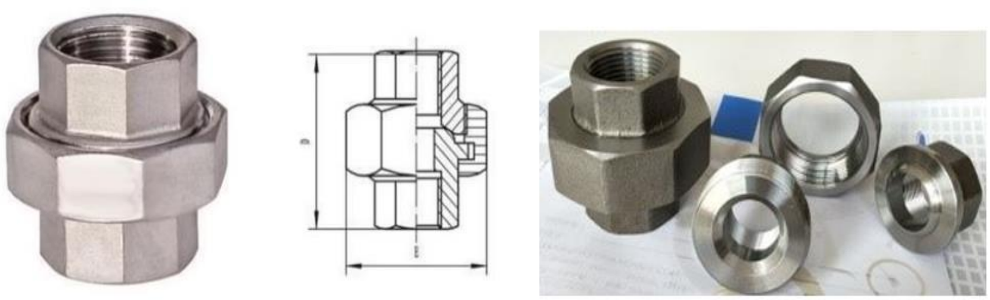


Fig 4.6 Union pipe fitting

पाइप रेड्यूसर (Pipe Reducer)

हे वेगवेगळ्या व्यासाच्या पाइप्सला जोडण्यासाठी वापरले जाते. पाइप रेड्यूसर हे एक पाइप फिटिंग आहे, जे मोठ्या व्यासाच्या पाइपला लहान व्यासाच्या पाइपशी जोडते. त्यामुळे, पाइप प्रणालीमध्ये एका आकाराचा पाइप दुसऱ्या आकारात बदलण्यासाठी याचा उपयोग होतो. पाइप रेड्यूसरचा वापर वेगवेगळ्या आकाराच्या पाइप्सना जोडण्यासाठी वारंवार केला जातो. रेड्यूसरमध्ये दोन फीमेल कनेक्शन्स असतात, ज्यामध्ये भिन्न आकाराचे पाइप बसतात.

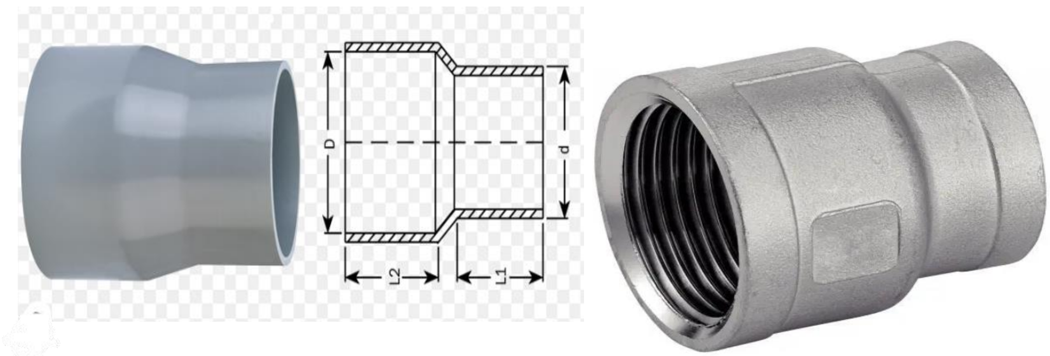


Fig 4.7 Reducer

निपल (Nipple)

पाइप निपल हा एक छोटा पाइप तुकडा आहे, जो दोन फिटिंग्ज जोडण्यासाठी वापरला जातो. याच्या दोन्ही टोकांना किंवा फक्त एका टोकाला मेल पाइप थ्रेड (Male Pipe Thread) असतो.

पाइप निपलचा उपयोग:

- दोन फिटिंग्ज एकमेकांना जोडण्यासाठी.
- पाइप, होज (Hoses) आणि वाल्व्ह (Valves) यांना जोडण्यासाठी.
- कमी दाबाच्या पाइपिंग साठी याचा मोठ्या प्रमाणात वापर केला जातो.

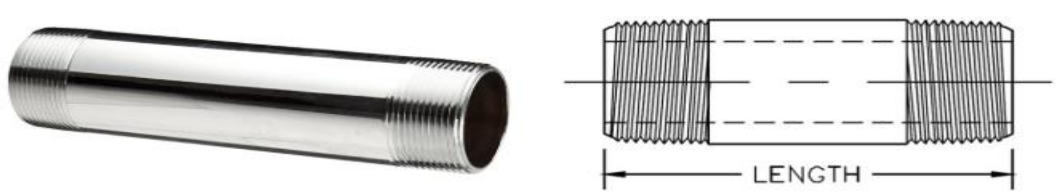


Fig 4.8 : Nipple

पाइप प्लग (Pipe Plug)

प्लगचा उपयोग उघड्या पाइपच्या टोकांना किंवा फिटिंग्ज बंद करण्यासाठी केला जातो. पाइपिंगमध्ये "प्लग" हा एक सिलेंडरच्या आकाराचा फिटिंग असतो, ज्याला मेल थ्रेड्स असतात आणि तो पाइपच्या टोकाला स्क्रू करून पूर्णपणे प्रवाह थांबवतो. पाइप प्लग उपयोग प्रामुख्याने पाइपलाइनच्या देखभाली (Maintenance) किंवा चाचणी (Testing) दरम्यान प्रवाह तात्पुरता थांबवण्यासाठी केला जातो.

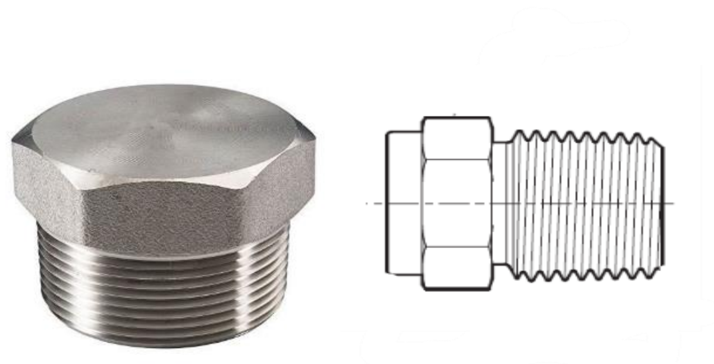


Fig 4.9 : Plug

फ्लेंज (Flange)

फ्लेंज हे एक महत्त्वाचे पाइप फिटिंग आहे, जे पाइप्स, पंप, वाल्व्ह आणि इतर घटकांना जोडण्यासाठी वापरले जाते, ज्यामुळे संपूर्ण पाइपिंग प्रणाली तयार होते. फ्लेंजचा एक महत्त्वाचा फायदा म्हणजे संपूर्ण प्रणाली आतून सहज स्वच्छ करणे किंवा तपासणी करणे शक्य होते. हे वेल्डिंग, थ्रेडिंग किंवा स्क्रूइंग तंत्रांचा वापर करून पाइपला जोडले जाते आणि शेवटी बोल्टच्या मदतीने सील केले जाते. फ्लेंजचा उपयोग घरगुती पंप प्रणालीसाठी आणि प्रामुख्याने औद्योगिक उद्देशांसाठी केला जातो.

फ्लेंजचे विविध प्रकार:

- वेल्ड नेक फ्लेंज (Weld Neck Flange)
- स्लिप-ऑन फ्लेंज (Slip-On Flange)
- ब्लाइंड फ्लेंज (Blind Flange)
- लॅप जॉइंट फ्लेंज (Lap Joint Flange)
- थ्रेडेड फ्लेंज (Threaded Flange)

Fig 4.10 Different types of flanges

4.2 वाल्व रचना , कार्यप्रणाली व उपयोग

4.2.1 गेट वाल्व (Gate Valve)

गेट वाल्व हे प्रामुख्याने आयसोलेशन वाल्व (Isolation Valve) म्हणून वापरले जातात, म्हणजेच ते पाइपमधील द्रव किंवा वायूचा प्रवाह नियंत्रित करण्यासाठी संपूर्णपणे उघडले किंवा बंद केले जातात.

गेट वाल्वचे कन्स्ट्रक्शन (Construction):

गेट वाल्व तीन प्रमुख भागांपासून बनलेले असते:

1. बॉडी (Body): बॉडी पाइपिंगला फ्लेंज्ड (Flanged), स्क्रूड (Screwed), किंवा वेल्डेड (Welded) कनेक्शनच्या मदतीने जोडले जाते.
2. बॉनेट (Bonnet): यात चालणारे भाग (Moving Parts) असतात आणि हे बोल्टच्या मदतीने बॉडीला जोडले जाते, जेणेकरून त्याची स्वच्छता आणि देखभाल करणे सोपे जाईल.
3. ट्रिम (Trim): यात स्टेम (Stem), गेट (Gate), वेज किंवा डिस्क (Wedge or Disc), आणि सीट रिंग (Seat Rings) यांचा समावेश होतो.

गेट वाल्वचा कार्यप्रणाली:

- केमिकल प्लांट नियमित सुरू असताना , हे वाल्व सहसा पूर्णपणे उघडे किंवा पूर्णपणे बंद असतात.
- पूर्णपणे उघडले असताना, द्रव किंवा वायू फार कमी प्रतिरोधासह सरळ रेषेत वाहतो.
- पूर्णपणे उघडलेल्या गेट वाल्वमध्ये प्रवाह मार्गात कोणतीही अडथळा नसते, त्यामुळे प्रवाह प्रतिकार खूपच कमी असतो.

गेट वाल्वचा मर्यादा:

- प्रवाह नियंत्रित करण्यासाठी किंवा थ्रॉटलिंगसाठी (Throttling) गेट वाल्व वापरू नये, कारण अचूक नियंत्रण शक्य नाही.
- अर्धवट उघडलेल्या वाल्वमध्ये उच्च वेगाने वाहणाऱ्या प्रवाहामुळे डिस्क आणि सीटिंग पृष्ठभागांचे अपक्षय (Erosion) होऊ शकते.
- अर्धवट उघडलेल्या वाल्व डिस्कमध्ये कंपन (Vibration) निर्माण होऊ शकते, ज्यामुळे चॅटरिंग (Chattering) होण्याची शक्यता असते.

तथापि, कमी वेगाने थ्रॉटलिंगसाठी विशेषतः डिझाइन केलेले गेट वाल्व याला अपवाद आहेत

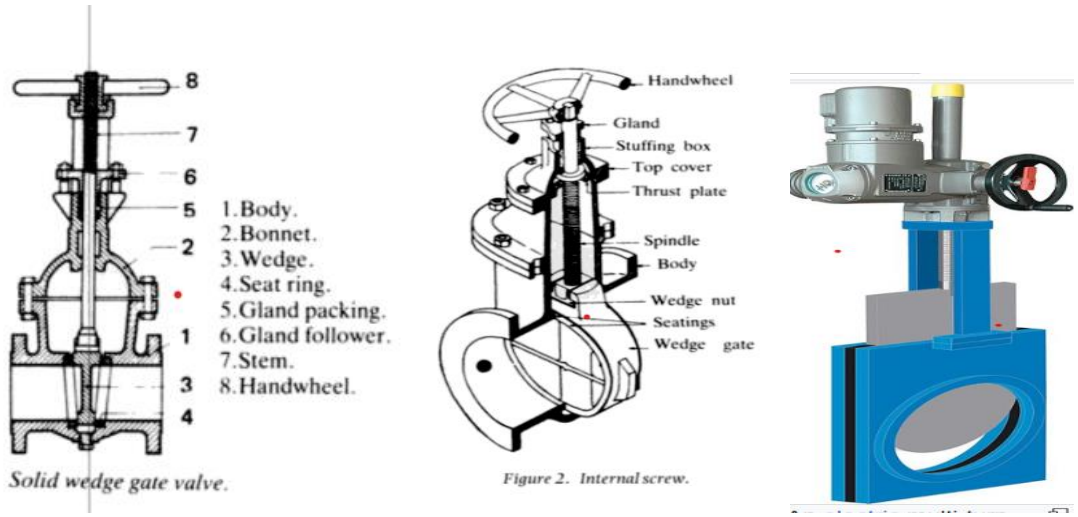


Fig 4.11 : Gate valve

गेट वाल्वचे फायदे (Advantages of Gate Valves):

1. ही वाल्व उत्कृष्ट शटऑफ (Shutoff) क्षमता प्रदान करतात.
2. ही द्वि-दिशात्मक (Bidirectional) असतात, म्हणजेच दोन्ही दिशांमध्ये कार्य करू शकतात.
3. या वाल्वमधून होणारा दाब कमी (प्रेशर ड्रॉप) होण्याचा (Pressure Loss) प्रभाव अत्यंत कमी असतो.

गेट वाल्वचे तोटे (Disadvantages of Gate Valves):

गेट वाल्व निवडताना खालील बाबी लक्षात घेणे आवश्यक आहे:

1. गेट वाल्व वेगाने उघडता किंवा बंद करता येत नाही.

   हे पूर्णपणे उघडण्यासाठी किंवा बंद करण्यासाठी स्टेमला पूर्ण प्रवास करावा लागतो, ज्यासाठी हँडव्हील किंवा ॲक्ट्युएटरच्या अनेक फेऱ्या माराव्या लागतात.
2. स्थापना (इंस्टॉलेशन), ऑपरेशन आणि देखभालीसाठी गेट वाल्वसाठी मोठ्या जागेची आवश्यकता असते.
3. डिस्क संथ गतीने बंद होण्याच्या जवळ पोहोचल्यास, प्रवाहाचा वेग जास्त होतो, ज्यामुळे सीटिंग पृष्ठभागांचे स्कोअरिंग (Scoring) होते.
4. गेट वाल्वची काही डिझाईन्स विशिष्ट अनुप्रयोगांनुसार उष्णता किंवा दाब बाइंडिंग (Thermal or Pressure Binding) साठी संवेदनशील असू शकतात.
5. ज्या प्रणालींमध्ये तापमान मोठ्या प्रमाणात बदलते, त्यामध्ये वेज-गेट वाल्वमध्ये गळती होण्याची शक्यता अधिक असते.हे पाइपिंग लोडमुळे वेज आणि वाल्व सीट्समधील कोनात्मक बदलांमुळे होते.
6. वाल्व सीट्सची जागेवर दुरुस्ती किंवा मशीनिंग करणे कठीण असते.

4.2.2 ग्लोब वाल्व (Globe Valve):

ग्लोब वाल्वचे नाव त्यांच्या गोलसर (Spherical) आकाराच्या शरीरामुळे पडले आहे. ग्लोब वाल्व हा प्रवाह नियंत्रित करण्यासाठी वापरला जातो, जो हलणाऱ्या प्लग किंवा डिस्क आणि स्थिर रिंग सीटच्या मदतीने प्रवाह नियंत्रित करतो. या वाल्वमध्ये एक उघडलेला भाग असतो, जो सीट तयार करतो, आणि त्यावर प्लग स्टेमच्या मदतीने बसवता येतो, त्यामुळे वाल्व बंद केला जातो.

ग्लोब वाल्वमध्ये प्लग स्टेमला (Stem) जोडलेला असतो, जो हँडव्हीलच्या (Handwheel) मदतीने स्क्रू ॲक्शनद्वारे (Screw Action) ऑपरेट केला जातो.

ऑटोमेटेड ग्लोब वाल्व:

- स्वयंचलित (Automated) ग्लोब वाल्वमध्ये स्टेम गुळगुळीत (Smooth) असतो आणि त्यावर थ्रेडिंग नसते.
- हे वाल्व ॲक्ट्युएटर असेंब्लीच्या (Actuator Assembly) मदतीने उघडले किंवा बंद केले जातात.

ग्लोब वाल्वमध्ये बहुतेक रायझिंग स्टेम्स (Rising Stems) असतात, आणि मोठ्या आकाराचे वाल्व बाह्य स्क्रू आणि योके (Outside Screw and Yoke) डिझाइनमध्ये तयार केले जातात. हा वाल्व प्रवाहाच्या रेषेशी समांतर किंवा तिरक्या दिशेने सीट्ससह डिझाइन केला जातो.

ग्लोब वाल्वचे फायदे:

1. प्रवाह बंद करण्याची चांगली क्षमता असते.
2. मध्यम ते चांगल्या थ्रॉटलिंग क्षमतेसाठी उपयुक्त असतो.
3. हँडव्हील किंवा स्टेमची हालचाल गेट वाल्वच्या तुलनेत कमी असते.
4. साफसफाई आणि देखभालीसाठी सोपे असते.

ग्लोब वाल्वचे तोटे:

1. गेट वाल्वच्या तुलनेत जास्त प्रेशर ड्रॉप होतो.
2. वाल्व सीट करण्यासाठी जास्त बल लागू करावे लागते किंवा मोठ्या ॲक्ट्युएटरची गरज लागते (जर प्रेशर सीटच्या खाली असेल तर).
3. थ्रॉटलिंगचा प्रवाह सीटच्या खाली आणि शटऑफ प्रवाह सीटच्या वरून होतो.

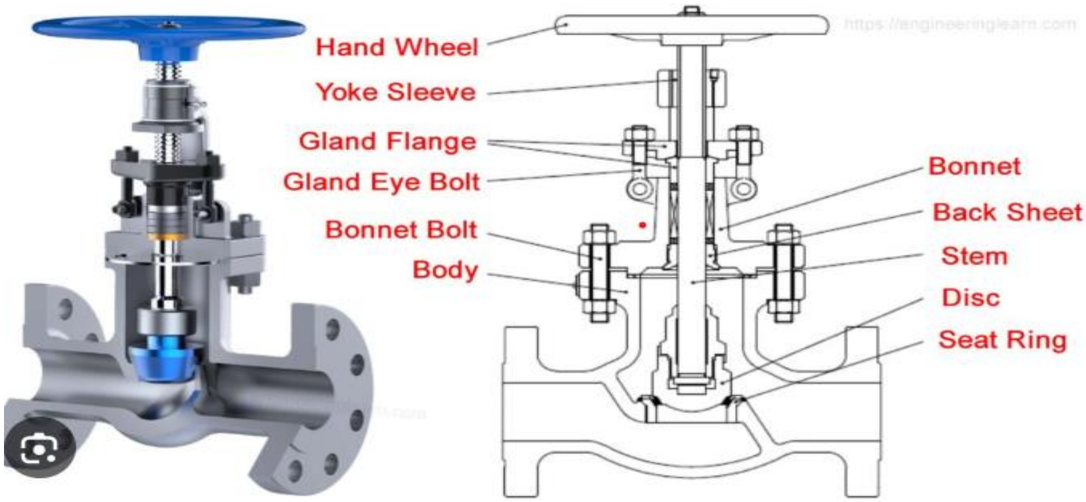


Fig 4.12 Globe valve

ग्लोब वाल्वच्या सामान्य अनुप्रयोग:

1. कूलिंग वॉटर सिस्टममध्ये जिथे प्रवाह नियंत्रित करणे आवश्यक असते.
2. फ्युएल ऑईल सिस्टममध्ये, जिथे प्रवाह नियंत्रण आणि गळती विरहितपणा (टईघटनेस) महत्त्वाचा असतो.
3. हाय-पॉइंट व्हेंटस आणि लो-पॉइंट ड्रेन्स, जिथे गळती विरहितपणा (टईघटनेस) आणि सुरक्षा महत्त्वाच्या असतात.
4. फीडवॉटर, केमिकल फीड, कंडेन्सर एअर एक्स्ट्रॅक्शन आणि एक्स्ट्रॅक्शन ड्रेन सिस्टममध्ये वापर

4.2.3 बटरफ्लाय वाल्व :

बटरफ्लाय वाल्व हे प्रवाह नियंत्रित करण्यासाठी, नियमन करण्यासाठी किंवा थ्रॉटलिंगसाठी वापरले जातात. हे वेगवान ऑपरेशन आणि कमी दाब गळतीसाठी ओळखले जातात. हे बॉल वाल्व प्रमाणेच बंद अवस्थेतून पूर्णपणे उघडण्यास फक्त एक चतुर्थांश वळण घेते. एक सामान्य फ्लँज्ड बटरफ्लाय वाल्व चित्रामध्ये दर्शविले आहे.बटरफ्लाय वाल्व वेगवेगळ्या आकारात तयार केले जातात, NPS 1½ (DN 40) पासून NPS 200 (DN 5000) पेक्षा जास्त आकारांपर्यंत उपलब्ध असतात. हे प्रामुख्याने फ्लँज्ड, वेफर, लग आणि सिंगल-फ्लँज प्रकारात तयार केले जातात.

बटरफ्लाय वाल्व मेटल-टू-मेटल सीट, सॉफ्ट सीट आणि संपूर्ण अस्तर असलेल्या बॉडी व डिस्कसह तयार केले जातात. सॉफ्ट सीट बबल-टाइट शटऑफ सक्षम करतात, आणि संपूर्ण अस्तर गंज आणि अपक्षय प्रतिकार वाढवते.बटरफ्लाय वाल्व कमी दाब व कमी तापमान तसेच जास्त दाब व उच्च तापमानाच्या अनुप्रयोगांसाठी योग्य असतात. हाय-परफॉर्मन्स बटरफ्लाय वाल्व हा शब्द मध्यम ते उच्च दाब व तापमान सेवा दर्शविण्यासाठी वापरला जातो.

बटरफ्लाय वाल्वमध्ये कमी दाब गळती आणि उच्च दाब पुनर्प्राप्ती गुणधर्म असतात. याचा प्रवाह डिस्कवरून सहजतेने वाहतो, त्यामुळे किमान प्रतिकार होतो आणि ऊर्जेचा अपव्यय कमी होतो.

परिणामी, डिस्टरबंस आणि प्रवाहातील व्यत्यय कमी होऊन इतर वाल्वप्रमाणे (उदा. ग्लोब वाल्व) दाब कमी होण्याचे प्रमाण तुलनेने कमी असते. त्यामुळे, हे कमी दाब गळती असलेल्या अनुप्रयोगांसाठी अत्यंत उपयुक्त असतात. हे वाल्व मोठ्या प्रमाणावर मोठ्या पाण्याच्या वहन प्रणाली, वितरण आणि शीतलक पाणी वाहिन्यांमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात.

बटरफ्लाय वाल्वची रचना:

बटरफ्लाय वाल्वमध्ये लहान गोलाकार बॉडी, गोल डिस्क, शाफ्ट, मेटल-टू-मेटल किंवा सॉफ्ट सीट, टॉप आणि बॉटम शाफ्ट बेअरिंग्स आणि स्टफिंग बॉक्स असतो. वाल्व बॉडीमध्ये फ्लँजड एंड, लग्स किंवा वेफर स्टाईल (चित्र) कॉन्फिगरेशन असू शकते, जे पाइप फ्लँजेसमध्ये बसवण्यासाठी डिझाइन केले जाते. वेल्डिंग-एंड बटरफ्लाय वाल्व सामान्यतः मोठ्या आकाराचे असतात आणि बट-वेल्डिंग एंडसह तयार केले जातात. काहीवेळा, बटरफ्लाय वाल्व आयताकृती किंवा चौकोनी स्वरूपातही तयार केले जातात.

वेफर-स्टाईल बटरफ्लाय वाल्व सहसा NPS 12 (DN 300) किंवा त्यापेक्षा लहान आकारांमध्ये उपलब्ध असतात. मोठ्या आकाराचे वेफर-स्टाईल वाल्व बसवताना त्यांचे वजन धरून ठेवण्यास अडचण येऊ शकते, त्यामुळे त्याचा आकार मर्यादित असतो.

