



Maharashtra State Board of Technical Education, Mumbai
(Autonomous) (ISO 21001:2018) (ISO/IEC 27001:2013)

Diploma in Engineering & Technology

शिक्षण पुस्तिका

Learning Material

पॉवर प्लांट इंजिनिअरिंग

POWER PLANT ENGINEERING

(315374)

Mechanical Engineering Group

मराठी - इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम
(अभियांत्रिकी पदविका व तंत्रज्ञान पाचवे सत्र)

शिक्षण पुस्तिका

Learning Material

पाँवर प्लांट इंजिनिअरिंग

POWER PLANT ENGINEERING

(315374)

मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यम
(पदविका अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञान पाचवे सत्र)



महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई
(स्वायत्त) (ISO 21001:2018) (ISO/IEC 27001:2013)



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ.

(स्वायत्त) (ISO: २१००१:२०१८) (ISO/IEC: २७००१-२०१३)

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

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१०० / १५३ / १७०

email : director@msbte.com

web site : www.msbte.ac.in



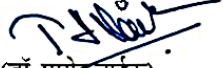
प्रास्ताविक

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

राष्ट्रीय शैक्षणिक धोरण-२०२० प्रादेशिक भाषेतील शिक्षणास प्रोत्साहन देते, ज्यामुळे विद्यार्थ्यांना तांत्रिक अभ्यासक्रमांसाठी प्रादेशिक भाषेतून शिक्षणाचे माध्यम निवडता येते. त्या अनुषंगाने प्रादेशिक भाषांमध्ये तांत्रिक सामग्री आणि अभ्यास सामग्रीचा विकास आणि भाषांतर करण्याची आवश्यकता आहे. या धोरणास अनुसरून मंडळाने भागधारकांसाठी शैक्षणिक वर्ष २०२१-२२ पासून I-Scheme तसेच शैक्षणिक वर्ष २०२३-२४ पासून K-Scheme मध्ये द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय प्रथम ते तृतीय वर्षाकरिता उपलब्ध करून दिलेला आहे. या पर्यायास अनुसरून मंडळाने मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक शैक्षणिक सामग्रीही संबंधित विद्यार्थी व अधिव्याख्यातांकरिता उपलब्ध करून दिली आहे.

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

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


(डॉ. प्रसाद नाईक)

संचालक
म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

MSBTE Mentor

Mr. S. S. Harip

Selection Grade Lecturer, Mechanical Engineering

Experts

Mr. S. H. Patil

Lecturer, Mechanical Engineering

Mr. S. D. Gaikwad

Lecturer, Mechanical Engineering

Mr. P. B. Patil

Lecturer, Mechanical Engineering

Mr. R. Y. Chavan

Lecturer, Mechanical Engineering

Mr. A. A. Mulla

Lecturer, Mechanical Engineering

Reviewer

Mr. N. S. Salunke

Selection Grade Lecturer, Mechanical Engineering

Chief Co-Ordinator

Dr. P. V. Kadole

Director

Institute Co-Ordinator

Mr. V. B. Choudhari

HOD, Mechanical Engineering

अनुक्रमणिका

अ. क्र.	युनिटचे नाव	पान क्र.
1	पॉवर प्लांट्सची मूलभूत तत्त्व Fundamentals of Power Plant	1
2	मॉडर्न स्टीम पॉवर प्लांट Modern Steam Power Plant	14
3	गॅस ऊर्जा प्रकल्प आणि वाया जाणारी उष्णता पुनर्प्राप्ती Gas Power Plant and Waste Heat Recovery	31
4	न्यूक्लियर पॉवर प्लांट Nuclear Power Plant	47
5	सद्यचे प्रवाह आणि पॉवर प्लांट्सची आर्थिक विश्लेषण Recent Trends and Economic Analysis of Power Plants	59

Unit 1. पॉवर प्लांट्सची मूलभूत तत्त्व (Fundamental of Power plant)

विषयनिष्पत्ती(Course Outcomes) (CO):

CO1 -दिलेल्या परिस्थितीत पॉवर प्लांटसाठी योग्य फ्युएल निवडने. (Choose the appropriate fuel for the power plant in given situation)

घटकनिष्पत्ती(Theory Learning Outcomes):

TLO 1.1 भारतातील आणि जगातील विविध पॉवर प्लांट्सची तुलना करणे. (Compare different power plants in India and world.)

TLO 1.2 भारतातील विविध पॉवर कॉर्पोरेशन्सची यादी देणे. (List various power corporations in India)

TLO 1.3 साइट सिलेक्शनसाठी आवश्यक विविध निकष नमूद करणे. (List the different criteria for site selection)

TLO 1.4 स्टीम पॉवर प्लांटसाठीचे आयबीआर नॉर्म्स सांगणे. (State the IBR Norms for steam power plant)

TLO 1.5 पॉवर प्लांट्स मध्ये प्रदूषण नियंत्रणासाठी असलेले नियम स्पष्ट करणे. (State the regulation for pollution control in power plants)

TLO 1.6 पॉवर प्लांट्सचे महत्त्व सांगणे. (State the importance of power plant)

TLO 1.7 दिलेल्या निकषांवर आधारित पॉवर प्लांट्सचे वर्गीकरण करणे. (Classify the power plants on the basis of given criteria)

TLO 1.8 दिलेल्या पॉवर प्लांटमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या फ्युएलचे वर्गीकरण करणे. (Classify the fuel used in given power plant.)

1.1 सध्याची भारतातील व जागतिक पारंपरिक ऊर्जा प्रकल्पांची मागणी व पुरवठा स्थिती (उपलब्ध संसाधनांच्या संदर्भात): पारंपरिक ऊर्जा प्रकल्पांची ओळख: पारंपरिक ऊर्जा प्रकल्प मुख्यत्वे सीमित प्रमाणात उपलब्ध असणाऱ्या फॉसिल फ्युएल्स (फॉसिल इंधन) जसे की कोळसा (Coal), नैसर्गिक वायू (Natural Gas) आणि तेल (Oil) यांवर अवलंबून असतात. तसेच न्यूक्लियर एनर्जी (Nuclear Energy) व मोठ्या प्रमाणातील हायड्रो प्रोजेक्ट्स (Hydro Projects) देखील यामध्ये समाविष्ट आहेत. हे स्रोत त्यांच्या विश्वासाहर्तेमुळे, उच्च ऊर्जा घनतेमुळे आणि मागणीप्रमाणे वीजनिर्मिती (Dispatchable Nature) करण्याच्या क्षमतेमुळे इतिहासापासूनच वीज उत्पादनाच्या केंद्रस्थानी राहिले आहेत. तथापि, यांचा पर्यावरणावर होणारा परिणाम (ग्रीनहाऊस वायू उत्सर्जन, प्रदूषण) आणि फॉसिल फ्युएल्सचे मर्यादित अस्तित्व यामुळे संपूर्ण जगाचा कल आता रीन्यूएबल एनर्जी (Renewable Energy) कडे वळत आहे.

जागतिक ऊर्जा मागणी (2023) – 2023 मध्ये जागतिक प्राथमिक ऊर्जा वापर सुमारे 620 EJ (Exajoules) होता. विद्युत वापर अंदाजे 29,900 TWh (Terawatt-hours) होता, तर जागतिक एकूण विद्युत निर्मिती क्षमता सुमारे 8.89 TW (8,890 GW) इतकी होती. यामध्ये पारंपरिक ऊर्जा स्रोतांचे वापराचे प्रमाण पुढीलप्रमाणे आहे:

- | | |
|--|-------------------------------|
| i. तेल (Oil) – 32% | ii. कोळसा (Coal) – 26% |
| iii. नैसर्गिक वायू (Natural Gas) – 23% | iv. न्यूक्लियर (Nuclear) – 4% |
| v. मोठ्या प्रमाणातील जलविद्युत (Hydro – Large Scale) – 6% | |
| vi. इतर नवीकरणीय स्रोत (Other Renewables – सोलर, विंड, बायोमास, जिओथर्मल) – 8% | |

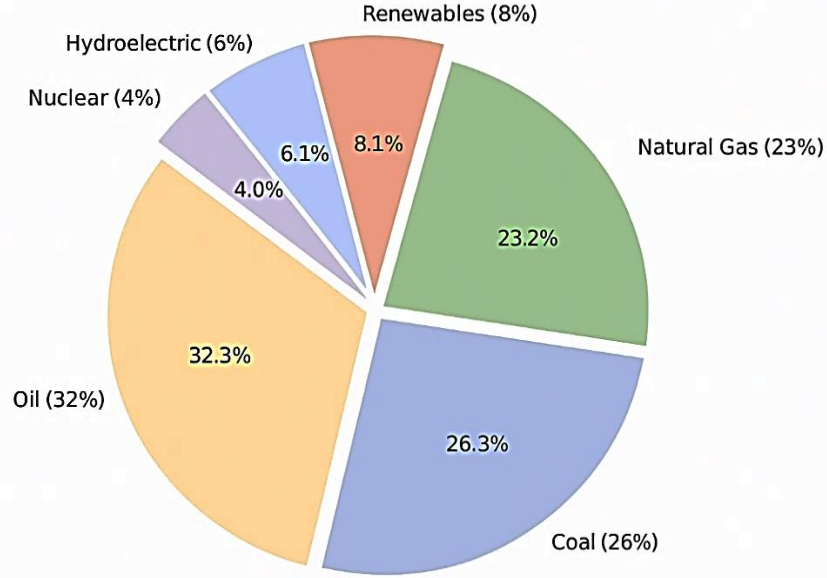


Figure 1.1 Percentage of consumption of energy resources at Global
जागतिक स्थापित एकूण वीज उत्पादन क्षमता सुमारे 8,900 GW असून त्यामधील पारंपरिक स्रोतांचे योगदान पुढीलप्रमाणे आहे –

1) थर्मल (Thermal – कोळसा, वायू, लिग्नाइट आणि डिझेल): 4500 GW

क) कोळसा (Coal): 2500 GW

ख) तेल, वायू, लिग्नाइट आणि डिझेल: 2000 GW

2) न्यूक्लियर (Nuclear): 374 GW

3) हायड्रो (Hydro): 1400 GW

4) नवीकरणीय (Renewables – सौर, वाऱ्याचे इंधन इ.): 2600 GW

जागतिक स्रोतांची उपलब्धता (Global Resource Availability): कोळशाचे साठे (Coal Reserves) सुमारे 1.07 ट्रिलियन टन असून ते प्रामुख्याने अमेरिका, रशिया, चीन आणि भारतात आहेत. नैसर्गिक वायू (Natural Gas) सुमारे 200 ट्रिलियन घनमीटर, मुख्यतः रशिया, इराण, कतार आणि अमेरिका या देशांमध्ये उपलब्ध आहे. तेल (Oil) सुमारे 1.7 ट्रिलियन बॅरल, याचे मुख्य साठे मिडल ईस्ट, व्हेनेझुएला आणि कॅनडा येथे आहेत. युरेनियम (Uranium) चे सुमारे 6.1 दशलक्ष टन ओळखले गेलेले साठे (Identified Resources) उपलब्ध आहेत.

भारतातील ऊर्जा मागणी व पुरवठा (Indian Energy Demand & Supply) (2023–24): 2023 मध्ये भारताचा प्राथमिक ऊर्जा वापर सुमारे 37 EJ (Exajoules) इतका होता. 2024 मध्ये भारताची पीक पॉवर डिमांड (Peak Power Demand) सुमारे 250 GW इतकी नोंदवली गेली. एकूण वार्षिक वीज निर्मिती सुमारे 1,949 TWh इतकी होती. भारताचा वार्षिक वीजनिर्मिती वाढीचा दर सुमारे 7% आहे.

भारता मधील पारंपरिक ऊर्जा स्रोतांचा वापर (Conventional Sources Consumption in India):

1) कोळसा (Coal): 56%

2) तेल (Oil): 27%

3) नैसर्गिकवायू (Natural Gas): 6%

4) न्यूक्लियर (Nuclear): 1%

5) हायड्रो (Hydro – मोठ्या प्रमाणातील): 4%

6) इतर नवीनीकरणीय ऊर्जा स्रोत (Other Renewables – सौर, वारा, बायोमास, जिओथर्मल): 6%

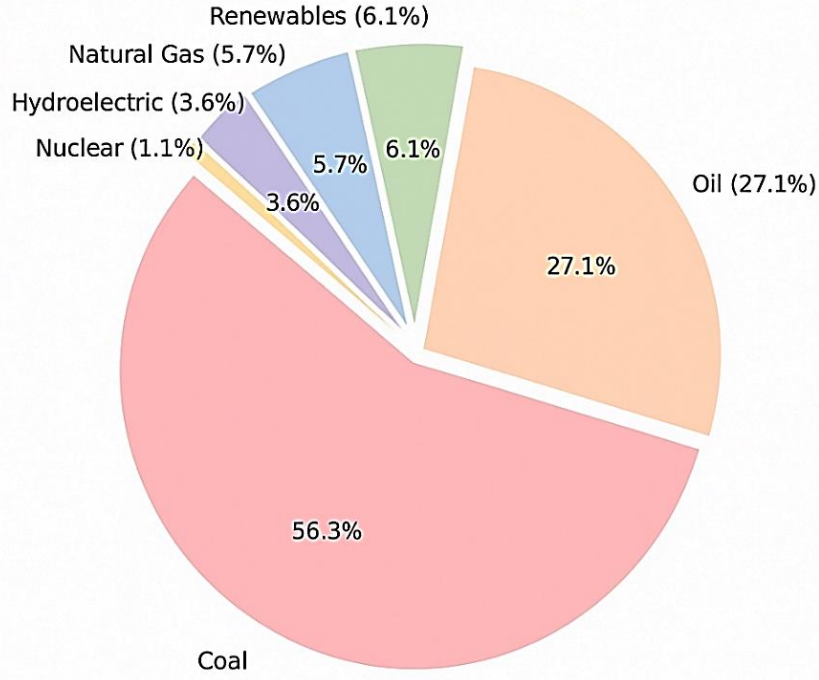


Figure 1.2 Percentage of consumption of energy resources in India

भारताची एकूण स्थापित वीज निर्मिती क्षमता सुमारे 468 GW आहे, ज्या मध्ये पारंपरिक ऊर्जा स्रोतांचे योगदान पुढील प्रमाणे आहे – 1) थर्मल (कोळसा, गॅस, लिग्नाइटवडिझेल) : 239.7 GW

क) कोळसा : 212 GW

ख) गॅस, लिग्नाइटवडिझेल : 27 GW

2) न्यूक्लियर (Nuclear) : 8.08 GW

3) हायड्रो (Hydro) : 47.7 GW

4) रिन्युएबल्स (Renewables – सौर, पवनइ.) : 172.3 GW

भारतातील इंधन स्रोत उपलब्धता : कोळसा (Coal) : भारत जागतिक कोळसा साठ्यात 5व्या क्रमांका वर आहे (319 अब्ज टन). भारताची सुमारे 70% वीज निर्मिती कोळशावर आधारित आहे. उच्च दर्जाच्या कोळशासाठी 20% आयात करावी लागते. नैसर्गिक वायू (Natural Gas): साठे – 1.3 ट्रिलियन घन मीटर, हे साठे प्रामुख्याने समुद्राखाली (Offshore) क्षेत्रात आहेत. तेल (Oil): भारताचे 85% तेल आयात अवलंबित्व आहे – भारत बहुतांश कच्च्या तेलासाठी परदेशावर अवलंबून आहे. युरेनियम (Uranium): मर्यादित साठे असल्यामुळे, भारताला न्यूक्लियर ऊर्जा निर्मितीसाठी युरेनियम आयात करावे लागते. जलविद्युत (Hydropower): भारतामध्ये 145 GW क्षमतेचा भरपूर संभाव्य साठा उपलब्ध आहे, विशेषतः हिमालयीन व ईशान्येकडील भागात.

भारत आणि जागतिक पारंपरिक स्रोतांची तुलना

(Comparison of Conventional Resources of India & Global)

Table 1.1 Comparison of Conventional resources of India & Global

परिमाण	जागतिक	भारत
पारंपरिक स्रोतांचा वाटा	सुमारे 70%	सुमारे 65%
कोळशाचे वर्चस्व	मध्यम (सुमारे 35%)	जास्त (48-55%)
नैसर्गिक गॅसचा वापर	जास्त (युरोप, अमेरिका, मिडल ईस्टमध्ये)	कमी ते मध्यम
आयात अवलंबित्व	तेलासाठी जास्त, गॅससाठी मध्यम	तेल व गॅससाठी अतिजास्त
रिन्युएबल एनर्जी कडे वळण	झपाट्याने वाढ (युरोप, चीनमध्ये)	सतत वाढते आहे
अणुऊर्जा (न्यूक्लियर) विकास	प्रगत (फ्रान्स, अमेरिका, रशिया)	मर्यादित
मागणी व पुरवठ्यातील तफावत	मध्यम (कार्यक्षमता सुधारते आहे)	अनेकदा जास्त

भारत व जागतिक विविध वीज प्रकल्पांची तुलना**(Comparison of Different Power Plants in India and Global)**

Table 1.2 Comparison of Power Plants in India and Global

विद्युत प्रकल्पाचा प्रकार	जागतिक उदाहरण	भारतीय उदाहरण	कार्यक्षमता	चालू खर्च (₹/kWh)	उत्सर्जन	विश्वसनीयता
थर्मल (उष्णकटिबंधीय)	तायचुंग, तैवान	विन्ध्याचल, एनटीपीसी	30-45%	₹4 - ₹6	जास्त (CO ₂ , राख)	जास्त
न्यूक्लियर (अणुऊर्जा)	फ्लामानव्हिल, फ्रान्स	कुडनकुलम	33%	उच्च प्रारंभिक खर्च, कमी चालू खर्च	अतिजास्त सुरक्षा, कमी उत्सर्जन	अतिजास्त
हायड्रो (जलविद्युत)	श्री जॉर्जेस धरण, चीन	टेहरी धरण	85-90%	कमी चालू खर्च	नाही / अत्यंत कमी	जास्त
सौर ऊर्जा (Solar)	तेंगेर वाळवंट सोलर प्रकल्प, चीन	भडला सोलर पार्क	15-22%	₹2 - ₹3	अतिशय कमी	बदलता (सूर्यप्रकाशावर अवलंबून)
वान्याची ऊर्जा (Wind)	हॉर्नसी प्रोजेक्ट, यूके	मुप्पंडल, तामिळनाडू	35-50%	₹3 - ₹4	अतिशय कमी	बदलता (वान्यावर अवलंबून)
बायोमास	स्वीडन - वेस्ट टू एनर्जी प्लान्ट्स	पंजाब बायोमास प्रकल्प	20-30%	₹4 - ₹6	कमी	मध्यम

1.2 वीज निर्मिती प्रकल्पांचा आढावा - भारतातील शासकीय व खासगी क्षेत्रातील वीज निर्मिती कंपन्या आणि त्यांची क्षमता

भारताची एकूण स्थापित वीज निर्मिती क्षमता (मार्च 2025 पर्यंत)

Table 1.3 Total Installed Power Generating Capacity of India

स्रोत	क्षमता (GW)
जीवाश्मइंधने (Fossil Fuels - कोळसा, लिग्नाइट, गॅस, डिझेल)	239.7
जलविद्युत (Hydro - Large Scale)	47.7
न्यूक्लियर (Nuclear)	8.08
नवीनवअपारंपरिकऊर्जा (Renewables)	172.3
एकूण	सुमारे 468 GW

मालकी हक्का नुसार वर्गीकरण:

Table 1.4 Ownership wise Installed Capacity in India

मालकी	स्थापित क्षमता (GW)	वाटा (%)
केंद्र सरकार	106	22.4%
राज्य सरकार	111	23.3%
खासगी क्षेत्र	257	54.3%

भारतामधील प्रमुख वीज निर्मिती कंपन्या:

A. सरकारी कंपन्या:

(i) केंद्र सरकारच्या यंत्रणा:

1. NTPC Ltd. (National Thermal Power Corporation): भारताची सर्वात मोठी वीज उत्पादक कंपनी. सुमारे 80 GW क्षमतेसह कार्यरत असून, यामध्ये कोळसा, गॅस, जलविद्युत आणि नविन ऊर्जा प्रकल्पांचा समावेश आहे.
2. NHPC Ltd. (National Hydroelectric Power Corporation): मुख्यत्वे जलविद्युत प्रकल्पांवर आधारित कंपनी. क्षमता – 8.03 GW (मुख्य प्रकल्प जम्मू-काश्मीर व हिमाचल प्रदेश मध्ये आहेत).
3. NLC India Ltd.: लिग्नाइटवर आधारित तापीय प्रकल्प चालवते. क्षमता – 5.07 GW (थर्मल व नविन ऊर्जा प्रकल्पांचे मिश्रण).
4. NPCIL (Nuclear Power Corporation of India Ltd.): भारतामधील सर्व अणू वीज निर्मिती NPCIL मार्फतच केली जाते. क्षमता – 8.08 GW.
5. PGCIL (Power Grid Corporation of India Ltd.): ही संस्था वीज निर्माण करत नाही, परंतु राष्ट्रीय ग्रीड आणि ट्रान्समिशनचे व्यवस्थापन करते.

(ii) राज्य सरकारच्या कंपन्या:

प्रत्येक राज्याची स्वतःची State Electricity Generation Corporation (राज्य विद्युत निर्मिती महामंडळ) असते. उदा.: MAHAGENCO (महाराष्ट्र), TANGEDCO (तामिळनाडू), UPRVUNL (उत्तर प्रदेश), GSECL (गुजरात). या कंपन्या कोळसा, गॅस, जलविद्युत व सौर ऊर्जेवर आधारित प्रकल्प चालवतात. एकत्रित स्थापित क्षमता सुमारे 115 GW पर्यंत आहे.

B. खासगी क्षेत्रातील वीज उत्पादक कंपन्या:

1. Adani Power Ltd.: क्षमता – 15.25 GW कोळसा आधारित तापीय प्रकल्प – गुजरात, महाराष्ट्र, राजस्थान येथे कार्यरत.
2. Tata Power: क्षमता – 15.7 GW कोळसा, जल, सौर, वारा आणि Waste Heat Recovery आधारित प्रकल्पांचा समावेश.
3. JSW Energy: क्षमता – 10.9 GW कोळसा, जल आणि नविन वीज प्रकल्प (Renewables) यांचा समावेश.
4. Reliance Power: सुमारे 6 GW क्षमतेचे कोळसा व गॅस आधारित प्रकल्प.
5. Renewable IPPs (Independent Power Producers): ReNew Power, Greenko, Azure Power व ACME Solar या कंपन्यांची एकत्रित क्षमता 25 GW पेक्षा अधिक आहे.

1.3 वाफेच्या विद्युत केंद्रासाठी जागा निवडीची निकषे: वाफेवर चालणारे विद्युत केंद्र (Steam Power Plant) – हे केंद्र फॉसिल फ्युएल्स (जसे की कोळसा, तेल) रासायनिक ऊर्जा उष्मा ऊर्जेत रूपांतरित करते, जी पुढे यांत्रिक ऊर्जेत आणि नंतर जनरेटरच्या साहाय्याने विद्युत ऊर्जेत रूपांतरित केली जाते.

वाफेच्या विद्युत केंद्राची मुख्य घटकं:

- 1) बॉयलर (Boiler): इंधन जाळून निर्माण होणाऱ्या उष्ण्याच्या साहाय्याने पाण्याचे वाफेत रूपांतर करतो.
- 2) सुपर हीटर (Super Heater): बॉयलरमधून आलेल्या सॅच्युरेटेड स्टीमला आणखी गरम करून सुपरहिट वाफ बनवतो, ज्यामुळे कार्यक्षमता वाढते.
- 3) टर्बाइन (Turbine): वाफेतील उष्मा ऊर्जा यांत्रिक फिरत्या ऊर्जेत रूपांतरित करतो.
- 4) कंडेन्सर (Condenser): वापरलेली वाफ पुन्हा थंड करून पाण्यात रूपांतरित करतो.
- 5) फीड वॉटर पंप (Feed Water Pump): कंडेन्सर मधील पाणी पुन्हा बॉयलरमध्ये पंप करतो.
- 6) इकॉनमायझर (Economizer): फ्ल्यू गॅसेसमधील उष्णतेचा उपयोग करून फीड वॉटर प्रीहीट करतो.
- 7) एअर प्रीहीटर (Air Preheater): फ्ल्यू गॅसेसची उष्णता वापरून फर्नेसमध्ये जाणाऱ्या हवेचे प्रीहीटिंग करतो.

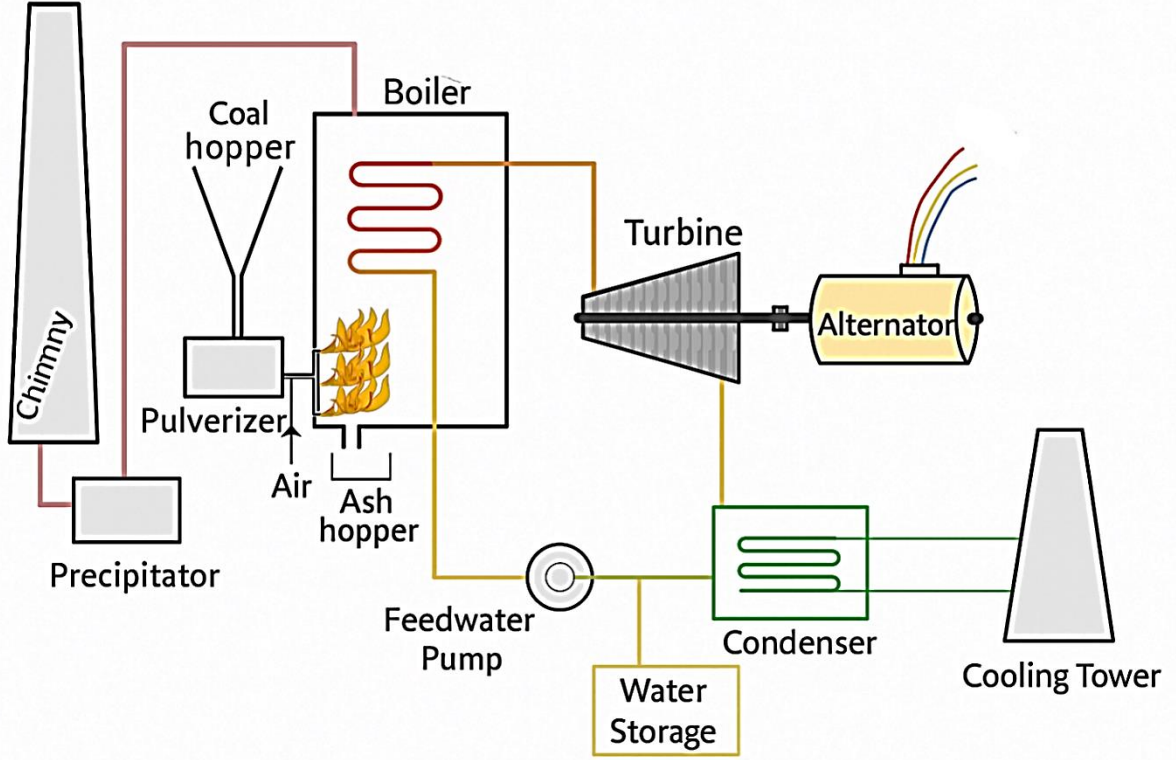


Figure 1.3 Steam Power Plant

(Image Courtesy <http://www.electrticaleasy.com/2015/08/thermal-power-plant.html>)

कार्यपद्धती (Working Principle): पाणी बॉयलरमध्ये टाकले जाते जिथे ते उच्चदाबाच्या वाफेत रूपांतरित होते. ही वाफ सुपरहीटर मधून जाऊन टर्बाईनमध्ये प्रवेश करते व टर्बाईन फिरवते. टर्बाईन जेनेरेटरला जोडलेले असते, त्यामुळे वीज निर्माण होते. नंतर ही वाफ कंडेन्सरमध्ये थंड करून पाण्यात रूपांतरित होते व फीडवॉटर पंपाद्वारे पुन्हा बॉयलरमध्ये परत जाते.

वाफेवर चालणाऱ्या वीज प्रकल्पासाठी स्थान निवडीसाठी आवश्यक निकष

1. इंधनाची उपलब्धता (Fuel Availability): इंधनाच्या स्त्रोताजवळ असलेले स्थान फायदेशीर ठरते (उदा. कोळसा खाणी), कारण यामुळे वाहतूक खर्च कमी होतो. रेल्वे किंवा बंदर कनेक्टिव्हिटी असणे आवश्यक आणि फायदेशीर ठरते.
2. पाण्याची उपलब्धता: सतत आणि भरपूर प्रमाणात पाण्याचा पुरवठा हवा. हे पाणी बॉयलर फीड, कंडेन्सर कूलिंग व राख हाताळणीसाठी वापरले जाते. नदी, कालवा, तलाव किंवा जलाशयाजवळचे स्थान उपयुक्त ठरते.
3. जमिनीची गरज: 500 ते 2000 एकर सपाट व मजबूत भूखंड हवा. मुख्य यंत्रणा, कोळसा साठवणूक, राख हाताळणी, ट्रान्समिशन लाईन्स आणि हरित पट्टा (Green Buffer Zone) साठी ही जमीन आवश्यक असते.
4. वाहतूक सुविधा: रेल्वे व रस्ते मार्गाद्वारे कोळशाची वाहतूक, यंत्रसामग्री आणि मनुष्यबळ हलविण्याची सोय असावी. इंधन आयातीसाठी बंदरजवळील स्थान उपयुक्त ठरते.
5. राख टाकण्याची सोय (Ash Disposal): कोळशावर चालणाऱ्या प्रकल्पांत मोठ्या प्रमाणावर राख तयार होते. यासाठी राख साठवण्यासाठी अॅश पॉड, लँडफिल किंवा सिमेंट-ब्रिक उद्योगात वापरण्याची व्यवस्था असावी.
6. लोड सेंटरजवळ उपलब्धता: उद्योग आणि शहरेजवळ वीज प्रकल्प असणे फायदेशीर ठरते. यामुळे ट्रान्समिशन लॉसेस (वीज वाहतुकीतील तोटा) कमी होतो आणि खर्चात बचत होते.
7. भूआकृती आणि मातीचे गुणधर्म: सपाट आणि मजबूत माती असलेली जमीन आवश्यक आहे. डोंगराळ, दलदलीची किंवा पूरप्रवण क्षेत्रे टाळावीत.
8. हवामान परिस्थिती (Meteorological Conditions): मध्यम हवामान असावे. अधिक पाऊस, थंडी, वादळे आणि धुके अशा अति हवामान स्थिती टाळाव्यात. वायू प्रदूषणाचा परिणाम कमी करण्यासाठी वाऱ्याची दिशा विचारात घ्यावी.
9. पर्यावरणविषयक बाबी: MoEFCC (पर्यावरण मंत्रालय) च्या नियमांचे पालन करणे आवश्यक आहे. पर्यावरणीय प्रभाव मूल्यांकन (EIA) करणे बंधनकारक आहे.
10. बांधकाम साहित्य व मनुष्यबळाची उपलब्धता: सिमेंट, स्टील, वाळू यांसारखे साहित्य आणि कुशल-अकुशल

कामगार उपलब्ध असणे प्रकल्पाच्या खर्चावर सकारात्मक परिणाम करतो.

11. कायदेशीर मंजूरी (Legal Clearances): जमीन हस्तांतरण, वन/तटीय/आदिवासी क्षेत्रांपासून मुक्तता, पर्यावरण व ऊर्जा मंत्रालय, तसेच स्थानिक प्रशासन यांच्याकडून आवश्यक परवानग्या मिळवाव्या लागतात.

आदर्शस्थान निकष (Ideal Site Parameters)

Table 1.5 Ideal Site Parameters for Steam Power Plant

निकष	प्राधान्य स्थिती
इंधन उपलब्धता	कोळसा खाणी जवळ किंवा उत्तम वाहतूक सुविधा असलेले स्थान
पाणी स्रोत	भरपूर व विश्वसनीय (नदी, जलाशय)
जमीन	सपाट, मजबूत माती, शेतीविना, जंगलविना
वाहतूक	रेल्वे व रस्ते मार्ग सुलभ
राख निपटारा	अॅश पॉइंड्स किंवा औद्योगिक पुनर्वापर
लोड सेंटरजवळ	वीज वापर क्षेत्रांपासून 300-500 किमी अंतरात
हवामान	मध्यम हवामान, नैसर्गिक आपत्तींपासून मुक्त क्षेत्र
पर्यावरण	उत्सर्जन व प्रदूषण नियंत्रण नियमांचे पूर्ण पालन
स्थानिक सहयोग	बांधकाम साहित्य, कुशल/अकुशल मनुष्यबळ व कायदेशीर परवानग्या सहज मिळणारे

1.4 भारतीय बॉयलर नियम (IBR) स्टीम पॉवर प्लांटसाठी

भारतीय बॉयलर नियम, 1950 हे भारतीय बॉयलर अधिनियम, 1923 अंतर्गत तयार करण्यात आले असून, भारतातील बॉयलर आणि त्यास संबंधित घटकांचे डिझाइन, बांधकाम, कार्यप्रणाली आणि तपासणी यासाठी एक कायदेशीर चौकट प्रदान करतात. हे नियम विशेषतः उद्योग आणि स्टीम पॉवर प्लांट्स मध्ये बॉयलरची सुरक्षा आणि मानकीकरण सुनिश्चित करतात.

सत्ताधारी संस्था: सेंट्रल बॉयलर्स बोर्ड (Central Boilers Board - CBB) ही संस्था वाणिज्य व उद्योग मंत्रालय, भारत सरकार अंतर्गत कार्यरत आहे.

IBR नियमांचा उद्देश: IBR चा मुख्य उद्देश म्हणजे बॉयलर आणि स्टीम पाईपलाइनचे सुरक्षित डिझाइन, बांधकाम, चालवणे आणि देखभाल सुनिश्चित करणे. या नियमांचा उपयोग अपघात टाळण्यासाठी, गुणवत्ता मानके टिकवून ठेवण्यासाठी, सर्व बॉयलर तपासणी आणि प्रमाणित करण्यासाठी केला जातो.

IBR चे क्षेत्र:

IBR नियम 1950 खालील घटकांवर लागू होतात: 22.75 लिटरहून अधिक क्षमतेचे स्टीम तयार करणारे सर्व बॉयलर्स, 3.5 kg/cm² पेक्षा जास्त दाबाने चालणाऱ्या स्टीम पाईपलाईन्स.

IBR मध्ये खालील बाबींचा समावेश होतो:

- बॉयलर व त्याचे घटक (शेल, ड्रम, ट्यूब्स, वाल्व्ह, फिटिंग्स)
- ठराविक दाब/तापमानावर चालणाऱ्या स्टीम पाईपिंग व अॅक्सेसरीज
- बॉयलर माउंटिंग्स व फिटिंग्स जसे की वाल्व्ह, सुपर हीटर, इकॉनॉमायझर आणि सुरक्षा उपकरणे

स्टीम पॉवर प्लांटसाठी IBR नियम

- बॉयलर डिझाइन व मटेरियल स्टॅंडर्ड्स: बॉयलरचे डिझाइन IBR मान्यताप्राप्त कोड्सनुसार किंवा ASME सारख्या आंतरराष्ट्रीय मानकांनुसार केले गेले पाहिजे. वापरण्यात येणाऱ्या सर्व मटेरियलसाठी प्रमाणपत्र आवश्यक असून ते IBR मानकांनुसार असले पाहिजे. प्रमाणित मटेरियलची आवश्यकता या प्रमुख घटकांसाठी असते, बॉयलर शेल, हेडर्स, ड्रम्स, हीट एक्सचेंजर ट्यूब्स, हाय-प्रेसर पाईपिंग.

2. बॉयलर मॅन्युफॅक्चरिंग आणि तपासणी: फक्त IBR-प्रमाणित उत्पादकच बॉयलरचे प्रेशर पार्ट्स तयार करू शकतात. संपूर्ण उत्पादन प्रक्रिया IBR-अधिकृत निरीक्षकांकडून विविध टप्प्यांत तपासली जाते:

- मटेरियल आयडेंटिफिकेशन व चाचणी
- फॉर्मिंग व वेल्डिंग
- NDT (Radiography, Ultrasonic, Dye Penetrant)

- iv. डिझाईन प्रेशरच्या 1.5 पट दाबाने हायड्रॉस्टॅटिक चाचणी
- v. अंतिम तपासणी व प्रमाणन
3. बॉयलर इरेक्शन व कमिशनिंग: बॉयलरची उभारणी (erection) IBR मंजूर प्रक्रियेनुसारच केली पाहिजे. ही प्रक्रिया IBR-प्रमाणित पात्र व्यक्तीकडून देखरेखीखाली केली जाते. कमिशनिंगपूर्वी, बॉयलरची 1.25 ते 1.5 पट कार्यदाबावर हायड्रॉस्टॅटिक चाचणी केली जाते.
4. नोंदणी व प्रमाणन: प्रत्येक बॉयलरची स्थानिक बॉयलर प्राधिकरणाकडे नोंदणी करणे आवश्यक आहे. यशस्वी तपासणीनंतर, नोंदणी क्रमांक व तपासणी प्रमाणपत्र दिले जाते. IBR प्रमाणनाशिवाय बॉयलर चालवणे कायद्याने बेकायदेशीर आहे.
5. स्टीम पाईपिंग नियम: IBR Section IX नुसार, 3.5 kg/cm² पेक्षा जास्त दाबावर चालणाऱ्या सर्व स्टीम व फीड वॉटर पाईपिंगसाठी IBR नियम लागू होतात.
- अनिवार्य तरतुदी:
- i. स्ट्रेस अॅनालिसिस व सपोर्ट्स
- ii. मटेरियल टेस्ट सर्टिफिकेट्स (MTC)
- iii. वेल्डिंग प्रक्रिया व वेल्डर पात्रता
- iv. क्रिटिकल वेल्ड्ससाठी रेडिओग्राफिक चाचणी
- v. प्रेशर चाचणी
6. ऑपरेशन व मॅटेनन्स नियम: फक्त प्रमाणित फर्स्ट क्लास किंवा सेकंड क्लास बॉयलर अटॅन्डंटकडूनच बॉयलर चालवणे आवश्यक आहे. नियमित तपासण्या पुढीलप्रमाणे कराव्यात:
- i. वार्षिक तपासणी – सेफ्टी वाल्व चाचणी, NDT, वॉल जाडी तपासणी
- ii. शट डाउन तपासणी – बंदीच्या काळात अंतर्गत व बाह्य तपासणी
7. सुरक्षा आवश्यकता: बॉयलरमध्ये सेफ्टी वाल्व, प्रेशर गेज, वॉटर लेव्हल इंडिकेटर, ब्लोडाऊन वाल्व ही उपकरणे IBR मानकांनुसार असणे बंधनकारक आहे.
- अनिवार्य सुरक्षा तरतुदी:
- i. आपत्कालीन बंद प्रणाली (Emergency Shutdown)
- ii. सेफ्टी इंटरलॉक्स
- iii. नियंत्रण उपकरणे (प्रेसर, तापमान, फ्लो इ.)
- iv. फ्लेम सेफगार्ड सिस्टम (तेल/गॅस बॉयलरसाठी)
- 1.5 CPCB (सेंट्रल पॉल्युशन कंट्रोल बोर्ड) आणि MPCB (महाराष्ट्र पॉल्युशन कंट्रोल बोर्ड) चे पॉवर प्लांटसाठी नियम**
- पॉवर प्लांट्स, विशेषतः कोळशावर आधारित थर्मल प्लांट्स, हे हवा, पाणी आणि मातीच्या प्रदूषणाचे मुख्य स्रोत आहेत. त्यांच्या पर्यावरणीय प्रभावाचे नियंत्रण ठेवण्यासाठी, CPCB आणि राज्य स्तरीय मंडळे जसे की MPCB, Environment Protection Act, 1986 तसेच Air/Water Acts अंतर्गत नियम आखतात आणि अंमलात आणतात. CPCB आणि MPCB यांची भूमिका

Table 1.6 Role of CPCB and MPCB

प्राधिकरण	भूमिका
CPCB	देशपातळीवर पर्यावरणीय मानके व धोरणे ठरवते
MPCB	महाराष्ट्रात CPCB च्या नियमांची अंमलबजावणी करते व स्थानिक गरजेनुसार कठोरतेने निरीक्षण करते

CPCB चे पॉवरप्लांटसाठी नियम

1. वायू उत्सर्जन नियम (2015 मध्ये सुधारित):

MoEFCC (Ministry of Environment, Forest, and Climate Change) ने 2015 मध्ये थर्मल पॉवर प्लांट्ससाठी वायू उत्सर्जन मर्यादा सुधारित केल्या. या मर्यादा प्लांटची क्षमता व कमिशनिंगच्या वर्षावर अवलंबून आहेत.

Table 1.7 Air Emission Norms

क्षमता (MW) व कमिशनिंग वर्ष	SO ₂ (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)	PM (mg/Nm ³)	Hg (µg/Nm ³)
< 500 MW (2003 पूर्वी कमिशन केलेले प्रकल्प)	600	600	100	लागू नाही
≥ 500 MW (2003 ते 2016 दरम्यान कमिशन केलेले प्रकल्प)	200	300	50	0.03
सर्व प्रकल्प (2017 नंतर कमिशन केलेले)	100	100	30	0.03

2. जल वापर व स्राव नियम:

i. स्पेसिफिक वॉटर कंझम्प्शन लिमिट:

≤ 3.5 m³/MWh (अस्तित्वात असलेल्या प्लांटसाठी)

≤ 2.5 m³/MWh (नवीन प्लांटसाठी)

ii. कूलिंग टॉवर्सचा वापर अनिवार्य (Closed Cycle Cooling).

iii. Zero Liquid Discharge (ZLD): पाण्याचा तुटवडा असलेल्या भागांत सर्व स्राव प्रक्रिया करून पुन्हा वापरणे आवश्यक.

iv. कूलिंग वॉटर स्राव: स्रावाच्या बिंदूवर तापमान वाढ 5°C पेक्षा अधिक नसावी.

3. राख हाताळणी व विल्हेवाट:

i. 100% फ्लाय अॅशचा वापर (प्लांट सुरू झाल्यानंतर 3-5 वर्षांत)

ii. अॅशचा वापर – सिमेंट निर्मिती, वीट/ब्लॉक बनवणे, भूमी पुनरुत्थानासाठी

iii. अॅश पॉइंसला अंशतः लाइन केलेले असणे व गळतीची नियमित तपासणी करणे आवश्यक

4. ध्वनी प्रदूषण मर्यादा:

i. प्लांटच्या सीमेवर कमाल 75 dB

ii. सायलेंसर, अॅकौस्टिक कव्हर्स व हरित पट्टा अनिवार्य

5. पर्यावरणीय निरीक्षणाची आवश्यकता:

i. CEMS (Continuous Emission Monitoring System) – SO₂, NO_x, PM, CO

ii. CPCB/MPCB सर्व्हरशी ऑनलाइन जोडणी

iii. CEMS for water discharge (स्रावाचे निरीक्षण)

iv. पर्यावरणीय ऑडिट रिपोर्ट्सचे नियमित सादरीकरण

MPCB चे पॉवर प्लांटसाठी नियम

1. स्थापना व संचालन परवानगी (Consent to Establish & Operate) Water Act (1974) आणि Air Act (1981) अंतर्गत MPCB कडून पुढील परवानग्या आवश्यक असतात:

i. Consent to Establish (CTE) – प्लांटच्या बांधकामपूर्वी घेतली जाते.

ii. Consent to Operate (CTO) – प्लांट कमिशनिंगपूर्वी घेतली जाते.

2. राज्यस्तरीय अनुपालन (State-Level Compliance): MPCB हे CPCB (Central Pollution Control Board) च्या नियमांचे पालन करते. मात्र मुंबई, पुणे, नागपूर यांसारख्या पर्यावरणीय दृष्ट्या संवेदनशील भागांमध्ये MPCB अधिक कठोर नियम लागू करू शकते. यामध्ये स्राव गुणवत्ता नियंत्रण, आजूबाजूच्या हवामानाचे निरीक्षण, पावसाच्या पाण्याचे पुनर्वापर (Rainwater Harvesting), व हरित पट्टा विकास यावर भर दिला जातो.

3. सतत निरीक्षण (Continuous Monitoring): CEMS (Continuous Emission Monitoring System – वायू उत्सर्जनासाठी) आणि CEQMS (Continuous Effluent Quality Monitoring System – स्राव गुणवत्ता) या प्रणाली बसवणे अनिवार्य आहे. सर्व डेटा MPCB च्या सर्व्हरवर रिअलटाइम पाठवणे आवश्यक आहे.

4. धोकादायक कचरा व्यवस्थापन (Hazardous Waste Management): अॅश व स्लज यांचा समावेश Hazardous Waste Rules, 2016 अंतर्गत होतो. त्यामुळे योग्य साठवण, प्रक्रिया व विल्हेवाट सुविधा असणे आवश्यक आहे.

5. जनसुनावणी व पर्यावरणीय प्रभाव मूल्यांकन (EIA): सर्व नवीन प्रकल्प किंवा क्षमता वाढीपूर्वी EIA (Environmental Impact Assessment) अहवाल तयार करणे अनिवार्य आहे. सार्वजनिक जनसुनावणी MPCB मार्फत घेणे बंधनकारक असते.

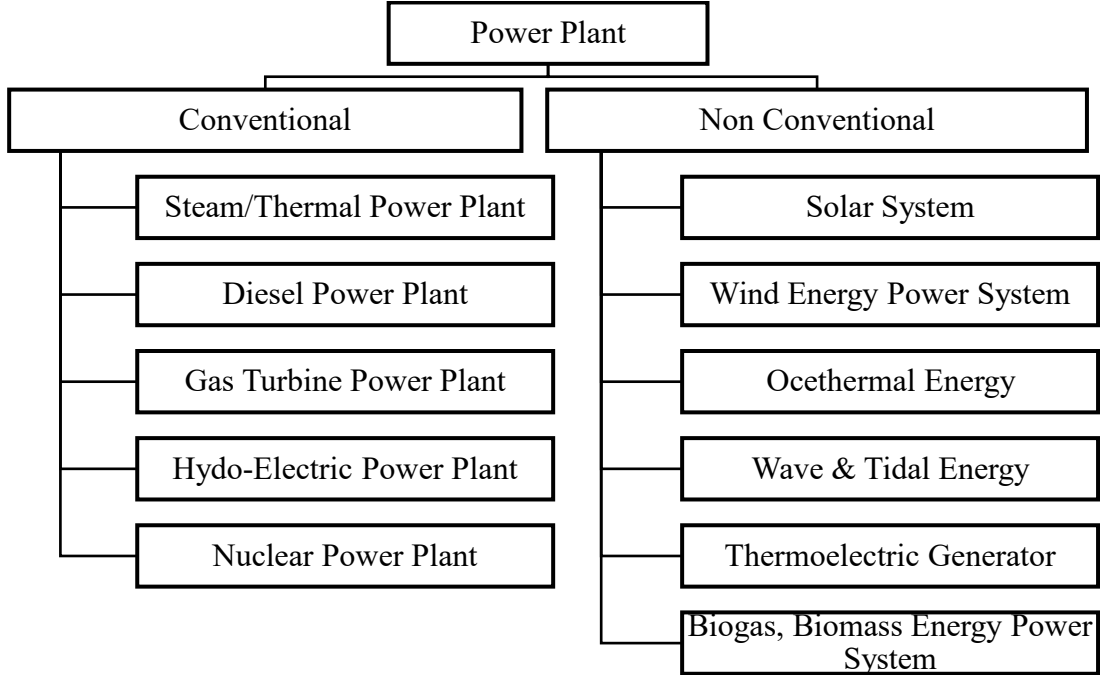
6. कायदेशीर अधिकार व दंड (Legal Powers and Penalties): MPCB ला खालील कायदेशीर अधिकार आहेत, कारणे दाखवा नोटीस देणे, युनिटचे कार्य बंद करणे, Environment Protection Act, 1986 अंतर्गत दंड आकारणे.

1.6 पॉवर प्लांट्स: त्यांचे महत्त्व आणि वर्गीकरण

पॉवर प्लांट म्हणजे एक औद्योगिक प्रकल्प असतो जो प्राथमिक एनेर्जी स्रोतांपासून विद्युत उर्जा निर्माण करण्यासाठी वापरला जातो. पॉवर प्लांट्स देशाच्या सामाजिक व आर्थिक विकासात अत्यंत महत्त्वाची भूमिका बजावतात, कारण ते घरे, उद्योग, व्यवसाय व पायाभूत सुविधा यांना अखंड व विश्वसनीय वीजपुरवठा सुनिश्चित करतात.

एनेर्जीचे स्रोत मुख्यतः दोन प्रकारचे असतात, पारंपरिक (Non-Renewable) एनेर्जी स्रोत व अपारंपरिक (Renewable) एनेर्जी स्रोत.

Table 1.8 Classification of Power Plants based on sources of energy



विद्युत प्रकल्पांचे महत्त्व

✂ विद्युत निर्मिती: आधुनिक जीवनाची कणा – प्रकाश, उष्णता, संप्रेषण आणि उद्योगासाठी आवश्यक.

🏭 औद्योगिक विकास: उत्पादन व स्वयंचलनासाठी उद्योगांना अखंड वीजपुरवठा आवश्यक असतो.

👤 आर्थिक विकास: परिवहन, शेती आणि सेवा क्षेत्रांना पाठिंबा देऊन जीडीपीमध्ये वाढ घडवते.

👥 जीवनमान सुधारणा: चांगले शिक्षण, आरोग्यसेवा आणि आधुनिक सुविधा शक्य होतात.

📊 ऊर्जा सुरक्षितता: विश्वासार्ह वीज निर्मितीमुळे आयातीवरील अवलंबन कमी होते आणि ग्रीडची स्थिरता वाढते.

🌱 नवीन व अक्षय ऊर्जा विकास: आधुनिक प्रकल्प स्वच्छ ऊर्जा ध्येयामध्ये योगदान देतात व उत्सर्जन कमी करतात.

विद्युत प्रकल्पांचे वर्गीकरण

विद्युत प्रकल्प विविध निकषांवर आधारित वर्गीकृत केले जातात:

Table 1.9 Classification of Power Plant

अ. ऊर्जा स्रोताच्या आधारे वर्गीकरण		
प्रकार	वर्णन	उदाहरणे
थर्मल पॉवर प्लांट	कोळसा, तेल, वायू यांसारख्या इंधनांपासून उष्मा निर्माण करून वाफ तयार केली जाते आणि टर्बाइन चालवले जातात.	एनटीपीसी कोरबा, दादरी टीपीएस
हायड्रो पॉवर प्लांट	साठवलेल्या पाण्याच्या स्थितिज ऊर्जा	भाक्रानंगल, टेहरी धरण

	वापरून टर्बाइन चालवले जातात.	
न्यूक्लियर पॉवर प्लांट	अणुभंजन प्रक्रियेद्वारे उष्णता निर्माण केली जाते आणि वाफेने टर्बाइन फिरवले जातात.	तारापूर, कुडनकुलम
रिन्यूएबल पॉवर प्लांट	सौर, पवन, बायोमास, ज्वारी, भू-औष्णिक अशा अक्षय स्रोतांवर आधारित.	कमुथी सोलर, मुप्पंडल विंड फार्म
ब. ऊर्जरूपांतरणप्रक्रियेवरआधारितवर्गीकरण		
प्रकार	ऊर्जा रूपांतरण	
थर्मल प्लांट्स	केमिकल → थर्मल → मेकॅनिकल → इलेक्ट्रिकल	
हायड्रो प्लांट्स	पोटेन्शियल → मेकॅनिकल → इलेक्ट्रिकल	
न्यूक्लियर प्लांट्स	न्यूक्लियर → थर्मल → मेकॅनिकल → इलेक्ट्रिकल	
सोलर PV प्लांट्स	सोलर (रेडियंट) → इलेक्ट्रिकल	
क. लोडप्रकारावरआधारितवर्गीकरण (कार्यपद्धतीनुसार)		
प्रकार	कार्य	
बेस लोड प्लांट	सतत कार्यरत असते, मुख्य मागणी भागवते.	
पीक लोड प्लांट	केवळ उच्च मागणीच्या वेळी चालवले जाते.	
स्टँडबाय प्लांट	आपत्कालीन किंवा पुरवठा खंडित झाल्यास वापरले जाते.	
ड. स्थानावरआधारितवर्गीकरण		
अर्बन पॉवर प्लांट्स	लहान क्षमतेचे, गॅस किंवा रिन्यूएबल स्रोत वापरतात.	
रिमोट पॉवर प्लांट्स	मोठ्या क्षमतेचे, नैसर्गिक स्रोतांच्या जवळ असतात (जसे की हायड्रो, थर्मल).	
ई. प्राईममूव्हरच्याआधारेवर्गीकरण		
प्रकार	प्राईम मूव्हर	
स्टीम टर्बाइन प्लांट	वाफेने टर्बाइन चालवले जाते	
गॅस टर्बाइन प्लांट	गरम वायूंनी थेट टर्बाइन चालवली जाते	
हायड्रो टर्बाइन प्लांट	पाण्याने टर्बाइन ब्लेड फिरवले जातात	
इंटरनल कंबशन प्लांट	डिझेल किंवा गॅस इंजिन वापरले जाते	

1.7 पारंपरिक ऊर्जा प्रकल्पांमध्ये वापरले जाणारे इंधनाचे प्रकार आणि त्यांचे गुणधर्म

पारंपरिक ऊर्जा प्रकल्प उष्णता निर्माण करण्यासाठी ज्वलनक्षम इंधनावर अवलंबून असतात, ही उष्णता नंतर विद्युत ऊर्जेत रूपांतरित केली जाते. ऊर्जा प्रकल्पाचे कार्यक्षमता आणि अर्थकारण प्रामुख्याने वापरल्या जाणाऱ्या इंधनाच्या प्रकारावर, त्याच्या उष्मीय गुणधर्मावर, उपलब्धतेवर आणि खर्चावर अवलंबून असते. खाली पारंपरिक ऊर्जा प्रकल्पांमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या सामान्य इंधनांचे प्रकार दिले आहेत:

Table 1.10 Types of fuels & its use in conventional power plants

इंधनाचा प्रकार	वापरले जाते कुठे
कोळसा	थर्मल पॉवर प्लांट्समध्ये
तेल (फर्नेस / डिझेल)	डिझेल / गॅस टर्बाइन प्लांट्समध्ये
नैसर्गिक वायू	गॅस टर्बाइन व कम्बाइंड सायकलमध्ये
अणुऊर्जा इंधन	न्यूक्लियर पॉवर प्लांट्समध्ये

इंधनाचे गुणधर्म:

- कॅलोरिफिक व्हॅल्यू (Calorific Value): इंधनाच्या एकक वस्तुमान (घन/द्रव) किंवा एकक घनफळ (वायू) पूर्णतः जळल्यानंतर निर्माण होणारी उष्णता म्हणजे कॅलोरिफिक व्हॅल्यू. घन व द्रव इंधनासाठी याचे मोजमाप kJ/kg मध्ये आणि वायूसाठी kJ/m³ मध्ये केले जाते.
- फ्लॅशपॉइंट (Flash Point): इंधनाच्या वाफाईतक्या प्रमाणात बाहेर पडतात की त्या प्रज्वलन स्रोताच्या संपर्कात

आल्यास क्षणार्धत पेट घेतात, त्या तापमानाला फ्लॅशपॉइंट म्हणतात.

3. फायरपॉइंट (Fire Point): जेव्हा इंधनाच्या वाफा प्रज्वलना नंतर किमान 5 सेकंद सतत जळतात, ते किमान तापमान म्हणजे फायर पॉइंट.

4. प्रति kWh सापेक्षिक खर्च (Relative Cost per kWh): विशिष्ट इंधन किंवा ऊर्जास्रोत वापरून 1 किलोवॉट-तास (kWh) वीज निर्माण करण्याचा अंदाजे खर्च.