लग आणि फ्लँजड-एंड बटरफ्लाय वाल्व सर्व आकारांमध्ये उपलब्ध असतात आणि फ्लँजेस दरम्यान बसवताना कोणतीही समस्या निर्माण करत नाहीत, फक्त वाकलेल्या फ्लँज पृष्ठभागांमुळे किंवा नट/बोल्टचे असमान टॉर्किंग यामुळे काही अडचणी येऊ शकतात.

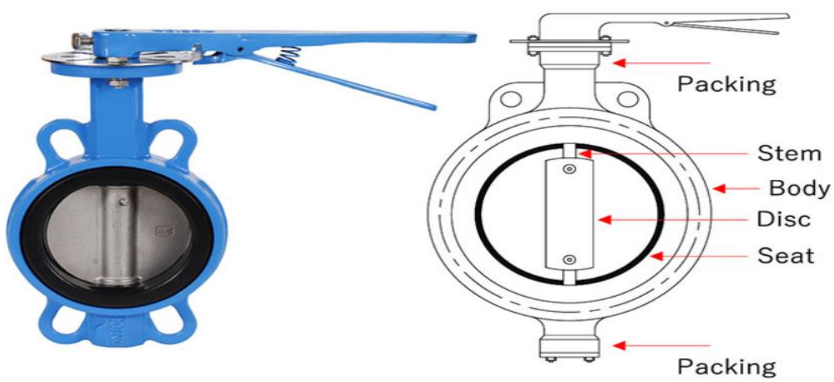


Fig 4.13: Butterfly valve

बटरफ्लाय वाल्वचे फायदे:

बटरफ्लाय वाल्वचे प्रमुख फायदे पुढीलप्रमाणे आहेत:

1. याचे संक्षिप्त डिझाइन गेट, ग्लोब किंवा इतर वाल्वच्या तुलनेत खूपच कमी जागा घेते.
2. वजनाने हलके असते.
3. क्विक-ॲक्टिंग – फक्त क्वार्टर-टर्न मध्ये पूर्ण उघडणे किंवा बंद होऊ शकते, त्यामुळे कमी वेळ लागतो.

4. हे मोठ्या आकारात उपलब्ध असते, NPS 1½ (DN 40) पासून NPS 200 (DN 5000) पेक्षा जास्त आकारात देखील मिळते.
5. कमी प्रेशर ड्रॉप आणि उच्च प्रेशर रिकव्हरी असते.
6. बबल-टाईट सीलिंग प्रदान करते, ज्यामुळे कोणतीही गळती होत नाही.

बटरफ्लाय वाल्वचे तोटे:

1. थ्रॉटलिंग सेवा केवळ कमी प्रेशर डिफरेंशियलसाठी मर्यादित आहे.
2. थ्रॉटलिंग ही 30° ते 80° डिस्क ओपनिंग दरम्यानच प्रभावी असते. बटरफ्लाय वाल्व थ्रॉटलिंगसाठी वापरताना त्याचे स्थान, पाइप रूटिंग आणि डिस्चार्ज स्थिती विचारात घ्यावी लागते.
3. कॅव्हिटेशन आणि चोक्ड (choked) फ्लो या दोन समस्या उद्भवू शकतात.
4. डिस्कचे हलणे अनियंत्रित असते आणि फ्लो टर्ब्युलन्समुळे प्रभावित होऊ शकते.

बटरफ्लाय वाल्वचा सामान्यतः उपयोग:

1. कूलिंग वॉटर, हवा आणि इतर समान अनुप्रयोगांसाठी, जसे की फायर प्रोटेक्शन, सर्क्युलेटिंग वॉटर इत्यादी.
2. कोरड्या आणि गंजरोधक सेवांसाठी, ज्या ठिकाणी लाइन केलेले वाल्व आवश्यक असतात.
3. अन्न प्रक्रिया, रासायनिक आणि औषध निर्माण क्षेत्रातील सेवांसाठी.
4. स्लरी आणि तत्सम सेवांसाठी.
5. उच्च-दाब आणि उच्च-तापमानाच्या पाणी आणि स्टीम सेवांसाठी.
6. थ्रॉटलिंग सेवांसाठी, विशेषतः कमी प्रेशर डिफरेंशियल असलेल्या अनुप्रयोगांमध्ये, जसे की कूलिंग वॉटर किंवा एअर सप्लाय सिस्टम.
7. व्हॅक्युम सेवांसाठी.

4.2.4 नीडल वाल्व Needle Valve

नीडल वाल्वमध्ये एक लहान पोर्ट आणि थ्रेडेड नीडल-आकाराचा प्लंजर असतो. हा वाल्व प्रवाहाचे अचूक (प्रीसाईस) नियमन करण्यास मदत करतो. हा प्रामुख्याने कमी प्रवाह दराच्या प्रणालींसाठी वापरला जातो. प्लंजरच्या मदतीने प्रवाह नियंत्रित आणि समायोजित केला जाऊ शकतो. नीडल वाल्वमध्ये एक छोटे ऑरिफिस (छिद्र) असते, ज्यामध्ये लांबट टेपरयुक्त सीट आणि स्क्रूच्या शेवटी एक नीडल-आकाराचा प्लंजर असतो, जो सीटमध्ये अगदी फिट बसतो. जेव्हा स्क्रू फिरवला जातो आणि प्लंजर मागे घेतला जातो, तेव्हा सीट आणि प्लंजर यांच्यातून प्रवाह शक्य होतो. मात्र, जोपर्यंत प्लंजर पूर्णतः मागे घेतले जात नाही, तोपर्यंत प्रवाह मोठ्या प्रमाणात अडथळला जातो. नीडल वाल्वमध्ये फाईन-थ्रेडेड स्क्रू असतो, ज्यामुळे प्लंजर मागे घेतण्यासाठी अनेक फेऱ्या घालाव्या लागतात. त्यामुळे प्रवाह दराचे अचूक नियंत्रण करणे सहज शक्य होते.

नीडल वाल्वचा उपयोग:

- नीडल वाल्वचा उपयोग स्वच्छ वायू आणि द्रव पदार्थांचा प्रवाह अचूकपणे नियंत्रित करण्यासाठी केला जातो.
- स्टेम आणि प्लंजरच्या हळूहळू समायोजनामुळे प्रवाह सहज नियंत्रित करता येतो.

- हे वाल्व सामान्यतः कमी प्रवाह दरासाठी आणि जिथे इनलेट ते आउटलेट दरम्यान महत्त्वपूर्ण दाब घट होतो अशा प्रणालींसाठी वापरले जातात.

नीडल वाल्वचा सामान्य उपयोग:

- इन्स्ट्रुमेंटेशन, गेज आणि मीटर लाईन सेवांसाठी वापरला जातो.
- अत्यंत अचूक थ्रॉटलिंग आवश्यक असलेल्या ठिकाणी मोठ्या प्रमाणावर वापर केला जातो.
- उच्च दाब आणि/किंवा उच्च तापमान असलेल्या अनुप्रयोगांमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरला जातो.

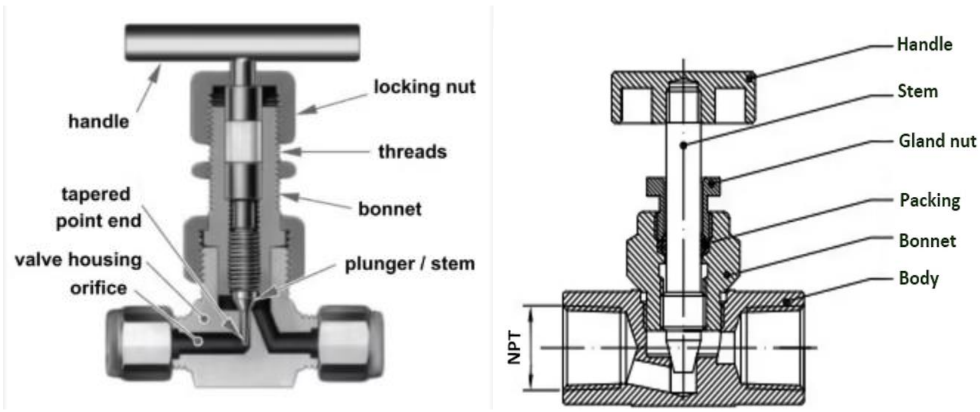


Fig 4.14: Needle valve

4.2.5 Ball valve

बॉल वाल्व हा एक चतुर्थांश वळण असलेला वाल्व आहे जो स्वच्छ वायू, संकुचित हवा आणि द्रव सेवा यासाठी उपयुक्त आहे. ते स्लरी सेवेसाठी देखील वापरले जाऊ शकतात, परंतु वाल्व बंद स्थितीत असल्यास चिखल साचण्यापासून बचाव करण्यासाठी उपाययोजना करणे आवश्यक आहे.

नायलॉन, सिंथेटिक रबर यांसारख्या मऊ-आसन (soft-seat) सामग्रीचा वापर उत्कृष्ट सीलिंग क्षमता प्रदान करतो. फ्लोरीनेटेड पॉलिमर सीट्ससह, बॉल वाल्व 450 ते 500°F (270 ते 260°C) पर्यंत सेवा तापमानासाठी वापरले जाऊ शकतात.

ग्रेफाइट सीट्ससह, 1000°F (538°C) किंवा त्याहून अधिक तापमान सहन करू शकतात. याशिवाय, बॉल वाल्व अग्निरोधक सेवांसाठी देखील उपयुक्त आहेत. ते गळतीविरहित बंदी प्रदान करतात. त्यांच्या गुळगुळीत शरीररचनेमुळे आणि पोर्टमुळे द्रव प्रवाहास अगदी नगण्य प्रतिकार होतो.

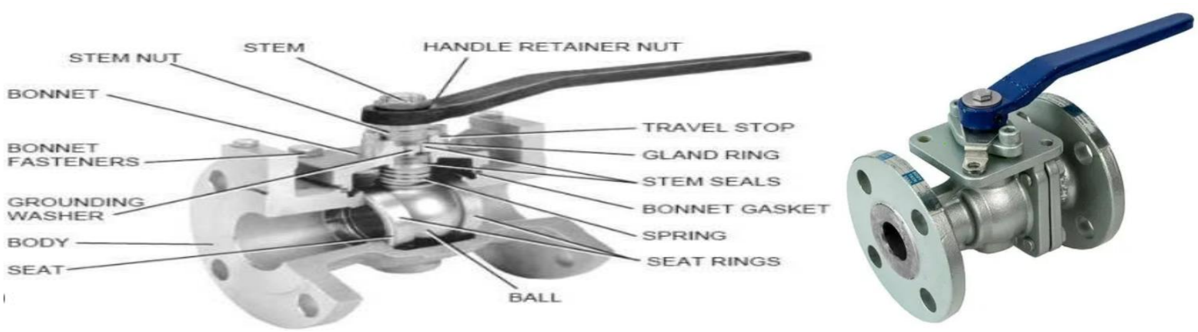


Fig 4.16: Ball valve

बॉल वाल्वच्या प्रमुख घटकांमध्ये शरीर (बॉडी), गोलाकार प्लग (स्फेरिकल प्लग) आणि सीट्स समाविष्ट असतात. बॉल वाल्व तीन सामान्य नमुन्यांमध्ये तयार केले जातात: व्हेंचुरी पोर्ट, फुल पोर्ट आणि रिड्यूस्ड पोर्ट. फुल-पोर्ट वाल्वचा आतील व्यास पाइपच्या आतील व्यासाइतका असतो. व्हेंचुरी आणि रिड्यूस्ड-पोर्ट प्रकारांमध्ये, पोर्ट सामान्यतः लाइनच्या आकारापेक्षा एक पाइप आकाराने लहान असतो. स्टेम सीलिंग बोल्टेड पॅकिंग ग्लँड्स आणि O-रिंग सील्सद्वारे साध्य केली जाते.

बॉल वाल्व एकमार्गी (युनिडायरेक्शनल) किंवा द्विमार्गी (बायडायरेक्शनल) असू शकतो. वाल्वच्या टोकांमध्ये बट वेल्डिंग, सॉकेट वेल्डिंग, फ्लेंज्ड, थ्रेडेड, सोल्डरिंग किंवा ब्रेझिंग प्रकार उपलब्ध असतात. बॉल वाल्व उच्च आणि निम्न दाब श्रेणीमध्ये तयार केले जातात. बॉल वाल्वच्या डिझाइनमधील प्रगत तंत्रज्ञानामुळे त्यांचा वापर उच्च दाब आणि उच्च तापमान अनुप्रयोगांमध्ये शक्य झाला आहे.

बॉल वाल्वचे फायदे:

1. पूर्णपणे लीक-प्रूफ (बबल-टाइट) सेवा प्रदान करतो.
2. झटपट उघडता आणि बंद करता येतो.
3. गेट वाल्वच्या तुलनेत आकाराने लहान असतो.
4. गेट वाल्वच्या तुलनेत वजनाने हलका असतो.
5. मल्टीपोर्ट डिझाइनमुळे गेट किंवा ग्लोब वाल्वच्या तुलनेत अधिक लवचिकता मिळते आणि कमी वाल्व वापरणे शक्य होते.
6. बॉल वाल्वच्या विविध डिझाईन्समुळे योग्य पर्याय निवडण्याचे स्वातंत्र्य मिळते.
7. उच्च-गुणवत्तेचे बॉल वाल्व उच्च दाब आणि उच्च तापमानाच्या परिस्थितीत विश्वासार्ह सेवा देतात.
8. बॉल वाल्व सुरू करण्यासाठी आवश्यक बल गेट किंवा ग्लोब वाल्वच्या तुलनेत कमी लागते.

बॉल वाल्व्हचे तोटे:

1. सतत थ्रॉटलिंग (प्रवाह नियंत्रित करणे) अनुप्रयोगांसाठी योग्य नाहीत.
2. स्लरी किंवा इतर अनुप्रयोगांमध्ये, तरंगणारे कण (सस्पेंडेड पार्टिकल्स) बॉडीच्या पोकळ्यांमध्ये साचू शकतात, ज्यामुळे वाल्व झिजते, गळती होते किंवा संपूर्णपणे निकामी होऊ शकते.

बॉल वाल्व्हचे सामान्य अनुप्रयोग:

खालील क्षेत्रांमध्ये बॉल वाल्व मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात:

1. हवा, वायू आणि द्रव अनुप्रयोग ज्यांना पूर्णपणे लीक-प्रूफ सेवा आवश्यक असते.
2. द्रव, वायू आणि इतर प्रवाही सेवा यांमध्ये लो-पॉइंट ड्रेन्स आणि हाय-पॉइंट वेंटसाठी.
3. इन्स्ट्रुमेंट रूट वाल्वसाठी.
4. थंड पाणी आणि फीडवॉटर प्रणालींसाठी.
5. स्टीम सेवेसाठी.

4.2.6 सेफ्टी वाल्व Safety Valves

रासायनिक कारखान्यात, बॉयलर, प्रेशर वेसल, स्टोरेज टँक, पाइपलाइन यांसारखी उपकरणे जर नियंत्रित न केल्यास वाढलेल्या दाबामुळे (ओव्हरप्रेशरमुळे)खराब होऊ शकतात किंवा नष्ट होऊ शकतात. ओव्हरप्रेशरमुळे होणाऱ्या संभाव्य धोका टाळण्यासाठी सेफ्टी वाल्व्ह आणि प्रेशर-रिलीफ वाल्व्ह ही स्वयंचलित दाब-सोडवणारी उपकरणे वापरली जातात.

सेफ्टी वाल्व (चित्रात दाखवल्याप्रमाणे) सहसा वायू किंवा वाफ सेवेसाठी वापरले जातात. हे वाल्व्ह अतिरिक्त दाब सोडून संपूर्ण प्रणालीचे रक्षण करतात. सामान्य दाबाखाली, वाल्व डिस्क एका पूर्व-लोडेड स्प्रिंगद्वारे वाल्व सीटवर घट्ट धरलेली असते. जसजसा प्रणालीतील दाब वाढतो, तसतसा द्रव्यमानाचा डिस्कवर परिणाम करणारा जोर स्प्रिंगच्या जोराच्या जवळ पोहोचतो. जेव्हा हे दोन्ही जोर समान होतात, तेव्हा द्रव सीटच्या बाजूने वाहू लागतो. डिस्कची रचना अशी केली असते की बाहेर पडणाऱ्या द्रवामुळे डिस्कच्या विस्तारित पृष्ठभागावर उचलण्याचा अतिरिक्त दबाव निर्माण होतो. यामुळे स्प्रिंगचा जोर पार करून वाल्व जलदगतीने जवळपास पूर्णपणे उघडतो.

सेफ्टी वाल्व डिस्क डिझाइनचा आणखी एक फायदा असा आहे की वाल्व पुन्हा बंद होण्याचा दाब सुरुवातीच्या सेट प्रेशरपेक्षा कमी असतो. त्यामुळे प्रणालीचा दाब सुरक्षित पातळीपर्यंत कमी होतो आणि त्यानंतर वाल्व पुनःसील होतो. सेट प्रेशर आणि पुन्हा सील होण्याच्या प्रेशरमधील फरकाचे सेट प्रेशरशी असलेले प्रमाण 'ब्लोडाऊन' म्हणून ओळखले जाते.

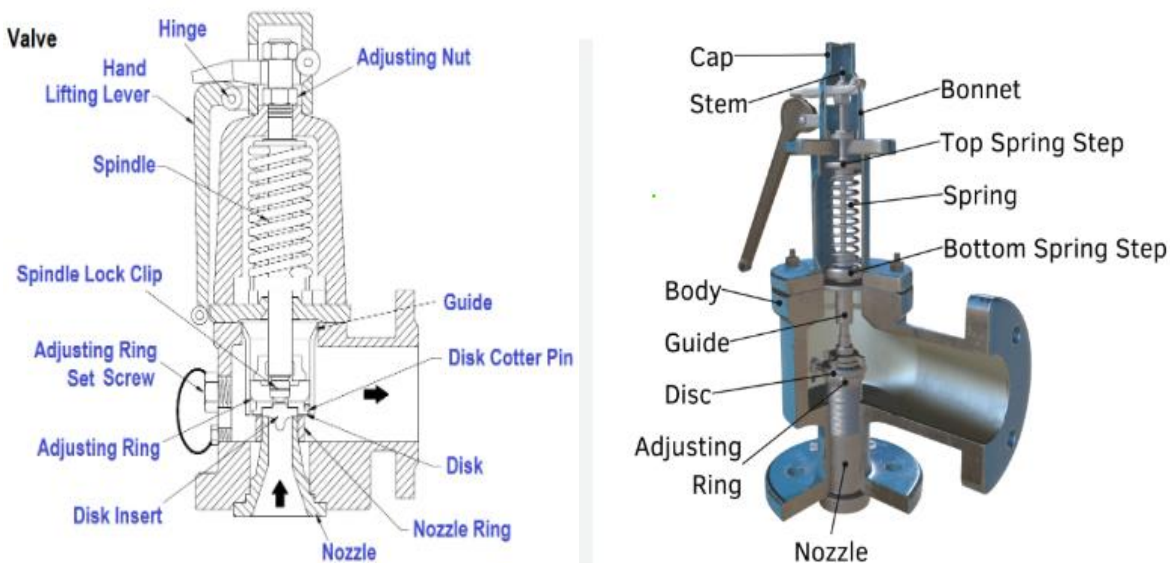


Fig 4.17: Safety valve

4.2.7 रप्चर डिस्क (Rupture Disc)

रप्चर डिस्क ही एक सुरक्षा उपकरण आहे जी प्रणालीतील दाब एका ठराविक पातळीपर्यंत वाढल्यावर तो सोडतेयाला बर्स्टिंग डिस्क ., प्रेशर सेफ्टी डिस्क किंवा बर्स्ट डायफ्रॅग्म असेही म्हणतात . रप्चर डिस्क ही प्रेशर वेसलमध्ये बसवलेली एक sacrificial घटक आहे.

रप्चर डिस्क ही नॉनरिक्लोजिंग- (पुन्हा बंद न होणारी (दाबसुरक्षा उपकरण आहे-, जी मुख्यतः प्रेशर वेसल, उपकरणे किंवा संपूर्ण प्रणालीला जास्त दाब किंवा धोकादायक व्हॅक्यूम परिस्थितीपासून वाचवते.

ही डिस्क स्वतंत्र सुरक्षा उपकरण म्हणून किंवा पारंपरिक सेफ्टी वाल्व्हच्या दुय्यम सुरक्षा उपकरण म्हणून वापरली जाऊ शकतेजर . प्रणालीतील दाब खूप वाढला आणि सेफ्टी वाल्व्ह कार्य करू शकले नाही किंवा दाब वेगाने कमी करू शकले नाही, तर रप्चर डिस्क फुटते आणि अतिरिक्त दाब सोडते. मात्र, एकदा फुटल्यानंतर ती पुन्हा सील होत नाही. रप्चर डिस्क अनेकदा सेफ्टी रिलीफ वाल्व्हसोबत वापरली जाते.

रप्चर डिस्क कशी कार्य करते?

- रप्चर डिस्क ही एक पातळ धातूची पत्रा असते, जी ठराविक दाबाच्या पातळीवर फुटण्यासाठी डिझाइन केलेली असते.
- जेव्हा प्रणालीतील दाब पूर्वनिर्धारित मर्यादेपर्यंत पोहोचतो, तेव्हा डिस्क फुटते आणि अतिरिक्त दाब सोडते.
- यामुळे उपकरणे आणि प्रणालीचे नुकसान टाळले जाते तसेच संभाव्य अपघात टाळले जातात.

रप्चर डिस्क कोठे वापरली जाते? : औद्योगिक उपकरणे, प्रक्रिया जिथे दाब वाढण्याची शक्यता असते. तसेच पाईपिंग, प्रेशर वेसल्स, गॅस सिलिंडर आणि इतर बंदिस्त प्रणालींमध्ये देखील याचा उपयोग केला जातो.

रप्चर डिस्कचे प्रकार आणि साहित्य: रप्चर डिस्क *0.125 इंच)3 मिमी ते (4 फूट)1.2 मीटर(* पर्यंतच्या वेगवेगळ्या आकारांमध्ये उपलब्ध आहे, जी उद्योगातील गरजेनुसार निवडली जाते. या डिस्क *कार्बन स्टील, स्टेनलेस स्टील, हॅस्टेलॉय, ग्रेफाइट* आणि इतर विशिष्ट औद्योगिक परिस्थितींनुसार आवश्यक धातूंमध्ये तयार केल्या जातात.

रप्चर डिस्कचे फायदे

1. विश्वसनीयता: कोणतेही हलणारे भाग नसल्यामुळे कमी अपयश दर.
2. झटपट कार्य करते: इतर दाब.सुरक्षा उपकरणांपेक्षा वेगाने सक्रिय होते-
3. उच्च दर्जाच्या मिश्रधातूंपासून बनवता येते: त्यामुळे उच्च तापमान आणि गंजण्याच्या परिस्थितीत टिकाऊ.
4. कमी देखभाल खर्च: कारण यात कोणतेही यांत्रिक घटक नाहीत.