वेगवेगळ्या इंधन गुणधर्मांच्या आधारे इंधनांचे तुलनात्मक विश्लेषण:

Table 1.11 Comparison of Fuels based on Different Fuel Properties

इंधन प्रकार	कोळसा			तेल (Furnace)	डिझेल	नैसर्गिक वायू	न्यूक्लियर
	(लिग्नाइट)	(बिट्युमिनस)	(अँथ्रासाइट)				
कॅलोरिफिक व्हॅल्यू (kcal/kg किंवा m ³)	2,400 – 4,800 kcal/kg	5,700 – 8,400 kcal/kg	7,150 – 7,900 kcal/kg	10,000 kcal/kg	10,500 kcal/kg	9,000 – 10,000 kcal/m ³	अतिशय उच्च (8×10 ⁶ kcal/g)
फ्लॅश पॉइंट (°C)	लागू नाही	लागू नाही	लागू नाही	66 – 100°C	60°C	-188°C	लागू नाही
फायर पॉइंट (°C)	लागू नाही	लागू नाही	लागू नाही	120°C	80°C	-188°C	लागू नाही
खर्च (₹/kWh)	₹2.5 – ₹4	₹2.5 – ₹3.5	₹6 – ₹9	₹5 – ₹7	₹10 – ₹12	₹4 – ₹6	₹1 – ₹2
पर्यावरणीय प्रभाव	जास्त (CO ₂ , SO ₂ , राख)			मध्यम ते जास्त (SO ₂)	जास्त (NO _x , CO, CO ₂)	कमी (स्वच्छ इंधन)	अत्यल्प (radioacti ve waste)

TLO 1.1 Compare different power plants in India and the world

- List any four major types of conventional power plants operating in India and the world.
- Explain Indian energy demand & supply of conventional power plant & fuel resources available.
- Draw a pie chart showcasing Global energy consumption of conventional sources.
- Draw a pie chart showcasing Indian energy consumption of conventional sources.
- Compare conventional Resources of India with global on following parameters:
 - Percentage Share of Conventional Source
 - Coal Usage
 - Natural Gas Usage
 - Import Dependency

TLO 1.2 List various power corporations in India

- List any four government and private power generating corporations with power generating capacity in India.
- Describe major power generating corporations in India on following points
 - Installed Power Plants
 - Ownership wise Classification
 - Power generating Capacity
 - Conventional Energy Source

TLO 1.3 List the different criteria for site selection

- List any four advantages of a well selected site for steam power plant.
- List any four criteria for site selection for steam power plant.
- Explain Factors affecting site selection for a steam power plant.
- Explain Ideal site parameters for a steam power plant on following criteria
 - Fuel Availability
 - Water Source

Unit 2. मॉडर्न स्टीम पॉवर प्लांट

(Modern Steam Power Plant)

विषय निष्पत्ती(Course Outcomes)-

CO2: आधुनिक स्टीम पॉवर प्लांटची कार्यक्षमतेने आणि सुरक्षितपणे देखभाल करण्यासाठी संबंधित ज्ञान आणि कौशल्ये वापरने. (Apply relevant knowledge & skills to maintain a modern steam power plant efficiently and safely.)

घटक निष्पत्ती(Theory Learning Outcomes)

- TLO 2.1** आधुनिक स्टीम पॉवरप्लांटच्या लेआउटचे रेखाटन करणे. (Sketch the layout of modern steam powerplant.)
- TLO 2.2** स्टीम पॉवर प्लांटच्या वेगवेगळ्या घटकांचे काम स्पष्ट करणे. (Explain working of different components of steam power plant.)
- TLO 2.3** स्टीम पॉवर प्लांटच्या वेगवेगळ्या घटकांची कार्ये सांगणे. (State the functions of different components of steam power plant.)
- TLO 2.4** स्टीम पॉवर प्लांटच्या वेगवेगळ्या घटकांचे बांधकाम तपशील रेखाटन करणे. (Sketch the constructional details of different components of steam power plant.)
- TLO 2.5** इंधन-हाताळणी उपकरणे स्पष्ट करणे. (Illustrate the fuel-handling equipment.)
- TLO 2.6** राख-हँडलिंग सिस्टमच्या वेगवेगळ्या घटकांचे बांधकाम आणि कार्य स्पष्ट करणे. (Explain the construction and working of different components of ash-handling system.)
- TLO 2.7** फ्लाय अॅशचे विविध अनुप्रयोग लिहणे (Write the various applications of fly ash.)
- TLO 2.8** फीड वॉटर ट्रीटमेंटची उद्दीष्टे सांगणे. (State the objectives of feed water treatment.)
- TLO 2.9** दिलेल्या एफबीसी बॉयलरच्या स्केचेस कामकाजासह वर्णन करणे. (Describe with sketches working of the given FBC boilers.)
- TLO 2.10** विविध तापमानाचे बांधकाम आणि कार्य स्पष्ट करणे. (Explain the construction and working of various temperatures & feedwater control system.)

2.1 Modern Steam Power Plant-

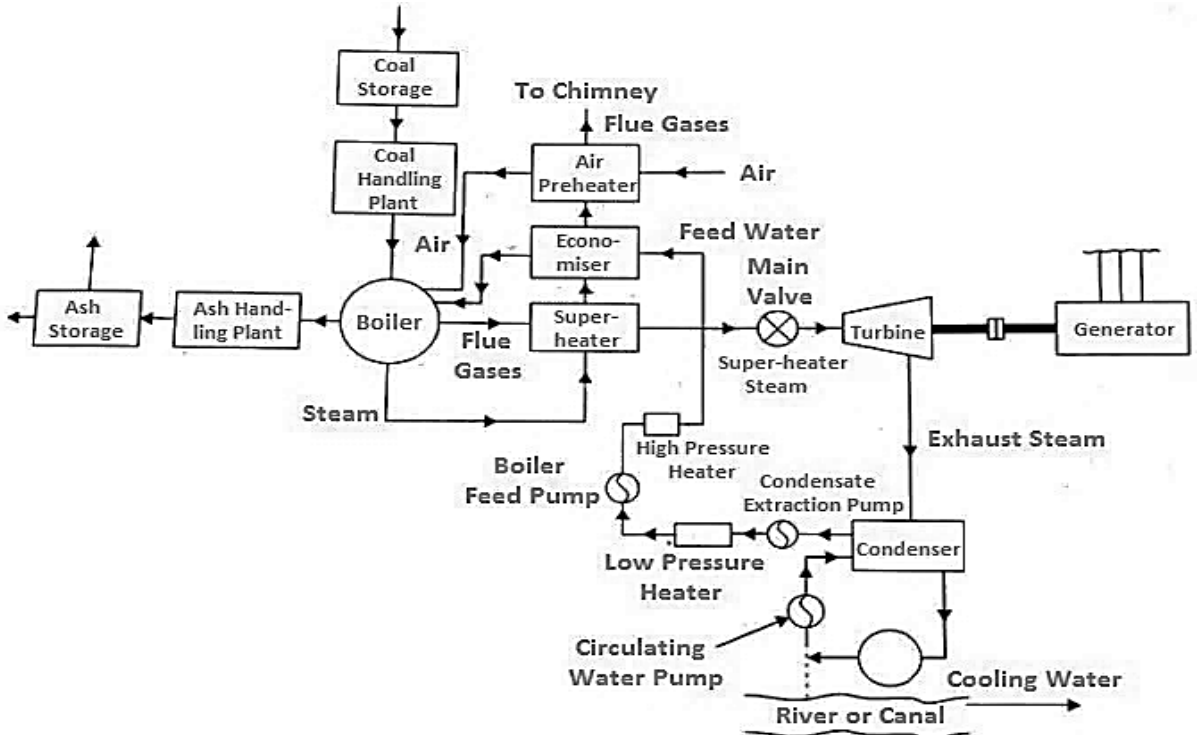


Figure 2.1 Layout of Modern Steam Power Plant

(Image courtesy – Website- https://www.theengineerspost.com/thermal-power-plant/#google_vignette)

लेआउटमध्ये चार महत्वाच्या प्रणालींचा समावेश आहे:

1. कोळसा आणि राख हाताळणी प्रणाली (Coal and ash handling system)
2. हवा आणि फ्ल्यू गॅस प्रणाली (Air and flue gas system)
3. फीड पाण्याची आणि वाफ निर्मिती प्रणाली (Feed water and steam generation system)
4. थंड पाण्याची प्रणाली (Cooling water system)

2.1.1 Coal and Ash Handling System

Coal साठवण यार्डमध्ये पोहोचते आणि आवश्यक हाताळणीनंतर fuel feeding device द्वारे furnace मध्ये जाते. जळल्यानंतर ash हे boiler च्या मागील बाजूस जमा होते आणि नंतर ash storage yard मध्ये नेले जाते.

2.1.2 Air and Flue Gas System

Air हे वातावरणातून forced draught fan किंवा induced draught fan च्या सहाय्याने घेतले जाते आणि ते air preheater मधून furnace मध्ये पाठवले जाते. यामध्ये air हे flue gases मुळे गरम केले जाते. हे flue gases पुढे preheater मधून chimney कडे जातात.

2.1.3 Feed Water and Steam Generation System

Condenser मधून बाहेर येणारे condensate प्रथम closed feed water heater मध्ये गरम केले जाते, जेथे turbine च्या सर्वात कमी pressure extraction point मधून घेतलेले steam वापरले जाते. Boiler मध्ये, कमी तापमान आणि जास्त तापमानाच्या water च्या घनतेतील फरकामुळे water ची वर्तुळाकार हालचाल होते. Boiler मधून येणारे wet steam हे नंतर superheater मध्ये गरम केले जाते.

2.1.4 Cooling Water Circuit

Condenser मध्ये कमी pressure राखण्यासाठी cooling water पुरवठा आवश्यक असतो. हे water नैसर्गिक स्रोतामधून घेतले जाऊ शकते.

2.2.1 Superheater

Construction: हे एक coil-type heat exchanger असते, ज्यामध्ये U-shaped किंवा serpentine steel tubes असतात, जे headers ला जोडलेले असतात. हे tubes गरम flue gases च्या संपर्कात येतात जेणेकरून उष्णता शोषली जाऊ शकेल.

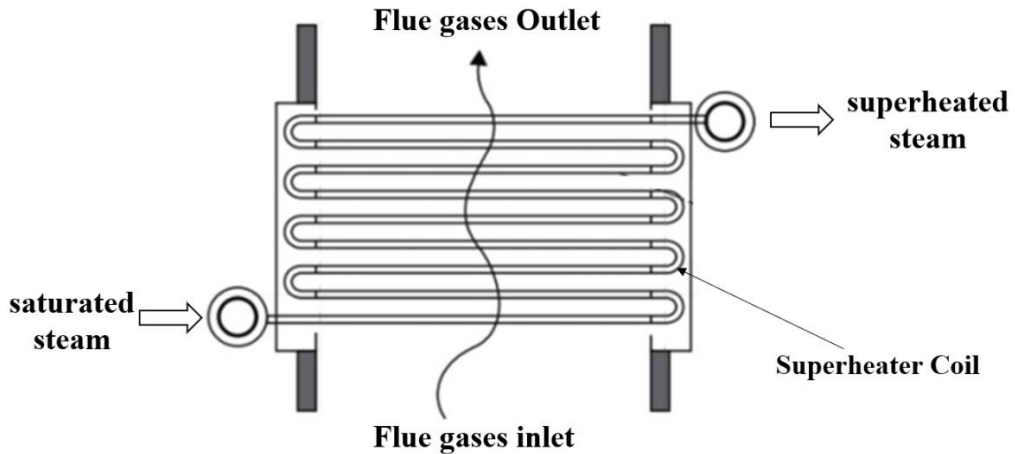


Figure 2.2 Superheater

(Image courtesy – Website- <https://makepipingeasy.com/what-is-a-boiler-economizer-why-he-is-very-important-in-thermal-power-plant/>)

Working: Boiler मधून येणारे saturated steam हे superheater tubes मधून जाते, जिथे ते flue gases मधून अधिक उष्णता शोषून घेते आणि त्याचे तापमान saturation point पेक्षा जास्त होते.

Function: Saturated steam चे रूपांतर superheated steam मध्ये करून turbine कार्यक्षमता वाढवते आणि turbine मध्ये condensation होण्यापासून प्रतिबंध करते.

2.2.2 Air Preheater

Construction: हे एक heat exchanger असते जे flue gases मधील उष्णता combustion air मध्ये हस्तांतरित करते. हे rotary regenerative type किंवा tubular type असू शकते.

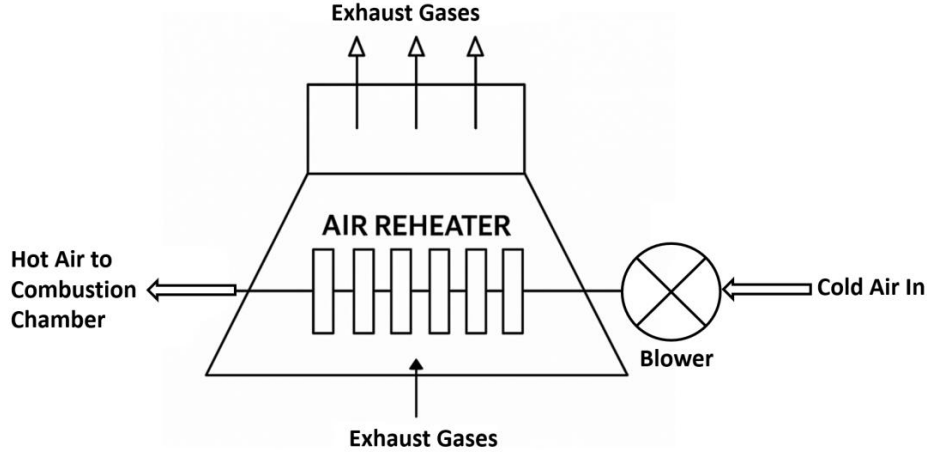


Figure 2.3 Air Preheater

Working: Flue gases हे air preheater मधून जातात, जिथे त्यातील उष्णता incoming air ला दिली जाते आणि त्यामुळे त्याचे तापमान वाढते जेणेकरून ते furnace मध्ये जाण्याआधी गरम होईल.

Function: Combustion air आधीच गरम केल्यामुळे combustion efficiency सुधारते, fuel utilization सुधारते आणि fuel consumption कमी होते.

2.2.3 Economizer

Construction: हे एक heat exchanger असते जे flue gas path मध्ये बसवलेले असते, सहसा air preheater च्या अगोदर, जेणेकरून उरलेली उष्णता पुन्हा वापरता येईल.

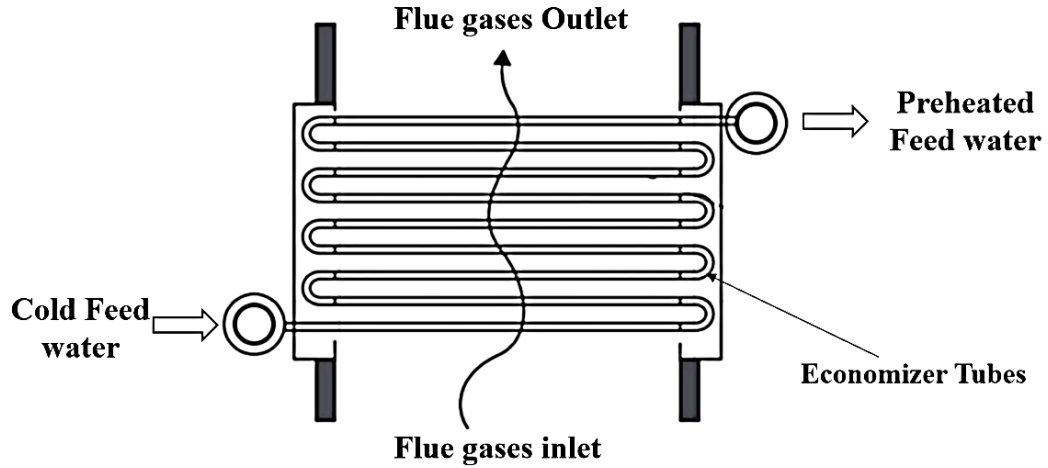


Figure 2.4 Economizer

(Image courtesy – Website- <https://makepipingeasy.com/what-is-a-boiler-economizer-why-he-is-very-important-in-thermal-power-plant/>)

Working: थंड feedwater हे economizer tubes मधून जाते आणि flue gases मधून उष्णता शोषून त्याचे तापमान वाढवते, जेणेकरून boiler मध्ये जाण्याआधी ते गरम होईल.

Function: Feedwater पूर्व-गरम केल्यामुळे boiler efficiency सुधारते, fuel consumption कमी होते आणि संपूर्ण यंत्रणेची कार्यक्षमता वाढते.

2.2.4 Feed Pump

Construction: हे यांत्रिक उपकरण असते, जसे की reciprocating किंवा rotary pumps, जे boiler मध्ये उच्च दाबाने feedwater पोहोचवण्यासाठी तयार केलेले असते.

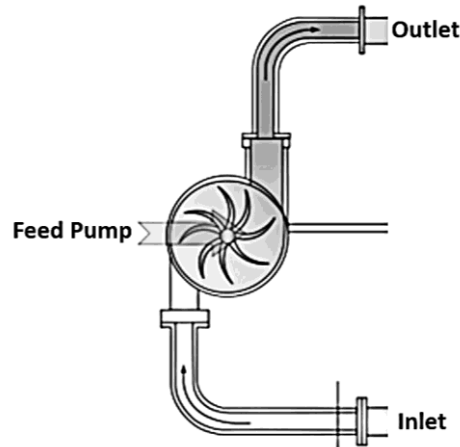


Figure 2.5 Feed pump

Working: Pump हे feedwater ला दाब देते आणि ते boiler मध्ये पोहोचवते, steam losses भरून काढते आणि आवश्यक water level राखते.

Function: Boiler साठी सतत feedwater ची पूर्तता करून, steam generation साठी आवश्यक water level टिकवते.

2.2.5 Electrostatic Precipitator (ESP)

Construction: हे एका मालिकेत लावलेल्या electrically charged plates किंवा tubes पासून बनलेले असते, जे flue gas मधील कणांना विद्युत भार देतात.

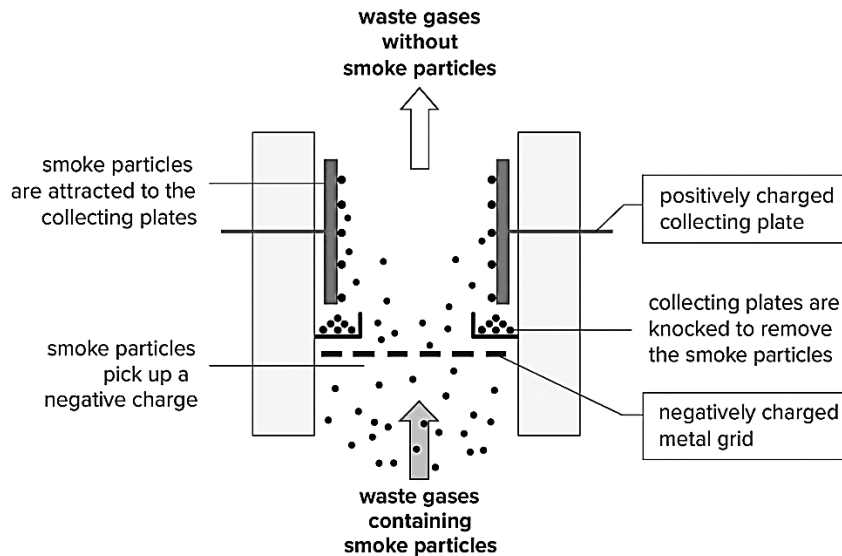


Figure 2.6 Electrostatic Precipitator

(Image courtesy – Website- <https://enviraj.com/envipedia/electrostatic-precipitator.html>)

Working: Flue gas मधील कण हे ionize होतात आणि विरुद्ध विद्युत भार असलेल्या collection electrodes कडे आकर्षित होतात, जिथे ते जमा होतात.

Function: Flue gases मधून अतिसूक्ष्म कण काढून टाकतो, त्यामुळे air pollution कमी होते आणि पर्यावरणीय उत्सर्जन मानकांची पूर्तता होते.

2.2.6 स्टीम ट्रॅप (Steam Trap)

Steam trap हे एक स्वयंचलित valve आहे जे steam system मधून condensate आणि non-condensable gases बाहेर टाकते, पण live steam बाहेर जाण्यापासून रोखते. Steam trap नीट कार्यरत राहिल्यास energy efficiency टिकते, water hammer टाळता येतो आणि steam equipment ची आयुष्य वाढते.

Functions of Steam Traps

1. **Condensate Removal:** Steam system मधून condensate प्रभावीपणे काढून टाकतो जेणेकरून पाण्याचा साठा होणार नाही.
2. **Air Venting:** Air आणि non-condensable gases बाहेर टाकतो, ज्यामुळे प्रणालीचा pressure आणि कार्यक्षमता योग्य राहते.
3. **Energy Conservation:** Live steam बाहेर जाण्यापासून वाचवतो, ज्यामुळे ऊर्जा बचत होते आणि खर्च कमी होतो.
4. **Protection of Equipment:** Water hammer आणि corrosion टाळतो, ज्यामुळे steam equipment चे आयुष्य वाढते.

रचना आणि कार्य

Construction: Steam trap मध्ये सामान्यतः valve mechanism, body housing, आणि actuator किंवा sensing element असतो. Actuator हे तापमान, दाब किंवा घनतेतील बदलांवर प्रतिक्रिया देतो आणि valve चं नियंत्रण करतो.

Working Principle: Steam traps हे steam आणि condensate मधील फरकावर आधारित कार्य करतात. जेव्हा condensate साठतो तेव्हा trap उघडतो आणि ते बाहेर टाकतो. Steam आल्यावर trap बंद होतो आणि steam बाहेर जाणे थांबते.

Types of Steam Traps

i) **Mechanical Steam Traps:** हे steam आणि condensate च्या घनता आणि buoyancy सारख्या भौतिक गुणधर्मांवर आधारित असतात.

a) **Inverted Bucket Trap:** यामध्ये उलटे टाकीचे स्वरूप असते जे condensate वर तरंगते. Condensate साठल्यावर bucket वर उठतो आणि valve उघडतो. Steam आल्यावर bucket खाली बसतो आणि valve बंद होतो.

b) **Float & Thermostatic (F&T) Trap:** यामध्ये float mechanism असतो जो condensate बाहेर टाकतो आणि एक thermostatic element असतो जो air आणि non-condensable gases काढून टाकतो.

ii) **Thermostatic Steam Traps:** हे temperature changes वर आधारित काम करतात, जिथे घटक expand किंवा contract होतात.

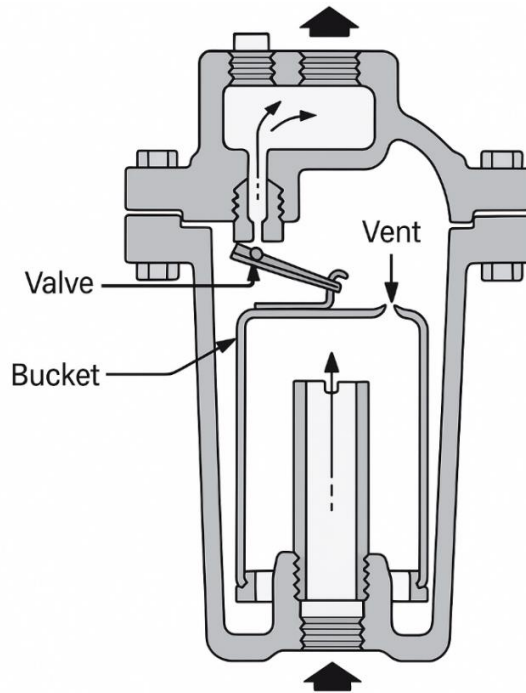


Figure 2.7 Inverted Bucket Trap

(Image courtesy – Website- <https://www.littlepeng.com/single-post/2017/05/15/steam-traps>)

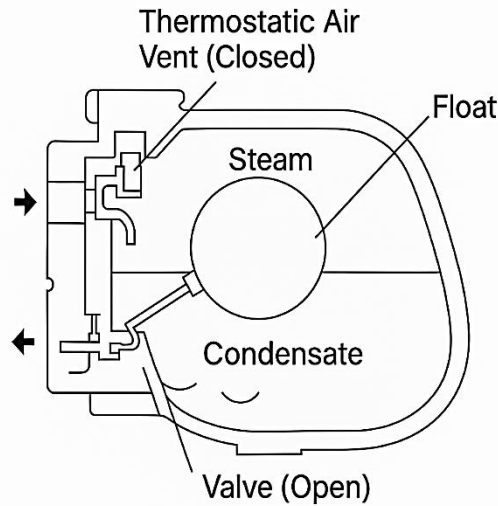


Figure 2.8 Float & Thermostatic (F&T) Trap

(Image courtesy – Website-<https://processphase.com/steam-traps/>)

a) **Bimetallic Trap:** यामध्ये bimetallic strip असते जी तापमान बदलानुसार वाकते आणि valve उघडते किंवा बंद करते. Superheated steam साठी योग्य.

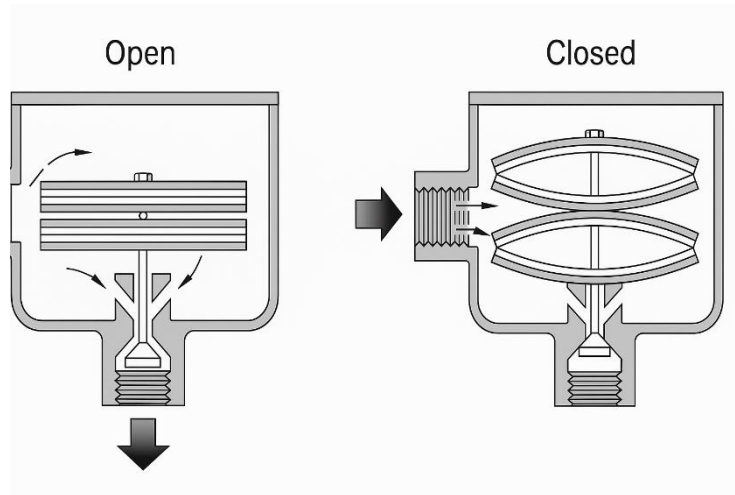


Figure 2.9 Bimetallic Trap

(Image courtesy – Website-<http://www.goolevalve.com/news/news-detail-18.html>)

b) **Liquid Expansion Trap:** यामध्ये एक liquid-filled element असतो जो गरम झाल्यावर expand होतो आणि valve उघडतो.

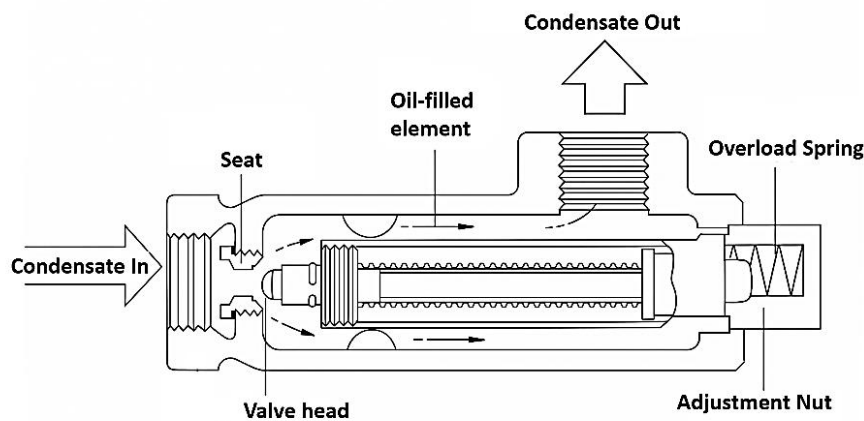


Figure 2.10 Liquid Expansion Trap

(Image courtesy – Website-https://www.wermac.org/steam/steam_part5.html)

c) **Balanced Pressure Trap:** यामध्ये bellows किंवा diaphragm असतो जो तापमान बदलांवर प्रतिक्रिया देतो आणि condensate discharge वर अचूक नियंत्रण ठेवतो.

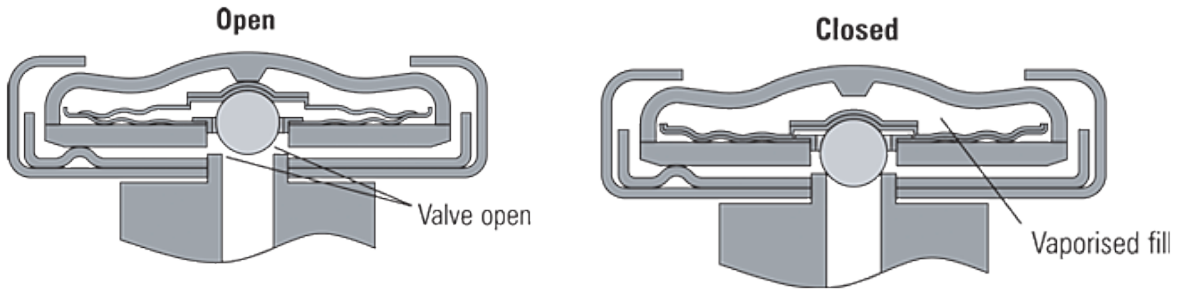


Figure 2.11 Balanced Pressure Trap

(Image courtesy – Website-<https://www.pipingengineer.org/balanced-pressure-steam-trap/balanced-pressure-steam-trap-working/>)

iii) **Thermodynamic Steam Traps:** हे steam आणि condensate च्या dynamic effects वर आधारित असतात, जसे की Bernoulli's principle.

a) **Disc Trap:** यामध्ये एक disc असतो जो pressure fluctuations मुळे वर-खाली होतो आणि condensate लवकर बाहेर टाकतो. हे compact असतात आणि water hammer व corrosion सहन करू शकतात.

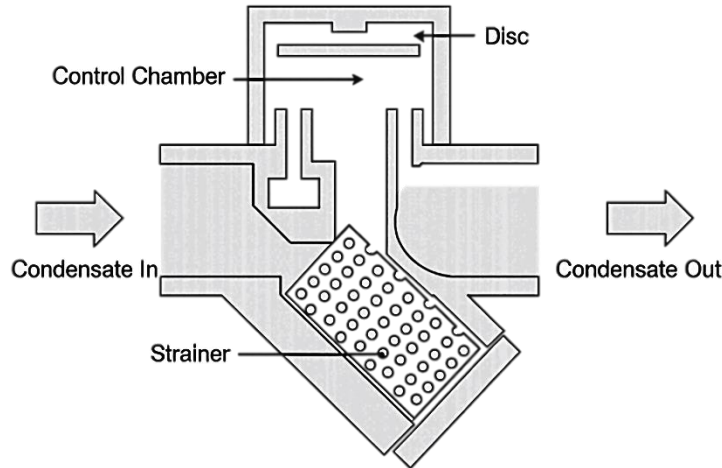


Figure 2.12 Disc Trap

(Image courtesy – Website-<https://mepacademy.com/how-steam-traps-work/>)

b) **Impulse Trap:** यामध्ये flash steam च्या kinetic energy चा वापर करून valve चालवले जाते. हे high efficiency आवश्यक असलेल्या ठिकाणी वापरले जातात जिथे differential pressure उपलब्ध असतो.

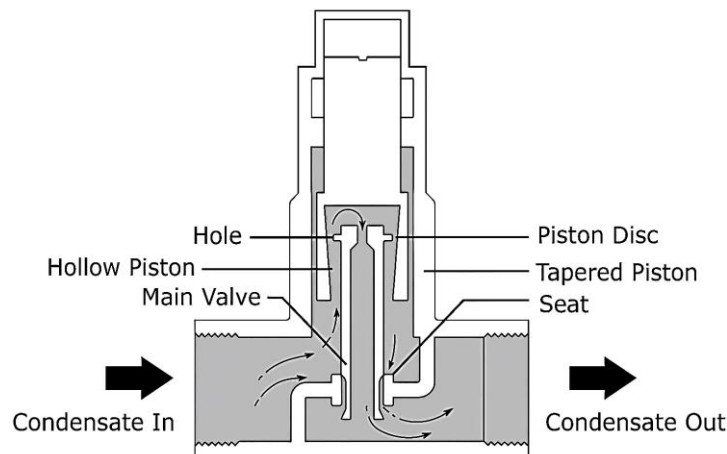


Figure 2.13 Impulse Trap

(Image courtesy – Website-<https://ntgdvalve.com/thermodynamic-steam-trap/>)

2.3.1 Coal Handling Layout

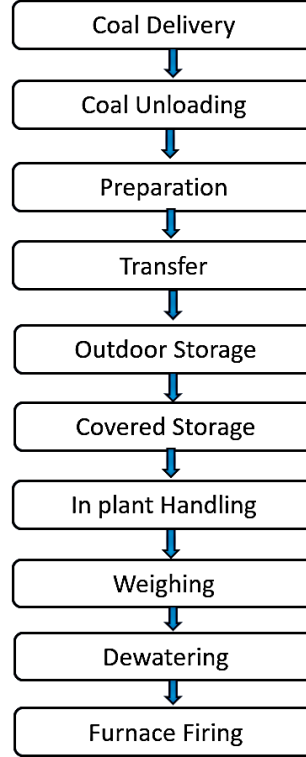


Figure 2.14 Coal Handling Layout

1. **Coal Delivery:** Power plant जर समुद्र किंवा नदी जवळ असेल, तर कोळसा ships किंवा boats ने आणला जातो. दूरवर असलेल्या power stations साठी कोळसा rail किंवा trucks ने पाठवला जातो. Railway सुविधा उपलब्ध नसल्यास trucks वापरले जातात.
2. **Coal Unloading:** कोळसा power station मध्ये कसा येतो यावर unloading equipment अवलंबून असते. Trucks ने कोळसा आल्यास ते थेट outdoor storage मध्ये dump करता येतो. Railway wagons, ships किंवा boats ने आल्यास rotary car dumpers, cranes किंवा grab buckets वापरले जातात. Rotary car dumpers महाग असले तरी ते closed wagons साठी अधिक कार्यक्षम असतात.
3. **Preparation:** जर कोळसा मोठ्या lumps मध्ये असेल आणि योग्य आकाराचा नसेल, तर crushers, breakers, size driers आणि magnetic separators वापरून sizing केले जाते.
4. **Transfer:** Transfer म्हणजे unloading point पासून final storage point पर्यंत कोळशाचे स्थानांतरण. येथून कोळसा firing equipment कडे पाठवला जातो. Coal transfer साठी खालील उपकरणे वापरली जातात:
 - a. Belt conveyors
 - b. Screw conveyors
 - c. Bucket elevator and conveyor
 - d. Pivoted bucket conveyor
 - e. Grab bucket conveyor
 - f. Flight conveyors (or scrapers)
 - g. Skip hoists
 - h. Mass flow conveyor
5. **Outdoor Storage:** Outdoor storage ला dead storage असेही म्हणतात. यामध्ये कोळसा मोकळ्या जागेत जमिनीवर किंवा concrete surface वर साठवला जातो. कोळसा किती साठवायचा हे खालील गोष्टींवर अवलंबून असते:
 - a. Storage space उपलब्धता
 - b. Transportation facilities

- c. कोळशाची नासाडी
- d. Coal mines पासूनची अंतर: जिथे collieries दूर आहेत तिथे एका महिन्याचा कोळसा साठवतात, आणि जवळ असल्यास 15 दिवसांचा. जास्त काळ साठवणे फायदेशीर नसते कारण capital block होते आणि coal quality कमी होते.
6. **Covered Storage:** कोळसा झाकलेल्या जागेत साठवला असल्यास त्याला Covered Storage किंवा Live Storage म्हणतात. Live coal storage मधून कोळसा एका आठवड्याच्या आत वापरला जातो. या कोळशाला mobile equipment शिवाय थेट combustion equipment ला पुरवले जाते. कोळसा vertical cylinder bunkers मध्ये साठवला जातो. येथून boiler grate वर तो पोहोचवला जातो.
7. **In-plant Handling:** हे dead किंवा live storage मधून boiler furnace कडे कोळसा पाठवण्यास संदर्भित आहे. इथेही belt conveyors, screw conveyors, bucket elevators वापरले जातात.
8. **Weighing:** कोळसा मोजण्यासाठी खालील पद्धती वापरतात
 - i) Mechanical – Lever system आणि knife edges वर आधारित
 - ii) Pneumatic – Pneumatic transmitter weight head वापरून
 - iii) Electronic – Load cells जे voltage signals तयार करतात
9. **Dewatering:** कोळशातील जास्तीचा surface moisture त्याची heating value कमी करतो आणि handling problems निर्माण करतो. Dewatering केल्याने खालील फायदे होतात
 - a) Heating value सुधारतो
 - b) Crushing आणि pulverizing सुलभ होते
 - c) Handling आणि transportation सोपे होते
 - d) Boiler performance सुधारतो
 - e) Ash handling कमी होते
10. **Furnace Firing:** शेवटी, कोळसा furnace मध्ये fire केला जातो.

2.3.2 Ball Mill Pulverizer

Ball Mill Pulverizer हे एक horizontal rotating drum असते जे steel किंवा ceramic balls ने अंशतः भरलेले असते. कोळसा एका टोकातून या drum मध्ये प्रवेश करतो. Drum हळूहळू फिरल्यावर, balls कोळशावर पडतात व त्याला बारीक powder मध्ये crush आणि grind करतात.

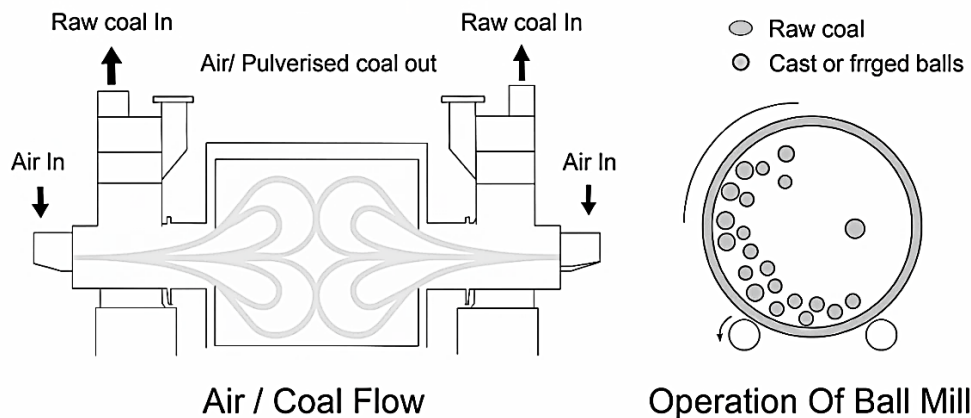


Figure 2.15 Ball Mill Pulverizer

(Image courtesy – Website-<https://coalhandlingplants.com/pulveriser-bowl-mill-ball-mil/>)

Process of Pulverization

कोळसा ball mill मध्ये central inlet pipe मधून टाकला जातो. Gravity च्या साहाय्याने कोळसा mill च्या तळाशी पोहोचतो, जिथे grinding table आणि काही heavy rollers त्याला बारीक particles मध्ये pulverize करतात. कोळशाचे हे particles, air inlet मधून आलेल्या hot air बरोबर मिसळतात आणि classifier कडे नेले जातात. Classifier हे coal particles चे आकारानुसार separate करते व मोठ्या आकाराचे particles पुन्हा mill मध्ये

grinding साठी पाठवते. Coal particles शिवाय असलेली clean air ही air outlet मधून बाहेर टाकली जाते.

Ball Mill मधील Pulverization चे फायदे

1. More efficient combustion: कोळसा बारीक powder मध्ये pulverize केल्यामुळे सर्व particles समानरित्या burn होतात, ज्यामुळे boiler efficiency सुधारते, emissions कमी होतात आणि fuel cost देखील कमी होते.
2. Enhanced drying and heating: Coal pulverization मुळे surface area वाढते, त्यामुळे कोळसा लवकर व प्रभावीपणे dry आणि heat होतो.
3. Increased availability and reliability: कोळशाचे बारीक powder केल्यामुळे तो साठवणे, वाहतूक करणे सोपे होते. यामुळे combustion issues किंवा explosions ची शक्यता कमी होते व coal system अधिक reliable बनतो.

2.4.2 Types of Ash Generated in Thermal Power Plant

Fly Ash – सुमारे 80% ash ही fly ash स्वरूपात असते. ही very fine particles मध्ये असते आणि economiser hopper, air-preheater hopper आणि electrostatic precipitator (ESP) च्या माध्यमातून गोळा केली जाते.

Bottom Ash – ही ash, furnace च्या तळाशी निर्माण होते. ही total ash च्या सुमारे 20% असते. Bottom ash सहसा coarse असते, म्हणून तिचे crushing करणे आवश्यक असते.

2.4.3 Fly Ash Handling System

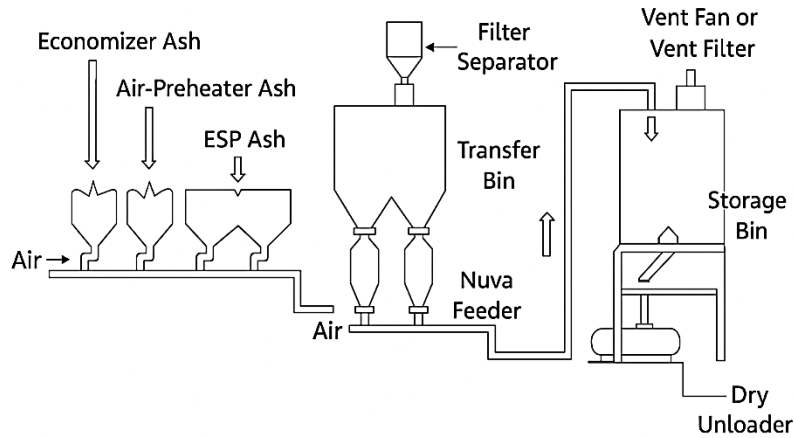


Figure 2.16 Fly Ash Handling System

Fly ash ही flue gases मधून economiser, air-preheater, आणि ESP च्या मदतीने कॅप्चर व काढली जाते. ही fly ash नंतर pneumatic transport द्वारा storage silo मध्ये नेली जाते, जिथून ट्रकने ती पुढील वापरासाठी पाठवली जाते.

2.4.4 Bottom Ash Handling System

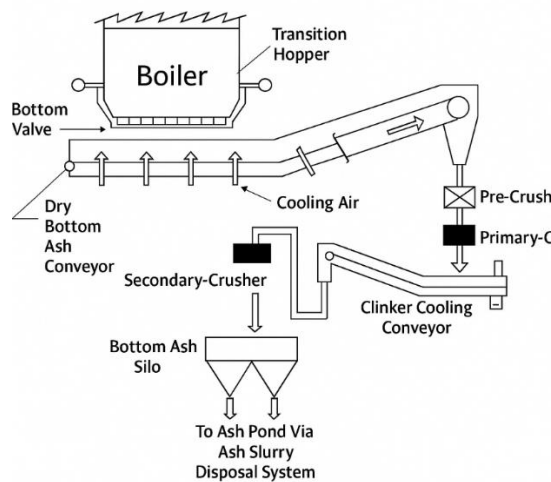


Figure 2.17 Bottom Ash Handling System

(Image courtesy – Website-<https://coalhandlingplants.com/ash-handling-system-in-thermal->

power-plant/)

Bottom ash, furnace boiler च्या खाली असलेल्या bottom hopper मध्ये जमा होते. तिचा coarse स्वभाव असल्यामुळे, ती प्रथम clinker grinders ने crush केली जाते. त्यानंतर ती bottom ash silo किंवा ash pond मध्ये slurry स्वरूपात पाठवली जाते.

2.4.5 Components used in the Ash Handling System

1. Hoppers – Furnace bottom किंवा flue gas stream मधून ash गोळा करतात.
2. Conveyors – Ash ला hoppers मधून storage silos किंवा disposal sites पर्यंत नेतात.
3. Pumps – Ash slurry ला sump मधून disposal areas कडे हलवतात.
4. Silos – अंतिम disposal किंवा reuse होईपर्यंत ash साठवतात.
5. Disposal sites – Ash ponds, landfills किंवा recycling zones.
6. Crushers – Bottom ash चा आकार कमी करतात.
7. Filters – Pneumatic system मधील dust काढून टाकतात.
8. Valves – Ash आणि air flow नियंत्रित करतात.
9. Ash Conditioners – Ash मध्ये पाणी मिसळून dust emission कमी करतात.
10. DCS & PLCs – संपूर्ण ash handling system चे नियंत्रण आणि देखरेख करतात.

2.4.6 Fly Ash चे उपउत्पादन स्वरूपातील उपयोग

1. Fly ash चा वापर Concrete & Cement Industry मध्ये करतात.
2. Fly ash चा वापर हलके आणि मजबूत bricks आणि blocks तयार करण्यासाठी केला जातो.
3. Fly ash चा वापर रस्ते बांधकाम आणि भरावासाठी माती स्थिरीकारक व भराव म्हणून केला जातो.
4. Fly ash चा वापर रिकाम्या खाणी भरून काढण्यासाठी आणि भूमी स्थिरीकरणासाठी केला जातो.
5. Fly ash चा वापर मातीची गुणवत्ता आणि सुपीकता वाढवण्यासाठी केला जातो.
6. Fly ash चा वापर Tiles तयार करताना कच्चा माल म्हणून केला जातो.

2.5.1 Feed Water Treatment

Feedwater treatment चे उद्दिष्ट boiler मध्ये जाण्यापूर्वी पाण्याचे शुद्धीकरण करणे हे आहे, ज्यामुळे scaling, corrosion आणि कार्यक्षमता कमी होणे यासारख्या समस्या टाळता येतात.

2.5.2 Objectives of Feedwater Treatment

1. Scaling टाळणे
2. Corrosion कमी करणे
3. उपकरणांची कार्यक्षमता वाढवणे
4. Boiler water quality टिकवणे

2.5.3 Parameters of Feed Water

1. Total Hardness – याचे मुख्य कारण calcium व magnesium आयन्स असते. Boiler feedwater मध्ये hardness खूप कमी असते (2.0 ppm पेक्षा कमी).
2. pH – Slightly alkaline pH (~8.5) ठेवल्याने corrosion टाळता येते व chemical treatment सुद्धा सुलभ होते.
3. TDS (Total Dissolved Solids) – पाण्यातील dissolved salts, minerals, आणि इतर पदार्थ याचे प्रमाण. TDS जास्त असल्यास scaling आणि corrosion होण्याची शक्यता वाढते. RO systems साठी TDS 100-2000 ppm दरम्यान असणे योग्य.

2.6 Fluidized Bed Combustion Boiler

Fluidized Bed – अशा bed ला fluidized bed म्हणतात ज्यामध्ये ठोस कण हे द्रवसदृश वागतात.

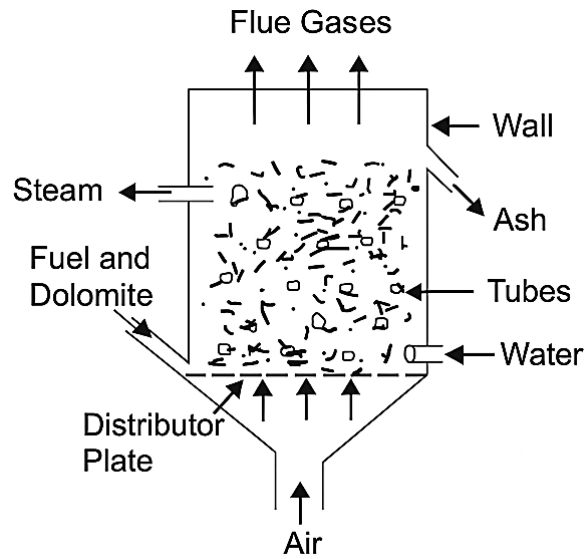


Figure 2.18 Fluidized Bed Combustion Boiler

(Image courtesy – Website-[https://www.brainkart.com/article/Fluidised-Bed-Combustion-\(FBC\)_5629/](https://www.brainkart.com/article/Fluidised-Bed-Combustion-(FBC)_5629/))

2.6.1 Need for a Fluidized Combustion Chamber

1. भारतामध्ये मोठ्या प्रमाणावर coal उपलब्ध आहे, पण त्याची quality poor असते (जास्त ash व sulphur content).
2. FBCB मध्ये कोणतेही fuel जळवता येते – अगदी 70% ash असलेला कोळसा, oil, gas, व Municipal Waste सुद्धा.
3. Desulphurization सुधारते.
4. Exhaust emissions कमी होतात.
5. Boiler ची size लहान होते.

2.6.2 Types of Fluidized Bed Combustion Boilers

1. Circulating Fluidized Bed Combustion Boiler (CFBCB)
2. Pressurized Fluidized Bed Combustion Boiler (PFBCB)

1. Circulating Fluidized Bed Combustion Boiler (CFBCB)

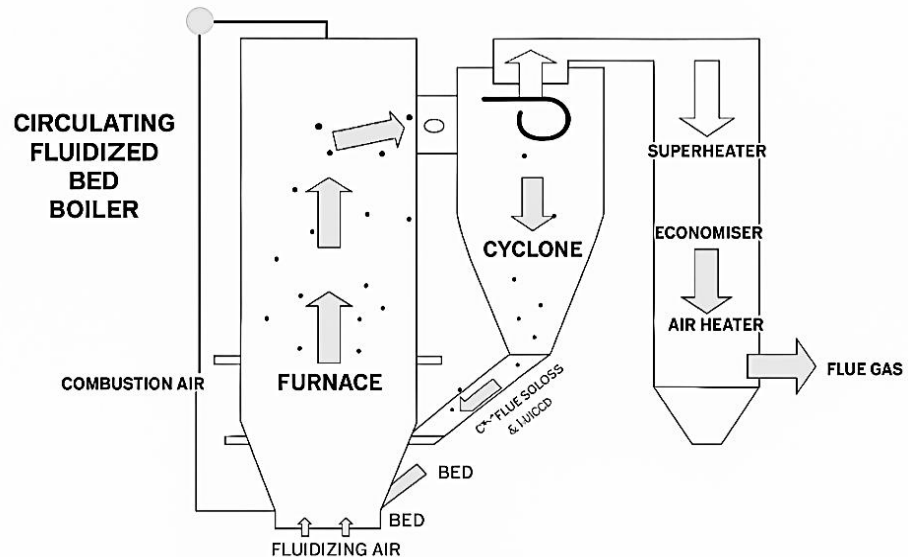


Figure 2.19 Circulating Fluidized bed combustion boiler (CFBCB)

(Image courtesy – Website-<https://www.brighthubengineering.com/power-plants/26547-how-does-a-circulating-fluidized-bed-boiler-work/>)

Boiler furnace च्या तळाशी inert material ची एक bed असते. त्यावर coal किंवा इतर fuel spread केला जातो. Primary air खालील बाजूने प्रेशरने दिला जातो, ज्यामुळे bed material व coal particles fluidized होतात. Combustion ही suspension मध्ये होते. Secondary air फर्नेसमध्ये विविध स्तरांवर दिला जातो. Cyclone separator मध्ये जाऊन partially burned coal, ash आणि bed material परत furnace मध्ये पाठवले जातात – म्हणूनच हे Circulating म्हणतात.

Advantages:

1. उच्च combustion व sulfur capture
2. सोपा coal feed system
3. कमी NOx emissions
4. लोडच्या बदलात लवचिकता

Disadvantages:

1. उच्च capital cost
2. जास्त complexity
3. जास्त startup time
4. Automation आवश्यक

2. Pressurized Fluidized Bed Combustion Boiler (PFBCB)

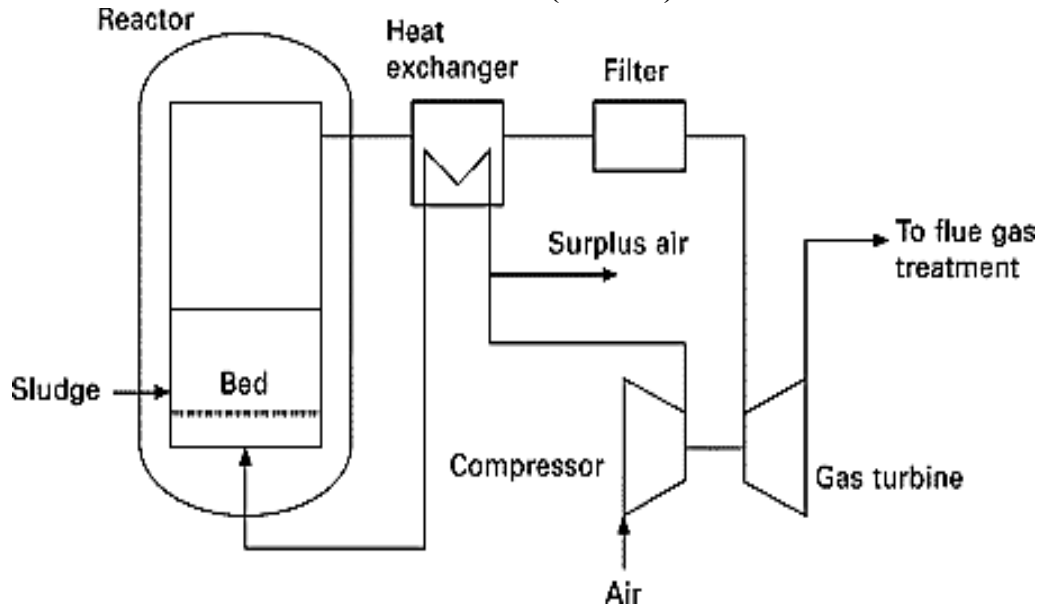


Figure 2.20 Pressurized Fluidized Bed Combustion Boiler

(Image courtesy-

Website,<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780857095411500157>)

Pressurized FBCB ही advanced प्रणाली आहे. यामध्ये सुमारे 10 bar दाबाने air दिला जातो, जो air compressor द्वारे निर्माण होतो. Fuel व limestone चा mixture दबावाखाली fluidized bed मध्ये दिला जातो. उर्वरित प्रक्रिया ही CFBCB प्रमाणेच असते.

Advantages:

1. प्रति m² जास्त coal loading
2. कमी NOx emissions
3. उच्च thermal efficiency
4. संपूर्ण प्रकल्पाचा आकार व खर्च कमी
5. चांगले desulphurization

Disadvantages:

1. जास्त capital cost
2. अधिक complex operation and maintenance
3. Heat-exchange surfaces चे erosion

2.7.1 Steam Temperature Control System

Steam temperature control ही एक अत्यंत महत्त्वाची आणि जटिल प्रक्रिया आहे, जी power plant मध्ये कार्यक्षमता टिकवण्यासाठी आवश्यक आहे.

Superheat temperature ची अचूक नियंत्रण प्रणाली असणे आवश्यक आहे कारण:

- a. Load मध्ये बदल झाल्यास तापमान बदलतो.
- b. Steam temperature कमी झाल्यास, plant efficiency घटते.
- c. जर तापमान design temperature पेक्षा जास्त गेले, तर superheater tubes, reheater tubes आणि turbine blades यांचे नुकसान होऊ शकते.

Methods (पद्धती):

1. Spray Attemperation (Desuperheating)
2. Gas Flow Control

1) Spray Attemperation (Desuperheating): ही पद्धत superheated steam चे तापमान कमी करण्यासाठी वापरली जाते. या पद्धतीत fine water droplets (अतिसूक्ष्म जलबिंदू) steam line मध्ये फवारले जातात.

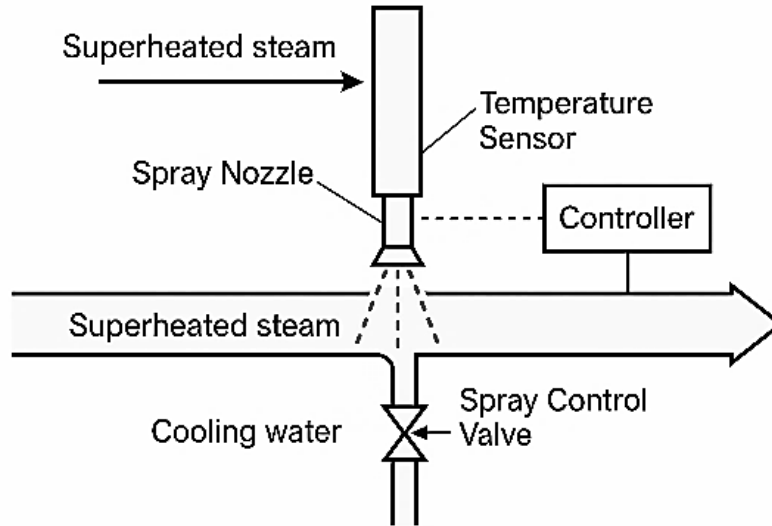


Figure 2.21 Spray Attemperator

Working (कार्यपद्धती):

1. Superheater मधून येणारा steam, desuperheater pipe मध्ये प्रवेश करतो.
2. एक temperature sensor वास्तविक steam temperature मोजतो.
3. जर तापमान सेट पॉइंट पेक्षा जास्त असेल, तर controller हे spray control valve ला सिग्नल देतो.
4. हे valve steam line मध्ये थोडेसे थंड पाणी फवारते.
5. हे पाणी steam मधील heat शोषून घेतो आणि वाफ होतो. त्यामुळे steam चे तापमान कमी होते.
6. हा प्रक्रिया closed loop मध्ये सातत्याने चालू राहतो.