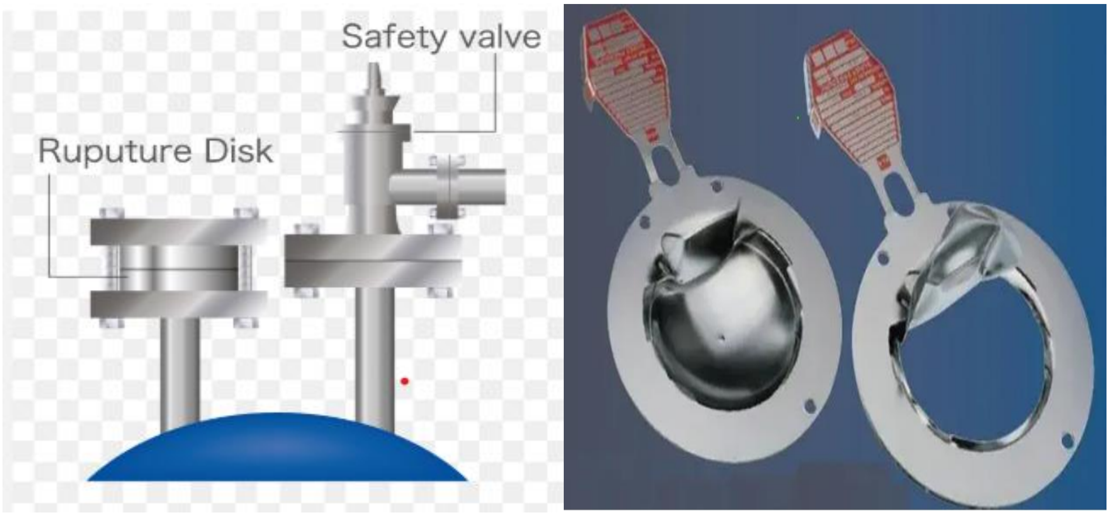


Fig 4.18: Rapture disk

4.2.8 चेक वाल्व

चेक वाल्व हे अशा प्रकारे डिझाइन केलेले असते की ते द्रव किंवा वायू एका दिशेने सहज प्रवाहित होऊ देते आणि मागील प्रवाह (बॅकफ्लो) किंवा उलट प्रवाह रोखते. हे वाल्व पाईपिंग प्रणालीमध्ये द्रवाच्या एकमार्गी प्रवाहाची खात्री देते आणि बॅकफ्लोसह होणारा गळतीचा धोका कमी किंवा पूर्णतः टाळते.

चेक वाल्व्हची रचना आणि कार्यप्रणाली

मूलभूत चेक वाल्व्ह हे वाल्व्ह बॉडी, बोनट (कव्हर) आणि डिस्क यांपासून बनलेले असते.

डिस्क हिंजला जोडलेली असते आणि जेव्हा प्रवाह पुढच्या दिशेने सुरू होतो, तेव्हा ती वाल्व्ह सीटपासून दूर सरकते आणि द्रवाचा प्रवाह होऊ देते. जेव्हा प्रवाह थांबतो, तेव्हा डिस्क परत वाल्व्ह सीटवर बसते आणि उलट प्रवाह रोखते.

चेक वाल्व्हचे प्रकार आणि त्यांचे कार्य

▸ स्विंग किंवा टिल्टिंग डिस्क चेक वाल्व्ह: या प्रकारात हिंजद्वारे जोडलेली डिस्क प्रवाहाच्या दिशेने वळते आणि प्रवाह थांबल्यावर परत वाल्व्ह सीटवर येते, ज्यामुळे बॅकफ्लो रोखला जातो.

▸ फोल्डिंग डिस्क चेक वाल्व्ह: यात डिस्क दोन भागांमध्ये विभागलेली असते, जी मधल्या भागाने जोडलेली असते. जेव्हा प्रवाह पुढे सुरू होतो, तेव्हा हे दोन भाग मागे दुमडतात आणि प्रवाह मोकळा होतो. स्प्रिंगच्या सहाय्याने, प्रवाह थांबताच हे भाग झटकन परत येतात आणि प्रवाहाचा मार्ग बंद होतो.

▸ लिफ्ट चेक वाल्व्ह: या प्रकारात डिस्क ही पिस्टनच्या स्वरूपात असते. जेव्हा प्रवाह पुढे जातो, तेव्हा दाबामुळे पिस्टन वर सरकते आणि प्रवाह मार्ग मोकळा होतो. प्रवाह थांबल्यावर गुरुत्वाकर्षणामुळे पिस्टन खाली येते आणि बॅकफ्लो रोखते.

चेक वाल्व्हचे फायदे:

1स्वतः कार्यरत (Self-actuated): हे स्वतः कार्य करते आणि उघडण्यासाठी किंवा बंद करण्यासाठी कोणत्याही बाह्य ऊर्जेची आवश्यकता नसते. 2 वेगवान कार्यक्षमता: हे झटपट कार्य करते आणि प्रवाह त्वरित नियंत्रित करते. 3 कमी दाब गमावणे (Low pressure drop): या वाल्व्हमुळे प्रणालीतील दाब कमी होण्याचा धोका कमी असतो.

चेक वाल्व्हचे तोटे:

1 स्थिती अज्ञात राहते: कारण सर्व हालचाल करणारे भाग आच्छादित (enclosed) असतात, त्यामुळे वाल्व्ह उघडे आहे की बंद आहे हे सहजपणे समजू शकत नाही. 2 अंतर्गत भागांची तपासणी कठीण: वाल्व्हच्या आतील भागांची स्थिती सहज तपासता येत नाही. 3 प्रतिष्ठापन मर्यादा (Installation limitations): चेक वाल्व्हच्या स्थापनेसाठी ठराविक नियम पाळावे लागतात, त्यामुळे त्याच्या प्रतिष्ठापनामध्ये काही मर्यादा असतात. 4 डिस्क अडकू शकते: काही वेळा वाल्व्ह डिस्क उघडलेल्या स्थितीत अडकू शकते, ज्यामुळे प्रवाह अनियंत्रित राहू शकतो.

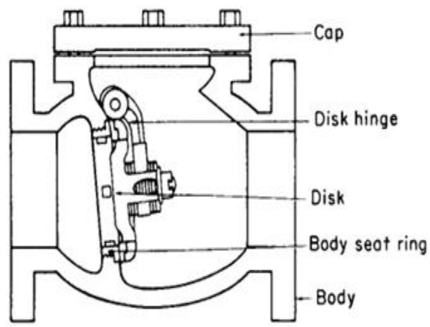


Fig 4.19 Check valve

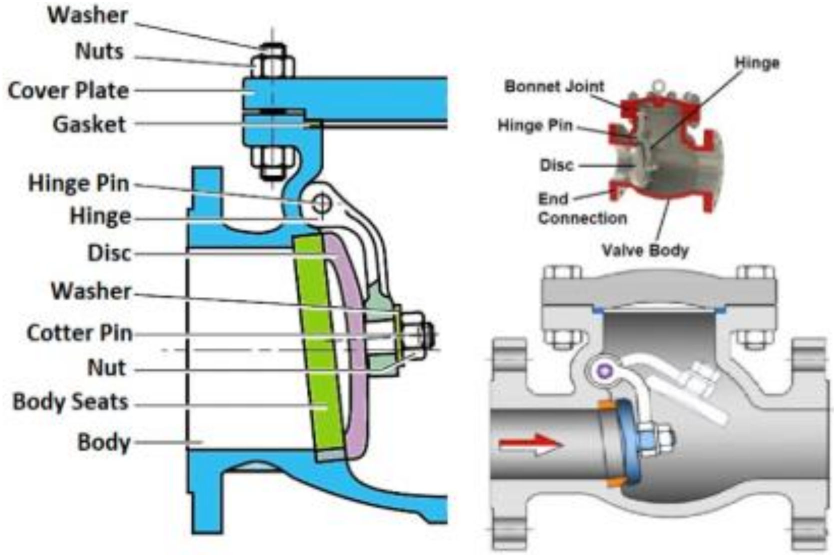


Fig 4.20: Check valve

4.3 द्रव पदार्थ हाताळण्यासाठी वापरले जाणारे पंप: गरज, विस्तृत वर्गीकरण, आणि पंप निवडीसाठी विचारात घेण्याचे घटक

पंप हे केमिकल प्रोसेस इंडस्ट्री मधील एक अत्यावश्यक घटक आहेत आणि ते द्रव, स्लरी आणि वायूंचे कार्यक्षम वाहतूक सुनिश्चित करून उत्पादनाच्या विविध टप्प्यांमध्ये महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावतात .

कच्चा माल, मध्यम उत्पादने, शुद्धीकरण प्रक्रिया आणि अंतिम उत्पादनासाठी पंप आवश्यक असतात. पंप incompressible fluids (द्रववाहतूक करण्यासाठी वापरले जातात (, तर कंप्रेसर, ब्लोअर आणि फॅन हे compressible fluids (वायू.वाहतूक करण्यासाठी वापरले जातात (

केमिकल उद्योगात पंप का आवश्यक आहेत?

- कच्चा माल, मध्यवर्ती उत्पादने आणि अंतिम उत्पादने प्रक्रिया युनिट्समध्ये वाहतूक करण्यासाठी पंप वापरले जातात.
- पंपांचा उपयोग रिॲक्टर्स, हीट एक्सचेंजर्स आणि स्टोरेज टँकमध्ये द्रवाचे परिभ्रमण)circulation) करण्यासाठी केला जातो.
- रासायनिक प्रक्रियांमध्ये अचूक प्रमाणात प्रतिक्रिया द्रव)reactants) जोडणे आवश्यक असते, जे मीटरिंग पंप (उदाडाय .ाफ्राम पंप.च्या मदतीने साध्य होते (
- हे नियंत्रित रासायनिक प्रतिक्रिया सुनिश्चित करते आणि पदार्थांचा अपव्यय किंवा धोकादायक प्रतिक्रिया होण्यास प्रतिबंध करते.
- अनेक रसायने अत्यंत गंजरोधक)corrosive), विषारी)toxic) किंवा प्रतिक्रिया देणारी)reactive) असतात. अशा पदार्थांच्या सुरक्षित हाताळणीसाठी विशेष पंप (उदामॅग्नेटिक ड्राइव्ह ., डायाफ्राम किंवा लाइनड पंप.वापरले जातात (
- गळती आणि दूषण टाळून पर्यावरणीय नियमांचे पालन सुनिश्चित करण्यासाठी पंप वापरले जातात.
- अनेक केमिकल प्रोसेसमध्ये दाट पदार्थ)viscous fluids), पेस्ट आणि स्लरी यांचे वहन करणे आवश्यक असते, जे पंपद्वारे शक्य होते.
- प्रतिक्रिया तापमान नियंत्रित करण्यासाठी थंड करणारे द्रव)coolants) (उदापाणी ., तेल किंवा ग्लायकोल हीट एक्सचेंजर्समध्ये परिभ्रमण (करण्यासाठी पंप वापरले जातात.
- आग लागल्यास आपत्कालीन परिस्थितीत पाणी किंवा फेसयुक्त)foam) द्रव पुरवण्यासाठी फायर पंप वापरले जातात.

4.4 पंप म्हणजे काय?

पंप ही एक यंत्रणा आहे जी बाह्य स्रोताकडून प्राप्त झालेली यांत्रिक ऊर्जा दाब ऊर्जा (Pressure Energy) मध्ये रूपांतरित करते. ही दाब ऊर्जा द्रवाला नीच स्तरावरून उच्च स्तरावर नेण्यासाठी वापरली जाते.

पंपची व्याख्या:

पंप म्हणजे असे यांत्रिक उपकरण, जे प्रवाहित द्रवाला ऊर्जा प्रदान करते जेणेकरून तो हायड्रॉलिक सिस्टममधील प्रतिकार (Resistance) ओलांडू शकेल. साध्या भाषेत, पंप यांत्रिक ऊर्जा हायड्रॉलिक ऊर्जेत रूपांतरित करतो.

पंपांचे वर्गीकरण:

पंप विविध आकार आणि अनुप्रयोगांनुसार उपलब्ध आहेत. ते त्यांच्या मूलभूत कार्य करण्याच्या तत्त्वानुसार डायनॅमिक पंप आणि डिस्प्लेसमेंट पंप या दोन प्रमुख गटांमध्ये विभागले जातात.

1. डायनॅमिक पंप (Dynamic Pumps):

हे पंप द्रवाच्या गती ऊर्जा (Kinetic Energy) मध्ये वाढ करून कार्य करतात. त्याचे पुढील प्रकार आहेत:

- सेंट्रीफ्यूगल पंप (Centrifugal Pump): द्रव फिरत्या इम्पेलरमधून जाऊन केंद्रापासून बाहेर फेकला जातो.
- स्पेशल इफेक्ट पंप (Special Effect Pump): जसे की जेट पंप आणि एअर-लिफ्ट पंप, जे विशिष्ट उद्देशासाठी वापरले जातात.

2. डिस्प्लेसमेंट पंप (Displacement Pumps):

हे पंप निश्चित प्रमाणात द्रव एका जागेहून दुसऱ्या जागी हलवतात. याचे पुढील प्रकार आहेत:

- रोटरी पंप (Rotary Pumps): गीअर, स्क्रू, वॅन पंप यामध्ये फिरणाऱ्या घटकांद्वारे द्रव दाबला जातो.
- रिसिप्रोकेटिंग पंप (Reciprocating Pumps): प्लंजर किंवा डायाफ्रामच्या पुढे-मागे होणाऱ्या हालचालींमुळे द्रव दाबला जातो.

पंप निवडीसाठी काही महत्त्वाचे मुद्दे:

सेंट्रीफ्यूगल पंप स्वस्त आणि वापरण्यासाठी सोपे असतात. रोटरी आणि रिसिप्रोकेटिंग पंप अधिक प्रभावी असतात पण त्यांची देखभाल जास्त खर्चिक असते. जगभरात सेंट्रीफ्यूगल पंपांचा सर्वाधिक वापर केला जातो.

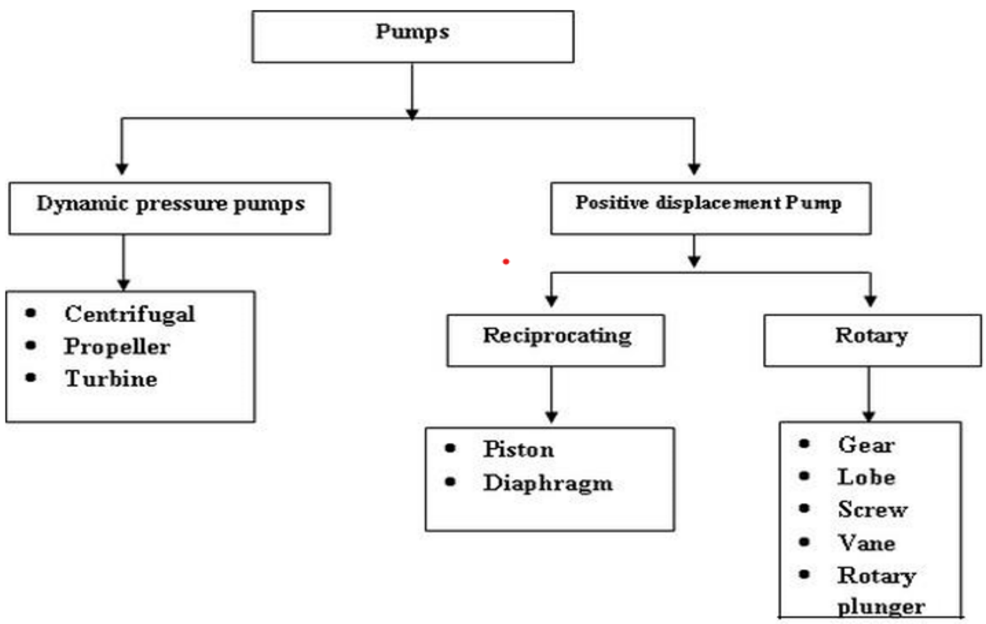


Fig 4.21: Classification of pump

पंप निवडण्यासाठी महत्त्वाचे घटक

1 क्षमता (डिस्चार्ज फ्लो): पाद्वारे एका विशिष्ट वेळेत पंपाने दिलेल्या माध्यमाचे (द्रवाचे) प्रमाण. याला Q असे दर्शवले जाते आणि त्याचे मोजमाप m^3/h, l/s इत्यादी एककांमध्ये केले जाते. सैद्धांतिक आणि वास्तविक प्रवाह दर यांचे प्रमाण आयतन (व्हॉल्यूम्याट्रिक) कार्यक्षमता (Volumetric Efficiency) म्हणून ओळखले जाते.

2 हेड (Head): पंपाद्वारे द्रवाला दिली गेलेली ऊर्जा, जी पंप केलेल्या द्रवाच्या प्रतीकाय असलेल्या द्रवाच्या वस्तुमानाशी संबंधित असते. याला H असे दर्शवले जाते आणि त्याचे मोजमाप मीटर (m) मध्ये केले जाते. हेड ही केवळ भौमितिक उंची नसून, पंपाद्वारे द्रवाला दिल्या जाणाऱ्या उर्जेचे परिमाण आहे.

3 ऊर्जा वापर (शाफ्ट पॉवर) : पंपाच्या कार्यान्वयनादरम्यान वापरली जाणारी शक्ती. गळती, बियरिंग घर्षण आणि इतर नुकसानीमुळे काही शक्ती वाया जाते.

4 द्रवाचा प्रकार (Nature of Liquid) :घनता (Density) स्नेहनक्षमता (Viscosity) सस्पेंशन आणि गंजरोधक (Corrosive) गुणधर्म

5 वितरण दाब (Delivery Pressure): जर पंप केलेला द्रव रिॲक्टरमध्ये जोडायचा असेल, तर द्रवाच्या इनलेट प्रेशरने रिॲक्टरच्या दाबापेक्षा जास्त असले पाहिजे.

6 बांधकामाचे साहित्य (Material of Construction): द्रवाच्या गंजरोधक गुणधर्मांनुसार आणि मीठाच्या प्रमाणानुसार, पंपाच्या आवरण (Casing) आणि इम्पेलर (Impeller) साठी योग्य साहित्य निवडले जाते.

7 कार्यपद्धती (Method of Operation): सतत (Continuous) किंवा मधूनमधून (Intermittent) वापरासाठी पंपाची निवड केली जाते.

8 खर्च आणि यांत्रिक कार्यक्षमता (Cost and Mechanical Efficiency) : उत्पादन खर्च आणि ऑपरेटिंग खर्च कमी असावा, तसेच पंपाची कार्यक्षमता जास्त असावी.

9 ऊर्जेचा स्रोत (Nature of Power Supply) : विद्युत, इंधन किंवा अन्य ऊर्जा स्त्रोतांचा विचार करून पंप निवडला जातो.

4.4 सेंट्रीफ्युगल पंप (Centrifugal Pump**)**

जेव्हा पंप सेंट्रीफ्युगल शक्तीच्या (Centrifugal Force) क्रियेद्वारे द्रवाला खालच्या स्तरावरून वरच्या स्तरावर उचलतो, त्याला सेंट्रीफ्युगल पंप (Centrifugal Pump) म्हणतात. हा पंप विद्युत मोटरला (Electric Motor) जोडणी शाफ्ट (Connecting Shaft) द्वारे जोडलेला असतो आणि तो उच्च वेगाने (High Speed) कार्य करू शकतो.

सेंट्रीफ्युगल पंपाचे वैशिष्ट्ये:

- साधी रचना (Simplicity of Design)
- कमी खर्च (Low Cost)
- कमी देखभाल (Low Maintenance)
- संचालनात लवचिकता (Flexibility in Operation)
- घन पदार्थ असलेल्या सस्पेंशन द्रवसाठी (Suspensions with Solids) उपयुक्त

- गंजरोधक द्रव्यांसाठी योग्य साहित्य (Material Selection for Corrosive Liquid)

रचना (Construction):

सेंट्रीफ्युगल पंप विद्युत मोटर (Electric Motor) आणि कॅसिंग (Casing) या दोन मुख्य भागांपासून बनलेला असतो. विद्युत मोटर आणि कॅसिंग हे एकमेकांशी जोडणी शाफ्ट (Connecting Shaft) द्वारा जोडलेले असतात.

१ कॅसिंग (Casing): पंपाच्या कॅसिंगचा आकार हवेबंद (Airtight Chamber) असतो आणि यामध्ये इम्पेलर (Impeller) असते.
पाण्याची गती ऊर्जा (Kinetic Energy) दाब ऊर्जेत (Pressure Energy) रूपांतरित करण्यासाठी याची रचना केली जाते.

२ सक्शन पाईप (Suction Pipe) : सक्शन पाईपच्या दोन टोकांपैकी एक टोक जलाशयात बुडलेले असते आणि दुसरे टोक पंपाच्या इनलेटला जोडलेले असते. अवांछित कण (Foreign Objects) थांबवण्यासाठी, फिल्टर (Strainer) देखील पाईपच्या एका टोकाला बसवले जाते.

३ शाफ्ट आणि शाफ्ट स्लीव्ह (Shaft & Shaft Sleeve) : शाफ्ट (Shaft) हा पंपाचा मुख्य भाग आहे, जो इम्पेलर सह फिरतो. शाफ्टला बॉल बेअरिंग (Ball Bearings) जोडलेले असतात, जे त्याच्या फिरण्यास मदत करतात. शाफ्टला सुरक्षित करण्यासाठी आणि गंज टाळण्यासाठी शाफ्ट स्लीव्ह (Shaft Sleeve) वापरली जाते.

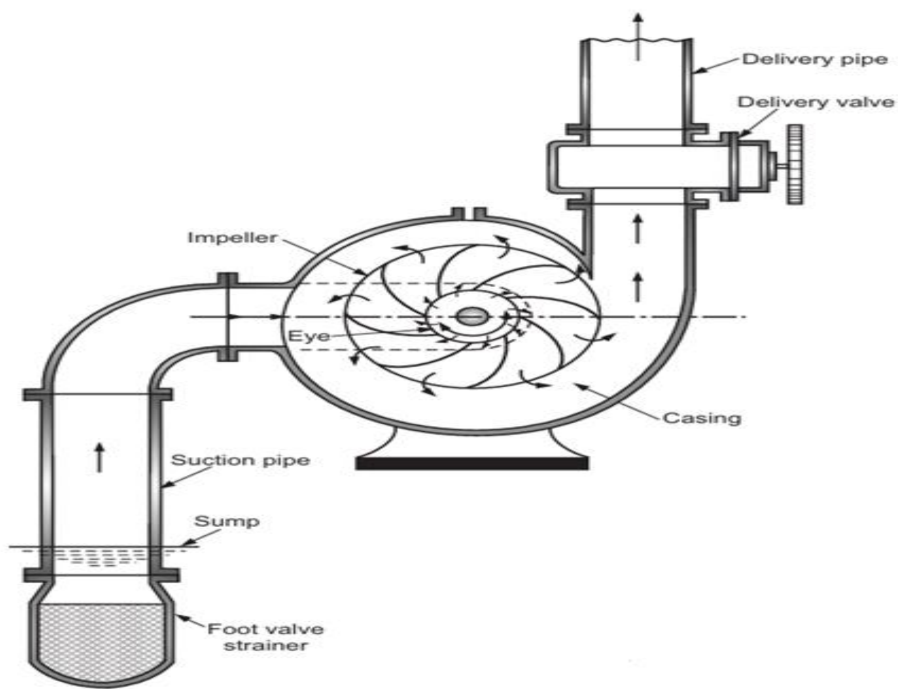


Fig 4.22: Working of centrifugal pump

इम्पेलर (Impeller)

इम्पेलर हा एक चाक किंवा रोटर (Rotor) असतो, ज्यावर व्हेन्स (Vanes) किंवा मागे वळलेली पाती (Backward-Curved Blades) असतात. तो विद्युत मोटरच्या शाफ्टला (Electric Motor Shaft) जोडलेला असतो. हा पंपाचा फिरणारा भाग (Rotating Portion) असून तो जलरोधक कॅसिंगमध्ये (Watertight Casing) असतो. इम्पेलरच्या फिरण्यामुळे द्रवाला वेग (Velocity) प्राप्त होतो.