Advantages (फायदे):

1. जलद आणि प्रभावी नियंत्रण
2. सोपा डिझाईन व देखभाल सुलभ
3. बदलत्या लोडसाठी उपयुक्त

2) Gas Flow Control: या पद्धतीत superheater tubes वरून जाणाऱ्या hot flue gases च्या प्रवाहावर नियंत्रण ठेवून steam temperature नियंत्रित केले जाते.

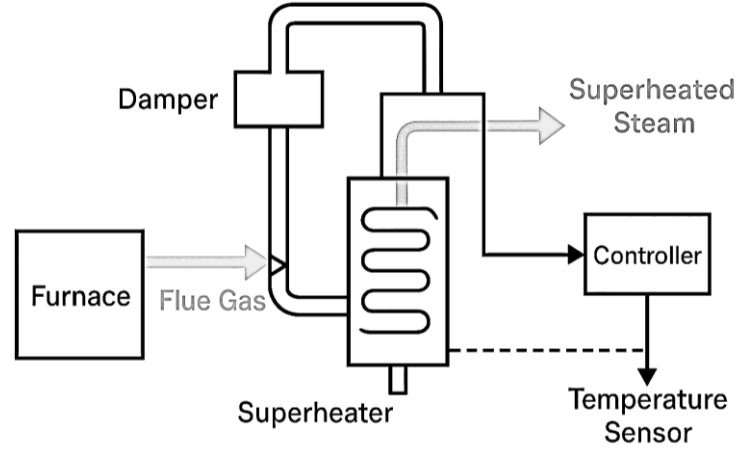


Figure 2.22 Gas Flow Control

Working (कार्यपद्धती):

1. Furnace मधून निघणाऱ्या hot flue gases, superheater tubes वरून जातात.
2. त्यामुळे steam चे तापमान वाढते.
3. Damper किंवा gas diverter चा वापर करून flue gas चा प्रवाह नियंत्रित केला जातो.
4. जर steam चे तापमान जास्त असेल, तर damper अंशतः बंद केला जातो, ज्यामुळे flue gas कमी होतो.
5. जर तापमान कमी असेल, तर damper उघडून अधिक flue gas प्रवाहित केला जातो.
6. अशा प्रकारे आवश्यक superheat steam temperature कायम ठेवले जाते.

Advantages (फायदे):

1. पाणी आणि स्टीम यांचा थेट संपर्क होत नाही
2. मोठ्या boilers साठी योग्य
3. लोड बदलांदरम्यान तापमान स्थिर ठेवतो

2.7.2 Boiler Feedwater Control System: Boiler Feedwater Control System चा उद्देश म्हणजे boiler drum मधील water level कायम ठेवणे, विशेषतः जेव्हा लोडमध्ये चढ-उतार होत असतो. ही प्रणाली Three Element Control System म्हणून ओळखली जाते कारण ती खालील तीन घटकांवर आधारित असते:

तीन घटक (Three Elements):

1. Drum Level – Boiler drum मधील वास्तविक पाण्याची पातळी
2. Steam Flow – Boiler मधून बाहेर पडणाऱ्या स्टीमचा प्रवाह दर
3. Feedwater Flow – Boiler drum मध्ये प्रवेश करणाऱ्या पाण्याचा प्रवाह दर

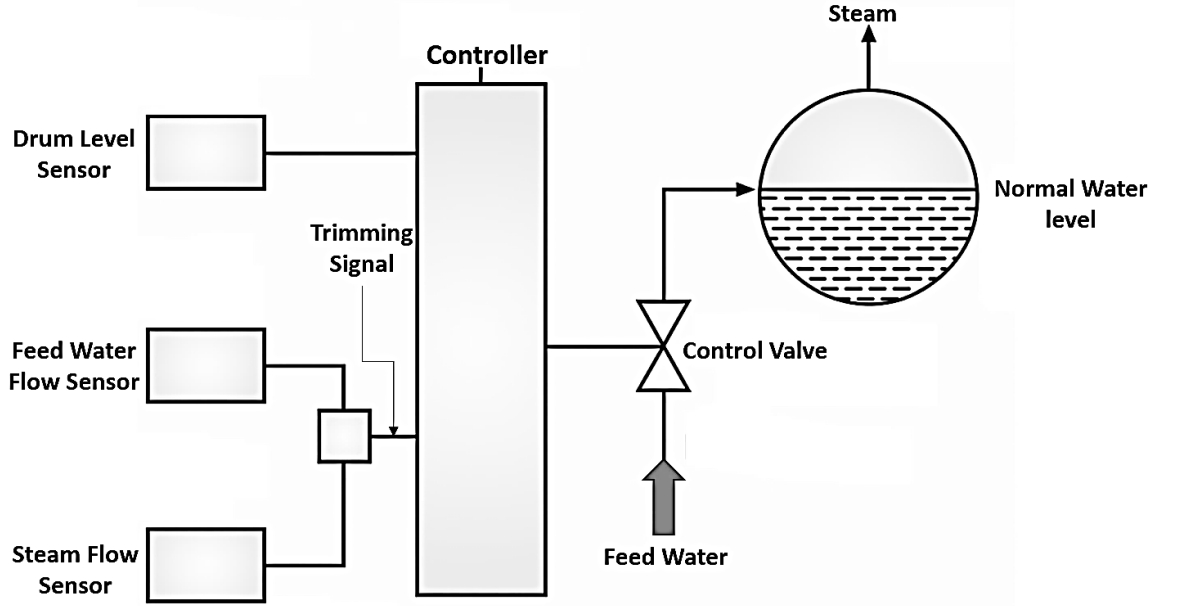


Figure 2.22 Boiler Feed Water Control

Working (कार्यपद्धती):

1. जेव्हा steam demand वाढते, तेव्हा steam flow वाढतो आणि त्यामुळे drum water level खाली येतो.
 - a. Controller हे बदल टिपतो आणि feedwater control valve उघडतो.
 - b. त्यामुळे जास्त feedwater drum मध्ये येते आणि पातळी स्थिर होते.
2. जर steam demand कमी झाली, तर steam flow कमी होतो आणि पाण्याची पातळी वाढते.
 - a. तेव्हा controller, feedwater flow कमी करतो जेणेकरून drum ओव्हरफ्लो होणार नाही.

ही प्रणालीतीनही घटकांपासून सतत फीडबॅकघेते आणि पाण्याची पातळी स्थिर ठेवते, जसे की लोड मध्ये अचानक बदल झाला तरीही.

Advantages (फायदे):

1. लोडमध्ये झालेल्या बदलांना जलद प्रतिसाद
2. Drum level ची चांगली स्थिरता
3. Thermal stress आणि carryover टाळतो
4. सुरक्षित आणि स्थिर ऑपरेशन
5. मॅन्युअल हस्तक्षेप कमी
6. संचालन कार्यक्षमतेत वाढ

Questions

TLO 2.1 Sketch the layout of modern steam power plant.

- 1) Name any four components in a modern steam power plant layout
- 2) State the function of the steam turbine in a steam power plant.
- 3) explain with a neat sketch the steam flow through different components in a power plant layout.
- 4) Draw the schematic layout of Steam power plant

LO 2.2 Explain working of different components of steam power plant.

- 1) List two devices used for heat recovery in a steam power plant.
- 2) State the purpose of Feed pump
- 3) State the purpose of steam traps in power plants.

TLO 2.3 State the functions of different components of steam power plant.

- 1) State the main purpose of a condenser in a steam power plant.

- 2) state the function of an air preheater.
- 3) State function of the superheater.
- 4) State the function of the Electrostatic Precipitator.

TLO 2.4 Sketch the constructional details of different components of a of steam power plant.

- 1) Explain the constructional features of thermostatic steam trap with a neat sketch
- 2) Illustrate Mechanical steam trap
- 3) Explain Bimetallic steam trap with neat sketch
- 4) Explain necessity of Steam trap in power plant

TLO 2.5 Illustrate the fuel-handling equipment.

- 1) Draw a flowchart representing the fuel transfer path from coal delivery to the furnace fire.
- 2) Explain with a neat sketch the Process of pulverization.
- 3) List any two Benefits of Coal Pulverization in the Ball Mill.

TLO 2.6 Explain the construction and working of different components of ashhandling system.

- 1) List the types of ash produced in a thermal power plant.
- 2) State the Function of the following component used in ash handling system
 - a) Hoppers
 - b) Crusher
 - c) Ash conditioner
 - d) Pump
- 3) Explain with a neat sketch the bottom ash handling system
- 4) Illustrate the fly ash handling system

TLO 2.7 Write the various applications of fly ash.

- 1) List any four commercial uses of fly ash.

TLO 2.8 State the objectives of feed water treatment.

- 1) State any four objectives of feed water treatment

TLO 2.9 Describe with sketches working of the given FBC boilers.

- 1) Explain with sketches the working of the circulating Fluidized bed combustion boiler.
- 2) Explain with sketches the working of the Pressurized Fluidized bed combustion boiler
- 3) List any two advantages and Disadvantages of circulating Fluidized bed combustion boiler.
- 4) List any two advantages and Disadvantages of the Pressurized Fluidized Bed Combustion Boiler

TLO 2.10 Explain the construction and working of the various temperatures & feedwater control systems.

- 1) Explain the construction and working of the Spray Attemperation System.
- 2) Explain with a neat sketch the Gas flow Control.
- 3) Illustrate the Boiler feedwater control system

Unit 3. गॅस ऊर्जा प्रकल्प आणि वाया जाणारी उष्णता पुनर्प्राप्ती (Gas Power Plant and Waste Heat Recovery)

विषय निष्पत्ती: दिलेल्या परिस्थितीत वायू विद्युत केंद्र आणि उष्णता पुनर्प्राप्ती प्रणालीशी संबंधित ज्ञान व कौशल्यांचा योग्य प्रकारे वापने. (Use knowledge and skills related to Gas Power Plant and Waste Heat Recovery properly in given situation.)

घटक निष्पत्ती

TLO 3.1: गॅस पॉवर प्लांटची लेआउट काढने. (Draw layout of gas power plant.)

TLO 3.2: गॅस पॉवर सायकलची यादी तयार करणे (List components of gas power cycle.)

TLO 3.3: गॅस टर्बाइन पॉवर प्लांटची कार्यक्षमता सुधारण्यासाठी वेगवेगळ्या पद्धतींची तुलना करणे. (Compare different methods for improving efficiency of gas turbine power plant.)

TLO 3.4: कचरा उष्णता पुनर्प्राप्ती प्रणालीची आवश्यकता स्पष्ट करणे. (Explain the need of waste heat recovery system.)

TLO 3.5: सहकार्याच्या कार्यरत तत्त्वासह वर्णन करणे. (Describe with sketches working principle of cogeneration.)

TLO 3.6: दिलेल्या उर्जा प्रकल्पांमध्ये ट्रायगिनरेशनचे वर्णन करणे. (Describe Trigenation in the given power plants.)

3.1 प्रस्तावना - टर्बाइन ऊर्जा केंद्र हे एक औष्णिक ऊर्जा केंद्र आहे जे नैसर्गिक वायूचा वापर करून वीज निर्माण करते. गॅस टर्बाइन ऊर्जा केंद्र इंधन जाळून निर्माण होणाऱ्या ऊर्जेचा वापर टर्बाइन फिरवण्यासाठी करते, ज्यामुळे पुढे वीज निर्माण होते. या प्रक्रियेमध्ये हवा संकुचित करणे, ती इंधनासोबत मिसळणे, मिश्रणाचे ज्वलन करणे आणि गरम निष्कासित वायूचा वापर जनरेटरला जोडलेले टर्बाइन फिरवण्यासाठी करणे यांचा समावेश होतो. ही ऊर्जा केंद्रे जलद सुरुवात, इंधनाची लवचिकता आणि उच्च पॉवर-टू-वेट रेशो यांसारखे फायदे देतात, ज्यामुळे ती विविध अनुप्रयोगांसाठी योग्य ठरतात. गॅस टर्बाइन विविध अभियांत्रिकी अनुप्रयोगांमध्ये, ज्यात वीज निर्मिती, विमानचालन आणि सागरी प्रणोदन यांचा समावेश आहे, महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावतात.

3.1.1 ब्रेटॉन सायकल: ब्रेटॉन सायकल, ज्याला ज्यूल सायकल असेही म्हणतात, ही एक मूलभूत उष्मागतिक सायकल (थर्मोडायनॅमिक सायकल) आहे जी गॅस टर्बाइन्सच्या कार्यप्रणालीचा पाया बनवते. यामध्ये हवा संकुचित करणे, स्थिर दाबावर उष्णता वाढवणे, गरम वायूचे प्रसरण करणे आणि नंतर स्थिर दाबावर तो थंड करणे समाविष्ट आहे. या सायकलमध्ये कंप्रेसर, ज्वलन कक्ष (Combustion Chamber) आणि टर्बाइन यांचा समावेश असतो. ब्रेटॉन सायकलमधील विविध प्रक्रिया खालीलप्रमाणे आहेत-

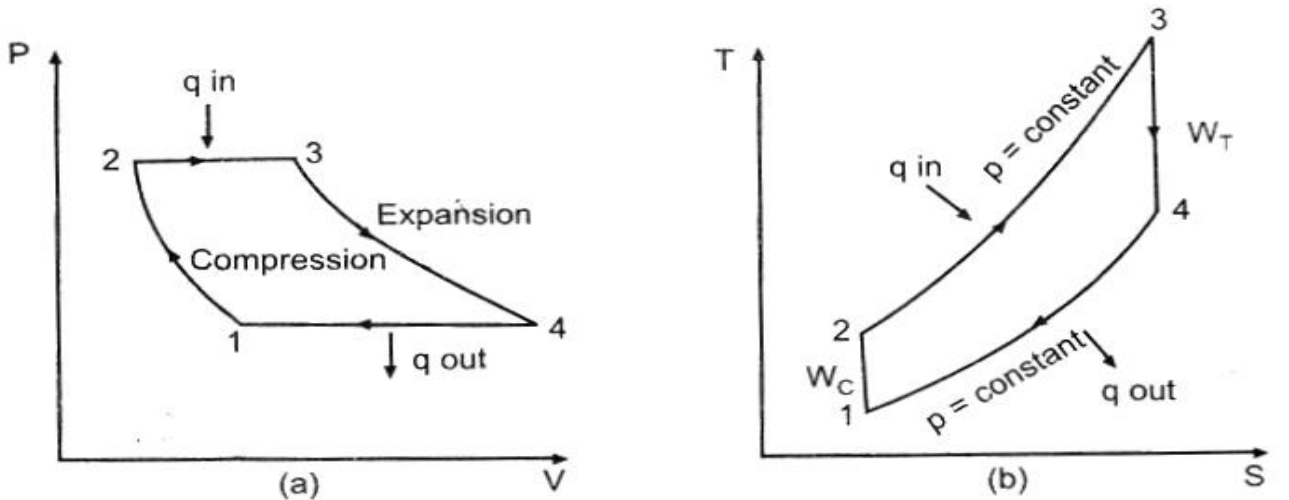


Figure 3.1. Brayton Cycle P-V and T-S diagram

(Image courtesy –Website - https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-Brayton-Cycle_fig1_350847529)

प्रक्रिया 1-2: कंप्रेसरमध्ये आयसेन्ट्रोपिक कॉम्प्रेसन होते, ज्यामुळे दाब P1 वरून P2 पर्यंत आणि तापमान T1 वरून T2 पर्यंत वाढते.

प्रक्रिया 2-3: स्थिर दाबावर उष्णता वाढवली जाते, ज्यामुळे तापमान T2 वरून T3 पर्यंत वाढते.

प्रक्रिया 3-4: उच्च दाब आणि तापमानावरून (P3 आणि T3) कमी दाब आणि तापमानापर्यंत (P4 आणि T4) हवेचे आयसेन्ट्रोपिक प्रसरण होते आणि यातून यांत्रिक कार्य मिळते.

प्रक्रिया 4-1: स्थिर दाबावर उष्मा बाहेर टाकला जातो ज्यामुळे मूळ स्थिती पुन्हा प्राप्त होते.

3.2 स्थिरदाबबंदसायकलगॅसटर्बाइन:

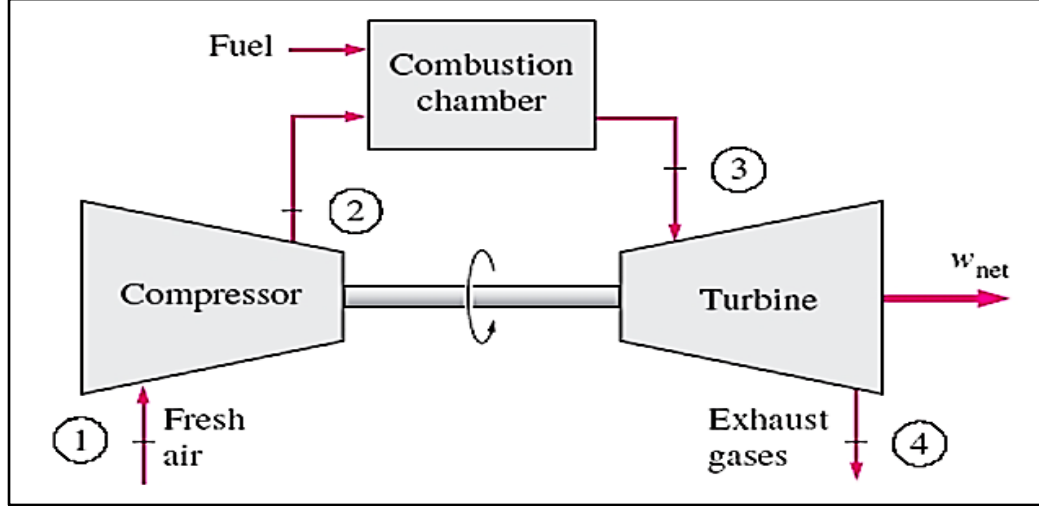


Figure 3.2 Open Cycle Gas Turbine

(Image courtesy –Website - <http://ascenttrust.com/BraytonCycle/BraytonCycle.html>)

रचना-ओपन सायकल गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पाचे मुख्य घटक खालीलप्रमाणे आहेत:

- (i) कंप्रेसर (ii) कम्बशन चेंबर (iii) टर्बाइन

कार्यप्रणाली-सुरुवातीला कंप्रेसर चालवण्यासाठी एका स्टार्टर मोटरची आवश्यकता असते. हा कंप्रेसर वातावरणातील हवा आत घेतो आणि ती संकुचित करतो. त्यानंतर ही संकुचित हवा कम्बशन चेंबरमध्ये पाठवली जाते. कम्बशन चेंबरमध्ये इंधन आत सोडले जाते आणि संकुचित हवेतील ऑक्सिजनच्या मदतीने ते प्रज्वलित केले जाते. या ज्वलन प्रक्रियेमुळे उच्च तापमान आणि उच्च दाबाचे गरम वायू तयार होतात. हे गरम वायू नंतर नोजलकडे पाठवले जातात, जिथे त्यांच्या स्थितीज ऊर्जेचे गतिज ऊर्जेमध्ये रूपांतर होते. त्यानंतर, अति वेगाने जाणारे हे गरम वायू टर्बाइनच्या पात्यांमधून विस्तारतात. वायू टर्बाइनच्या पात्यांवरून जाताना, त्यांच्या गतिज ऊर्जेचे यांत्रिक ऊर्जेमध्ये म्हणजेच कार्यात रूपांतर होते. टर्बाइनद्वारे निर्माण झालेल्या या यांत्रिक कामाचा काही भाग कंप्रेसरला चालवण्यासाठी वापरला जातो, ज्यामुळे चक्राचे (cycle) सतत कार्य सुनिश्चित होते. यांत्रिक कामाची उर्वरित मात्रा विद्युत ऊर्जा निर्माण करण्यासाठी वापरली जाते. यासाठी, जनरेटर टर्बाइनला जोडलेला असतो, जो यांत्रिक ऊर्जेचे उपयुक्त विद्युत ऊर्जेमध्ये रूपांतर करतो.

3.2.1 स्थिर दाब बंद सायकल गॅस टर्बाइन:

रचना:

बंद सायकल गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पाचे मूलभूत घटक खालीलप्रमाणे आहेत:

- (i) कंप्रेसर (ii) एअर हीटर (iii) टर्बाइन (iv) प्री-कूलर (v) हीट एक्सचेंजर

(i)

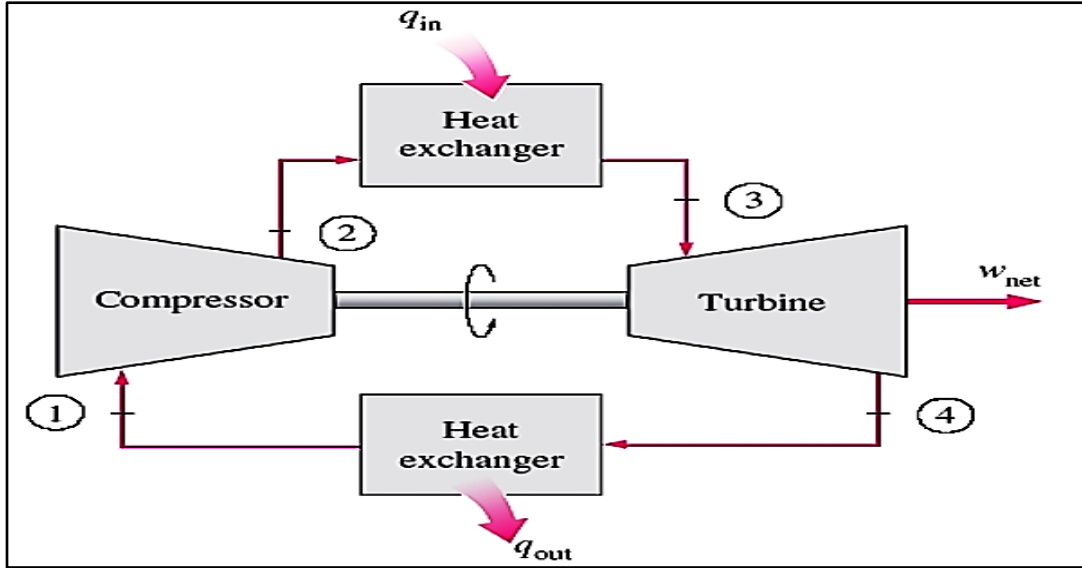


Figure 3.3 Closed Cycle Gas Turbine

(Image courtesy –Website - <http://ascenttrust.com/BraytonCycle/BraytonCycle.html>)

कार्यप्रणाली-

ओपन सायकल गॅस टर्बाइनमध्ये, ज्वलनशील वायू गॅस टर्बाइनमध्ये विस्तारतात ज्यामुळे टर्बाइनच्या पात्यांना गंज लागू शकतो. बंद सायकल गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पाचा वापर करून ही अडचण दूर केली जाते, कारण येथे इंधन संकुचित हवेच्या थेट संपर्कात येत नाही. कंप्रेसरमधील संकुचित हवा हीट एक्सचेंजरमधून आणि नंतर एअर हीटरमधून जाते. संकुचित हवा हीट एक्सचेंजरमध्ये प्रीहीट केली जाते आणि नंतर एअर हीटरमध्ये गरम केली जाते. एअर हीटरमधून बाहेर पडल्यानंतर, ही उच्च दाब असलेली गरम हवा टर्बाइन रोटारच्या पात्यांवर आदळते, जिथे ती सतत विस्तारत राहते. अशा प्रकारे, गरम हवेतील दाब ऊर्जेचे गतिज ऊर्जेमध्ये रूपांतर होते, ज्यामुळे टर्बाइन रोटार फिरतो आणि यांत्रिक कार्य निर्माण होते. हे प्राप्त झालेले यांत्रिक कार्य गॅस टर्बाइनचे आउटपुट असते, जे त्याच्या आउटपुट शाफ्टवर उपलब्ध असते. ज्वलन कम्बशन चेंबरमध्ये म्हणजेच टर्बाइनच्या बाहेर होत असल्यामुळे, गॅस टर्बाइनला बाह्य ज्वलन इंजिन असे म्हणतात.

टर्बाइनमधून बाहेर पडलेली गरम हवा हीट एक्सचेंजरमधून जाते, जेणेकरून ती काही प्रमाणात उष्णता एअर हीटरमध्ये प्रवेश करणाऱ्या संकुचित हवेला देऊ शकेल. यामुळे, हीट एक्सचेंजरमधून बाहेर पडणारी आणि एअर हीटरमध्ये प्रवेश करणारी हवा प्रीहीट होते. हीट एक्सचेंजरमधून गेल्यानंतरही कंप्रेसरमध्ये प्रवेश करणाऱ्या हवेमध्ये अजूनही काही उष्णता असते, त्यामुळे ती गरम असते. ही गरम हवा प्री-कूलरमध्ये थंड केली जाते आणि नंतर कंप्रेसरच्या इनलेटला परत पाठवली जाते. हे हवेला संकुचित करण्यासाठी लागणाऱ्या ऊर्जा वापरामध्ये कपात करण्यासाठी तसेच प्रत्येक सायकलमध्ये काही हवेचे पुनर्परिसंचरण करण्यासाठी केले जाते तीच हवा पुन्हा पुन्हा पुनर्परिसंचारित केली जात असल्यामुळे, या गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पाला बंद सायकल गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्प असे म्हणतात. जर टर्बाइनला इलेक्ट्रिक जनरेटर जोडलेला असेल, तर टर्बाइनच्या आउटपुटवर निर्माण झालेले यांत्रिक कार्य जनरेटरमध्ये विद्युत ऊर्जेमध्ये रूपांतरित केले जाऊ शकते. संपूर्ण सायकल स्थिर दाबावर पार पडते, म्हणूनच याला स्थिर दाब बंद सायकल गॅस टर्बाइन असे म्हणतात. एअर हीटरमध्ये, पाईपमधून वाहणाऱ्या संकुचित हवेला गरम करण्यासाठी इंधन मिसळले आणि जाळले जाऊ शकते. संकुचित हवा इंधनाच्या थेट संपर्कात येत नाही. या प्रकरणात, एअर हीटरला कम्बशन चेंबर असेही म्हटले जाऊ शकते. कंप्रेसरला सुरुवातीला चालवण्यासाठी एका स्टार्टिंग मोटरची आवश्यकता असते. टर्बाइनने शक्ती विकसित करण्यास सुरुवात करताच आणि त्याचा काही भाग कंप्रेसर चालवण्यासाठी पुरवण्यास सुरुवात करताच, स्टार्टिंग मोटर बंद केली जाते.

3.3 गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पाचे घटक:

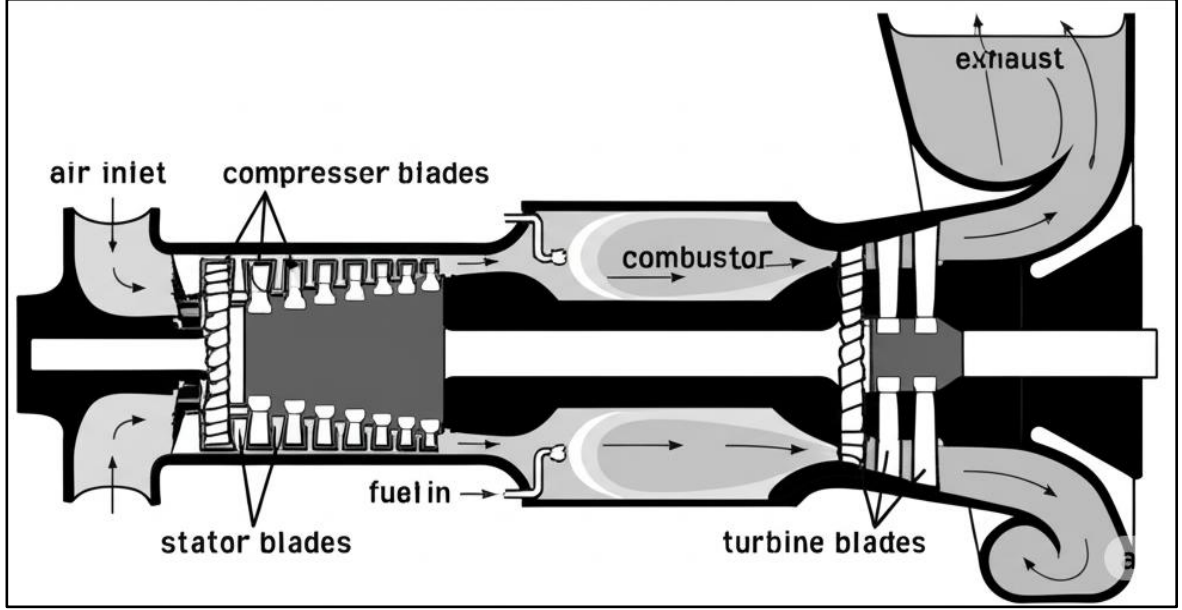


Figure 3.4 Gas Turbine Power Plant

(Image courtesy –Website - <https://cdn.britannica.com/76/24076-004-AFCC772A/gas-turbine-engine.jpg>)

- कम्प्रेसर:** कम्प्रेसर हे एक असे उपकरण आहे जे वायूला दाब देते. हा गॅस टर्बाइन प्रकल्पाचा एक महत्वाचा घटक आहे, कारण तो टर्बाइनच्या ऊर्जेचा मोठा भाग वापरतो आणि प्रकल्पाची एकूण कार्यक्षमता ठरवण्यात महत्वाची भूमिका बजावतो. सेंट्रीफ्यूगल आणि अॅक्सियल फ्लो कम्प्रेसर गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पांमध्ये वापरले जातात. **कार्य:** हे वातावरणातील हवा आत घेते आणि तिला उच्च दाबावर संकुचित करते. यामुळे हवेचे तापमान आणि घनता वाढते, ज्यामुळे ती ज्वलनासाठी अधिक योग्य होते.
- कम्बशन चेंबर:** हा प्रकल्पातील सर्वात महत्वाच्या घटकांपैकी एक आहे, कारण कम्प्रेसरमधून आलेली उच्च दाबाची हवा उच्च तापमानापर्यंत गरम होण्यासाठी यात प्रवेश करते. **कार्य:** या चेंबरमध्ये अत्यंत संकुचित हवा इंधनासोबत मिसळली जाते आणि प्रज्वलित केली जाते. या ज्वलनामुळे उच्च तापमान आणि उच्च दाबाचे वायू तयार होतात.
- गॅस टर्बाइन:** हे प्रकल्पाचे हृदय आहे. उष्ण, उच्च दाब आणि उच्च तापमानाची हवा टर्बाइनमधून जाते, ज्यामुळे गॅस टर्बाइनच्या पाल्यांवरील वायूंचे प्रसरण होते आणि ही पाते इच्छित यांत्रिक कार्य करण्यासाठी फिरतात. **कार्य:** कम्बशन चेंबरमधून आलेले उष्ण, उच्च दाबाचे वायू टर्बाइनच्या पाल्यांमधून प्रसरण पावतात, ज्यामुळे ती वेगाने फिरतात. वायू ऊर्जेचे रोटेशनल (यांत्रिक) ऊर्जेमध्ये हे रूपांतरण ही प्राथमिक ऊर्जा-उत्पादन पायरी आहे.
- जनरेटर:** गॅस जनरेटर त्याच शाफ्टवर टर्बाइनसोबत जोडलेला असतो. गॅस टर्बाइन, जे उच्च तापमान, उच्च दाबाचे वायू निर्माण करण्यासाठी इंधन जाळते, ते टर्बाइनची पाते फिरवते, ज्यामुळे जनरेटरचा शाफ्ट फिरतो. **कार्य:** जनरेटर टर्बाइनद्वारे तयार झालेल्या यांत्रिक ऊर्जेचे विद्युत ऊर्जेमध्ये रूपांतर करतो.
- स्टार्टिंग मोटर:** प्रकल्पाची सुरुवात करण्यापूर्वी कम्प्रेसर सुरू करण्यासाठी याचा वापर केला जातो. गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पात, इंजिनचे कार्य सुरू करण्यासाठी स्टार्टिंग मोटर महत्त्वपूर्ण आहे. **कार्य:** स्टार्टिंग मोटर कम्प्रेसरला फिरवते, जो टर्बाइन आणि अल्टरनेटरला जोडलेला असतो, ज्वलनासाठी आणि त्यानंतरच्या ऊर्जा निर्मितीसाठी आवश्यक असलेली प्रारंभिक संकुचित हवा प्रदान करतो.
- फ्यूल इंजेक्शन सिस्टीम:** गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पात, फ्यूल इंजेक्शन सिस्टीम वीज निर्मितीमध्ये महत्वाची भूमिका बजावते. कम्प्रेसरद्वारे आत घेतलेली संकुचित हवा कम्बशन चेंबरमध्ये इंधनासोबत मिसळली जाते. हे इंधन फ्यूल इंजेक्टरद्वारे इंजेक्शन केले जाते. **कार्य:** फ्यूल इंजेक्शन सिस्टीमचा वापर दाबानुसार मोजक्या प्रमाणात द्रव इंधन अतिशय बारीक कणांच्या शंकूच्या आकाराच्या स्प्रेच्या स्वरूपात इंजेक्शन करण्यासाठी केला जातो, ज्यामुळे इंधनाचे त्वरित बाष्पीभवन होण्यास आणि बाष्पीभवन झालेल्या इंधनाचे हवेसोबत चांगले मिश्रण होण्यास मदत होते.

7. **रीजनरेटर:** वातावरणात सोडण्यापूर्वी एक्झॉस्ट गॅसेस रीजनरेटरमधून जातात. **कार्य:** रीजनरेटर एक्झॉस्ट गॅसमधून उष्णता परत मिळवतो आणि ती कम्प्रेस्ड हवा कम्बशन चेंबरमध्ये जाण्यापूर्वी तिला गरम करण्यासाठी वापरतो, ज्यामुळे कार्यक्षमता सुधारते.
8. **एक्झॉस्ट सिस्टीम:** गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पातील एक्झॉस्ट सिस्टीम हा एक महत्त्वाचा घटक आहे जो टर्बाइनच्या गरम एक्झॉस्ट गॅसला सुरक्षितपणे वातावरणात बाहेर टाकतो.
कार्य: टर्बाइनच्या पात्यांमधून गेल्यानंतर आणि त्यांची ऊर्जा काढल्यानंतर गरम एक्झॉस्ट गॅसेसना टर्बाइनमधून बाहेर निर्देशित करते.

3.4 गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पाची औष्णिक कार्यक्षमता सुधारण्याचे मार्ग

गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पाची औष्णिक कार्यक्षमता वाढवण्यासाठी अनेक पद्धती वापरल्या जाऊ शकतात. सामान्यतः वापरल्या जाणाऱ्या पद्धती खालीलप्रमाणे आहेत:

- (i) आंतर-शीतलन व्यवस्थेसह (Intercooling arrangement) गॅस टर्बाइन प्रकल्प
- (ii) पुनर्तापमान व्यवस्थेसह (Reheating arrangement) गॅस टर्बाइन प्रकल्प
- (iii) पुनर्निर्मिती व्यवस्थेसह (Regeneration arrangement) गॅस टर्बाइन प्रकल्प

3.4.1 आंतर-शीतलन व्यवस्थेसह (Intercooling arrangement) गॅस टर्बाइन प्रकल्प

गॅस

टर्बाइनची औष्णिक कार्यक्षमता आंतर-शीतलनासह बहु-टप्पा संक्षेपणाने (multistage compression) सुधारली जाते. कंप्रेसर गॅस टर्बाइनद्वारे तयार झालेल्या शक्तीचा मोठा भाग वापरतो. संक्षेपणाच्या दोन टप्प्यांदरम्यान आंतर-शीतलन केल्याने हवा संकुचित करण्यासाठी लागणारे कार्य कमी होते, ज्यामुळे गॅस टर्बाइनची औष्णिक कार्यक्षमता वाढते. आंतर-शीतलनामध्ये कंप्रेसरच्या टप्प्यांदरम्यान हवा थंड करणे समाविष्ट आहे, ज्यामुळे दुसऱ्या टप्प्यासाठी लागणारे कार्य प्रभावीपणे कमी होते आणि एकूण कार्यक्षमतेत सुधारणा होते. आंतर-शीतलन व्यवस्थेसह दोन-टप्प्यातील संक्षेपणाचा समावेश असलेल्या गॅस टर्बाइनचे कार्य आकृती 3.4.1 मध्ये दर्शविले आहे.

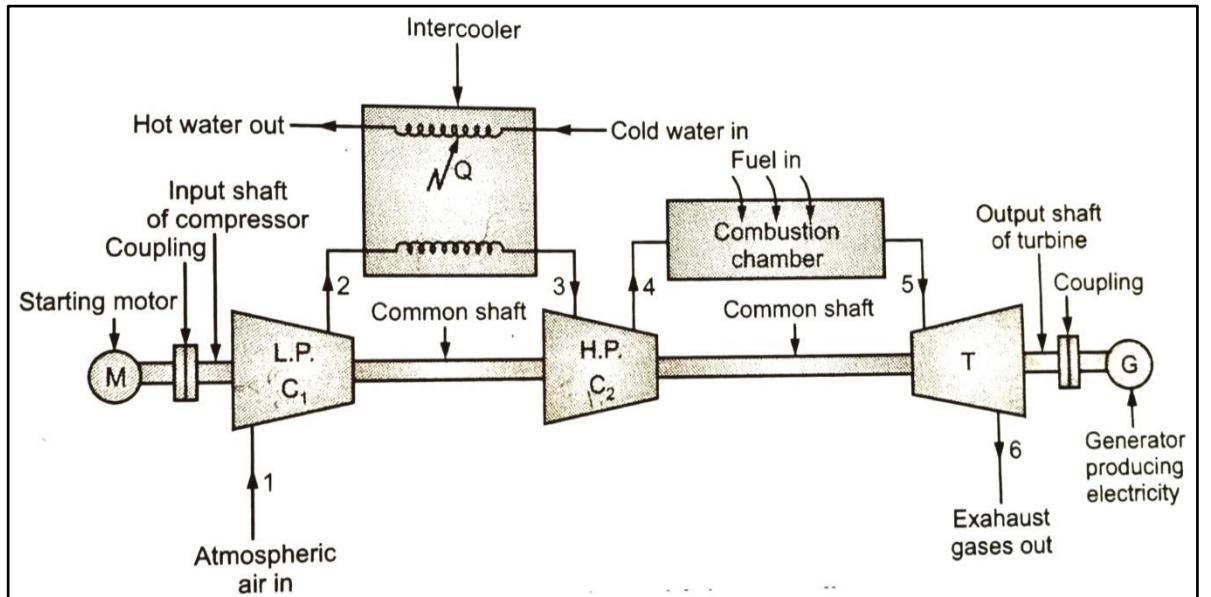


Figure 3.5 Gas Turbine Power Plant with Inter-cooler

- 3.4.2 **पुनर्तापमान व्यवस्थेसह (Reheating arrangement) गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्प** दोन टप्प्यांत वायूंचा विस्तार करून, दोन टर्बाइनच्या मध्ये रिहीटर ठेवून, गॅस टर्बाइनचे उत्पादन लक्षणीयरीत्या सुधारले जाऊ शकते. गॅस टर्बाइनमधील रिहीटरचा उद्देश प्रारंभिक टर्बाइन टप्प्यानंतर बाहेर पडलेल्या वायूला पुन्हा गरम करून, एकूण कार्यक्षमता आणि ऊर्जा उत्पादन वाढवणे हा आहे. हे पुनर्तापन (reheating) वायूंचे तापमान आणि दाब वाढवते, ज्यामुळे पुढील टप्प्यांमध्ये टर्बाइनमधून अधिक कार्य काढता येते. उच्च दाब टर्बाइन कंप्रेसरला चालना देते आणि निम्न दाब टर्बाइन उपयुक्त ऊर्जा उत्पादन प्रदान करते.

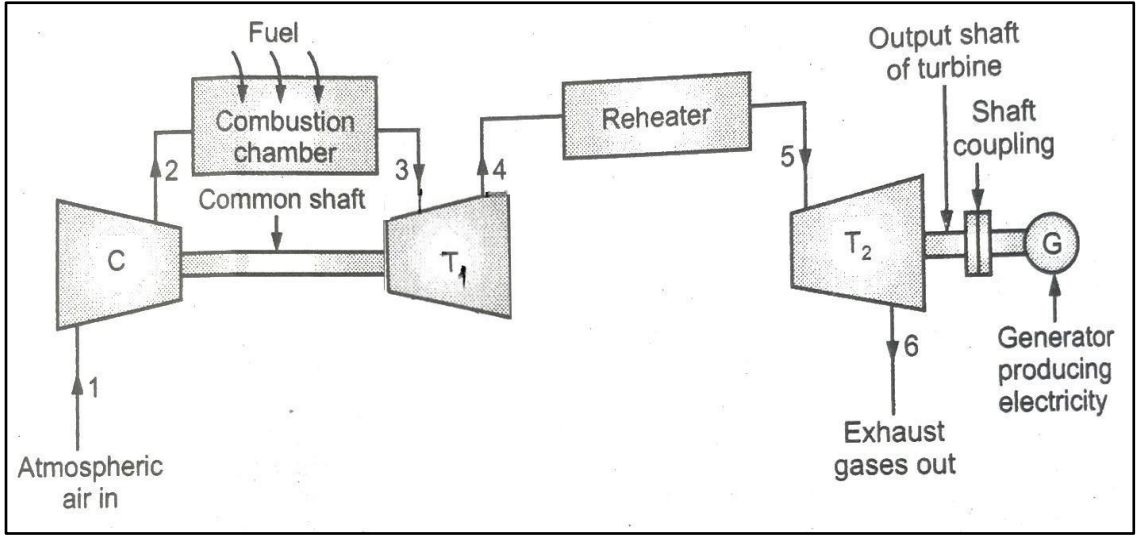


Figure 3.6 Gas Turbine Power Plant with Reheater

3.4.3 पुनर्निर्मिती व्यवस्थेसह (Regeneration arrangement) गॅस टर्बाइन प्रकल्प पुनर्निर्मितीची (Regeneration) व्याख्या अशी केली जाते की, कंप्रेसरने दाबलेली हवा ज्वलन कक्षात जाण्यापूर्वी तिला पूर्वनिलक्षित (preheating) उष्णता देणे. टर्बाइनमधून बाहेर पडणाऱ्या वायूंमध्ये मोठ्या प्रमाणात उष्णता असते; या उष्णतेचा उपयोग कंप्रेसरमधून बाहेर पडणाऱ्या हवेला गरम करण्यासाठी केला जाऊ शकतो. पुनर्निर्मिती (regenerator) असलेल्या गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पात उष्णता विनिमयकाचा (heat exchanger) वापर केला जातो. हा उष्णता विनिमयक उष्ण बाहेर पडणाऱ्या वायूंमधील उष्णता ज्वलन कक्षात जाणाऱ्या दाबलेल्या हवेमध्ये (compressed air) हस्तांतरित करतो. यामुळे ऊर्जा प्रकल्पाची एकूण कार्यक्षमता वाढते. या प्रक्रियेला पुनर्निर्मिती असे म्हणतात, ज्यात हवेला पूर्वनिलक्षित उष्णता दिली जाते, ज्यामुळे इच्छित ऊर्जा उत्पादन मिळवण्यासाठी लागणाऱ्या इंधनाची मात्रा कमी होते.

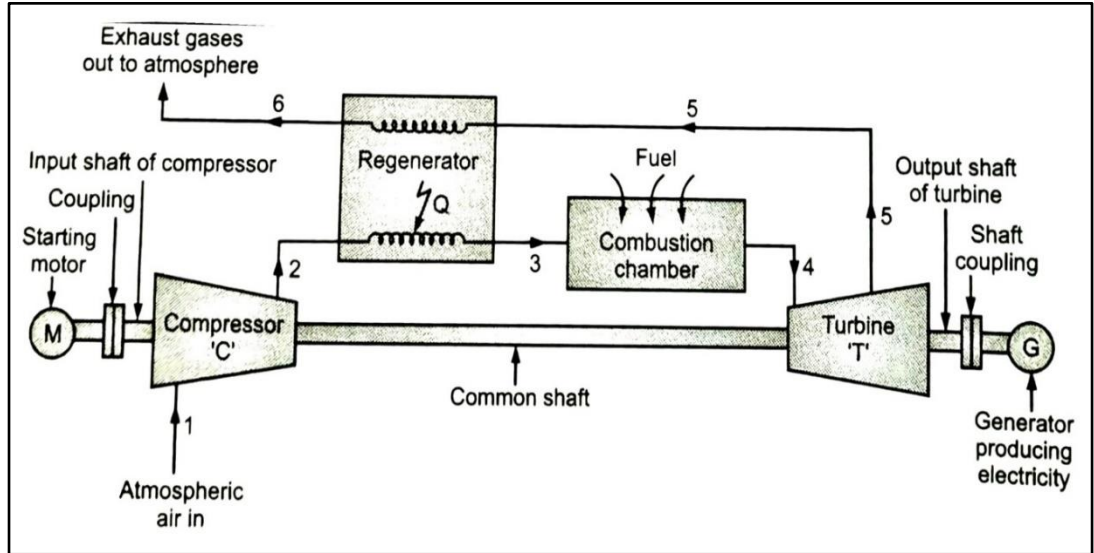


Figure 3.7 Gas Turbine Power Plant with Regenerator

3.4.5 इतर ऊर्जा प्रकल्पांच्या तुलनेत गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पाचे फायदे आणि तोटे

गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पांचे फायदे-

- 1) भांडवली आणि चालवण्याचा खर्च कमी असतो.
- 2) सुरू करणे सोपे आणि जलद असते.
- 3) गॅस टर्बाइनचे नियंत्रण अधिक सोपे आहे.
- 4) कमी जागा लागते.
- 5) कमी प्रतीचे इंधन वापरले जाऊ शकते.

- 6) उत्तम संतुलनामुळे कंपन कमी होतात.
- 7) प्रज्वलन आणि स्नेहन (lubrication) प्रणाली खूप सोप्या असतात.
- 8) गॅस टर्बाइन कुठेही स्थापित करता येते.

गॅस टर्बाइन ऊर्जा प्रकल्पांचे तोटे-

- 1) औष्णिक कार्यक्षमता खूप कमी असते.
- 2) पात्यांचे उत्पादन करणे कठीण आणि महाग असते, कारण निकेल क्रोमियम मिश्रधातू वापरला जातो.
- 3) ते स्वतःहून सुरू होत नाहीत.
- 4) आंशिक भारांवर औष्णिक कार्यक्षमता कमी असते.
- 5) टर्बाइन पात्यांना विशेष शीतकरण आवश्यक असते.

3.5 औष्णिक ऊर्जा प्रकल्पांमध्ये उष्णता पुनर्प्राप्ती

उष्णता पुनर्प्राप्ती ची व्याख्या अशी केली जाऊ शकते की, इंधनाच्या ज्वलनामुळे प्रक्रियेत निर्माण होणारी उष्णता, जी नंतर पर्यावरणात निरुपयोगी म्हणून सोडून दिली जाते, जरी ती काही उपयुक्त आणि आर्थिकदृष्ट्या फायदेशीर कामांसाठी पुन्हा वापरली जाऊ शकते. उष्णता पुनर्प्राप्तीचे मूलभूत तत्त्व म्हणजे निरुपयोगी उष्णतेचे वापरण्यायोग्य ऊर्जा प्रकारात रूपांतर करणे. यामध्ये सामान्यतः उष्णता विनिमयकांचा वापर करून गरम निरुपयोगी प्रवाहातून (hot waste stream) कार्यशील द्रवामध्ये औष्णिक ऊर्जा हस्तांतरित करणे समाविष्ट असते, जी नंतर विविध कामांसाठी वापरली जाऊ शकते. औष्णिक ऊर्जा प्रकल्प इंधन (जसे की कोळसा, नैसर्गिक वायू किंवा बायोमास) जाळून पाणी गरम करतात आणि उच्च-दाबाची वाफ तयार करतात, जी नंतर जनरेटरला जोडलेल्या टर्बाइनला फिरवते, ज्यामुळे वीज निर्माण होते. तथापि, या प्रक्रियेदरम्यान मोठ्या प्रमाणात उष्णता पर्यावरणात नष्ट होते, मुख्यतः गरम धुराच्या वायूद्वारे आणि थंड पाण्याच्या माध्यमातून. औष्णिक ऊर्जा प्रकल्पांमध्ये उष्णता पुनर्प्राप्ती म्हणजे ही अन्यथा वाया जाणारी उष्णता पकडणे आणि तिचा उपयोग करणे, ज्यामुळे एकूण ऊर्जा कार्यक्षमता सुधारते, इंधनाचा वापर कमी होतो, कार्यप्रणालीचा खर्च कमी होतो आणि पर्यावरणावर होणारा परिणाम घटतो. उष्णता पुनर्प्राप्ती हे एक ऊर्जा पुनर्प्राप्ती उष्णता विनिमयक (energy recovery heat exchanger) आहे, जे उच्च तापमानावर असलेल्या प्रक्रिया आउटपुटमधून उष्णता प्रक्रियेच्या दुसऱ्या भागात एखाद्या विशिष्ट उद्देशासाठी, साधारणतः कार्यक्षमता वाढवण्यासाठी, हस्तांतरित करते. उष्णता पुनर्प्राप्ती युनिट हे सह-निर्मितीमध्ये वापरले जाणारे एक साधन आहे. निरुपयोगी उष्णता डिझेल जनरेटरमधून बाहेर पडणारे गरम धुराचे वायू, शीतकरण मनोऱ्यांमधून (cooling towers) येणारी वाफ किंवा स्टील थंड करण्यासारख्या प्रक्रियांच्या थंड करण्याच्या प्रक्रियेतील सांडपाणी यांसारख्या स्रोतांकडून काढली जाऊ शकते.

3.5.1 उष्णता पुनर्प्राप्तीची आवश्यकता-

उष्णता पुनर्प्राप्तीची आवश्यकता खालील फायद्यांमुळे निर्माण होते:

1. आर्थिक फायदे आणि खर्च बचत:

कमी झालेला ऊर्जा खर्च: निरुपयोगी उष्णतेची पुनर्प्राप्ती केल्याने, उद्योग आणि सुविधांना त्यांच्या हीटिंग, कूलिंग किंवा वीज गरजा पूर्ण करण्यासाठी कमी नवीन ऊर्जा निर्माण करावी लागते. यामुळे थेट कार्यान्वित खर्च कमी होतो आणि नफ्यात वाढ होते.

वाढलेली ऊर्जा कार्यक्षमता: उष्णता पुनर्प्राप्ती प्रणाली कार्यान्वित असलेल्या प्रक्रियेची एकूण ऊर्जा कार्यक्षमता लक्षणीयरीत्या वाढवतात. प्राथमिक ऊर्जा फक्त एकदाच वापरण्याऐवजी, पुनर्प्राप्त केलेली उष्णता पुन्हा वापरली जाते, ज्यामुळे सुरुवातीच्या ऊर्जा गुंतवणुकीचा जास्तीत जास्त उपयोग होतो.

वर्धित ऊर्जा स्वातंत्र्य (Enhanced Energy Independence): जेव्हा व्यवसाय बाहेरील स्रोतांकडून (जसे की तेल आणि वायू) कमी ऊर्जा वापरतात, तेव्हा ते अधिक मजबूत बनतात. ऊर्जा किमतींमध्ये चढ-उतार किंवा इंधनाच्या उपलब्धतेतील समस्यांचा त्यांच्यावर कमी परिणाम होतो.

महसूल निर्मितीची क्षमता: काही प्रकरणांमध्ये, अतिरिक्त पुनर्प्राप्त उष्णता शेजारच्या सुविधांना विकली जाऊ शकते किंवा वीज निर्माण करण्यासाठी वापरली जाऊ शकते, ज्यामुळे उत्पन्नाचे नवीन स्रोत निर्माण होतात.

उपकरणांचा कमी आकार आणि देखभाल खर्च: उष्णता पुनर्प्राप्तीमुळे इंधनाचा वापर कमी होतो, ज्यामुळे धुराच्या वायू हाताळणाऱ्या उपकरणांचा (पंखे, स्टॅक, डक्ट्स इत्यादी) आकार कमी होऊ शकतो आणि सध्याच्या यंत्रसामग्रीवर कमी झीज होते, परिणामी देखभाल खर्च कमी होतो आणि उपकरणांचे आयुष्य वाढते.

2. पर्यावरणीय स्थिरता आणि उत्सर्जन घट:

कमी ग्रीनहाऊस वायू उत्सर्जन: प्राथमिक ऊर्जा स्रोतांची मागणी कमी केल्याने, उष्णता पुनर्प्राप्ती थेट कार्बन डायऑक्साइड आणि इतर ग्रीनहाऊस वायूंच्या उत्सर्जनात घट करते.

कमी वायू प्रदूषण: कमी इंधन जाळल्याने इतर हानिकारक वायु प्रदूषकांमध्येही घट होते, ज्यामुळे हवेची गुणवत्ता सुधारते.

नैसर्गिक संसाधनांचे संवर्धन: उष्णता पुनर्प्राप्ती अन्यथा वाया जाणारी ऊर्जा वापरून संसाधनांचा कार्यक्षम वापर करण्यास प्रोत्साहन देते, ज्यामुळे ऊर्जा उत्पादनाचा एकूणच प्रभाव कमी होतो.

नियमांचे पालन: वाढत्या कठोर पर्यावरणीय आणि कार्बन मूल्य निर्धारण यंत्रणा यामुळे व्यवसायांसाठी कायदेशीर आवश्यकतांचे पालन करण्यासाठी आणि दंड टाळण्यासाठी उष्णता पुनर्प्राप्ती एक आकर्षक रणनीती बनते.

3. कार्यान्वित सुधारणा:

सुधारित प्रक्रिया नियंत्रण आणि स्थिरता: उष्णता पुनर्प्राप्ती आणि पुनर्वापर विविध औद्योगिक प्रक्रियांमध्ये अधिक स्थिर कार्य तापमान राखण्यास मदत करू शकते, ज्यामुळे उत्पादनाची गुणवत्ता सुधारते आणि उत्पादन अधिक सुसंगत होते.

वर्धित उत्पादकता: ऊर्जेचा वापर अनुकूल करून आणि ऊर्जा पुरवठा किंवा उपकरणांच्या समस्यांशी संबंधित डाउनटाइम कमी करून, उष्णता पुनर्प्राप्ती एकूण उत्पादकता सुधारण्यास योगदान देऊ शकते.

अष्टपैलू अनुप्रयोग: निरुपयोगी उष्णता विविध तापमानांवर पुनर्प्राप्त केली जाऊ शकते आणि अनेक प्रकारच्या अनुप्रयोगांसाठी वापरली जाऊ शकते, ज्यात हे समाविष्ट आहे:

- बॉयलर, भट्ट्या आणि ओव्हनसाठी ज्वलन हवा गरम करणे.
- प्रक्रिया गरम करण्यासाठी किंवा वीज निर्मितीसाठी वाफ तयार करणे.
- बॉयलर फीड पाणी पुन्हा गरम करणे.
- इमारतींमध्ये जागा गरम करणे.
- रेफ्रिजरेशन प्रक्रिया.
- सहाय्यक प्रणालींना ऊर्जा पुरवणे.

एकूणच, उष्णता पुनर्प्राप्ती व्यवसायांना पैसे वाचवण्यास, पर्यावरणाचे संरक्षण करण्यास आणि अधिक चांगल्या प्रकारे कार्य करण्यास मदत करते. याचा अर्थ असा की जी उष्णता सामान्यतः वाया जाते, तिचा चांगल्या कामासाठी उपयोग करणे.