डिलिव्हरी पाईप (Delivery Pipe): डिलिव्हरी पाईपलाही दोन टोकं असतात. यातील एक टोक पंपाच्या आउटलेटला (Outlet of Pump) जोडलेले असते. तर दुसरे टोक द्रव आवश्यक उंचीवर (Desired Height or Head) पोहोचवण्यासाठी वापरले जाते.

सेंट्रीफ्युगल पंपाचे कार्यप्रणाली (Working of Centrifugal Pump**)**

पंप सुरू करण्यापूर्वी प्रायमिंग (Priming) करणे आवश्यक असते. प्रायमिंगमध्ये सक्शन लाईन, कॅसिंग, आणि डिस्चार्ज लाईन द्रवाने भरली जाते. सर्व हवा, वायू आणि वाफ बाहेर टाकली जाते आणि कोणतेही एअर पॉकेट राहणार नाही याची खात्री केली जाते.

पंप सुरू करणे: प्रायमिंग पूर्ण झाल्यावर डिस्चार्ज वाल्व बंद करून विद्युत मोटर सुरू केली जाते. त्यामुळे कनेक्टिंग शाफ्ट फिरू लागतो आणि त्यासोबत इम्पेलर फिरू लागतो. इम्पेलरच्या फिरण्यामुळे एक फोर्स्ड व्होर्टेक्स (Forced Vortex) तयार होतो जो द्रवाला सेंट्रीफ्युगल हेड प्रदान करतो आणि परिणामी द्रवाच्या दाबात वाढ होते. डिलिव्हरी वाल्व बंद असल्यामुळे कॅसिंगमध्ये द्रवाची हालचाल (Churning) सुरू होते. डिलिव्हरी वाल्व उघडल्यावर, द्रव इम्पेलरच्या व्हेन्समधून बाहेर टाकला जातो, आणि तो उच्च वेग व उच्च दाबाने बाहेर पडतो.

व्हॅक्यूम निर्मिती आणि सक्शन प्रक्रिया: सेंट्रीफ्युगल क्रियेच्या (Centrifugal Action) मुळे इम्पेलरच्या मध्यभागी (Eye of the Impeller) एक आंशिक व्हॅक्यूम तयार होते. परिणामी, संप किंवा रिझर्व्हायरमधील (Sump/Reservoir) द्रव सक्शन पाईपमधून इम्पेलरच्या मध्यभागी खेचला जातो. अशा प्रकारे, इम्पेलरच्या संपूर्ण परिघावरून (Circumference) बाहेर पडणारा द्रव सतत नव्या द्रवाने भरला जातो.

ऊर्जा रूपांतरण आणि कार्यक्षमतेतील सुधारणा: पंप कार्यरत असताना, द्रव व्हेन्समधून ऊर्जा ग्रहण करतो, ज्यामुळे त्याच्या दाब व वेग ऊर्जा दोन्हीमध्ये वाढ होते. इम्पेलरमधून बाहेर पडणारा द्रव उच्च वेगाने (High Absolute Velocity) बाहेर पडतो. जर ही गतीशक्ती (Kinetic Energy) अनियंत्रित राहिली तर ती व्हॉर्टेक्स व एडीज (Eddies) मध्ये वाया जाईल, त्यामुळे पंपाची कार्यक्षमता कमी होईल. हे टाळण्यासाठी, कॅसिंगचे डिझाइन अशा प्रकारे केले जाते की द्रव हळूहळू विस्तारीत (Gradually Expanded) भागातून बाहेर पडतो. यामुळे गतीशक्तीचा रूपांतरण दाब ऊर्जेत (Pressure Energy) प्रभावीपणे होतो आणि पंपाची कार्यक्षमता वाढते.

सेंट्रीफ्युगल पंपातील कॅव्हिटेशन (Cavitation in Centrifugal Pump)

कॅव्हिटेशन म्हणजे द्रवामध्ये वाफेचे किंवा पोकळ्यांचे (Cavities) निर्माण होणे आणि त्यानंतर त्यांचे अचानक फुटणे (Implosion).

जेव्हा पंपातील द्रवदाब (Pressure) द्रवाच्या वाफ दाबाखाली (Vapour Pressure) येतो, तेव्हा कॅव्हिटेशन होते.

यामध्ये द्रव वाफेत रूपांतरित होतो आणि पुन्हा द्रवात बदलतो, ज्यामुळे पंपामध्ये बबल्स तयार होतात. सेंट्रीफ्युगल पंपावर कॅव्हिटेशनचे **परिणाम** (Effects of Cavitation on Centrifugal Pumps) कॅव्हिटेशन पंपाच्या कार्यक्षमतेवर आणि टिकाऊपणावर विपरित परिणाम करते. हे परिणाम समजून घेणे महत्त्वाचे आहे जेणेकरून पंपाची कार्यक्षमता टिकवता येईल आणि दुरुस्तीवरील खर्च टाळता येईल.

1. पंपाच्या कार्यक्षमता (Efficiency) मध्ये घट
    - कॅव्हिटेशनमुळे पंपातील द्रवाचा प्रवाह असमतोल होतो, त्यामुळे पंपाची कार्यक्षमता कमी होते.
2. प्रवाह दरात (Flow Rate) घट
    - कॅव्हिटेशनमुळे पंपाच्या निर्धारित प्रवाह दरावर परिणाम होतो, आणि तो अपेक्षित पातळीपेक्षा कमी होतो.
3. कंपन (Vibration) आणि आवाज (Noise)
    - कॅव्हिटेशनमुळे अत्याधिक कंपन आणि आवाज निर्माण होतो, जो पंप प्रणालीसाठी घातक ठरू शकतो.
4. इरोशन (Erosion) आणि पिटिंग (Pitting)
    - हे कॅव्हिटेशनचे सर्वात गंभीर परिणाम आहेत.
    - यामुळे पंपाच्या घटकांवर, विशेषतः इम्पेलर आणि कॅसिंगवर, झीज होते.
5. पंपाच्या आयुष्यमानात घट (Reduced Pump Lifespan)
    - सततच्या कॅव्हिटेशनमुळे पंपाच्या भागांवर झीज होते, ज्यामुळे पंपाचे आयुष्य कमी होते.
6. ऑपरेटिंग खर्च वाढणे (Increased Operating Costs)
    - कॅव्हिटेशनमुळे पंपाच्या देखभाल आणि दुरुस्ती खर्चात मोठी वाढ होते.
7. इम्पेलर आणि कॅसिंगचे नुकसान (Impeller and Casing Damage)
    - कॅव्हिटेशनमुळे इम्पेलर आणि कॅसिंगची संरचनात्मक घट्टता (Structural Integrity) धोक्यात येते.
    - सततच्या वाफ बबल्सच्या फुटण्यामुळे (Collapse) इरोशन होते, ज्यामुळे हे घटक कमकुवत होतात.

सेंट्रीफ्युगल पंपात कॅव्हिटेशन होण्याची कारणे (Causes of Cavitation in Centrifugal Pumps) कॅव्हिटेशन विविध कारणांमुळे होऊ शकते. याची समज घेतल्यास कॅव्हिटेशन नियंत्रित करता येऊ शकते.

1. अपर्याप्त नेट पॉझिटिव्ह सक्शन हेड (NPSHa कमी असणे)
    - जर पंपाच्या सक्शनमध्ये पुरेसा NPSH उपलब्ध नसेल, तर कॅव्हिटेशन होऊ शकते.
2. जास्त द्रव वेग (High Liquid Velocity)
    - जर द्रवाचा वेग जास्त असेल, तर द्रवदाब कमी होतो आणि कॅव्हिटेशन होण्याची शक्यता वाढते.
3. अयोग्य पंप डिझाईन (Inadequate Pump Design)

- योग्यरित्या डिझाइन न केलेल्या पंपांमध्ये कॅव्हिटेशन होण्याची शक्यता जास्त असते.

4. ऑपरेटिंग कंडिशन चुकीच्या मर्यादेत असणे (Operating at Off-Design Points)
   - पंप जर त्याच्या डिझाईन केलेल्या कार्यक्षेत्राबाहेर चालवला गेला तर कॅव्हिटेशन होऊ शकते.
5. जास्त तापमान असलेला द्रव (Higher Liquid Temperature)
   - जास्त तापमानाच्या द्रवामुळे त्याचा वाफ दाब (Vapour Pressure) कमी होतो, ज्यामुळे कॅव्हिटेशन होऊ शकते.

सेंट्रीफ्युगल पंपामध्ये एअर बाइंडिंग (Air Binding in Centrifugal Pump**)**

एअर बाइंडिंग म्हणजे पंपाच्या कॅसिंग किंवा इम्पेलरमध्ये हवा अडकणे, ज्यामुळे पंप योग्यरित्या सक्शन निर्माण करू शकत नाही आणि द्रव हलवू शकत नाही. सेंट्रीफ्युगल पंप द्रवाच्या मदतीने सक्शन तयार करतो, परंतु हवेच्या उपस्थितीमुळे पंपाची कार्यक्षमता बाधित होते.

हवेचा घनता (Density) कमी असल्यामुळे सेंट्रीफ्युगल फोर्स देखील कमी निर्माण होतो, त्यामुळे सक्शन पोर्टवर तयार होणारा व्हॅक्यूम अपुरा ठरतो आणि पंप द्रव खेचू शकत नाही. यामुळे एअर बाइंडिंग झाल्यास पंप द्रवाची वाहतूक करू शकत नाही आणि तो बंद पडतो.

एअर बाइंडिंग होण्याची कारणे (Causes of Air Binding)

1. अयोग्य प्रायमिंग (Improper Priming) – जर पंपाची योग्य प्रकारे प्रायमिंग केली नसेल, तर पंपाच्या कॅसिंगमध्ये हवा अडकून राहते.
2. सक्शन लाइनमधील गळती (Leak in Suction Line) – सक्शन पाईप किंवा जॉईंटमध्ये गळती असल्यास, तिथून हवा पंपामध्ये प्रवेश करू शकते.
3. संपमधील (Sump) द्रवाची पातळी कमी असणे (Low Liquid Level in Sump) – जर संपमधील द्रवाची पातळी खूप कमी असेल, तर हवा सक्शन पाईपमध्ये जाऊ शकते.
4. व्होर्टेक्स तयार होणे (Vortex Formation) –जर पंप जास्त वेगाने द्रव खेचत असेल, तर व्होर्टेक्स (जळपरीसारखा भंवर) तयार होऊ शकतो.यामुळे पाण्यासोबत हवा पंपामध्ये शिरू शकते.
5. फुट वाल्व खराब होणे (Faulty Foot Valve) –जर फुट वाल्व खराब किंवा अडकलेला असेल, तर सक्शन लाइनमध्ये हवा प्रवेश करू शकते.
6. सक्शन लिफ्ट जास्त असणे (High Suction Lift) –जर पंप द्रवस्त्रोताच्या खूप उंचीवर बसवलेला असेल, तर तो हवा काढून टाकण्यासाठी संघर्ष करू शकतो, आणि त्यामुळे एअर बाइंडिंग होते.

एअर बाइंडिंगचे परिणाम (Effects of Air Binding)

- पंप द्रव वितरित करू शकत नाही.
- सक्शनमध्ये अपयश आणि कार्यक्षमता कमी होते.
- योग्य थंडकरण न मिळाल्यास पंप गरम होतो (Overheating).
- पंपाच्या घटकांवर (Impeller, Bearings, Shaft) अधिक झीज होते.

प्रायमिंग Priming

सेंट्रीफ्यूगल पंपामध्ये प्रायमिंग (Priming in Centrifugal Pump)

प्रायमिंग हा सेंट्रीफ्यूगल पंपाच्या कार्यक्षमतेसाठी एक महत्त्वाचा प्रक्रिया आहे. पंप सुरू करण्यापूर्वी पंपाच्या कॅसिंगमध्ये द्रव भरणे आणि त्यामधील सर्व हवा काढून टाकणे आवश्यक असते. हे इम्पेलर आणि कॅसिंगमध्ये योग्य सील तयार करण्यास मदत करते, ज्यामुळे पंप सुरळीत कार्य करू शकतो. प्रायमिंग मॅन्युअली (हस्तचालित) किंवा ऑटोमॅटिकली (स्वयंचलित) करता येते, हे पंपाच्या प्रकारावर अवलंबून असते.

सेंट्रीफ्यूगल पंपासाठी प्रायमिंग का आवश्यक आहे?

हवेच्या अडथळ्यामुळे पंपाचा दाब तयार होऊ शकत नाही. जर प्रायमिंग केली नाही, तर पंपाच्या कॅसिंगमध्ये हवा अडकू शकते, आणि यामुळे पंप योग्य दाब तयार करू शकत नाही. कोरड्या पंपामुळे (Dry Pump) पंपाचे नुकसान होऊ शकते.

जर पंप कोरडा असेल, तर इम्पेलर, सील आणि बेअरिंग्स गरम होऊन खराब होऊ शकतात.प्रायमिंग केल्याने पंपाच्या अंतर्गत भागांना योग्य प्रकारे वंगण (lubrication) आणि थंडकरण (cooling) मिळते. योग्यरित्या प्रायमिंग केलेला पंप अधिक कार्यक्षमतेने आणि कमी ऊर्जा खर्चात चालतो. यामुळे पंपाचे जीवनकाल वाढते आणि देखभालीचा खर्च कमी होतो.फायर फायटिंग (Fire Fighting) किंवा सिंचनासाठी (Irrigation) जलद प्रायमिंग आवश्यक असते. विलंब झाल्यास जीवन किंवा मालमत्तेचे नुकसान होऊ शकते. प्रायमिंग केल्याने (Cavitation) टाळता येते. कॅव्हिटेशनमुळे इम्पेलर खराब होतो आणि पंपाची कार्यक्षमता घटते.

प्रायमिंग कसे करावे?

1. डिस्चार्ज वाल्व बंद करा.
2. सक्शन वाल्व उघडा आणि पंपाच्या कॅसिंगमध्ये व सक्शन लाइनमध्ये द्रव भरा.
3. पंपाच्या वेंट वाल्व (Vent Valve) उघडा, जेणेकरून अडकलेली हवा बाहेर पडेल.
4. सर्व हवा बाहेर गेल्यानंतर, वेंट वाल्व बंद करा आणि पंप सुरू करा.

इम्पेलर Impeller

द्रव पंप करण्याच्या प्रक्रियेत, इम्पेलर हा सेंट्रीफ्यूगल पंपाचा एक अत्यावश्यक घटक असतो. हा पंपाच्या मोटारीकडून मिळणाऱ्या यांत्रिक उर्जेचे गती उर्जेमध्ये रूपांतर करतो. या उर्जेमुळे द्रवाचा दाब आणि प्रवाह दर (Flow Rate) वाढतो. इम्पेलर हा वाकलेल्या ब्लेड्स (Curved Blades) असलेला फिरणारा डिस्क (Rotating Disk) असतो, जो व्हॅक्यूम तयार करतो आणि द्रवाला मध्यभागी खेचून बाहेर फेकतो.

इम्पेलरचा फिरण्याचा वेग महत्त्वाचा असतो. इम्पेलर म्हणजे काय आणि त्याचे विविध प्रकार समजून घेणे गरजेचे आहे कारण यावर पंपाची कार्यक्षमता आणि कार्यप्रदर्शन अवलंबून असते. योग्य इम्पेलर निवडल्यास: प्रवाह दर (Flow Rate) जास्तीत जास्त मिळतो. ऊर्जेचा अपव्यय कमी होतो. पंपाचे डाऊनटाइम (Downtime) कमी होते आणि देखभालीचा खर्च वाचतो.

ओपन इम्पेलर (Open Impeller**)**

ओपन इम्पेलरमध्ये दोन्ही बाजूंना उघड्या स्थितीत असलेले व्हेन्स (Vanes) असतात. ही रचना द्रवाचा प्रवाह सोपा करते आणि जास्त टक्केवारीत घन पदार्थ किंवा जास्त विस्कोसिटी असलेल्या द्रवांसाठी फायदेशीर ठरते. ओपन इम्पेलरची वैशिष्ट्ये आणि उपयोग म्हणजे घन पदार्थयुक्त द्रव सहज हाताळतो. उच्च विस्कोसिटी (Viscosity) असलेल्या द्रवांसाठी उपयुक्त असतो. कचरा प्रक्रिया (Wastewater Treatment) आणि स्लरी (Slurry) हाताळण्यासाठी योग्य.

ओपन इम्पेलरचे फायदे आणि तोटे

फायदे: उत्पादन करणे सोपे आणि देखभाल कमी.

तोटे: कार्यक्षमता (Efficiency) इतर प्रकारच्या इम्पेलरपेक्षा कमी.

सेमी-ओपन इम्पेलर डिझाइन (Semi-Open Impeller)

ही इम्पेलर रचना एका बाजूला व्हेन्स (Vanes) असलेल्या असते, तर दुसरी बाजू उघडी असते. ही रचना मध्यम प्रमाणात घन पदार्थ असलेल्या द्रवांसाठी किंवा कमी विस्कोसिटी असलेल्या द्रवांसाठी वापरली जाते.

सेमी-ओपन इम्पेलरची वैशिष्ट्ये आणि फायदे

क्लोज्ड इम्पेलरसारखी चांगली कार्यक्षमता देतो. ओपन इम्पेलरसारखा ठिसूळ पदार्थ (Solids) हाताळण्याची क्षमता असते. कमी विस्कोसिटी आणि मध्यम घन पदार्थ असलेल्या द्रवांसाठी योग्य.

ओपन आणि सेमी-ओपन इम्पेलरमधील फरक म्हणजे सेमी-ओपन इम्पेलर ओपन इम्पेलरपेक्षा जास्त कार्यक्षम असतो. पण तो तयार करणे आणि देखभाल करणे तुलनेने कठीण असते.

क्लोज्ड इम्पेलर (Closed Impeller)

ही इम्पेलर रचना पूर्णपणे शराउंड (Shroud) मध्ये बंद असलेल्या व्हेन्स (Vanes) असते. डिझाइन अंतर्गत पुनर्वाह (Internal Recirculation) आणि द्रव गळती कमी करून हायड्रॉलिक कार्यक्षमता (Hydraulic Efficiency) जास्तीत जास्त वाढवते. क्लोज्ड इम्पेलरचे वैशिष्ट्ये आणि फायदे म्हणजे जास्त कार्यक्षम (High Efficiency) आणि कमी NPSH आवश्यक असतो. क्लीन वॉटर पंपिंग आणि औद्योगिक प्रक्रिया यांसाठी उपयुक्त. द्रव गळती कमी होते आणि पंपची कार्यक्षमता टिकून राहते.

क्लोज्ड इम्पेलरची ताकद आणि मर्यादा म्हणजे फायदा: घन पदार्थ हाताळण्याची चांगली कार्यक्षमता असते. मर्यादा: स्वच्छता आणि देखभाल करणे अवघड असते.

योग्य इम्पेलर प्रकार कसा निवडायचा?

योग्य इम्पेलर प्रकार निवडताना उपयोग आणि पंप केले जाणारे द्रव यांचा विचार करणे आवश्यक आहे. वेगवेगळ्या प्रकारच्या इम्पेलरची निवड

1. ओपन इम्पेलर)Open Impeller): कमी विस्कोसिटी असलेल्या आणि कोणतेही सॉलिड्स नसलेल्या द्रवांसाठी योग्य.
2. क्लोज्ड इम्पेलर)Closed Impeller): सॉलिड्स असलेल्या द्रवांसाठी उपयुक्त. गळती कमी होऊन उच्च कार्यक्षमता मिळते.
3. सेमी) ओपन इम्पेलर-Semi-Open Impeller): ओपन आणि क्लोज्ड इम्पेलर यांचे मिश्रण आहे. मध्यम प्रमाणात सॉलिड्स असलेल्या द्रवांसाठी उपयुक्त.
4. रीसेस्ड इम्पेलर)Recessed Impeller): जास्त प्रमाणात सॉलिड्स असलेल्या द्रवांसाठी डिझाइन केलेले. स्लरी आणि घन पदार्थ असलेल्या द्रवांसाठी उपयुक्त. वॉर्टेक्स इम्पेलर)Vortex Impeller) जास्त प्रमाणात गॅस असलेल्या द्रवांसाठी वापरले जाते.

इम्पेलर निवडताना कोणते विचारात घ्यायचे घटक: आवश्यक प्रवाह दर)Flow Rate), कार्यक्षमता)Efficiency) , देखभाल)Maintenance), खर्च)Cost)

केसिंग (Casing)

केसिंग ही हवाबंद (airtight) चेंबर आहे ज्यामध्ये इम्पेलर फिरतो. यात इनलेट (सक्शन) आणि आउटलेट (डिस्चार्ज) असते, जेणेकरून द्रव सहज पंप करता येईल.

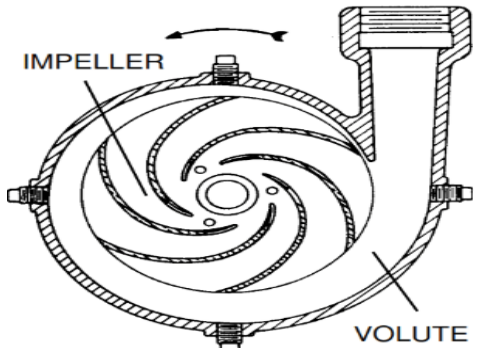
केसिंगचे कार्य: इम्पेलरद्वारे द्रवाला दिलेली गती ऊर्जा (Kinetic Energy) उपयुक्त दाब ऊर्जा (Pressure Energy) मध्ये रूपांतरित करणे. केसिंगचे प्रकार: 1 वोल्यूट केसिंग (Volute Casing) 2 डिफ्युजर केसिंग (Diffuser Casing) हे प्रकार पंपच्या कार्यक्षमतेवर परिणाम करतात आणि वेगवेगळ्या अनुप्रयोगांनुसार निवडले जातात.

वोल्यूट केसिंग)Volute Casing)

वोल्यूट केसिंग ही सेंट्रीफ्यूगल पंपची स्पायरलआकाराची चॅनेल- असते जी इम्पेलरमधून बाहेर पडणाऱ्या द्रवाला डिस्चार्ज नोजलकडे मार्गदर्शित करतेहे . द्रवाच्या गती उर्जेचे दाब ऊर्जेमध्ये रूपांतर करते. वोल्यूट केसिंगची वैशिष्ट्ये खालील प्रमाणे आहेत.

- वोल्यूट केसिंग इम्पेलरभोवती असते आणि त्याचा हळूहळू विस्तृत होणारा, सर्पिल आकार)spiral shape) असतो.
- इम्पेलरमधून बाहेर पडलेला द्रव वोल्यूट केसिंगमध्ये प्रवेश करतो.

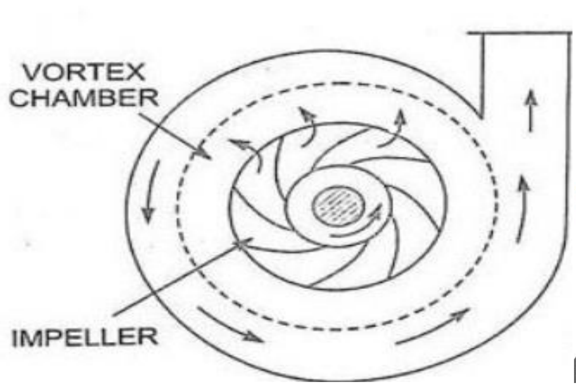
- सर्पिल आकारामुळे द्रवाचा वेग हळूहळू कमी होतो)decelerate होतो.(
- केसिंगमधून द्रव पुढे जात असताना त्याचा दाब वाढतो.



व्होर्टेक्स टाइप केसिंग (Vortex Type Casing)

व्होर्टेक्स केसिंग म्हणजे केसिंग आणि इम्पेलरच्या दरम्यान असलेली वर्तुळाकार (circular) चेंबर. हे व्होर्टेक्स चेंबर एडिज (eddies) तयार होण्याचे प्रमाण कमी करून पंपाची कार्यक्षमता सुधारते.
व्होर्टेक्स केसिंगची वैशिष्ट्ये खालील प्रमाणे आहेत.

- इम्पेलर द्रवाला गती देतो, जो पुढे व्होर्टेक्स चेंबरमधून जातो.
- व्होर्टेक्स चेंबरमधून द्रव पुढे वोल्यूट केसिंगमध्ये प्रवेश करतो.
- केसिंग द्रवाच्या गतिज ऊर्जेचे (kinetic energy) दाब ऊर्जेमध्ये (pressure energy) रूपांतर करते.
- त्यानंतर द्रव डिलिव्हरी पाईपमध्ये प्रवेश करतो आणि पुढे वाहतो.

- 

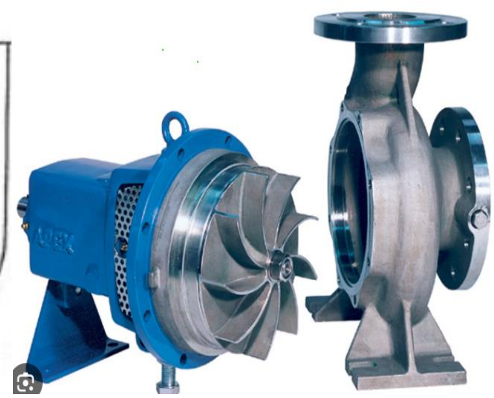


Fig 4.23: Vortex type casing

सेंट्रीफ्यूगल पंपचे फायदे आणि तोटे

सेंट्रीफ्यूगल पंपचे फायदे:

1. सोप्या रचनेचा (Simple Construction) असल्यामुळे त्याचे उत्पादन सोपे असते.
2. साध्या डिझाइनमुळे वेगवेगळ्या प्रकारच्या साहित्यांमध्ये तयार करता येतो.
3. कमी प्रारंभिक खर्च (Low Initial Cost) आणि साधी रचना.
4. हा उच्च गतीने (High Speed) कार्य करतो, त्यामुळे तो थेट इलेक्ट्रिक मोटरला जोडता येतो.
5. स्थिर व सतत प्रवाह (Steady Delivery) मिळतो.
6. कमी देखभाल खर्च (Lower Maintenance Cost) असतो.
7. डिलिव्हरी लाईन बंद झाल्यास किंवा डिलिव्हरी वाल्व बंद केल्यासही हा पंप त्वरित खराब होत नाही (फक्त दीर्घकाळ चालू ठेवू नये).
8. सस्पेन्डेड सॉलिड्स असलेले द्रव सहजपणे हाताळू शकतो.

सेंट्रीफ्यूगल पंपचे तोटे:

1. हा सहसा सेल्फ-प्रायमिंग (Self-Priming) नसतो.
2. कार्यक्षमता तुलनेने कमी असते (50-65%).
3. खूप जास्त गंजाळ किंवा अत्यंत चिकट (Viscous) द्रव कार्यक्षमतेने हाताळू शकत नाही.

नेट पॉझिटिव सक्शन हेड (NPSH)

NPSH ही संज्ञा "नेट पॉझिटिव सक्शन हेड" याचा संक्षिप्त रूप आहे आणि तो सेंट्रीफ्यूगल पंपाच्या सक्शन वैशिष्ट्यांचे मूल्यांकन करण्यासाठी एक महत्त्वाचा घटक आहे. हे पंपाच्या कार्याच्या वेळी कॅव्हिटेशन टाळण्यासाठी आवश्यक असलेल्या सुरक्षिततेच्या फरकाची भविष्यवाणी करण्यास मदत करते. पंप उत्पादकांनी पंपाच्या सक्शन पॉईंटवर अस्तित्वात असलेले NPSH चे किमान मूल्य निर्दिष्ट करणे आवश्यक आहे.

कॅव्हिटेशन टाळण्यासाठी, पंपाच्या सक्शन पॉईंटवरील दाब हा संबंधित द्रवाच्या वाफ दाबापेक्षा जास्त असावा. हा अतिरिक्त दाब "नेट पॉझिटिव सक्शन हेड" म्हणून ओळखला जातो. NPSH म्हणजे पंपाच्या सक्शन पॉईंटवरील दाब, जो संबंधित द्रवाच्या हेडच्या स्वरूपात मोजला जातो (वेग हेड आणि दाब हेड यांची बेरीज), आणि तो द्रवाच्या वाफ दाबापेक्षा जास्त असतो.

कोणत्याही पंप इन्स्टॉलेशन मध्ये NPSH ची गणना करताना द्रवाचा पूर्ण दाब, पंपाची पातळी, सक्शन लाईनमधील वेग हेड आणि घर्षण हेड यांचा विचार केला पाहिजे. जर आवश्यक NPSH मूल्य प्राप्त झाले नाही, तर आंशिक वाफ निर्मिती (वॅपोरेझेशन) होण्याची शक्यता असते आणि परिणामी सक्शन आणि डिलिव्हरी हेड दोन्ही कमी होऊ शकतात. जर सक्शन हेड कमी झाला, तर पंपाला पुरेशा प्रमाणात द्रव मिळू शकणार नाही आणि त्यामुळे पंपाचे कार्य प्रभावित होऊ शकते.

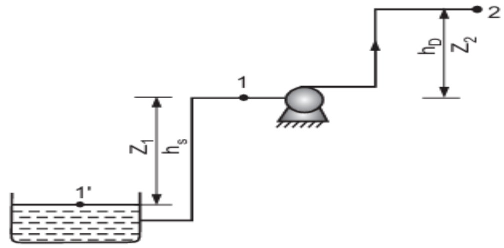


Fig 4.24 : NPSH of centrifugal pump

Npsh च्या आकृतीवरून Z_1 हा स्टॅटिक सक्शन लिफ्ट हे अंतर आहे (त्याला h_s असेही दर्शवले जाते). तो पंपाच्या शाफ्टच्या मध्यरेषेपासून द्रवाच्या पृष्ठभागापर्यंत (साठवण टाकीमध्ये) असलेल्या उभ्या उंचीला दर्शवतो.

Z_2 हा स्टॅटिक डिलिव्हरी लिफ्ट अंतर आहे (त्याला hD असेही दर्शवले जाते). तो पंपाच्या शाफ्टच्या मध्यरेषेच्या वर, द्रव ज्या टाकीत पोहोचवला जातो त्या टाकीतील द्रव पृष्ठभागापर्यंतच्या उभ्या उंचीला दर्शवतो.

चित्रात दर्शवलेल्या पंपिंग प्रणालीसाठी, प्रवाहित होणाऱ्या द्रवाचा NPSH (मीटरमध्ये) खालीलप्रमाणे दिला जातो.

$$(NPSH) = (absolute\ pressure\ head\ available\ at\ suction\ point\ 1) - (vapour\ pressure\ head)$$

$$NPSH = \frac{(u_1)^2}{2g} + \frac{P_1}{\varrho g} - \frac{P_v}{\varrho g}$$

जिथे P_v म्हणजे पंपिंग तापमानावर द्रवाचा वाफ दाब आहे.

स्टेशन 1' आणि 1 यामधील द्रवाच्या मीटरमध्ये बर्नोली समीकरण लागू केल्यास:

$$\frac{P_1'}{\rho g} + \frac{u_1'^2}{2g} + Z_1' = \frac{u_1^{2\prime}}{2g} + Z_1 + \frac{P_1}{2g} + h_{fs}$$

वरील समीकरणामध्ये $h_{s\ f}$ हा पंप केले जाणाऱ्या द्रवाच्या मीटरमध्ये व्यक्त केला जातो. $h_{s\ f}$ म्हणजे सक्शन लाइनमधील घर्षणामुळे होणारा हेडचा तोटा.

जर $Z'_1 = 0$ (सर्वात खालचा बिंदू) आणि $u'_1 = 0$ (संपच्या तळाशी पाणी स्थिर असल्यास), तर:

$$\frac{P_1'}{\rho g} = \frac{u_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{P_1}{2g} + h_{fs}$$

समीकरणाची पुनर्रचना केल्यास, आपल्याला मिळते:

$$\frac{P_1}{2g} + \frac{u_1^2}{2g} = \frac{P_1'}{\rho g} - Z_1 - h_{fs}$$

समीकरणांमधून, आपल्याला मिळते

$$NPSH = \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} - Z_1 - h_{fs}$$

सेंट्रीफ्यूगल पंप आणि त्याच्या कॅरेक्टरीसटिक कर्व

सेंट्रीफ्यूगल पंपांचा वापर विविध उद्योगांमध्ये मोठ्या प्रमाणावर केला जातो, जसे की पाणीपुरवठा, रासायनिक प्रक्रिया इत्यादी. एक पंप सहसा ठराविक गती (Speed), प्रवाह दर (Flow Rate) आणि हेड (Head) साठी डिझाइन केला जातो. परंतु प्रत्यक्षात, तो काही वेगळ्या प्रवाह दर किंवा हेडच्या परिस्थितीत चालवला जाऊ शकतो.

पंपाच्या कामगिरीवर (Performance) या बदललेल्या परिस्थितींचा मोठा प्रभाव पडू शकतो. पंपाच्या वेगवेगळ्या परिस्थितींमध्ये होणाऱ्या बदलांचा अंदाज लावण्यासाठी चाचण्या (Tests) केल्या जातात.

या चाचण्यांचे परिणाम आलेखावर प्लॉट केले जातात. अशा आलेखांद्वारे, विशिष्ट पंपाच्या कार्यक्षमतेचे प्रदर्शन होते, यालाच पंपाच्या कॅरेक्टरीसटिक कर्व (Characteristic Curves) असे म्हणतात.

पंप वक्ररेषा (Pump Curves) समजून घेणे अत्यंत महत्त्वाचे आहे, कारण त्याद्वारे योग्य पंप निवडणे आणि त्याची कार्यक्षमता (Efficiency) वाढवणे शक्य होते.

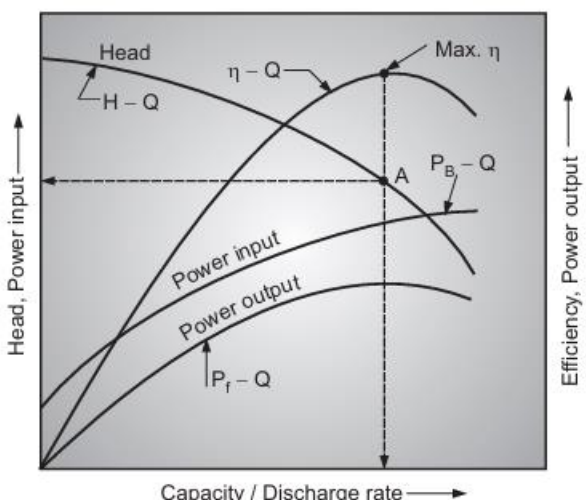


Fig 4.25: Characteristic curve of centrifugal pump

सेंट्रीफ्यूगल पंपाच्या कॅरेक्टरीसटिक कर्व

सेंट्रीफ्यूगल पंपाच्या कॅरेक्टरीसटिक कर्व हेड (Head), वीज इनपुट (Power Input) आणि कार्यक्षमता (Efficiency) यांचे डिस्चार्ज दर (Capacity) सोबत असलेले संबंध दाखवले जातात. हे आलेख (Graph) पंपाच्या ठराविक गतीवर (Speed) असलेल्या कार्यक्षमतेचे चित्रण करतात.

H-Q वक्ररेषा (Head vs. Discharge Curve)

H-Q वक्ररेषा हेड (Y1 अक्ष) आणि डिस्चार्ज दर (Capacity/Discharge Rate) यांच्यातील संबंध दर्शवते. या आलेखानुसार, डिस्चार्ज दर वाढला की हेड सतत कमी होत जातो. ज्या ठिकाणी कार्यक्षमतेची कमाल किंमत (Maximum Efficiency) हेड कर्व रेषेला (Head Curve) छेदते, त्या बिंदूला ड्युटी पॉइंट (Duty Point) म्हणतात.

- सामान्य (Normal) किंवा डिझाइन केलेला हेड आणि डिस्चार्ज दर: ज्या हेड आणि डिस्चार्ज दरावर कार्यक्षमता जास्तीत जास्त असते, त्यांना सामान्य किंवा डिझाइन केलेले हेड आणि डिस्चार्ज म्हणतात.
- H-Q वक्ररेषेच्या मदतीने हे ठरवता येते की, पंप इच्छित हेडसाठी आवश्यक प्रवाह (Flow) पुरवू शकेल किंवा नाही आणि हेड वाढवल्यास किंवा कमी झाल्यास त्याचा परिणाम काय होईल.

PB-Q कर्व रेषा (Power vs. Discharge Curve)

ही कर्वरेषा मोटरच्या आवश्यक वीज इनपुट (Power Input) आणि डिस्चार्ज दर (Capacity) यांच्यातील संबंध दाखवते.

या कर्वरेषेच्या मदतीने हे ठरवता येते की, पंप चालवण्यासाठी आवश्यक असलेल्या मोटरचा आकार योग्य आहे का, आणि वेगवेगळ्या कार्यरत परिस्थितींमध्ये मोटर जास्त लोड होईल का नाही.

η-Q कर्वरेषा (Efficiency vs. Discharge Curve)

ही कर्वरेषा पंपाची कार्यक्षमता (Efficiency, η) आणि डिस्चार्ज दर (Capacity) यांच्यातील संबंध दर्शवते. या आलेखावरून असे दिसते की, सुरुवातीस डिस्चार्ज दर कमी असताना कार्यक्षमता वेगाने वाढते. कार्यक्षमता जास्तीत जास्त पातळीवर पोहोचते, जी रेटेड कॅपेसिटी (Rated Capacity) च्या जवळ असते. त्यानंतर डिस्चार्ज दर वाढल्यावर कार्यक्षमता पुन्हा कमी होऊ लागते.

4.5 पॉझिटिव डिस्प्लेसमेंट पंप

पॉझिटिव डिस्प्लेसमेंट पंप हा एक सर्वसमावेशक संज्ञा आहे, जी पॉझिटिव डिस्प्लेसमेंट तत्त्वावर कार्य करणाऱ्या सर्व पंपांसाठी वापरली जाते. या पंपांना वॉल्युमेट्रिक पंप (Volumetric Pump) असेही म्हणतात कारण ते द्रव एका बंदिस्त क्षेत्रफळामध्ये (Enclosed Volume) पंप करतात. या पंपांमध्ये डिस्प्लेसमेंट बॉडी (Displacement Body) कार्यरत क्षेत्रफळाची (Working Volume) आवर्त स्वरूपात (Periodically) वाढ आणि घट करत असते, ज्यामुळे द्रवाला ऊर्जा हस्तांतरित होते. कार्यरत क्षेत्रफळ इनलेट (Suction) आणि डिस्चार्ज (Discharge) विभागांपासून विभक्त करणाऱ्या घटकांद्वारे (Separating Elements) वेगळे केले जाते.

पॉझिटिव डिस्प्लेसमेंट पंपांचे प्रकार: पॉझिटिव डिस्प्लेसमेंट पंपांना परस्पर हालचाल करणाऱ्या भागांवर (Reciprocating Parts) आधारित दोन प्रमुख प्रकारांमध्ये वर्गीकृत करता येते

1. पिस्टन पंप (Piston Pump)

2. प्लंजर पंप (Plunger Pump)
3. डायफ्राम पंप (Diaphragm Pump)

हे पंप उच्च-दाबाच्या अनुप्रयोगांमध्ये (High-Pressure Applications) वापरले जातात आणि स्थिर प्रवाह (Steady Flow) आणि उच्च कार्यक्षमता (High Efficiency) प्रदान करतात.

रेसिप्रोकेटींग पंपाची रचना (Construction of Reciprocating Pump)

रेसिप्रोकेटींग पंप मूलत: पिस्टन किंवा प्लंजर यांचा समावेश असलेल्या यंत्रणेवर आधारित असतो, जो एका बंदिस्त सिलेंडरमध्ये पुढे-मागे (To and Fro) हालचाल करतो.

रेसिप्रोकेटींग पंपाची रचना पुढील प्रमाणे असते: सिलेंडर (Cylinder) यात पिस्टन किंवा प्लंजर कार्य करतो. सक्शन आणि डिलिव्हरी पाइप (Suction and Delivery Pipe) – सिलेंडरला दोन पाइप्स जोडलेले असतात. नॉन-रिटर्न वाल्व (Non-Return Valve) – या पाइप्समध्ये सक्शन वाल्व आणि डिलिव्हरी वाल्व बसवलेले असतात, जे फक्त एकाच दिशेने प्रवाहास परवानगी देतात. सक्शन वाल्व – द्रव फक्त सिलेंडरमध्ये प्रवेश करू शकतो. डिलिव्हरी वाल्व – द्रव सिलेंडरमधून बाहेर पडू शकतो.

कार्यप्रणाली (Working Mechanism): क्रँक (Crank) – पिस्टन किंवा प्लंजर क्रँकद्वारे (Crank) कनेक्टिंग रॉडच्या मदतीने जोडलेले असते. ड्रायव्हिंग इंजिन / इलेक्ट्रिक मोटर – क्रँक ड्रायव्हिंग इंजिन किंवा इलेक्ट्रिक मोटर ने फिरवले जाते, ज्यामुळे पिस्टन सिलेंडरमध्ये पुढे-मागे हालचाल करतो. एअर वेसल (Air Vessel) – या पंपांमध्ये डिस्चार्ज पाइपवर एअर वेसल बसवलेला असतो, जो प्रवाह सुरळीत करण्यात मदत करतो.

रेसिप्रोकेटींग पंप हा उच्च-दाब प्रणालीसाठी (High-Pressure Applications) उपयुक्त असतो आणि विशिष्ट प्रमाणात द्रव नियंत्रित प्रवाहाने (Controlled Flow) पंप करण्यासाठी वापरला जातो.

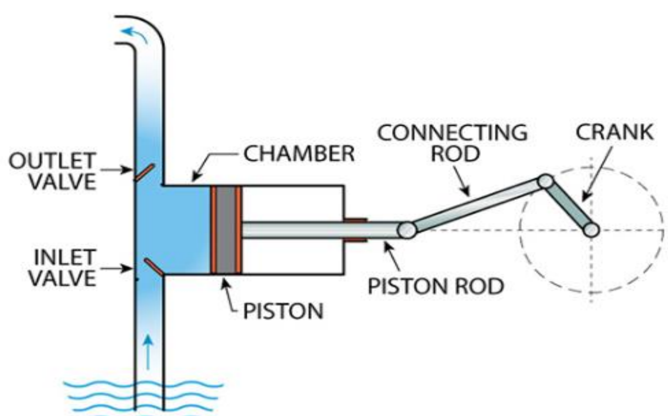


Fig 4.26: Positive displacement pump

रेसिप्रोकेटींग पंपची कार्यप्रणाली (Working of Reciprocating Pump)

रेसिप्रोकेटींग पंपामध्ये पिस्टन, प्लंजर किंवा डायाफ्राम हे मुख्य घटक असतात, जे चेंबरच्या आत हालचाल करतात आणि पंपची कार्यक्षमता निर्धारित करतात.

पंपातील मुख्य घटक:

कनेक्टिंग रॉड – याच्या एका बाजूला मोटर क्रँक जोडलेला असतो आणि दुसऱ्या बाजूला पिस्टन, प्लंजर किंवा डायाफ्राम जोडलेला असतो. सक्शन पाइप (Suction Pipe) – हा पाइप द्रव पंपामध्ये खेचण्याचे कार्य करतो. डिलिव्हरी पाइप (Delivery Pipe) – हा पाइप द्रव बाहेर टाकण्यासाठी वापरला जातो. इनलेट आणि आउटलेट वाल्व (Inlet and Outlet Valve) – हे द्रवाचा प्रवाह नियंत्रित करतात आणि योग्य दिशेने वाहण्यास मदत करतात.

रेसिप्रोकेटींग पंपाचे कार्य दोन टप्प्यांमध्ये विभागले जाते:

1) सक्शन फेज (Suction Phase):

- जेव्हा क्रँक 0° ते 180° फिरतो (बाहेर सरकतो), तेव्हा पिस्टन, प्लंजर किंवा डायाफ्राम उजव्या टोकाला पोहोचतो.
- पिस्टन किंवा प्लंजर मागे ओढले जाते, ज्यामुळे चेंबरचा आकार वाढतो आणि व्हॅक्यूम तयार होते.
- इनलेट वाल्व उघडतो आणि आउटलेट वाल्व बंद राहतो.
- या व्हॅक्यूममुळे इनलेट पाइपमधून द्रव खेचला जातो आणि पंपाच्या चेंबरमध्ये प्रवेश करतो.

2) संपीडन फेज (Compression Phase):

- जेव्हा क्रँक 180° ते 360° फिरतो (आत सरकतो), तेव्हा पिस्टन, प्लंजर किंवा डायाफ्राम चेंबरमध्ये पुढे ढकलले जाते.
- यामुळे इनलेट वाल्व बंद होतो आणि आउटलेट वाल्व उघडतो.
- द्रव उच्च दाबाने आउटलेट पाइपमधून बाहेर टाकला जातो.