3.5.2 संधी

विविध औद्योगिक प्रक्रिया वेगवेगळ्या प्रमाणात ऊर्जा आणि निरुपयोगी उष्णता वापरतात. औद्योगिक निरुपयोगी उष्णतेच्या क्षमतेचा फायदा घेण्यासाठी, मोठ्या ऊर्जा वापरणाऱ्या उद्योगांमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या औद्योगिक प्रक्रियांचा अभ्यास करणे आणि त्यांचे विश्लेषण करणे, तसेच प्रत्येक क्षेत्रातील प्रणालींना कोणते योग्य उष्णता पुनर्प्राप्तीचे मार्ग लागू केले जाऊ शकतात, हे शोधणे आवश्यक आहे. निरुपयोगी उष्णता विविध औद्योगिक प्रक्रिया आणि उपकरणांमधून येऊ शकते, ज्यांचे तापमान आणि स्वरूप वेगवेगळे असते. सामान्य स्रोत खालीलप्रमाणे आहेत: **बॉयलर फ्ल्यू वायू:** बॉयलरमधून उच्च तापमानावर (150–250°C) बाहेर पडणाऱ्या फ्ल्यू वायूमध्ये अजूनही बरीच उष्णता असते. **उच्च-तापमानाचे एक्झॉस्ट वायू:** भट्ट्या, बॉयलर, इन्सिनरेटर्स आणि गॅस टर्बाइनमधून बाहेर पडणारे वायू. **स्टीम कंडेनसर कूलिंग वॉटर:** स्टीम कंडेनसर मोठ्या प्रमाणात सुप्त उष्णता कूलिंग वॉटरला सोडतो. **ब्लोडाऊन प्रवाह:** बॉयलर ब्लोडाऊन आणि कूलिंग टॉवर ब्लोडाऊनमध्ये सेन्सिबल उष्णता असते. **सहाय्यक उपकरणे:** पंप, कॉम्प्रेसर, वंगण तेल प्रणाली आणि एअर कॉम्प्रेसर निरुपयोगी उष्णता बाहेर टाकतात. **कोरडे करणे आणि बाष्पीभवन:** सामग्रीवर प्रक्रिया करण्यासाठी (material treatment) औष्णिक ऊर्जेची आवश्यकता असलेल्या प्रक्रियांमध्ये. **गरम उत्पादन प्रवाह आणि प्रक्रिया उपकरणे:** जसे की रिअॅक्टर जॅकेट्स, डिस्टिलेशन कॉलम्स आणि विविध उत्पादन व रासायनिक प्रक्रिया.

Table 3.1 Comparison Table

निरुपयोगी उष्णतेचा स्रोत	पुनर्प्राप्ती पद्धत	उपयोग
बॉयलर फ्ल्यू वायू	इकोनोमायझर	बॉयलरचा इंधन वापर कमी करण्यासाठी

		फीड पाणी गरम करते.
	एअर प्रीहीटर	ज्वलन कार्यक्षमता सुधारण्यासाठी ज्वलन हवा गरम करते.
	कंडेंसिंग इकोनोमायझर	फ्ल्यू वायूतील पाण्याची वाफ कंडेंसिंग करून सुप्त उष्णता पुनर्प्राप्त करते.
गॅस टर्बाइन एक्झॉस्ट	उष्णता पुनर्प्राप्ती वाफ जनरेटर (HRSG)	संयुक्त सायकल किंवा प्रक्रिया गरम करण्यासाठी वाफ निर्माण करते.
स्टीम कंडेनसर कूलिंग वॉटर	जिल्हा गरम करणे, प्रक्रिया गरम करणे, किंवा अॅब्सॉर्प्शन चिलर्स	गरम करण्याची किंवा थंड करण्याची आवश्यकता पूर्ण करते.
बॉयलर ब्लोडॉउन	ब्लोडॉउन उष्णता पुनर्प्राप्ती प्रणाली	मेक-अप पाणी गरम करते.
वंगण तेल शीतकरण, एअर कॉम्प्रेसर	उष्णता विनिमयक	सहाय्यक वापरासाठी गरम पाणी पुरवते.

3.5.3 सद्यस्थितीतील पद्धती (Present Practices)

उष्णता पुनर्प्राप्ती ही विविध उद्योगांमध्ये ऊर्जा कार्यक्षमता सुधारण्यासाठी, कार्यान्वित खर्च कमी करण्यासाठी आणि पर्यावरणावर होणारा परिणाम कमी करण्यासाठी एक महत्त्वपूर्ण रणनीती आहे. यात औष्णिक ऊर्जा जी अन्यथा पर्यावरणात सोडली जाईल, ती पकडून तिचा पुनर्वापर करणे समाविष्ट आहे. उष्णता पुनर्प्राप्तीच्या सध्याच्या पद्धतींचे विहंगावलोकन (overview) येथे दिले आहे:

उष्णता पुनर्प्राप्तीसाठी तंत्रज्ञान:

- i) **उष्णता विनिमयक:** हे बहुतेक उष्णता पुनर्प्राप्ती प्रणालींसाठी मूलभूत आहेत, जे दोन द्रव्यांमधून थेट संपर्क न करता उष्णता हस्तांतरित करण्यास मदत करतात. सामान्य प्रकारांमध्ये हे समाविष्ट आहे:
 - अ) **शेल आणि ट्यूब उष्णता विनिमयक:** वीज निर्मिती आणि रासायनिक प्रक्रियेत मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाता
 - ब) **प्लेट उष्णता विनिमयक:** कॉम्पॅक्ट आणि कार्यक्षम, अनेकदा मर्यादित जागेत वापरले जाते.
 - क) **रिक्युपरेटर्स:** एक्झॉस्ट वायूंमधील निरुपयोगी उष्णतेचा वापर करून येणाऱ्या हवा किंवा वायू गरम करण्यासाठी विशेषतः डिझाइन केलेले आहेत, ज्यामुळे ज्वलन कार्यक्षमता सुधारते.
 - ड) **रीजनरेटर्स (हीट व्हील्स/रोटरी रीजनरेटर्स):** - गरम एक्झॉस्ट वायूंमधून उष्णता शोषून घेण्यासाठी आणि येणाऱ्या थंड हवेमध्ये हस्तांतरित करण्यासाठी फिरणाऱ्या मॅट्रिक्सचा वापर करतात.
 - इ) **हीट पाईप्स:** कार्यरत द्रव असलेले सीलबंद ट्यूब, जे बाष्पीभवन आणि घनीकरण (condensation) द्वारे कार्यक्षमतेने उष्णता हस्तांतरित करतात.
 - ii) **निरुपयोगी उष्णता बॉयलर (WHBs) /उष्णता पुनर्प्राप्ती वाफ जनरेटर (HRSGs):** या प्रणाली उच्च-तापमानातील एक्झॉस्ट वायूंमधून (उदा. भट्ट्या, गॅस टर्बाइन किंवा एक्झोथर्मिक प्रतिक्रिया) उष्णता पकडून वाफ निर्माण करतात. या वाफेचा वापर नंतर प्रक्रिया गरम करण्यासाठी, वीज निर्मितीसाठी टर्बाइन चालवण्यासाठी (संयुक्त सायकल किंवा कोजनरेशन), किंवा इतर अनुप्रयोगांसाठी केला जाऊ शकतो.
 - iii) **ऑर्गॅनिक रॅकिन सायकल प्रणाली:** हे कमी ते मध्यम-श्रेणीतील निरुपयोगी उष्णतेला (सामान्यतः 370°C पेक्षा कमी) वापरण्यायोग्य विजेमध्ये रूपांतरित करण्यासाठी विशेषतः प्रभावी आहेत. ऑर्गॅनिक रॅकिन सायकल प्रणाली पारंपारिक रॅकिन सायकलप्रमाणेच बंद-लूप सायकलमध्ये कमी उत्कलन बिंदू असलेला ऑर्गॅनिक कार्यशील द्रव वापरतात.
 - iv) **थर्मोइलेक्ट्रिक जनरेटर:** हे सॉलिड-स्टेट उपकरणे आहेत, जे सीबेक प्रभावाद्वारे (Seebeck effect) निरुपयोगी उष्णतेला थेट विद्युत उर्जेमध्ये रूपांतरित करतात. निरुपयोगी उष्णतेपासून थेट वीज निर्मितीची इच्छा असलेल्या विशिष्ट अनुप्रयोगांसाठी हे योग्य आहेत.
 - v) **हीट पंप्स:** कमी-तापमानाची निरुपयोगी उष्णता पुनर्प्राप्त करण्यासाठी आणि तिला उच्च, अधिक वापरण्यायोग्य तापमानापर्यंत उन्नत करण्यासाठी वापरले जाऊ शकतात. हे जागेची उष्णता किंवा प्रीहीटिंगसारख्या

अनुप्रयोगांसाठी विशेषतः संबंधित आहे.

vi) **अॅक्सॉर्प्शन चिलर्स:** थंडक प्रदान करण्यासाठी निरुपयोगी उष्णतेचा वापर करतात, ज्यामुळे गरम करण्याच्या आणि थंड करण्याच्या दोन्ही गरजा असलेल्या उद्योगांसाठी ते एक आकर्षक पर्याय बनतात.

3.6 कोजनरेशन -

कोजनरेशनला कंबाईंड हीट अँड पॉवर (CHP) असेही म्हणतात. नावाप्रमाणेच, कोजनरेशन एकाच प्राथमिक इंधनाच्या स्रोताचा वापर करून दोन वेगवेगळ्या प्रकारची ऊर्जा निर्माण करण्याच्या संकल्पनेवर कार्य करते. या दोन ऊर्जा प्रकारांपैकी एक उष्णता किंवा औष्णिक ऊर्जा असते आणि दुसरी एकतर विद्युत किंवा यांत्रिक ऊर्जा असते.

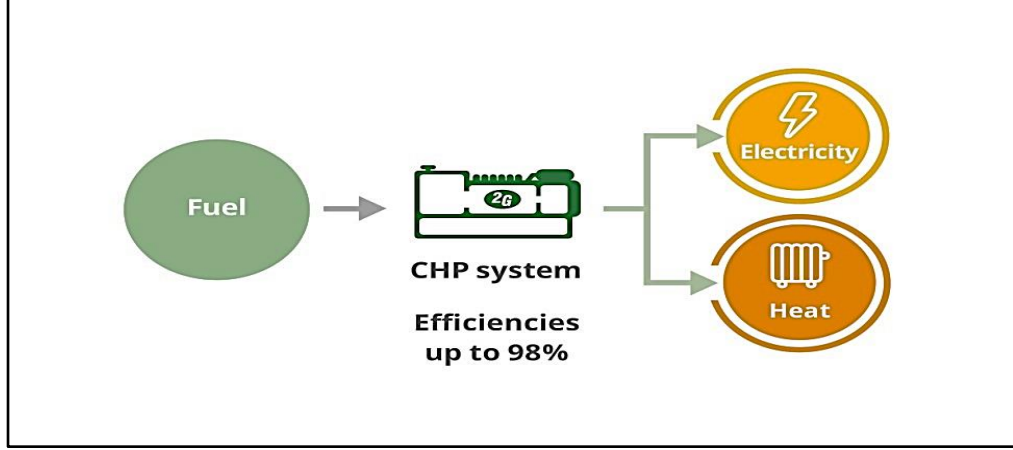


Figure 3.8 Cogeneration

(Image courtesy – Website - <https://www.2g-energy.com/what-is-chp>)

यासाठी वापरले जाणारे इंधन नैसर्गिक वायू, तेल, डिझेल, प्रोपेन, लाकूड, कोळसा इत्यादी असू शकते. पारंपारिक ऊर्जा प्रकल्पांच्या विपरीत, जे वीज निर्माण करतात आणि सामान्यतः मोठ्या प्रमाणात उष्णता वाया म्हणून वातावरणात सोडतात, कोजनरेशन प्रणाली ही वाया जाणारी उष्णता पकडतात आणि तिचा विविध उपयोगांसाठी वापर करतात. कोजनरेशनचा मुख्य फायदा म्हणजे एकाच ऊर्जा स्रोतापासून वीज आणि उष्णता दोन्ही निर्माण करून इंधनाचा जास्तीत जास्त वापर करण्याची तिची क्षमता. यामुळे एकूण कार्यक्षमता वाढते. इंधनाचा वापर कमी करून आणि ग्रीनहाऊस वायूंचे उत्सर्जन कमी करून, कोजनरेशन ऊर्जा संवर्धन, खर्च बचत आणि पर्यावरण संरक्षणास हातभार लावते. कार्यक्षम आणि शाश्वत ऊर्जा उपायांची जागतिक मागणी वाढत असल्याने, आधुनिक ऊर्जा प्रणालींमध्ये कोजनरेशनची भूमिका अधिकाधिक महत्त्वाची होत आहे.

3.6.2 कार्यप्रणाली- इंधनाच्या ज्वलनातून उच्च तापमानाची उष्णता बाहेर पडते, जी स्टीम टर्बाइन किंवा स्टीम इंजिन किंवा गॅस टर्बाइन किंवा डिझेल इंजिन इत्यादींच्या मदतीने वीज निर्माण करण्यासाठी वापरली जाते. या वीज निर्मितीदरम्यान, उष्णतेचा मोठा भाग एक्झॉस्ट वायूंसोबत वाया जातो. ही वाया गेलेली उष्णता पुनर्प्राप्त केली जाते आणि तिचा उपयोग पाणी उकळून वाफ तयार करण्यासाठी किंवा जागेला उष्णता देण्यासाठी किंवा विविध घरगुती आणि औद्योगिक अनुप्रयोगांसाठी आवश्यक असलेल्या प्रक्रिया उष्णतेसाठी केला जातो. अशा प्रकारे, वीज आणि प्रक्रिया उष्णता असे दोन ऊर्जा प्रकार निर्माण होतात.

3.6.3 आवश्यकता -

कोजनरेशन ऊर्जा प्रकल्प पारंपारिक ऊर्जा प्रकल्पांच्या तुलनेत इंधनाचा अधिक कार्यक्षमतेने वापर करतो. समान प्रमाणात इंधन जाळल्याने, तेवढ्याच उत्पादनासाठी उत्सर्जन कमी होते. प्राथमिक इंधनाचा हा कमी झालेला वापर सीएचपीचा (CHP) मुख्य पर्यावरणीय फायदा आहे. अशा प्रकारे, जीवाश्म इंधनाची बचत करण्यासोबतच, कोजनरेशनमुळे ग्रीनहाऊस वायूंचे (विशेषतः CO₂ उत्सर्जन - CO₂ emission) उत्सर्जन देखील कमी होते. जर उत्पादित वीज राज्य वीज मंडळांकडून किंवा टाटा, रिलायन्स एनर्जी यांसारख्या खाजगी संस्थांकडून खरेदी केलेल्या विजेपेक्षा स्वस्त असेल, तर कोजनरेशन हा एक चांगला पर्याय असू शकतो. वीज निर्मिती जागेवरच होत असल्याने, युटिलिटी नेटवर्कवरील भार कमी होतो आणि ट्रान्समिशन लाइनचे नुकसान टाळले जाते. कोजनरेशनची गरज खालील फायद्यांमुळे निर्माण होते:

1. कोजनरेशन ऊर्जा प्रकल्प) प्राथमिक इंधनाचा जास्तीत जास्त उपयोग करतो.
2. कोजनरेशन वीज आणि प्रक्रिया उष्णतेची गरज एकाच वेळी पूर्ण करते.

3. प्रक्रिया उष्णता आणि वीज निर्मितीसाठी दोन स्वतंत्र युनिट्स वापरण्याऐवजी, एकच कोजनरेशन प्रकल्प वापरणे अधिक किफायतशीर आहे.
 4. ऊर्जा प्रकल्पांच्या पारंपारिक पद्धतीमध्ये, प्रक्रिया उष्णता आणि वीज निर्मितीसाठी दोन स्वतंत्र युनिट्सना दोन प्राथमिक इंधनांची आवश्यकता असते, तर, एकच कोजनरेशन प्रकल्प प्रक्रिया उष्णता आणि वीज दोन्ही एकाच वेळी निर्माण करण्यासाठी एकच प्राथमिक इंधन वापरतो.
 5. कोजनरेशनमुळे पर्यावरणातील उत्सर्जन कमी होते, विशेषतः कार्बन डायऑक्साइड, जो मुख्य ग्रीनहाऊस वायू आहे.
 6. कार्बन डायऑक्साइडव्यतिरिक्त कोजनरेशन कणयुक्त पदार्थ, नायट्रस ऑक्साईड, सल्फर डायऑक्साइड, पारा इत्यादींचे उत्सर्जन कमी करते, ज्यामुळे प्रदूषण कमी होते.
 7. कोजनरेशन ऊर्जा प्रकल्पाची कार्यक्षमता 80% आहे, तर पारंपारिक ऊर्जा प्रकल्पाची कार्यक्षमता 35% आहे.
 8. ऊर्जा रूपांतरण आणि वापराची वाढलेली कार्यक्षमता कोजनरेशन प्रकल्पाला वीज निर्मितीचा सर्वात प्रभावी आणि कार्यक्षम प्रकार बनवते.
 9. कोजनरेशन ऊर्जा अपव्यय कमी करते, ज्यामुळे ऊर्जा कार्यक्षमता वाढते.
 10. ट्रान्समिशन लाइनचे नुकसान मोठ्या प्रमाणात कमी होते.
- 3.6.4 संधी-**कोजनरेशन, किंवा कंबाईंड हीट अँड पॉवर, विशेषतः भारताच्या उदारमतवादी अर्थव्यवस्थेत आणि लहान-मोठ्या उद्योगांच्या महत्त्वाच्या भूमिकेमध्ये महत्त्वपूर्ण संधी उपलब्ध करून देते. ऊर्जा संसाधनांचा कार्यक्षमतेने वापर करून, कोजनरेशन उत्पादकता आणि टिकाऊपणा सुधारण्यात महत्त्वाची भूमिका बजावू शकते. मुख्य संधींमध्ये हे समाविष्ट आहे.
1. **विकेंद्रीकृत वीज निर्मिती:** कोजनरेशन स्थानिक वीज निर्मितीस सक्षम करते, ज्यामुळे स्थानिक ग्राहकांच्या विशिष्ट ऊर्जा गरजा पूर्ण होण्यास मदत होते. हा दृष्टिकोन उच्च कार्यक्षमता प्रदान करतो, पारेषण आणि वितरण नुकसान कमी करतो आणि वीज पुरवठ्याची लवचिकता व विश्वासार्हता वाढवतो. नैसर्गिक वायूवर आधारित कोजनरेशन प्रणाली विकेंद्रीकृत सेटअपसाठी विशेषतः योग्य आहेत.
 2. **वर्धित तांत्रिक आणि कार्यान्वित कार्यक्षमता:** सध्याच्या प्लांट्सना ऊर्जा-कार्यक्षम यंत्रसामग्रीने अपग्रेड करणे आणि प्रगत कार्यान्वित पद्धती स्वीकारणे यामुळे कोजनरेशन प्रणालींची तांत्रिक कामगिरी लक्षणीयरीत्या वाढू शकते. ऊर्जा संवर्धन उपाययोजना कार्यान्वित खर्च कमी करण्यास आणि उत्पादकता सुधारण्यास अधिक योगदान देतात.
 3. **ऊर्जा निर्मितीमध्ये विविधता आणि स्पर्धा:** कोजनरेशन निर्मिती मिश्रणामध्ये विविधता आणण्यास मदत करते, ज्यामुळे अधिक स्पर्धात्मक आणि लवचिक ऊर्जा बाजारपेठ निर्माण होते. हे नवीन खेळाडूंना आणून आणि केंद्रीकृत युटिलिटीजवरील अवलंबित्व कमी करून ऊर्जा बाजारपेठेच्या उदारीकरणास समर्थन देते.
 4. **रोजगार निर्मिती:** कोजनरेशन प्रकल्पांचा विकास आणि अंमलबजावणी हे रोजगाराचे महत्त्वपूर्ण चालक म्हणून ओळखले गेले आहेत. उत्पादन आणि स्थापनेपासून ते संचालन आणि देखभालीपर्यंत, कोजनरेशन विविध क्षेत्रांमध्ये अनेक रोजगाराच्या संधी निर्माण करते.
 5. **अनेक क्षेत्रांमध्ये अनुप्रयोग:** कोजनरेशनची विविध क्षेत्रांमध्ये प्रभावीपणे अंमलबजावणी केली जाऊ शकते, ज्यात हे समाविष्ट आहे:
शहरे/नगरपालिका: डिस्ट्रिक्ट हीटिंग आणि स्थानिक ऊर्जा गरजांना समर्थन देणे.
औद्योगिक परिसर: उत्पादन प्रक्रियेतील ऊर्जा कार्यक्षमता वाढवणे.
व्यावसायिक/किरकोळ क्षेत्र: विश्वासार्ह आणि किफायतशीर ऊर्जा आणि उष्णता प्रदान करणे.
गॅस स्टेन्स: कार्यान्वित खर्च कमी करताना स्थानिक ऊर्जा गरजा पूर्ण करणे.
 6. **ऊर्जा संवर्धन आणि शाश्वत विकास:** कोजनरेशन इष्टतम संसाधन उपयोगास प्रोत्साहन देते, ज्यामुळे एकूण ऊर्जा संवर्धनामध्ये योगदान मिळते आणि शाश्वत विकासाच्या व्यापक उद्दिष्टांना समर्थन मिळते. या क्षेत्रांवर लक्ष केंद्रित करून, कोजनरेशन ऊर्जा सुरक्षा सुधारण्यास, औद्योगिक स्पर्धात्मकता वाढवण्यास आणि पर्यावरणीय टिकाऊपणास समर्थन देण्यास महत्त्वपूर्ण योगदान देऊ शकते.
- 3.6.5 साखर उद्योगात कोजनरेशनचे अनुप्रयोग-**

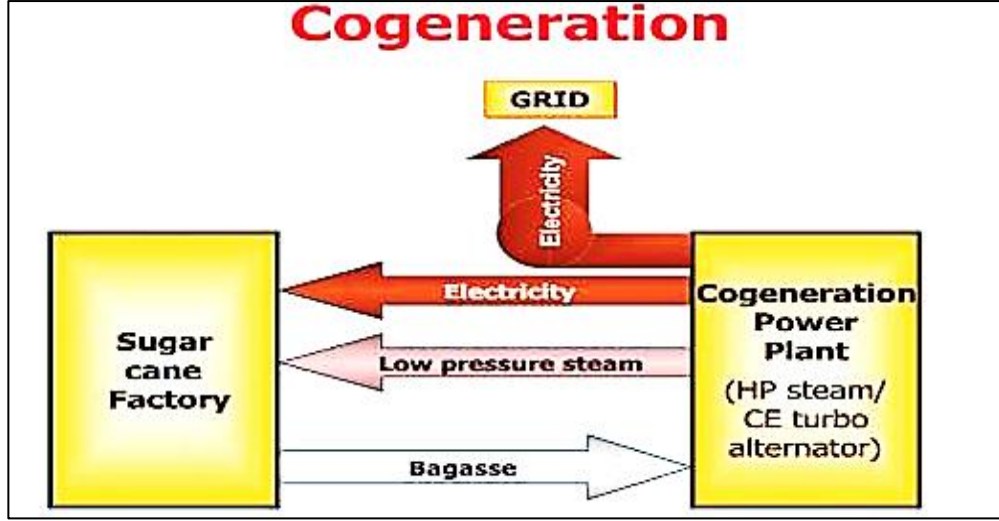


Figure 3.9 Application of cogeneration in sugar industry

(Image courtesy –Website - <https://www.zionenggworks.com/Company3.html>)

साखर उद्योगात कोजनरेशनचा मोठ्या प्रमाणावर वापर केला जातो, जिथे साखर कारखाने मोठ्या प्रमाणात बर्गस तयार करतात. बर्गस हे उच्च आर्द्रता असलेले तंतुमय उप-उत्पादन आहे, जे अजूनही एक मौल्यवान बायोमास इंधन म्हणून काम करते. साखरेच्या प्रक्रियेसाठी वीज आणि औष्णिक ऊर्जा (वाफ) या दोन्हीची आवश्यकता असल्याने, कोजनरेशनमुळे साखर कारखान्यांना त्यांच्या ऊर्जा गरजा कार्यक्षमतेने पूर्ण करता येतात, ते आत्मनिर्भर बनतात आणि अगदी जास्तीची वीज निर्यात देखील करू शकतात. ही प्रक्रिया रस काढल्यानंतर बर्गसच्या संग्रहाने सुरू होते, जी आवश्यक असल्यास सुकवली जाऊ शकते. सुकवलेले बर्गस नंतर उच्च-दाबाच्या बॉयलरमध्ये जाळले जाते, ज्यामुळे उच्च दाब आणि तापमानावर तयार होते. ही उच्च-दाबाची वाफ जनरेटरला जोडलेल्या टर्बाइनना चालवते, ज्यामुळे अंतर्गत वापरासाठी आणि वीज ग्रीडला संभाव्य विक्रीसाठी वीज निर्माण होते. टर्बाइनमधून बाहेर पडणारी एक्झॉस्ट वाफ त्यानंतर साखर उत्पादनाच्या विविध टप्प्यांमध्ये, ज्यात रस गरम करणे, बाष्पीभवन, स्फटिकीकरण आणि सेंट्रीफ्यूगेशन यांचा समावेश आहे, यामध्ये वापरली जाते, ज्यामुळे कोजनरेशन उद्योगासाठी एक अत्यंत कार्यक्षम आणि टिकाऊ उपाय ठरते.

3.6.6 बर्गस-चलित बॉयलर - बर्गस-चलित बॉयलर हा एक प्रकारचा औद्योगिक बॉयलर आहे जो बर्गसला त्याचे प्राथमिक इंधन म्हणून वापरतो. हे बॉयलर सामान्यतः साखर कारखान्यांमध्ये वापरले जातात, जिथे बर्गस साखर उत्पादनातून मिळणारा एक टाकाऊ पदार्थ म्हणून सहज उपलब्ध असतो. बर्गस-चलित बॉयलरची सामान्य कार्यप्रणाली इतर बायोमास बॉयलरप्रमाणेच आहे: **इंधन तयारी:** बर्गस ऊस गाळण्याच्या प्रक्रियेतून गोळा केला जातो. तो सामान्यतः ओलसर (सुमारे 45-55% आर्द्रता) असतो आणि ज्वलन कार्यक्षमता सुधारण्यासाठी तो सुकवला जाऊ शकतो.

ज्वलन: बर्गस भट्टीमध्ये टाकला जातो जिथे तो जाळला जातो. निर्माण झालेली उष्णता (heat generated) बॉयलरच्या नळ्यांमधील पाण्याचे वाफेत रूपांतर करते. **वाफ निर्मिती:** तयार झालेल्या वाफेचा उपयोग यासाठी होतो: वीज निर्मिती (टर्बाइनमध्ये) साखर कारखान्यातील प्रक्रिया गरम करणे (process heating) ग्रीडला निर्यात (कोजनरेशन प्रकल्पा मध्ये) **फ्ल्यू वायू प्रक्रिया:** ज्वलन वायू वातावरणात सोडण्यापूर्वी प्रदूषण नियंत्रण उपकरणांमधून (सायक्लोन्स, बॅग फिल्टर्स, स्क्रबर) जातात.