ही प्रक्रिया सतत चालू राहते आणि त्यामुळे द्रवाचा प्रवाह सुरळीतपणे नियंत्रित केला जातो.

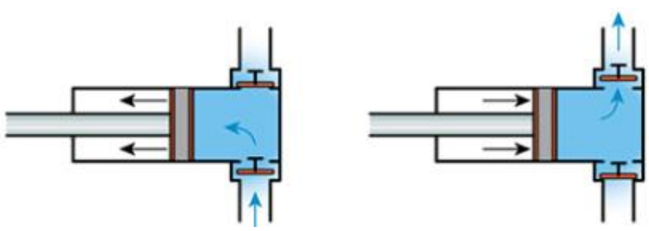


Fig 4.27: Suction and discharge of reciprocation pump.

रेसिप्रोकेटींग पंपची कार्यप्रणाली आणि वर्गीकरण

रेसिप्रोकेटींग पंप कार्यप्रणालीनुसार खालील दोन प्रकारांमध्ये वर्गीकृत केला जातो:

1) सिंगल-ॲक्टिंग पंप (Single Acting Pump):

या प्रकारच्या पंपामध्ये फक्त एक सक्शन पाइप आणि एक डिलिव्हरी पाइप असतो. पिस्टनच्या फक्त एका बाजूला (फ्रंट साइड) द्रव असतो.

एका पूर्ण क्रँक फिरवण्याच्या दरम्यान दोन स्ट्रोक होतात – एक सक्शन स्ट्रोक आणि एक डिलिव्हरी स्ट्रोक. द्रव फक्त पिस्टनच्या एका बाजूने खेचला जातो आणि डिलिव्हर केला जातो.

2) डबल-ॲक्टिंग पंप (Double Acting Pump):

या प्रकारच्या पंपामध्ये दोन सक्शन पाइप आणि दोन डिलिव्हरी पाइप असतात. पिस्टनच्या दोन्ही बाजूंनी (फ्रंट आणि बॅक) द्रवाचा संपर्क असतो. एका पूर्ण क्रँक फिरवण्याच्या दरम्यान दोन सक्शन स्ट्रोक आणि

दोन डिलिव्हरी स्ट्रोक होतात. एका बाजूने सक्शन होत असताना दुसऱ्या बाजूने डिलिव्हरी होते, त्यामुळे पंप अधिक कार्यक्षम असतो.

मुख्य फरक:

- सिंगल-ॲक्टिंग पंपात फक्त एक सक्शन आणि एक डिलिव्हरी स्ट्रोक असतो, तर डबल-ॲक्टिंग पंपात प्रत्येक क्रँक रोटेशनसाठी दोन सक्शन आणि दोन डिलिव्हरी स्ट्रोक असतात.

- डबल-ॲक्टिंग पंप अधिक सतत आणि कार्यक्षम द्रव प्रवाह प्रदान करतो.

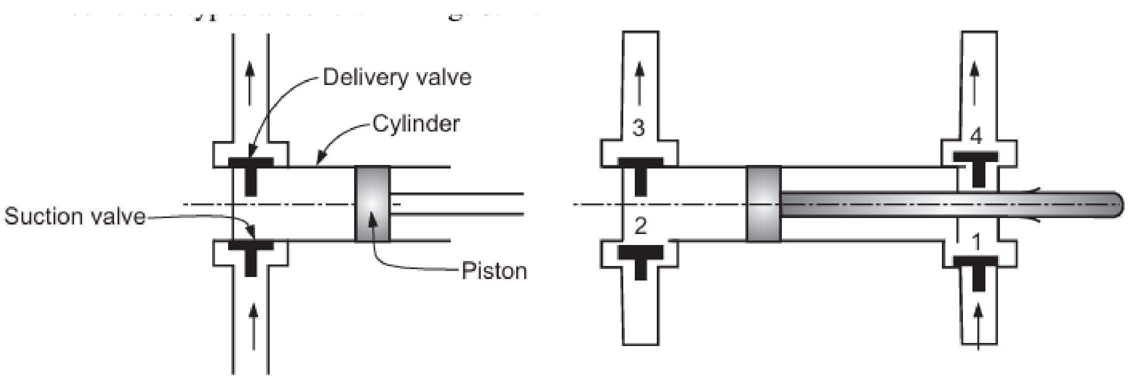


Fig 4.28: Single acting and double acting reciprocating piston type pump

पिस्टोन टाइप रेसिप्रोकेटींग पंपची रचना आणि कार्यप्रणाली

रेसिप्रोकेटींग पंप एका सिलेंडर आणि त्यामध्ये समोर-मागे जाणाऱ्या पिस्टनपासून (reciprocating piston) बनलेला असतो. या पंपामध्ये इनलेट (सक्शन) आणि आउटलेट (डिलिव्हरी) साठी झडपा (valves) असतात, ज्या द्रवाच्या प्रवाहाचे नियमन करतात.

द्रव सक्शन पाइपमधून (suction line) सक्शन व्हॉल्वद्वारे पंपाच्या चेंबरमध्ये प्रवेश करतो, आणि पिस्टन पुढे सरकल्यावर द्रव उच्च दाबाने (high pressure) डिलिव्हरी वाल्वद्वारे बाहेर टाकला जातो.

हा पंप सिंगल ॲक्टिंग किंवा डबल ॲक्टिंग असू शकतो आणि तो डायरेक्ट ॲक्टिंग, स्टीम-चालित किंवा क्रँक आणि फ्लायव्हीलद्वारे पॉवर-चालित असू शकतो.

1) सिंगल ॲक्टिंग पंप (Single Acting Pump):

- या प्रकारच्या पंपामध्ये पिस्टनच्या फक्त एका बाजूने (फ्रंट बाजू) द्रव प्रवाहित होतो.
- जेव्हा पिस्टन मागे सरकतो (backward stroke), तेव्हा सक्शन वाल्व उघडतो आणि द्रव चेंबरमध्ये प्रवेश करतो.
- जेव्हा पिस्टन पुढे सरकतो (forward stroke), तेव्हा द्रवावर दाब पडतो आणि डिलिव्हरी वाल्व उघडून द्रव बाहेर पडतो.
- परिणाम: सिंगल ॲक्टिंग पंपामध्ये परतीच्या स्ट्रोक दरम्यान (backward stroke) कोणतीही डिलिव्हरी होत नाही.

2) डबल ॲक्टिंग पंप (Double Acting Pump):

- या प्रकारच्या पंपामध्ये पिस्टनच्या दोन्ही बाजूंनी (फ्रंट आणि बॅक) द्रवाचा संपर्क असतो.
- मागील स्ट्रोकदरम्यान (backward stroke), एक बाजूने द्रव चेंबरमध्ये येतो आणि दुसऱ्या बाजूने बाहेर टाकला जातो.
- समोरील स्ट्रोकदरम्यान (forward stroke), उलट प्रक्रिया होते - दुसऱ्या बाजूने सक्शन आणि पहिल्या बाजूने डिलिव्हरी.

- परिणाम: सिंगल ॲक्टिंग पंपाच्या तुलनेत डबल ॲक्टिंग पंप अधिक सतत आणि कार्यक्षम द्रव प्रवाह प्रदान करतो.

रेसिप्रोकेटींग पंपाची डिलिव्हरी आणि कार्यक्षमता:

सिद्धांतानुसार, पिस्टन पंपाची डिलिव्हरी = (स्ट्रोक्स प्रति सेकंद × पिस्टनचे क्षेत्रफळ × स्ट्रोकची लांबी)
परंतु, पिस्टनच्या आजूबाजूने होणाऱ्या गळतीमुळे (leakages), वाल्वच्या जडत्वामुळे (inertia), आणि झडपांच्या प्रतिकारामुळे (resistance) प्रत्यक्ष डिलिव्हरी काही प्रमाणात कमी असते.
तथापि, रेसिप्रोकेटींग पंपाची वॉल्युमेट्रिक कार्यक्षमता (Volumetric Efficiency) 90% पेक्षा जास्त असते.

प्लंजर पंप (Plunger Pump**)**

कार्यप्रणाली

प्लंजर पंप हा एका पुढे-मागे हलणाऱ्या प्लंजर (एक प्रकारची रॉड) वर कार्य करतो.

- प्लंजर मागे सरकल्यावर तो इनलेट वाल्वद्वारे द्रव चेंबरमध्ये शोषतो.
- प्लंजर पुढे सरकल्यावर तो द्रवावर दाब टाकतो आणि डिलिव्हरी वाल्वद्वारे बाहेर टाकतो.

प्लंजर पंप आणि पिस्टन पंप यामधील मुख्य फरक:

- प्लंजर पंपामध्ये सील (O-रिंग) स्थिर असतो आणि सिलेंडर हाउसिंगला जोडलेला असतो.
- पिस्टन पंपामध्ये सील हा पिस्टनच्या हालचालींसोबत पुढे-मागे सरकतो.

प्लंजर पंपाची रचना आणि कार्य:

- हा पंप पिस्टन पंपासारख्याच कार्यप्रणालीवर चालतो.
- यात लहान व्यासाचा आणि जाड भिंती असलेला सिलेंडर असतो, ज्यामध्ये घट्ट बसलेला प्लंजर (पिस्टन रॉडचा विस्तार) समाविष्ट असतो.
- हा पंप नेहमीच सिंगल ॲक्टिंग असतो, म्हणजे फक्त प्लंजरच्या एका टोकाचा उपयोग द्रव पंप करण्यासाठी होतो.
- बहुतेक वेळा हा मोटरद्वारे चालवला जातो.

उच्च दाब अनुप्रयोगासाठी प्लंजर पंप:

- हा पंप उच्च दाब (150 MPa किंवा अधिक) सह कार्य करू शकतो.
- याचा उपयोग उच्च-दाब प्रणालींमध्ये थोड्या प्रमाणात केमिकल्स इंजेक्ट करण्यासाठी केला जातो.
- तसेच बॉयलरमध्ये पाणी पुरवण्यासाठीही याचा वापर होतो.

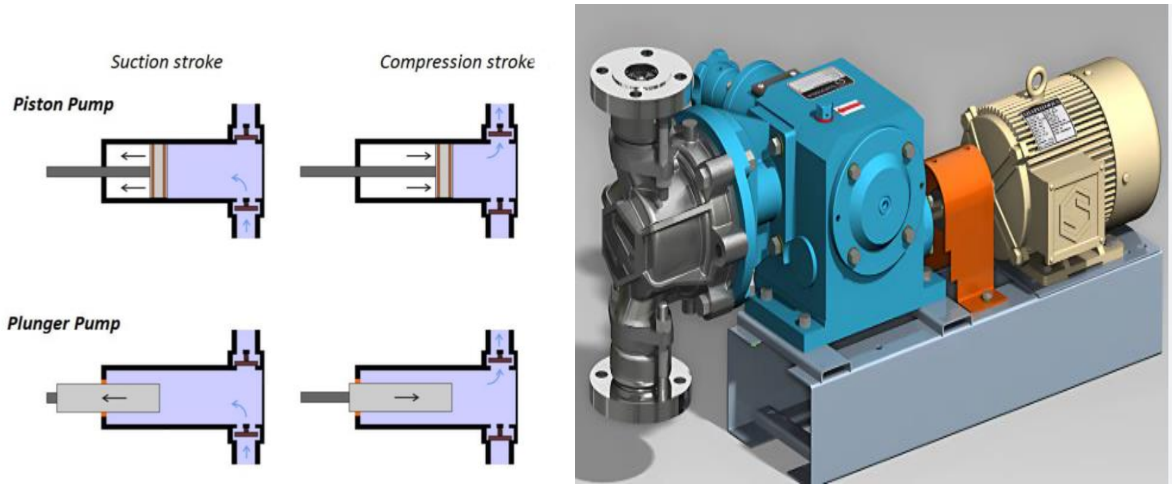


Fig 4.29: Positive displacement Piston pump and Plunger pump

4.6 पॉझिटिव्ह डिस्प्लेसमेंट रोटरी पंप (Positive Displacement Rotary Pump**)**

पॉझिटिव्ह डिस्प्लेसमेंट रोटरी पंप फ्लुइड (द्रव) एका निश्चित प्रमाणात पकडून त्याचा दबाव निर्माण करून तो आउटलेटकडे हलवतो. हे पंप गिअर्स, लोब्स किंवा स्क्रूजच्या फिरत्या यंत्रणेद्वारे कार्य करतो. द्रव एका चेंबरमध्ये अडकवला जातो आणि प्रत्येक फिरण्याच्या चक्राद्वारे इनलेटपासून आउटलेटकडे ढकलला जातो. दबावातील बदल असूनही, हा पंप स्थिर फ्लो रेट (प्रवाह दर) प्रदान करतो. पॉझिटिव्ह डिस्प्लेसमेंट रोटरी पंपाचे फायदे पुढीलप्रमाणे आहेत.

नियंत्रित आणि अचूक प्रवाह दर मिळतो, उच्च विस्कोसिटी असलेल्या द्रवांसाठी आदर्श आहे, प्रत्येक रोटेशनमधून द्रव ढकलण्याची प्रक्रिया सतत होते. पॉझिटिव्ह डिस्प्लेसमेंट रोटरी पंपाचे प्रकार (Types) :

1गिअर पंप (Gear Pump) – यात दोन गिअर्स असतात जे द्रव पुढे नेतात. 2 मोनो स्क्रू पंप (Mono Screw Pump) – यात एका स्क्रूच्या फिरण्यामुळे द्रव प्रवाहित होतो. हे पंप तेल, ग्रीस, केमिकल्स आणि जड द्रव पदार्थांसाठी विशेषतः उपयुक्त आहे.

गिअर पंप (Gear Pump**)**

गिअर पंप फिरणाऱ्या गिअर्सच्या मदतीने सक्शन तयार करतो, ज्यामुळे द्रव इनलेटमधून खेचला जातो आणि डिस्चार्ज बाजूस पाठवला जातो.

गिअर पंपची रचना आणि कार्यप्रणाली: हा पंप दोन स्पर गिअर्सच्या सहाय्याने कार्य करतो, जे एकमेकांत जुळलेले असतात आणि विरुद्ध दिशेने फिरतात. गिअर आणि केसिंगच्या दरम्यान फक्त काही हजारांश इंचाचे सूक्ष्म अंतर असते.

दोन गिअरच्या दातांमध्ये अडकलेला द्रव गिअरच्या फिरण्याच्या दिशेनुसार पुढे सरकतो. जेव्हा गिअरच्या दातांची जुळणी होते, तेव्हा या जागेतील द्रव संकुचित होतो आणि तो पंपाच्या डिस्चार्ज पाइपमधून बाहेर फेकला जातो.

गिअरची दाते सुटताच, पंपाच्या सक्शन बाजूस पुन्हा नवीन द्रव खेचला जातो आणि प्रक्रिया सतत सुरू राहते. गिअर्सवर असलेल्या दातांची संख्या जास्त असल्यास, डिस्चार्ज अखंड आणि गुळगुळीत राहतो.

जर गिअर्सवरील दाते कमी असतील, तर प्रत्येक वेळी अधिक द्रव खेचला जातो आणि प्रवाह वाढतो, परंतु डिस्चार्ज थोडासा अनियमित (pulsating) होऊ शकतो. सर्व गिअर पंपांमध्ये, एका गिअरच्या शाफ्टला शक्ती (पॉवर) दिली जाते, आणि तीच शक्ती दुसऱ्या गिअरला गिअर्सच्या जुळणीद्वारे हस्तांतरित होते.

गिअर पंपचा उपयोग:

- उच्च-दाब प्रणालींसाठी उपयुक्त 2. तेल, ग्रीस, रासायनिक द्रव्ये आणि जड द्रव पदार्थांसाठी प्रभावी 3. सतत आणि स्थिर प्रवाह प्रदान करणारा. गिअर पंप हे औद्योगिक, कृषी, आणि यांत्रिक प्रणालींमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात

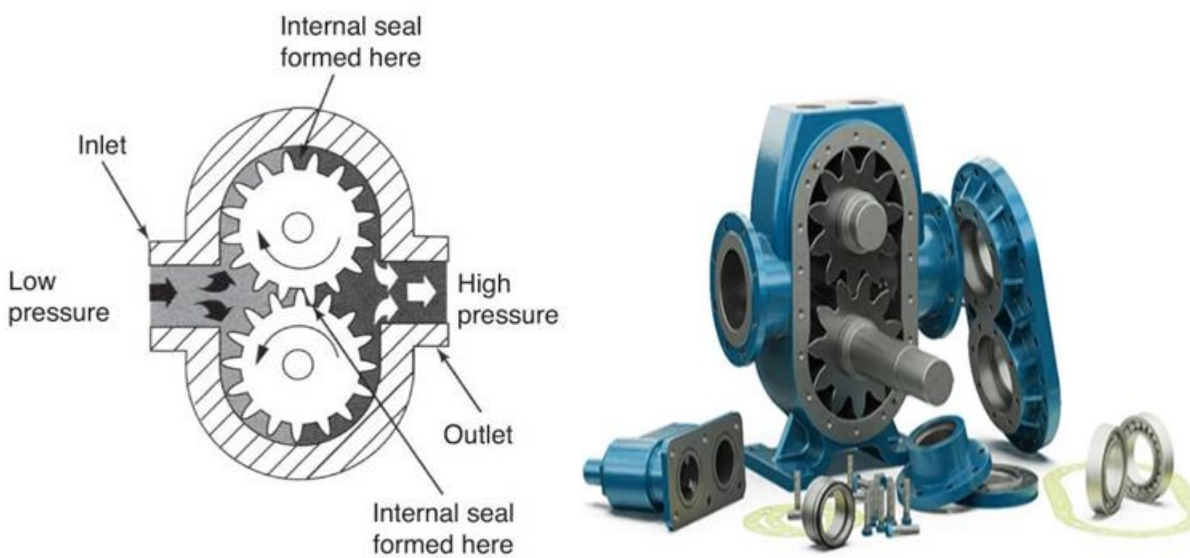


Fig 4.29 : Gear box

कार्यप्रणाली (Working)

गिअर्स इनलेट बाजूस वेगळे होतात, ज्यामुळे व्हॅक्यूम तयार होते आणि द्रव पंपामध्ये खेचला जातो. द्रव गिअर्स आणि पंपाच्या केसिंगमधील पोकळ जागांमध्ये अडकतो. गिअर्स फिरत राहतात आणि द्रवाला डिस्चार्ज बाजूस नेतात. डिस्चार्ज बाजूस गिअर्स जुळतात आणि द्रव दाबाखाली बाहेर टाकला जातो.

वैशिष्ट्ये (Features**)**

गिअर्स पंप दाब किंवा विस्कोसिटी (सांडपाण्याची घट्टता) बदल झाल्यासही स्थिर प्रवाह दर कायम ठेवू शकतात. गिअर पंप हायड्रॉलिक्स आणि पाईपलाइन इंजेक्शनसह अनेक औद्योगिक क्षेत्रांमध्ये वापरले जाता

स्क्रू पंप (Screw Pump)

स्क्रू पंप हे एक पाईपच्या आंत असलेले पंप असतात, ज्यामध्ये अनेक हेलिकल स्क्रू रोटर असतात. हे स्क्रू एकमेकांत अडकून बंद चेंबर्स तयार करतात.

ज्यामुळे द्रव इनलेटपासून आउटलेटपर्यंत अक्षीय (axial) दिशेने वाहतो. स्क्रूच्या फिरण्यामुळे सतत, नियमित प्रवाह तयार होतो आणि द्रवावर होणारा ताण (shear stress) कमी होतो, त्यामुळे हे पंप जाडसर (viscous) द्रवांसाठी अतिशय उपयुक्त ठरतात.

वैशिष्ट्ये आणि कार्यप्रणाली

1. हे रोटरी, पॉझिटिव्ह डिस्प्लेसमेंट पंप असतात, ज्यात एक किंवा अधिक स्क्रू असू शकतात, जे कमी किंवा जास्त विस्कोसिटीचे द्रव axial पद्धतीने स्थानांतरित करतात. 2. प्रोग्रेसिव्ह कॅव्हिटी पंप हा एकल स्क्रू पंप मानला जाऊ शकतो, परंतु पारंपरिक स्क्रू पंपमध्ये दोन किंवा अधिक स्क्रू असतात, जे घड्याळाच्या दिशेने किंवा विरुद्ध दिशेने फिरतात. 3. प्रत्येक स्क्रू थ्रेड ठराविक प्रमाणात द्रव वाहून नेण्यासाठी डिझाइन केलेला असतो. 4. स्क्रू पंप प्रत्येक चक्रामध्ये ठराविक प्रमाणात द्रव पाठवतो, त्यामुळे ते मिटरिंग (metering) अनुप्रयोगांसाठी विश्वसनीय असतात. 5. या पंपांचे डिझाइन सतत, नियमित प्रवाह देते आणि द्रवावर कमी ताण निर्माण करते, त्यामुळे हे विशेषतः जाडसर द्रवांसाठी आदर्श आहेत.

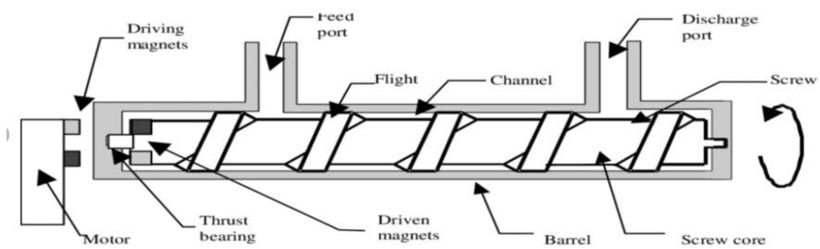


Fig 4.30: Screw pump

स्क्रू पंपचे फायदे:

2. हे पंप गुळगुळीत आणि सातत्यपूर्ण प्रवाह देतात, ज्यामध्ये दाबातील चढ.उतार कमी असतात-
3. द्रवावर कमी ताण)shear stress) येतो, त्यामुळे संवेदनशील पदार्थांसाठी उपयुक्त.

4. मोठ्या प्रमाणात द्रव कार्यक्षमतेने वाहून नेण्यासाठी उपयुक्त.
5. कमी सक्शन लिफ्टवरून द्रव पंप करण्यास सक्षम .

सेंट्रीफ्युगल बल पंप (Centrifugal Pump) वि. पॉझिटिव्ह डिस्प्लेसमेंट पंप (Positive Displacement Pump)

सेंट्रीफ्युगल बल पंप	धनात्मक विस्थापन पंप
द्रव हस्तांतरित करण्यासाठी सेंट्रीफ्युगल बल (Centrifugal force) वापरतो.	द्रव हस्तांतरित करण्यासाठी पिस्टन घटकाच्या सहाय्याने विस्थापन पद्धत वापरतो.
रचना सोपी असून भाग कमी असल्यामुळे हलका असतो.	रचना जटिल असून भाग अधिक असल्यामुळे जड असतो.
कमी जागेत बसवता येतो व साधी पायाभरणी लागते.	अधिक जागा लागते व तुलनेने जड पायाभरणी आवश्यक असते.
प्राइमिंगची गरज असते.	प्राइमिंगची गरज नसते.
एअर व्हेसल समाविष्ट नसतो.	एअर व्हेसल समाविष्ट असतो.
प्रवाह स्थिर आणि समतोल असतो.	प्रवाह समतोल नसतो, तो कंपनयुक्त (pulsating) असतो.
मोठ्या क्षमतेसाठी आणि कमी उंचीसाठी वापरला जातो.	कमी क्षमतेसाठी आणि जास्त उंचीसाठी वापरला जातो.
उच्च गतीने चालतो.	कमी गतीने चालतो.
किंचित जड व निलंबित कण असलेले द्रव हाताळू शकतो.	जड व निलंबित कण असलेले द्रव हाताळू शकत नाही, फक्त स्वच्छ द्रव हाताळतो.
इलेक्ट्रिक मोटरला थेट जोडलेला असतो.	बेल्ट ड्रायव्हन असतो.
बंद झडपाविरुद्ध (Closed valve) सहज चालवता येतो.	बंद झडपाविरुद्ध कधीही चालवता येत नाही.
कार्यक्षमता कमी असते.	कार्यक्षमता जास्त असते.
उच्च प्रवाह दरासाठी (High discharge) डिझाइन केला जातो.	उच्च दाबासाठी (High heads) डिझाइन केला जातो.
उच्च दाब निर्माण करू शकत नाही.	उच्च दाब निर्माण करू शकतो.

सेंट्रीफ्युगल बल पंपाचे पुनरावृत्ती पंपावर असलेले फायदे

1. साधी रचना असल्यामुळे कमी जागा लागते आणि पायाभरणी सोपी असते.
2. पुनरावृत्ती पंपांच्या तुलनेत सेंट्रीफ्युगल बल पंपाचा निर्वहन (discharge) दर खूप जास्त असतो.

3. मोठ्या प्रमाणात निलंबित कण असलेले द्रव सहज हाताळू शकतो, तर पुनरावृत्ती पंप केवळ कमी चिकटपणाचे (low viscosity) आणि निलंबित कण नसलेले द्रव हाताळू शकतो, अन्यथा झडपांमध्ये वारंवार समस्या येऊ शकते.
4. उच्च वेगाने कोणत्याही धोक्याशिवाय कार्य करू शकतो, विभाजन (separation) आणि गव्हिटेशन (cavitation) होण्याचा धोका नसतो. तसेच, तो थेट इलेक्ट्रिक मोटरला जोडला जाऊ शकतो.
5. देखभाल खर्च कमी असतो आणि केवळ ठराविक कालांतराने तपासणी पुरेशी असते.
6. पुनरावृत्ती पंपांच्या तुलनेत सेंट्रीफ्युगल बल पंप स्वस्त असतो.
7. समान क्षमतेसाठी, सेंट्रीफ्युगल बल पंपाचा आकार पुनरावृत्ती पंपापेक्षा लहान असतो.
8. हे पंप विविध गंजरोधक (corrosion-resistant) पदार्थांमध्ये तयार करता येतात.
9. हे पंप सतत आणि स्थिर दाबाने द्रव पुरवतात व त्यामध्ये कोणतेही कंपन (pulsations) नसते

युनिट - V वायूंचे पंपिंग
TRANSPORTATION OF GASES

CO5 – Choose the suitable pump for transportation of gases in chemical industries.
सिलेक्ट पम्प्स फॉर ट्रान्सपोर्टेशन ऑफ गॅसेस

TLO 5.1 Explain principle, construction, working and application of different gas pumping devices.
गॅस ट्रान्सपोर्टेशन पम्पचे तत्व, कार्य व रचना सांगा

TLO 5.2 Draw the sketch of vacuum generating devices.
स्केच व्हॅक्यूम जेनेरेटिंग devices

TLO 5.3 Explain the concept of fluidization
एक्सप्लेन fluidizations

गॅस पंपिंग" म्हणजे प्रोपेन किंवा नैसर्गिक वायूसारखे वायूयुक्त इंधन, एका विशेष पंप वापरून स्टोरेज टँकमधून दुसऱ्या ठिकाणी हस्तांतरित करण्याची प्रक्रिया, तर "गॅस पंपिंग उपकरणे" ही यांत्रिक साधने आहेत जी हे हस्तांतरण सुलभ करण्यासाठी वापरली जातात, ज्यामध्ये विविध प्रकारचे पंप जसे की सेंट्रीफ्यूगल पंप, पॉझिटिव्ह डिस्प्लेसमेंट पंप (जसे की गियर पंप किंवा डायाफ्राम पंप), आणि सबमर्सिबल पंप यांचा समावेश असू शकतो, जे वापर आणि दाब आवश्यकतांवर अवलंबून असतात.

पंपिंग तंत्रज्ञान समजून घेणे (Pumping Technology**)**

पंपिंग तंत्रज्ञान म्हणजे विविध औद्योगिक प्रक्रियांमध्ये द्रव, वायू किंवा अगदी घन पदार्थ एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणी हस्तांतरित करण्यासाठी यांत्रिक उपकरणांचा वापर. हे पंप वेगवेगळ्या अनुप्रयोगांसाठी आवश्यक असलेले इच्छित प्रवाह दर आणि दाब राखण्यात, उत्पादन आणि वितरण साखळीमध्ये पदार्थांची सुरळीत हालचाल सुनिश्चित करण्यात महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावतात.

म्युनिसिपल वॉटर ट्रीटमेंट प्लांटमध्ये पाणी पंप करणे असो, उत्पादन सुविधेतील रसायने हस्तांतरित करणे असो किंवा पेट्रोलियम उद्योगात तेल काढणे असो, पंपिंग तंत्रज्ञान असंख्य औद्योगिक ऑपरेशन्सचा कणा आहे, जे विविध क्षेत्रांच्या कार्यक्षमता आणि उत्पादकतेत योगदान देते.

विविध उद्योगांमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या पंपांचे प्रकार

सेंट्रीफ्यूगल पंप (Centrifugal Pump)

सेंट्रीफ्यूगल पंप मोठ्या प्रमाणात प्रवाह दरांना कार्यक्षमतेने हाताळण्याच्या क्षमतेमुळे उद्योगांमध्ये मोठ्या प्रमाणात वापरले जातात. ते फिरत्या इम्पेलरमधून यांत्रिक उर्जेचे गतिज उर्जेमध्ये रूपांतर करून, द्रव बाहेरून पुढे नेऊन दाब निर्माण करून, द्रव किंवा वायूंचे हस्तांतरण सक्षम करून कार्य करतात. हे पंप सामान्यतः पाणीपुरवठा प्रणाली, सांडपाणी प्रक्रिया संयंत्रे, हीटिंग, वेंटिलेशन आणि एअर कंडिशनिंग (HVAC) प्रणालींमध्ये आढळतात.

पॉझिटिव्ह डिस्प्लेसमेंट पंप (Positive Duisplacement Pimp)

पॉझिटिव्ह डिस्प्लेसमेंट पंप विशिष्ट प्रमाणात द्रवपदार्थ अडकवून आणि नंतर पंपच्या डिस्चार्ज आउटलेटमधून तो बाहेर काढून काम करतात. सिस्टम प्रेशरमध्ये बदल असला तरी हे पंप स्थिर प्रवाह दर देतात. औषध निर्मिती, अन्न प्रक्रिया आणि तेल आणि वायू उत्पादन यासारख्या अचूक डोसिंगची आवश्यकता असलेल्या अनुप्रयोगांसाठी ते आदर्श आहेत.

पॉझिटिव्ह डिस्प्लेसमेंट पंपची काही उदाहरणे म्हणजे डायफ्राम पंप (पंप चेंबरमधून द्रव हलविण्यासाठी लवचिक डायफ्राम वापरणे), गियर पंप (गियर्सच्या दात आणि पंप हाऊसिंगमध्ये द्रव विस्थापित करून त्यांना हस्तांतरित करण्यासाठी गिअर्स वापरणे) आणि पेरिस्टाल्टिक पंप (रोलरसह लवचिक ट्यूब किंवा नळी पिळून काढणे, पंपमध्ये द्रव ओढणाऱ्या कमी-दाबाच्या व्हॉईड्सची मालिका तयार करणे आणि नंतर ते बाहेर काढणे)

पंप निवडीवर परिणाम करणारे घटक (Factors Affecting Pump Selection**)**

प्रवाह दर आवश्यकता (Flow rate of Pump)

पंप निवडीतील प्राथमिक विचारांपैकी एक म्हणजे इच्छित प्रवाह दर, जो प्रति युनिट वेळेत हस्तांतरित करायच्या द्रवपदार्थाचे प्रमाण आहे. प्रवाह दर आवश्यकता समजून घेणे महत्वाचे आहे कारण ते विशिष्ट अनुप्रयोगाच्या मागण्या पूर्ण करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या पंपचा आकार आणि क्षमता निश्चित करते.

दाब आणि Head **विचारात घेणे**

पंप निवडीमध्ये सिस्टममधील दाब आणि Head आवश्यकता महत्त्वपूर्ण घटक आहेत. दाब म्हणजे द्रवपदार्थाला प्रतिकाराविरुद्ध हलविण्यासाठी आवश्यक असलेल्या शक्तीचा संदर्भ असतो, तर डोके म्हणजे पंपने द्रव उचलण्यासाठी आवश्यक असलेले उभ्या अंतर दर्शवते. निवडलेला पंप अनुप्रयोगाच्या गरजा पूर्ण करण्यासाठी आवश्यक दाब आणि डोके देऊ शकेल याची खात्री करण्यासाठी पंप निवडीमध्ये हे पॅरामीटर्स विचारात घेतले पाहिजेत.

रासायनिक सुसंगतता

ज्या उद्योगांमध्ये Toxic & Hazardous द्रवपदार्थ हाताळले जातात, तेथे पंप केलेल्या द्रवपदार्थाची पंप केलेल्या द्रवपदार्थाशी रासायनिक सुसंगतता अत्यंत महत्त्वाची असते. पंपला गंज, गळती किंवा नुकसान टाळण्यासाठी द्रवपदार्थाच्या रासायनिक गुणधर्मांना तोंड देऊ शकतील अशी सामग्री निवडणे आवश्यक आहे.

तापमान आणि चिकटपणा (Temperature & Viscosity**)**

पंप केलेल्या द्रवपदार्थाचे तापमान आणि चिकटपणा पंप निवडीमध्ये महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावते. उच्च तापमान पंपच्या कामगिरीवर आणि साहित्यावर परिणाम करू शकते, तर अत्यंत चिकट द्रवपदार्थांसाठी जाड पदार्थ प्रभावीपणे हाताळण्यासाठी डिझाइन केलेले पंप आवश्यक असतात.

सिस्टम कार्यक्षमता आणि ऊर्जा वापर (Energy)

पंप निवडीमध्ये कार्यक्षमता हा एक महत्त्वाचा विचार आहे कारण त्याचा थेट ऊर्जा वापर आणि ऑपरेशनल खर्चावर परिणाम होतो. उच्च कार्यक्षमतेचा पंप निवडल्याने प्रणाली चांगल्या प्रकारे कार्य करते, उर्जेचा अपव्यय कमी होतो आणि ऑपरेटिंग खर्च कमी होतो याची खात्री होते.

देखभाल आणि विश्वासार्हता (Mainteeance)

डाउनटाइम आणि देखभाल खर्च कमी करण्यासाठी देखभालीची सोपी आणि उच्च विश्वासार्हता असलेला पंप निवडणे आवश्यक आहे. कमीत कमी देखभालीची आवश्यकता असलेले आणि दीर्घकालीन कामगिरी देणारे पंप औद्योगिक प्रक्रियेच्या एकूण कार्यक्षमता आणि उत्पादकतेत योगदान देतात.

इंटरस्टेज कूलिंग (Innerstage Cooling**)**

जेव्हा हवा किंवा इतर कोणताही वायू संकुचित केला जातो तेव्हा त्याचे आकारमान कमी होते परंतु त्याचा दाब वाढतो. व्यावहारिक (पॉलिट्रॉपिक) कॉम्प्रेशन ही एक आदर्श प्रक्रिया नाही, म्हणून वायूचे तापमान त्याच्या दाबासोबत वाढते परंतु ते वायू संकुचित होत आहे, तो काय संकुचित करत आहे, प्रक्रिया किती वेगाने होते, सापेक्ष घटक तापमान इत्यादींवर अवलंबून असते.

तापमान आणि दाबाच्या बाबतीत अंतिम परिणाम काय आहे. परंतु तरीही ते गॅसवर जे काही संकुचित (Compressed) करत आहे त्याद्वारे केले जात असलेल्या कामाचे प्रकटीकरण आहे. मल्टीस्टेज एअर कॉम्प्रेसरमध्ये इंटरस्टेज कूलिंग केले जाते जेणेकरून हवेचे तापमान एक टप्पा सोडल्यानंतर आणि ते दुसऱ्या टप्प्यात प्रवेश करण्यापूर्वी कमी होते. हे तापमान मशीन आणि त्याचे स्नेहक हाताळू शकतील अशा सुरक्षित आणि व्यावहारिक पातळीपर्यंत खाली ठेवते. गॅस थंड करण्यासाठी त्यातून उष्णता ऊर्जा काढून टाकणे आवश्यक आहे म्हणून ते ऊर्जा नुकसान दर्शवते. काही दाब नुकसान होते. हायड्रॉलिक सिस्टम वायवीय प्रणालीपेक्षा अधिक कार्यक्षम असण्याचे हे एक कारण आहे. हायड्रॉलिक द्रव संकुचित केला जाऊ शकत नाही म्हणून वरील नुकसान हायड्रॉलिक सिस्टममध्ये होत नाही.

इंटरकूलर म्हणजे द्रव किंवा वायूंसह द्रव थंड करण्यासाठी वापरले जाणारे कोणतेही यांत्रिक उपकरण, बहु-स्तरीय कॉम्प्रेशन प्रक्रियेच्या टप्प्यांदरम्यान, सामान्यत: एक उष्णता एक्सचेंजर जे गॅस कॉम्प्रेसरमधील कचरा उष्णता काढून टाकते.

इंटरकूलर सुपरचार्जर किंवा टर्बोचार्जरद्वारे निर्माण होणारी इंडक्शन एअर उष्णता कमी करून आणि अधिक संपूर्ण ज्वलनाला प्रोत्साहन देऊन इंडक्शन सिस्टमची कार्यक्षमता वाढवतात. हे कोणत्याही वायूचा दाब वाढवल्यावर त्यात होणारी कॉम्प्रेशनची उष्णता काढून टाकते.

५.२ पंखे: बांधकाम, काम आणि अनुप्रयोग

पंखा हे एक उपकरण आहे जे फिरत्या ब्लेडचा वापर करून वायुप्रवाह निर्माण करते, सामान्यत: इलेक्ट्रिक मोटरद्वारे चालवले जाते आणि त्यात एक मोटर, ब्लेड (इम्पेलर) आणि वायुप्रवाह निर्देशित करणारे एक घर असते;

ते ब्लेड फिरवण्यासाठी विद्युत उर्जेचे यांत्रिक उर्जेमध्ये रूपांतर करून कार्य करते, जे नंतर रक्ताभिसरण तयार करण्यासाठी हवा ढकलते, प्रामुख्याने घरगुती उपकरणे, एचव्हीएसी प्रणाली आणि औद्योगिक प्रक्रियांसारख्या विविध अनुप्रयोगांमध्ये वायुवीजन आणि थंड करण्यासाठी वापरले जाते.

प्रेरित आणि सक्ती ड्राफ्ट पंखे (Induced & Forced Draft)

औद्योगिक प्रणालींमध्ये हवेचा प्रवाह नियंत्रित करण्यासाठी प्रेरित ड्राफ्ट (आयडी) पंखे आणि सक्ती ड्राफ्ट (एफडी) पंखे वापरले जातात. आयडी पंखे सिस्टममध्ये हवा ओढतात, तर एफडी पंखे सिस्टममधून हवा ढकलतात.

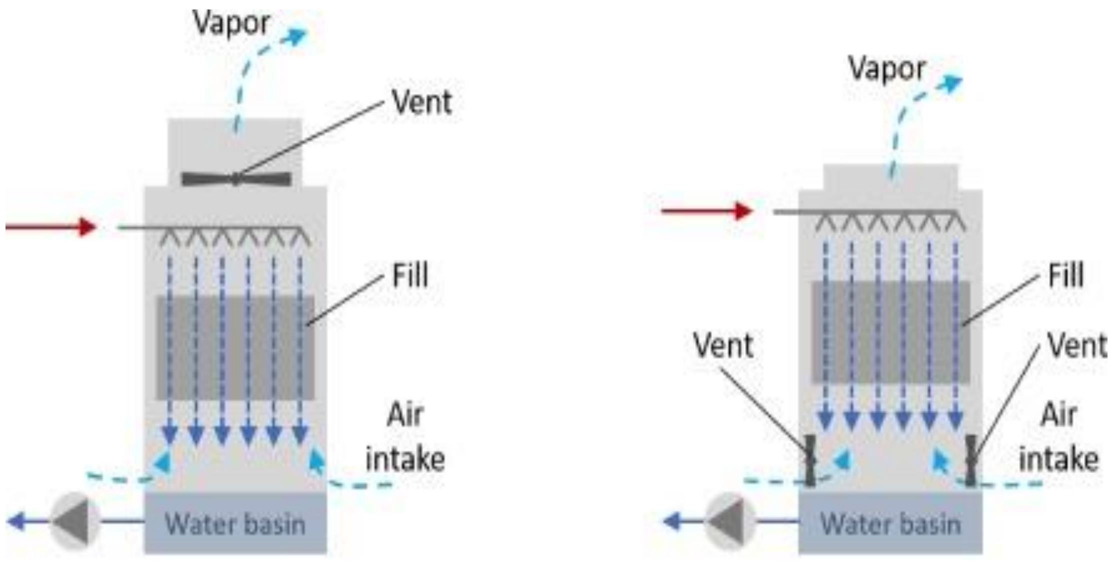
प्रेरित ड्राफ्ट पंखे कार्य: (Functions of Induced Draft) हवा सिस्टीममध्ये ओढणे, थोडासा नकारात्मक दाब निर्माण करणे

स्थान: सामान्यतः कूलिंग टॉवरच्या (Cooling Tower) वर बसवलेले वापर: पॉवर प्लांट, पेंट आणि पृष्ठभाग कोटिंग्ज, औषधनिर्माण आणि बरेच काही मध्ये वापरलेले. उदाहरणे: कूलिंग टॉवर, बॉयलर आणि इतर सिस्टीममध्ये वापरलेले जिथे थोडासा नकारात्मक दाब आवश्यक असतो

फोर्स्ड ड्राफ्ट पंखे कार्य: (Functions of Forced Draft) सिस्टममधून हवा ढकलणे, थोडासा सकारात्मक दाब निर्माण करणे स्थान: सामान्यतः कूलिंग टॉवरच्या पायथ्याशी बसवलेले वापर: बॉयलर आणि इतर सिस्टीममध्ये वापरलेले जिथे थोडासा सकारात्मक दाब आवश्यक असतो स्थिर हवेचा दाब राखण्यासाठी आयडी आणि एफडी पंखे अनेकदा एकत्र वापरले जातात.

ते कसे नियंत्रित केले जातात -डॅम्पर्स: हवेचा प्रवाह नियंत्रित करण्यासाठी वापरलेले

व्हेरिएबल फ्रिक्वेन्सी ड्राइव्ह (VFDs): पंख्याचा वेग नियंत्रित करण्यासाठी वापरलेले, ज्यामुळे बॉयलरमध्ये स्फोट होण्याचा धोका कमी होऊ शकतो.



(A) Induced draft cooling tower (B) Forced draft cooling tower

अक्षीय (Axial) आणि Centrifugal पंखे

अक्षीय पंखे आणि केंद्रापसारक पंखे हे दोन्ही प्रकारचे पंखे आहेत जे हवा हलवतात, परंतु ते कसे करतात यात ते वेगळे आहेत. अक्षीय पंखे रेषीय पद्धतीने हवा हलवतात, तर केंद्रापसारक पंखे रेडियल पद्धतीने हवा हलवतात.

अक्षीय पंखे मोठ्या प्रमाणात हवा प्रभावीपणे आणि कार्यक्षमतेने हलवतात आणि सामान्यतः लहान आणि मोठ्या जागा थंड करण्यासाठी वापरले जातात. ते इलेक्ट्रॉनिक उपकरणे किंवा संगणक खोल्या थंड करू शकतात. ते HVAC ऑपरेशन्समध्ये, एसी कंडेन्सरमध्ये, उष्णता विनिमय युनिट्समध्ये किंवा औद्योगिक प्रणालींमध्ये स्पॉट कूलिंगसाठी वापरले जाऊ शकतात.

Centrifugal पंखे हवेचा प्रवाह हलविण्यासाठी इंपेलर्सच्या गतिज उर्जेचा वापर करतात, ज्यामुळे नलिका, डॅम्पर आणि इतर घटकांमुळे होणाऱ्या प्रतिकाराविरुद्ध हालचाल होते. केंद्रापसारक पंखे हवेला रेडियल पद्धतीने विस्थापित करतात, हवेच्या प्रवाहाची दिशा (सामान्यत: 90° ने) बदलतात.

Centrifugal Fans   Axial Fans

५.३ ब्लोअर्स: बांधकाम, काम आणि अनुप्रयोग (Blowers)

ब्लोअर हे उपकरण किंवा उपकरण आहे जे सुसज्ज इंपेलर्समधून हवा किंवा वायूचा वेग वाढवते. ते प्रामुख्याने एक्झॉस्टिंग, एस्पिरेटिंग, कूलिंग, व्हेंटिलेटिंग, कन्व्हेइंग इत्यादींसाठी आवश्यक असलेल्या हवा/वायूच्या प्रवाहासाठी वापरले जातात. ब्लोअरला उद्योगात सेंट्रीफ्यूगल फॅन्स म्हणून देखील ओळखले जाते. ब्लोअरमध्ये, इनलेट प्रेशर कमी असतो आणि आउटलेटवर जास्त असतो. ब्लेडची गतिज ऊर्जा आउटलेटवर हवेचा दाब वाढवते. ब्लोअर्स प्रामुख्याने मध्यम दाब आवश्यकतांसाठी उद्योगांमध्ये वापरले जातात जिथे दाब पंख्यापेक्षा जास्त आणि कंप्रेसरपेक्षा कमी असतो.

ब्लोअर्सचे प्रकार: ब्लोअर्सना सेंट्रीफ्यूगल (Centrifugal) आणि पॉझिटिव्ह डिस्प्लेसमेंट ब्लोअर्स (Positive Displacement Blowers) म्हणून देखील वर्गीकृत केले जाऊ शकते. पंख्यांप्रमाणे, ब्लोअर्स बॅकवर्ड वक्र, फॉरवर्ड वक्र आणि रेडियल अशा विविध डिझाइनमध्ये ब्लेड वापरतात. ते बहुतेक इलेक्ट्रिक मोटरद्वारे चालवले जातात. ते सिंगल किंवा मल्टीस्टेज युनिट्स असू शकतात आणि हवेचा किंवा इतर वायूंचा वेग निर्माण करण्यासाठी हाय स्पीड इंपेलर्स वापरतात.

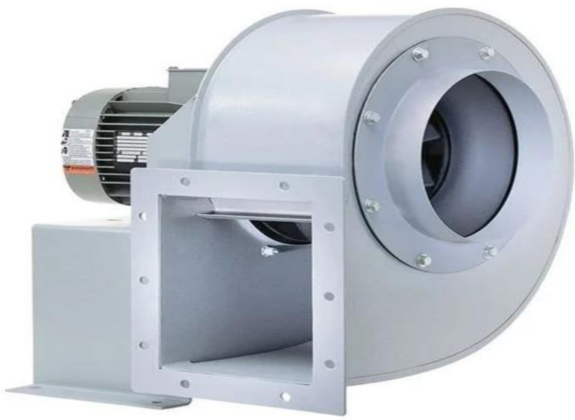
पॉझिटिव्ह डिस्प्लेसमेंट ब्लोअर हे पीडीपी पंपांसारखेच असतात, जे द्रव पिळून काढतात ज्यामुळे दाब वाढतो. या प्रकारच्या ब्लोअरला सेंट्रीफ्यूगल ब्लोअरपेक्षा प्राधान्य दिले जाते जिथे प्रक्रियेत उच्च दाब आवश्यक असतो.

सेंट्रीफ्यूगल ब्लोअरचा वापर नियमितपणे धूळ नियंत्रण, ज्वलन हवा पुरवठा, कूलिंग, ड्रायिंग सिस्टम, एअर कन्व्हेयर सिस्टमसह फ्लुइड बेड एरेटर्स इत्यादी अनुप्रयोगांसाठी केला जातो.

पॉझिटिव्ह डिस्प्लेसमेंट ब्लोअर बहुतेकदा वायवीय वाहतूक आणि सांडपाणी वायुवीजन, फिल्टर फ्लशिंग आणि गॅस बूस्टिंगसाठी तसेच पेट्रोकेमिकल उद्योगांमध्ये सर्व प्रकारच्या वायू हलविण्यासाठी वापरले जातात.

एअर ब्लोअर व्हॅक्यूम तयार करण्यासाठी फिरणारा इंपेलर/रोटर वापरतो. या व्हॅक्यूममुळे ब्लोअरमध्ये हवा वेगाने येते. हवा इंपेलरच्या मध्यभागी प्रवेश करते आणि फिरत्या ब्लेडने विभागली जाते. सेंट्रीफ्यूगल फोर्स हवेचा वेग आणि हाऊसिंगमधील हवेच्या प्रवाहाचे प्रमाण वाढवते.

प्रभावीपणे, इंपेलरची गतिज ऊर्जा हवेत हस्तांतरित केली जाते. हाऊसिंगच्या आत एअरस्ट्रीमचे प्रमाण वाढत असताना दाब वाढतो. त्यानंतर हवा हाऊसिंगमधून एका निश्चित बिंदूकडे सोडली जाते.

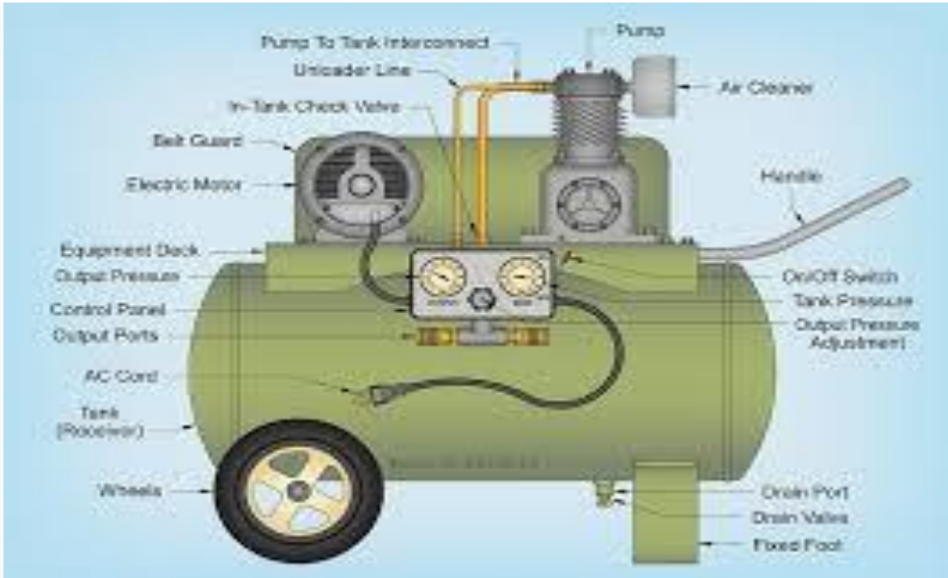


ब्लोअर

५.४ कंप्रेसर:

हवा दाबण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या यांत्रिक उपकरणाला 'एअर कॉम्प्रेसर' म्हणतात. अशाप्रकारे, एअर कॉम्प्रेसर हे हवेच्या गतिज ऊर्जेचे संभाव्य ऊर्जेमध्ये रूपांतर करण्यासाठी आयसी इंजिन किंवा इलेक्ट्रिक मोटर्सद्वारे चालणारे यांत्रिक वायवीय उपकरण आहे.

एअर कॉम्प्रेसरमधून येणारी कॉम्प्रेस केलेली हवा सहसा उच्च-दाबाच्या भांड्यात साठवली जाते. कॉम्प्रेसेशन ही कोणत्याही पदार्थाच्या स्थितीचा दाब वाढवण्याची प्रक्रिया आहे. एअर कॉम्प्रेसेशन ही वातावरणाच्या दाबापेक्षा हवेचा दाब वाढवण्याची प्रक्रिया आहे. वातावरणाच्या दाबाचे मूल्य '१ एटीएम' किंवा '१०१,३२५ पा (पास्कल)' असे दिले आहे.



रेसिप्रोकेटिंग आणि सेंट्रीफ्यूगल कॉम्प्रेसर

रेसिप्रोकेटिंग आणि सेंट्रीफ्यूगल कॉम्प्रेसर ही दोन्ही मशीन्स आहेत जी गॅस कॉम्प्रेस करतात. ते गॅस कॉम्प्रेस करण्याच्या पद्धती, त्यांची कार्यक्षमता आणि त्यांच्या अनुप्रयोगांमध्ये भिन्न आहेत.

कॉम्प्रेशन यंत्रणा

केंद्रकेंद्र: गॅस बाहेर ढकलण्यासाठी फिरत्या इंपेलरचा वापर करते, त्याचा दाब वाढवते

रेसिप्रोकेटिंग: सिलेंडरमध्ये पुढे-मागे हलविण्यासाठी पिस्टन किंवा डायाफ्रामचा वापर करते, ज्यामुळे गॅस कॉम्प्रेशन होतो

कार्यक्षमता

सेन्ट्रीफ्यूगल: रेसिप्रोकेटिंग कंप्रेसरपेक्षा अधिक कार्यक्षम, ज्याची कार्यक्षमता श्रेणी ७०-८५% असते

रेसिप्रोकेटिंग: यांत्रिक नुकसानांमुळे सेंट्रीफ्यूगल कंप्रेसरपेक्षा कमी कार्यक्षम

अनुप्रयोग

सेन्ट्रीफ्यूगल - उच्च प्रवाह दर आणि स्थिर दाब असलेल्या अनुप्रयोगांमध्ये वापरले जाते, जसे की एअर कंडिशनिंग आणि गॅस टर्बाइन

रेसिप्रोकेटिंग - तेल रिफायनरीज, गॅस पाइपलाइन आणि रासायनिक संयंत्रे यासारख्या उच्च दाब असलेल्या अनुप्रयोगांमध्ये वापरले जाते

देखभाल

सेन्ट्रीफ्यूगलला त्यांच्या साध्या डिझाइनमुळे रेसिप्रोकेटिंग कंप्रेसरपेक्षा कमी देखभालीची आवश्यकता असते

रेसिप्रोकेटिंगला त्यांच्या जटिल यांत्रिक संरचनेमुळे सेंट्रीफ्यूगल कंप्रेसरपेक्षा अधिक वारंवार देखभालीची आवश्यकता असते.

५.५ व्हॅक्यूम पंप:

व्हॅक्यूम पंप हा एक प्रकारचा पंप उपकरण आहे जो आंशिक व्हॅक्यूम मागे सोडण्यासाठी सीलबंद व्हॉल्यूममधून गॅस कण काढतो. पहिला व्हॅक्यूम पंप १६५० मध्ये ओटो फॉन ग्वेरिक यांनी शोधून काढला होता आणि त्याच्या आधी सक्शन पंप होता.

व्हॅक्यूम पंप दाब फरकांचा वापर करून वायूचे रेणू एका क्षेत्रातून दुसऱ्या क्षेत्रात हलवतात, ज्यामुळे व्हॅक्यूम तयार होतो. व्हॅक्यूम पंपचे मूलभूत तत्व म्हणजे वातावरणाच्या दाबापेक्षा कमी असलेल्या जागेत दाब कमी करणे.

व्हॅक्यूम पंप कसे काम करतात

बर्नोलीचे तत्व: द्रवपदार्थाचा वेग वाढतो तसतसा द्रवपदार्थातील दाब कमी होतो असे सांगते

कम्प्रेशन-विस्तार: पिस्टन पंप, रोटरी पंप किंवा ड्राय पंप व्हॅक्यूम तयार करण्यासाठी वायू दाबतो आणि विस्तारतो

ड्रॅग: वाष्प इजेक्टर पंप व्हॅक्यूम तयार करण्यासाठी ड्रॅग बाय व्हिस्कोसिटी इफेक्ट्स वापरतो

डिफ्यूजन: वाष्प प्रसार पंप व्हॅक्यूम तयार करण्यासाठी ड्रॅग बाय डिफ्यूजन इफेक्ट्स वापरतो

सकारात्मक विस्थापन: वायुमंडलीय दाबापेक्षा कमी दाब कमी करण्यासाठी पंप सीलबंद पोकळी वाढवतो

व्हॅक्यूम पंप प्रकार

स्क्रोल पंप गॅस अडकवण्यासाठी आणि पंपच्या मध्यभागी हलविण्यासाठी दोन सह-जखमेच्या सर्पिल वापरतात

रोटरी वेन पंप सीलिंग आणि स्नेहनसाठी तेल वापरतात

ड्राय स्क्रू पंप गॅस दाबण्यासाठी फिरणारे पंजे वापरतात

व्हॅक्यूम पंप अनुप्रयोग

व्हॅक्यूम पंप संशोधन, विज्ञान आणि HVAC यासह विविध अनुप्रयोगांमध्ये वापरले जातात.

•स्टीम जेट इजेक्टर, तत्व, बांधकाम, कार्य आणि अनुप्रयोग

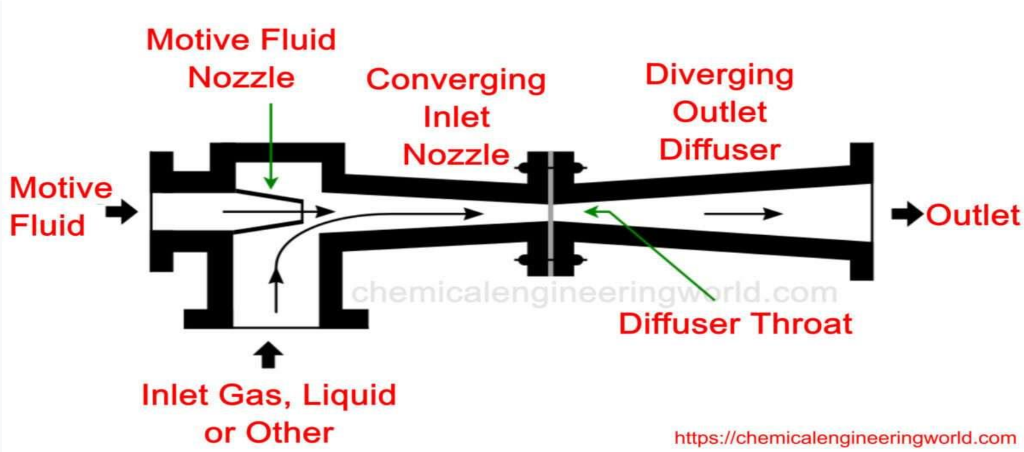
स्टीम जेट इजेक्टर उच्च-दाबाच्या वाफेचे उच्च-वेगाच्या जेटमध्ये रूपांतर करण्याच्या तत्त्वावर आधारित कार्य करतो, जो कमी-दाबाचा क्षेत्र तयार करतो जो वायू किंवा द्रव (सक्शन फ्लुइड) मध्ये ओढतो आणि नंतर त्यात मिसळतो, ज्यामुळे एकत्रित मिश्रणाला डिफ्यूझरद्वारे उच्च दाबाने संकुचित आणि डिस्चार्ज करता येते, मूलतः कोणतेही हलणारे भाग नसलेले व्हॅक्यूम पंप म्हणून काम करते; त्यात प्रामुख्याने वाफेला गती देण्यासाठी नोजल, एक मिक्सिंग चेंबर जिथे सक्शन फ्लुइड आत टाकला जातो आणि दाब ऊर्जा पुनर्प्राप्त करण्यासाठी एक डिफ्यूझर असतो; सामान्यतः व्हॅक्यूम डिस्टिलेशन, कोरडे प्रक्रिया आणि जिथे विश्वासार्ह, कमी-देखभाल व्हॅक्यूम सिस्टमची आवश्यकता असते अशा अनुप्रयोगांमध्ये वापरले जाते, विशेषतः रासायनिक प्रक्रिया संयंत्रे आणि वीज निर्मिती सुविधांमध्ये.

स्टीम जेट इजेक्टरबद्दलचे महत्त्वाचे मुद्दे:

तत्त्व:
बर्नोलीच्या तत्त्वाचा वापर करते, जिथे नोजलमधून बाहेर पडणारी उच्च-वेगाची वाफे कमी-दाब झोन तयार करते, सक्शन फ्लुइडमध्ये ओढते.
बांधकाम घटक:
नोजल: एक अभिसरण-डायव्हर्जिंग नोजल जे वाफेच्या दाब उर्जेचे गतिज उर्जेमध्ये रूपांतर करते.
मिक्सिंग चेंबर: उच्च-वेगाची वाफ सक्शन फ्लुइडमध्ये प्रवेश करते ती जागा.
डिफ्यूझर: एक वळणारा भाग जिथे मिश्रित द्रव प्रवाह मंदावतो, दाब ऊर्जा पुनर्प्राप्त करतो.
कार्य प्रक्रिया:
उच्च-वेगाची वाफ नोझलमध्ये प्रवेश करते आणि उच्च वेगाने गती वाढवते.
उच्च-वेगाची वाफ मिक्सिंग चेंबरमध्ये कमी-दाब क्षेत्र तयार करते, सक्शन फ्लुइडमध्ये ओढते.
मिश्रित वाफ आणि सक्शन फ्लुइड डिफ्यूझरमधून वाहतात, जिथे त्यांचा वेग कमी होतो आणि दाब वाढतो.
संकुचित मिश्रण नंतर उच्च दाबाने सोडले जाते.
अनुप्रयोग:

- व्हॅक्यूम डिस्टिलेशन
- ड्रायिंग प्रक्रिया
- रासायनिक प्रक्रिया
- पॉवर प्लांट व्हॅक्यूम सिस्टम
- डिगॅसिफिकेशन
- अन्न प्रक्रिया
- महत्त्वाचे विचार:

मल्टी-स्टेज इजेक्टर:
खूप कमी व्हॅक्यूम पातळी साध्य करण्यासाठी, अनेक इजेक्टर मालिकेत वापरले जाऊ शकतात, प्रत्येक टप्प्यात वायू आणखी संकुचित होतो.
कंडेन्सर:
प्रक्रियेनंतर वाफेचे संकुचित करण्यासाठी, कार्यक्षमता सुधारण्यासाठी अनेकदा स्टीम इजेक्टरसह वापरले जाते.
स्टीमचा वापर:
स्टीम इजेक्टर निवडताना हा एक महत्त्वाचा घटक आहे, कारण त्याचा थेट ऑपरेटिंग खर्चावर परिणाम होतो.



५.६ द्रवीकरण: मूलभूत संकल्पना

द्रवीकरण (किंवा द्रवीकरण) ही द्रवीकरणासारखी प्रक्रिया आहे ज्यामध्ये दाणेदार पदार्थ स्थिर घनरूप अवस्थेतून गतिमान द्रवरूप अवस्थेत रूपांतरित होतो. ही प्रक्रिया तेव्हा होते जेव्हा द्रव (द्रव किंवा वायू) दाणेदार पदार्थातून वर जातो.

जेव्हा घन कणांच्या तळाशी वायूचा प्रवाह येतो तेव्हा तो कणांमधील रिकाम्या जागांमधून तळातून वरच्या दिशेने सरकतो. कमी वायू वेगावर, प्रत्येक कणावरील वायुगतिकीय ड्रॅग देखील कमी असतो आणि अशा प्रकारे तळ स्थिर स्थितीत राहतो. वेग वाढवल्याने, वायुगतिकीय ड्रॅग फोर्स गुरुत्वाकर्षण बलांना प्रतिकार करण्यास सुरुवात करतील, ज्यामुळे कण एकमेकांपासून दूर जाताना तळाचा आकार वाढेल. वेग आणखी वाढवल्याने, ते एका गंभीर मूल्यापर्यंत पोहोचेल ज्यावर वरच्या दिशेने ओढण्याचे फोर्स खालच्या दिशेने येणाऱ्या गुरुत्वाकर्षण बलांच्या बरोबरीचे होतील, ज्यामुळे कण द्रवरूपात निलंबित होतील.

या गंभीर मूल्यावर, तळाचा प्रवाह द्रवरूप असल्याचे म्हटले जाते आणि तो द्रवरूप वर्तन प्रदर्शित करेल. वायूचा वेग आणखी वाढल्याने, थराची घनता कमी होत राहील आणि त्याचे द्रवीकरण अधिक तीव्र होईल जोपर्यंत कण थर बनत नाहीत आणि वायूच्या प्रवाहाने वरच्या दिशेने "वाहतूक" होत नाहीत.

किमान द्रवीकरण वेग आणि अनुप्रयोग

किमान द्रवीकरण वेग" म्हणजे सर्वात कमी वरवरचा द्रव वेग ज्यावर द्रवाने बेडमधील घन कणांवर लावलेला ड्रॅग फोर्स कणांवर कार्य करणाऱ्या गुरुत्वाकर्षण बलाचे संतुलन साधण्यासाठी पुरेसा असतो, ज्यामुळे ते निलंबित होतात आणि मूलतः बेडमध्ये "द्रवीकरण" होतात; मूलतः, हा तो बिंदू आहे जिथे बेड स्थिर अवस्थेतून द्रवीकरण अवस्थेत संक्रमण करतो.

किमान द्रवीकरण वेगाबद्दलचे महत्त्वाचे मुद्दे:

वेग म्हणून मोजले जाते: हे वरवरचा द्रव वेग म्हणून व्यक्त केले जाते, म्हणजे बेडच्या संपूर्ण क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्राचा विचार केला तर द्रवाचा वेग.

बल संतुलन:

किमान द्रवीकरणावर, कणांवरील वरचा ड्रॅग फोर्स खालच्या गुरुत्वाकर्षण बलाच्या बरोबरीचा असतो.

प्रायोगिक निर्धारण:

द्रव वेग वाढल्याने द्रवीकरण पलंगावरील दाब कमी होण्याचे निरीक्षण करून हा वेग प्रायोगिकरित्या निश्चित केला जाऊ शकतो, दाब कमी होण्यात अचानक बदल द्रवीकरण सुरू होण्याचे संकेत देतो.

References

Sr. No.	Authors	Title	Publisher with ISBN Number
1	R. K. Bansal	A Textbook of Fluid Mechanicsand Hydraulic Machines	Laxmi Publications ISBN: 9788131808153,8131808157
2	Robert W. Fox, Alan T.McDonald, Philip J.Pritchard	Introduction to fluid mechanics	Wiley ISBN: 9780470234501, 0470234504
3	Warren McCabe, JulianSmith, Peter Harriott	Unit Operations of ChemicalEngineering	McGraw-Hill Education ISBN:9780072848236, 0072848235
4	Shiv Kumar	Fluid Mechanics (Vol. 2) BasicConcepts and Principles	Springer International Publishing ISBN:9783030997540, 3030997545
5	Paul J. LaNasa, E. LoyUpp	Fluid Flow Measurement APractical Guide to Accurate FlowMeasurement	Elsevier Science ISBN: 9780124095328,0124095321
6	Franz Durst	Fluid Mechanics An Introductionto the Theory of Fluid Flows	Springer ISBN: 9783540713425,3540713425
7	Jamal Mohammed Saleh	Fluid Flow Handbook	McGraw-Hill Companies,IncorporatedISBN: 9780071363723, 0071363726
8	R. Peter King	Introduction to Practical FluidFlow	Elsevier Science ISBN: 9780080495842,0080495842
9	R. K. Singal	Hydraulic Machines: FluidMachinery	I.K. International Publishing House Pvt.Limited ISBN: 9789380026015,9380026013

10	R. S. Khurmi, N Khurmi	Hydraulics, Fluid Mechanics andHydraulic Machines	S. Chand Limited ISBN: 9788121901628,8121901626

Links

1. https://mech.poriyaan.in/topic/solved-examples-based-on-venturimeter-30923/
2. https://archive.nptel.ac.in/content/storage2/courses/112104118/lecture-16/16-3_pitot_tube.htm
3. https://prog.lmu.edu.ng/colleges_CMS/document/books
4. https://eaglepubs.erau.edu/introductiontoaerospaceflightvehicles
5. https://stanford.edu/~cantwell/AA210A_Course_Material/
6. https://www.shutterstock.com/image-vector/continuity-equation-fluid-dynamics
7. https://en.wikipedia.org/wiki/Fan_ (machine) #
8. https://www.veeder.com/us/blog/how-does-it-work-behind-scenes-filling
9. https://dynamicrental.com/interstage-cooler-impacts-on-the-reliability-and-efficiency-of-integrally-geared-centrifugal-air-compressors/
10. https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/interstage-coole
11. हँडबुक ऑफ नॅचरल गॅस ट्रान्समिशन अँड प्रोसेसिंग (चौथी आवृत्ती), २०१९
12. https://en.wikipedia.org/wiki/Roots_blower
13. https://beeindia.gov.in/sites/default/files/3Ch5.pdf
14. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857095411500017
15. https://www.iqsdirectory.com/articles/vacuum-pump.html
16. https://www.amazon.in/How-Pump-Gas-Guidebook-How-ebook/dp/B0CMFSJKG4
17. https://milnepublishing.geneseo.edu/introtovacuumtech/chapter/an-introduction-to-vacuum-system
18. https://www.book-vacuum-science-and-technology.com/vacuum-pumps-and-pumping-systems/
19. https://books.google.com/books/about/Centrifugal_Pumps_for_Petroleum_Petroche.html?id=Uo_CzgEACAAJ
20. http://www.aircontrolindustries.com/technical-area/271/fan-selection.