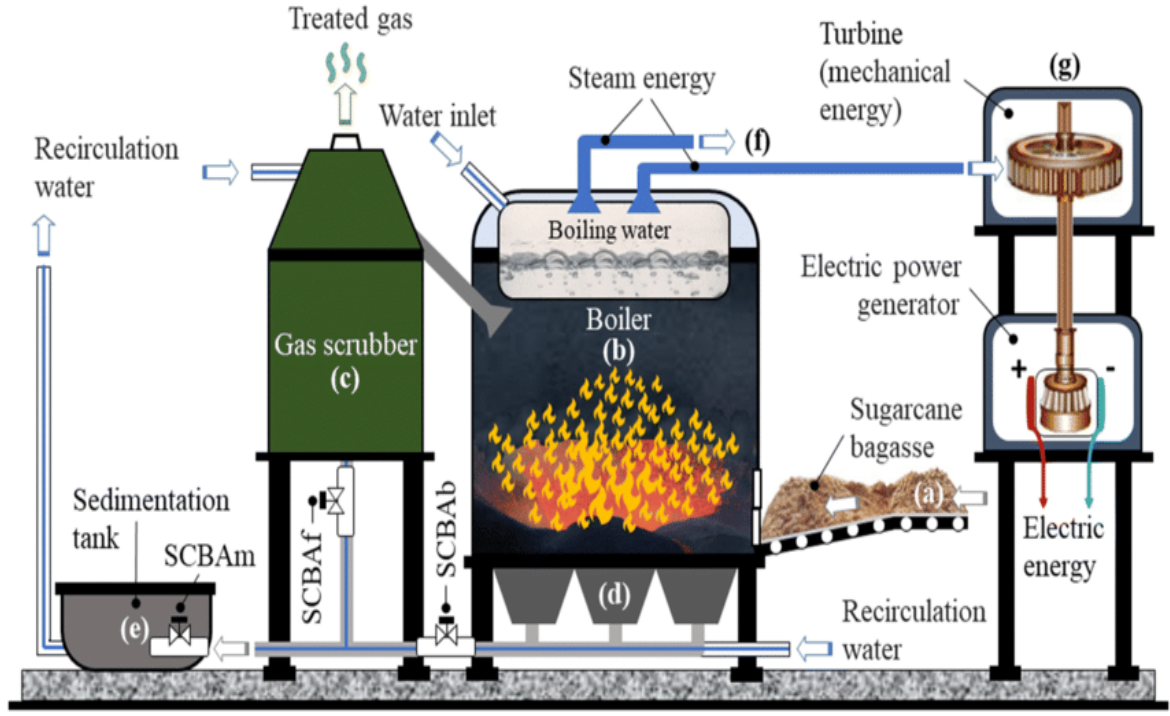


Figure 3.10 Bagasse fired boiler

(Image courtesy –Website - https://www.researchgate.net/figure/Generation-system-of-the-types-of-ash-gases-treatment-and-cogeneration-a-Bagasse_fig1_334898170)

बगॅस-चलित बॉयलरचे प्रकार- स्प्रेडर स्टोकर बॉयलर- हे नवीन साखर कारखान्यांमध्ये सर्वात सामान्य आहेत, जिथे बगॅस भट्टीमध्ये पसरवला जातो. काही बगॅस हवेतच जळतो, तर उर्वरित ग्रेटवर जळतो. **हॉर्सशू बॉयलर आणि फ्युएल सेल्स-** हे जुन्या प्लांट्समध्ये अधिक सामान्य आहेत, जिथे बगॅस गुरुत्वाकर्षणामुळे रिफ्रॅक्टरी हार्टवर (hearth) आपोआप पडतो. **चेन ग्रेट बॉयलर:** हे क्षेत्रीय दुहेरी-ड्रम वॉटर ट्यूब बॉयलर असतात, ज्यात अनेकदा ज्वलनासाठी चेन ग्रेट असते. **फायदे:**

1. निरुपयोगी सामग्रीचा (बगॅस) वापर होतो, ज्यामुळे विल्हेवाटीची समस्या कमी होते.
2. हा एक नूतनीकरणक्षम आणि शाश्वत इंधन स्रोत आहे.
3. कार्बन-न्यूट्रल असतो (ऊस वाढताना जेवढा CO_2 शोषून घेतो, तेवढाच जळल्यावर बाहेर पडतो).
4. आधुनिक डिझाइनसह उच्च कार्यक्षमता साधता येते.

3.7 ट्रायजनरेशन- ट्रायजनरेशन, ज्याला 'कम्बाइंड कूलिंग, हीटिंग अँड पॉवर' (CCHP) असेही म्हणतात, ही एक प्रगत ऊर्जा प्रणाली आहे जी एकाच वेळी ऊर्जेची तीन रूपे तयार करते. नावाप्रमाणेच, ट्रायजनरेशन एकाच प्राथमिक इंधनाचा वापर करून एकाच वेळी ऊर्जेची तीन भिन्न रूपे तयार करण्याच्या संकल्पनेवर कार्य करते. याला 'कम्बाइंड हीटिंग, रेफ्रिजरेशन अँड पॉवर' (CHRP) असेही म्हटले जाते. ट्रायजनरेशनची व्याख्या अशी करता येईल की, केवळ एकाच इंधन स्रोतातून शीतकरण, उष्णता आणि वीज निर्मितीची एकाच वेळी होणारी प्रक्रिया. ट्रायजनरेशन ही अशी प्रक्रिया आहे, ज्यामध्ये कोजनरेशन प्रकल्पातून निर्माण होणाऱ्या काही उष्णतेचा उपयोग वातानुकूलनासाठी किंवा रेफ्रिजरेशनसाठी थंड पाणी तयार करण्यासाठी केला जातो.

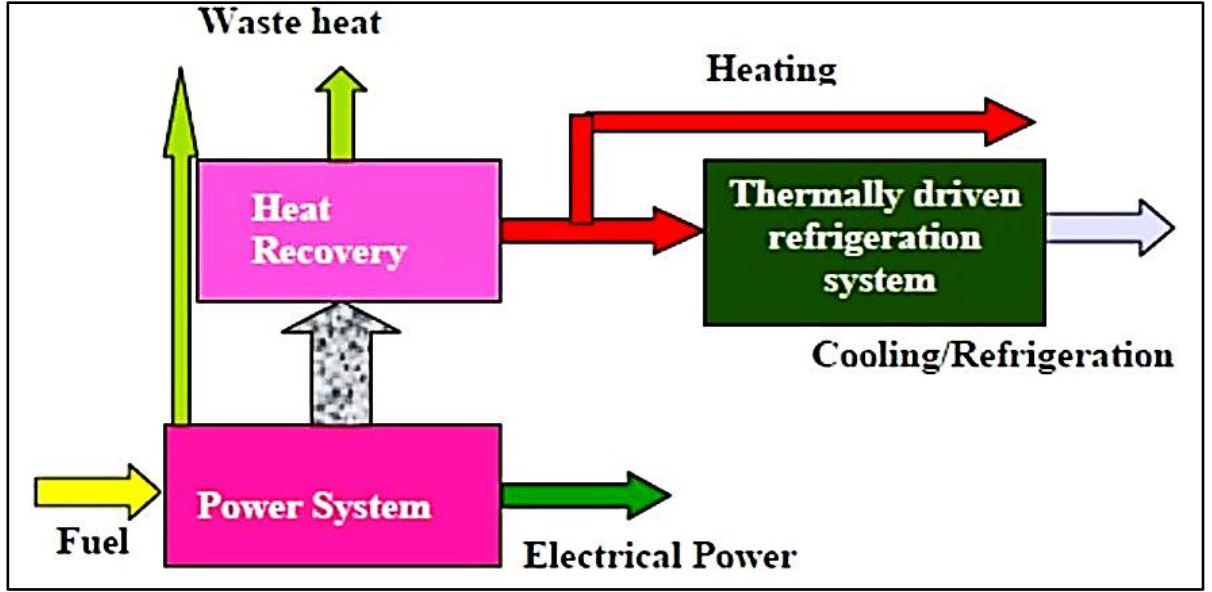


Figure 3.11 Trigeration

(Image courtesy –Website - <https://www.newfoodmagazine.com/article/4448/emerging-technologies-for-food-refrigeration-applications/>)

3.7.1 गरज - ट्रायजनरेशन, ज्याला 'कम्बाइंड कूलिंग, हीट अँड पॉवर (CCHP) असेही म्हणतात, ऊर्जा कार्यक्षमता आणि शाश्वतता वाढवण्यासाठी आवश्यक आहे. कारण ते एकाच इंधन स्रोतापासून वीज, उपयुक्त उष्णता आणि थंड पाणी एकाच वेळी तयार करते. पारंपरिक वीज निर्मितीमध्ये ऊर्जेचा मोठा भाग उष्णतेच्या स्वरूपात वाया जातो. ट्रायजनरेशन या समस्येवर उपाय म्हणून काम करते. ही वाया जाणारी उष्णता परत मिळवून तिचे उष्णता आणि शीतकरणात रूपांतर करून, ट्रायजनरेशन प्रणाली 90% पर्यंत एकूण कार्यक्षमता साध्य करू शकतात. यामुळे स्वतंत्र वीज, उष्णता आणि शीतकरण प्रणालींच्या तुलनेत ऊर्जा वापर कार्यप्रणालीचा खर्च आणि ग्रीनहाऊस वायूंचे उत्सर्जन मोठ्या प्रमाणात कमी होते. यामुळे, रुग्णालये, हॉटेल्स, औद्योगिक प्रकल्प आणि व्यावसायिक इमारतींसारख्या तिन्ही प्रकारच्या ऊर्जेची वर्षभर मागणी असलेल्या सुविधांसाठी हे विशेष फायदेशीर ठरते, ज्यामुळे अधिक ऊर्जा स्वातंत्र्य आणि लवचिकता मिळते.

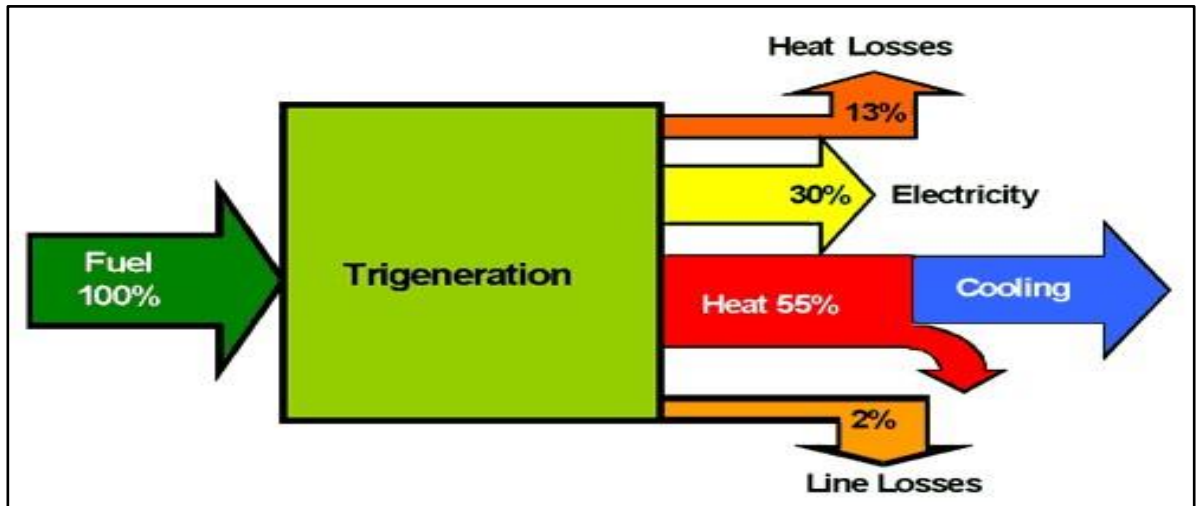


Figure 3.12 Trigeration Need

(Image courtesy –Website - <https://www.ecomena.org/trigeration-systems/>)

3.7.2 संधी –ट्रायजनरेशन किंवा कम्बाइंड कूलिंग, हीट अँड पॉवर विविध क्षेत्रांमध्ये ऊर्जा कार्यक्षमता वाढवण्यासाठी, कार्यप्रणालीचा खर्च कमी करण्यासाठी आणि कार्बन उत्सर्जन कमी करण्यासाठी महत्त्वपूर्ण संधी उपलब्ध करून देते. एकाच इंधन स्रोतापासून बहुधा नैसर्गिक वायू किंवा बायोमास वीज, उपयुक्त उष्णता आणि शीतकरण एकाच वेळी निर्माण करून, ट्रायजनरेशन प्रणाली पारंपरिक वीज निर्मितीमध्ये वाया जाणारी उष्णता परत मिळवतात. हा एकात्मिक दृष्टिकोन वीज, उष्णता आणि शीतकरणाच्या स्वतंत्र निर्मितीपेक्षा लक्षणीयरीत्या जास्त एकूण कार्यक्षमता

साध्य करू शकतो, काहीवेळा ती 75-80% पर्यंत पोहोचते. भारतात, वेगाने वाढणारी अर्थव्यवस्था, वाढती ऊर्जा मागणी आणि महत्वाकांक्षी डीकार्बनायझेशन लक्ष्यांमुळे, ट्रायजनरेशनमध्ये प्रचंड क्षमता आहे. वीज, उष्णता आणि शीतकरणाची सातत्यपूर्ण आणि एकाच वेळी मागणी असलेल्या हॉटेल्स, रुग्णालये, विमानतळ, शॉपिंग मॉल्स, डेटा सेंटर्स, विद्यापीठे आणि मोठ्या औद्योगिक सुविधांसारखी क्षेत्रे ट्रायजनरेशनच्या अंमलबजावणीसाठी प्रमुख उमेदवार आहेत. भारतातील सिटी गॅस डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्कच्या विस्तारामुळे गॅस-आधारित ट्रायजनरेशनच्या शक्यता आणखी उज्वल झाल्या आहेत. कमी झालेल्या ऊर्जा खर्चाचे आणि विजेच्या दरांमधील चढउतारांपासून मिळणाऱ्या तात्काळ आर्थिक फायद्यांव्यतिरिक्त, ट्रायजनरेशन आपली ऊर्जा प्रणाली अधिक मजबूत आणि स्वतंत्र बनवते. स्थानिक पातळीवर वीज निर्माण केल्याने, मुख्य पॉवर ग्रीडवरील आपले अवलंबित्व कमी होते आणि लांब अंतरावरच्या प्रेषणादरम्यान ऊर्जेचा होणारा अपव्यय टाळता येतो. पर्यावरणीय दृष्ट्या, पारंपरिक वीज निर्मिती आणि डिझेल जनरेटरच्या तुलनेत ते ग्रीनहाऊस वायूंचे उत्सर्जन लक्षणीयरीत्या कमी करते.

3.7.3 सद्यस्थितीतील पद्धती - ट्रायजनरेशन ही विविध क्षेत्रांमध्ये एक अत्यंत कार्यक्षम आणि शाश्वत ऊर्जा उपाय म्हणून ओळखली जात आहे. सध्याच्या पद्धतींमध्ये नैसर्गिक वायू, बायोमास किंवा वाया जाणारी उष्णता यांसारख्या एकाच इंधन स्रोताचा वापर करून एकाच वेळी वीज, उपयुक्त उष्णता आणि शीतकरण निर्माण करणे समाविष्ट आहे. हा एकात्मिक दृष्टिकोन एकूण इंधन कार्यक्षमतेत लक्षणीय सुधारणा करतो, जी पारंपरिक वीज निर्मितीच्या तुलनेत 80-90% पर्यंत पोहोचते, तर पारंपरिक पद्धती साधारणपणे 30-50% कार्यक्षमतेने कार्य करतात. याचे उपयोग विविध आहेत आणि त्यात रुग्णालये, विद्यापीठे, हॉटेल्स, शॉपिंग मॉल्स, औद्योगिक सुविधा आणि डेटा सेंटर्सचा समावेश आहे, जिथे तिन्ही प्रकारच्या ऊर्जेची सातत्यपूर्ण आणि एकाच वेळी मागणी असते. जरी सुरुवातीचा गुंतवणुकीचा खर्च जास्त असू शकतो, तरी कमी ऊर्जा वापर, कमी कार्यप्रणालीचा खर्च, कमी ग्रीनहाऊस वायू उत्सर्जन आणि वाढलेली ऊर्जा स्वातंत्र्य यांसारख्या दीर्घकालीन फायद्यांमुळे ट्रायजनरेशन एक आकर्षक पर्याय ठरते, विशेषतः मोठ्या संकुलांसाठी आणि जिल्हा ऊर्जा प्रणालींसाठी. भारतात, राष्ट्रीय बायो-एनर्जी कार्यक्रम आणि सीएफएच्या (CFA) माध्यमातून दिल्या जाणाऱ्या प्रोत्साहनांसारख्या सरकारी धोरणांच्या पाठिंब्याने सार्वजनिक-खाजगी उपक्रमांद्वारे हे तंत्रज्ञान पुढे येत आहे.

TLO 3.1 Draw layout of gas power plant.

1. Describe the basic working steps of the Brayton cycle.
2. List the main steps involved in a gas turbine's operation to generate electricity.
3. List any four components of a gas turbine power plant
4. Name two advantages of gas turbine power plants.

TLO 3.2 List components of gas power cycle.

5. State the function of a starting motor in the open cycle gas turbine
6. Explain the working of a constant pressure open cycle gas turbine in simple steps
7. List any four components of a closed cycle gas turbine.
8. Differentiate between open cycle and closed cycle gas turbine.
9. Describe working of constant pressure closed cycle gas turbine works.

TLO 3.3 Different methods for improving efficiency of gas turbine power plant.

10. Describe the role of a reheater between two turbine stages.
11. Explain the concept of "regeneration" in a gas turbine power plant
12. Explain the working of intercooler to reduce the work of compression losses.
13. List the methods used to improve the thermal efficiency of a gas turbine power plant
14. List any four advantages and disadvantages of gas turbine power plants.

TLO 3.4 Explain the need of waste heat recovery system.

15. Name state the four common sources of waste heat in a thermal power plant.
16. Explain the basic working principle of waste heat recovery.
17. Describe how WHR systems contribute to "increased energy efficiency."
18. Explain need of waste heat recovery.
19. Explain the opportunities of waste heat recovery

20. Describe waste heat recovery in thermal power plant

TLO 3.5 Describe with sketches working principle of cogeneration.

21. State the need of a cogeneration power plant

22. Describe the opportunity of cogeneration

23. Define cogeneration

24. Describe how sugar mills can become self-sufficient in energy through cogeneration.

25. State any four environmental benefits of using a bagasse-fired boiler.

TLO 3.6 Describe Trigeneration in the given power plants.

26. Explain the need of Trigeneration

27. Describe the opportunity of Trigeneration

28. Define Trigeneration

Unit 4. न्यूक्लियर पॉवर प्लांट (Nuclear Power Plant)

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes) (CO):

CO4 - न्यूक्लियर पॉवर प्लांट्स (Nuclear Power Plants) सुरक्षितपणे चालवण्यासाठी योग्य रणनीती (strategies) वापरने. Use suitable strategies to run nuclear power plants safely.

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

TLO 4.1 अणु उर्जा प्रकल्पाचे लेआउट रेखाटन करणे. (Sketch the layout of nuclear power plant.)

TLO 4.2 अणु उर्जा प्रकल्पात वापरल्या जाणाऱ्या विविध अणुभट्टीचे स्पष्टीकरण देणे. (Explain various nuclear reactor used in nuclear power plant.)

TLO 4.3 कचरा विल्हेवाट लावण्याच्या पद्धती निवडणे. (Choose the waste disposal methods.)

TLO 4.4 भारतातील अणुऊर्जा प्रकल्पाच्या सध्याच्या परिस्थितीचे स्पष्टीकरण देणे. (Explain the present scenario of nuclear power plant in India.)

TLO 4.5 अणु उर्जा प्रकल्पाचे नियमन करणे. (State the regulation for nuclear power plant.)

4.1 न्यूक्लियर पॉवर प्लांट ची ओळख (Introduction to Nuclear Power Plant):

न्यूक्लियर पॉवर ही वीज निर्माण करण्याची स्वच्छ आणि कार्यक्षम पद्धत आहे. या पद्धतीत पाण्याला गरम करून वाफ (steam) तयार केली जाते. ही वाफ टर्बाइन (turbines) फिरवते, ज्यामुळे वीज तयार होते. न्यूक्लियर पॉवर प्लांटमध्ये युरेनियम (uranium) नावाचे खास इंधन वापरले जाते. न्यूक्लियर रिॲक्टरमध्ये युरेनियम अणूंचे लहान भाग फिजन (fission) नावाच्या प्रक्रियेत विभाजित होतात. या विभाजनामुळे मोठ्या प्रमाणात उष्मा (heat) तयार होतो, जो पाण्याला उकळून वाफ बनवण्यासाठी वापरला जातो. त्यामुळे, न्यूक्लियर ऊर्जा पर्यावरणाला प्रदूषित न करता वीज निर्माण करण्यात मदत करते.

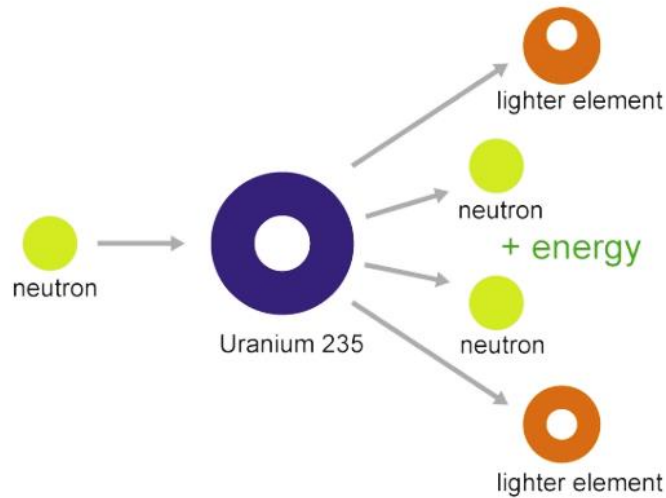


Figure 4.1. (a)

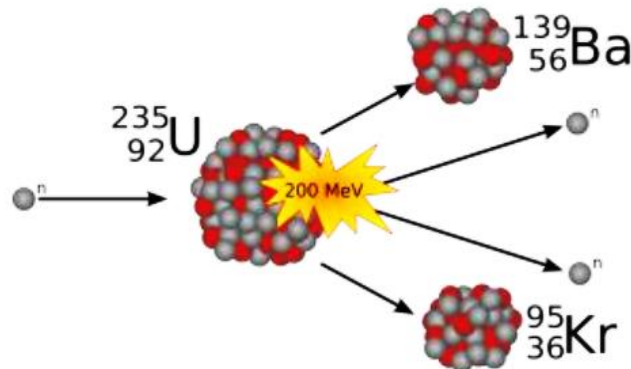


Figure 4.1. (b): Figure 4.1. a & b Fission Process Splits the Uranium Atom

(Fig. 4.1. a Image courtesy – <https://www.eia.gov/energyexplained/nuclear/>)

(Fig. 4.1. b Image courtesy – <https://www.geeksforgeeks.org/physics/nuclear-reactions-definition-types-examples/>)

न्यूक्लियर फिजन (Nuclear fission) तेव्हा होते जेव्हा युरेनियम (uranium) सारखा मोठा अणू दोन लहान अणूंमध्ये विभाजित होतो. या विभाजनामुळे न्यूट्रॉन्स (neutrons), उष्मा ऊर्जा (heat energy), आणि गॅमा रे (gamma rays) सोडले जातात. उरलेले लहान अणू फिजन उत्पादने (fission products) म्हणतात. न्यूक्लियर रिॲक्टर (nuclear reactor) हा एक यंत्र आहे जे न्यूक्लियर फिजन प्रक्रियेला नियंत्रित करून ऊर्जा तयार करते. रिॲक्टरमध्ये न्यूट्रॉन्स जड अणूवर आदळतात, ज्यामुळे ते विभाजित होतात आणि अधिक न्यूट्रॉन्ससह ऊर्जा सोडतात. हे न्यूट्रॉन्स पुढे इतर अणूंना विभाजित करतात, ज्यामुळे साखळी प्रतिक्रिया (chain reaction) सुरू होते. अशा प्रकारे तयार झालेली ऊर्जा न्यूक्लियर पॉवर प्लांट्स (nuclear power plants) मध्ये वीज तयार करण्यासाठी आणि काही जहाजे व पाणबुड्या चालवण्यासाठी वापरली जाते. सामान्य पॉवर प्लांटमध्ये, जसे की कोळसा (coal) जाळून उष्मा ऊर्जा निर्माण केली जाते. हा उष्मा टर्बाइन्स (turbines) चालवण्यासाठी वापरला जातो, जे यांत्रिक ऊर्जा तयार करतात आणि ती नंतर वीजेत रूपांतरित होते. न्यूक्लियर रिॲक्टरमध्ये हा प्रक्रिया साधारण सारखी असते, पण येथे काहीही जळत नाही. ऊर्जा सतत न्यूक्लियर फिजन प्रतिक्रियेतून (nuclear fission reactions) येते. जेव्हा अणू फिजन दरम्यान विभाजित होतात, तेव्हा ते गतिज ऊर्जा (kinetic energy) सोडतात, जी उष्मेत (heat) बदलते. प्रतिक्रियेवर नियंत्रण ठेवण्यासाठी, रिॲक्टरमध्ये न्यूट्रॉन मॉडरेटर (neutron moderator) वापरला जातो जो न्यूट्रॉन्सना धीमे करतो. तयार झालेला उष्मा कूलंट (coolant) कडे हस्तांतरित होतो, जो थेट वापरला जातो किंवा वाफ (steam) तयार करण्यासाठी वापरला जातो. ही वाफ नंतर टर्बाइन्स चालवते आणि शेवटी यांत्रिक ऊर्जा वीजेत रूपांतरित होते.

4.1.1 न्यूक्लियर इंधन) Nuclear Fuel): न्यूक्लियर इंधन तीन अवस्थांत उपलब्ध असते - घन (solid), द्रव (liquid), आणि वायू (gas). रिॲक्टरमध्ये मुख्यतः इंधन घन अवस्थेत किंवा पाण्यात विरघळलेल्या द्रव स्वरूपात वापरले जाते.

न्यूक्लियर इंधन प्रकार:

1. युरेनियम (Uranium U^{235})
2. युरेनियम (Uranium U^{233})
3. प्लूटोनियम (Plutonium Pu^{239})
4. प्लूटोनियम (Plutonium Pu^{241})
5. थोरियम (Thorium Th^{232})

4.1.2 न्यूक्लियर पॉवर प्लांटसाठी साइट निवडीचे निकष (Site selection criteria for nuclear power plant):

1. भौगोलिक स्थिरता (Geological Stability) – भूकंपाचा झटका (seismic faults), भूस्खलन (landslides), आणि ज्वालामुखी क्षेत्रांपासून मुक्त असणे.
2. भूआकृती (Topography) – बांधकामासाठी सपाट किंवा सौम्य उतार असलेले जमीन प्राधान्याने निवडावी.
3. मजबूत पाया स्थिती (Strong Foundation Conditions) – जड न्यूक्लियर इन्फ्रास्ट्रक्चरला आधार देणाऱ्या योग्य माती किंवा खडक असणे.
4. थंड करणाऱ्या पाण्याची उपलब्धता (Availability of Cooling Water) – नदी, समुद्र, तलाव यांसारख्या मोठ्या आणि विश्वसनीय पाण्याच्या स्रोताजवळ असणे.
5. पूर आणि नैसर्गिक आपत्तीपासून सुरक्षितता (Flood and Natural Hazard Safety) – पूरग्रस्त भाग, चक्रीवादळ (cyclones), आणि सूनामी क्षेत्रांपासून दूर असणे.
6. लोकसंख्येपासून सुरक्षित अंतर (Safe Distance from Populated Areas) – रेडियोधर्मी लीक किंवा अपघात झाल्यास धोका कमी करण्यासाठी.
7. पर्यावरणावर कमी परिणाम (Minimal Environmental Impact) – स्थानिक जीवसृष्टी (wildlife) आणि परिसंस्था (ecosystems) यांना त्रास न होणे.
8. चांगली वाहतूक व्यवस्था (Good Transportation Access) – रस्ता, रेल्वे किंवा बंदराद्वारे जड उपकरणे आणण्यासाठी चांगली जोडणी असणे.

9. विद्युत ग्रिड जवळ (Electrical Grid) – उच्चदाब वीज लाइन किंवा सबस्टेशन जवळ असणे जेणेकरून वीज बाहेर काढणे सोपे होईल.
10. रेडियोधर्मी कचरा व्यवस्थापन सुविधा (Radioactive Waste Disposal Facility) – प्लांटजवळ रेडियोधर्मी कचऱ्याच्या अल्पकालीन साठवणुकीसाठी आणि दीर्घकालीन दफनासाठी पुरेशी जागा उपलब्ध असावी.

4.1.3 आराखडा (Layout): न्यूक्लियर इंधनाच्या फिजन प्रक्रियेचा मुख्य उद्देश उष्मा ऊर्जा (thermal energy) तयार करणे आहे. ही उष्मा ऊर्जा उष्मा स्रोत (reactor core) पासून कूलंट (coolant) शी संपर्क साधून काढली जाते. हा कूलंट थेट वीज निर्मितीच्या कार्य चक्रात (power conversion cycle) काम करणाऱ्या द्रव (working fluid) म्हणून वापरला जाऊ शकतो किंवा अप्रत्यक्षपणे दुसऱ्या द्रवाला गरम करण्यासाठी वापरला जाऊ शकतो, जो नंतर काम करणाऱ्या द्रव म्हणून वापरला जातो.

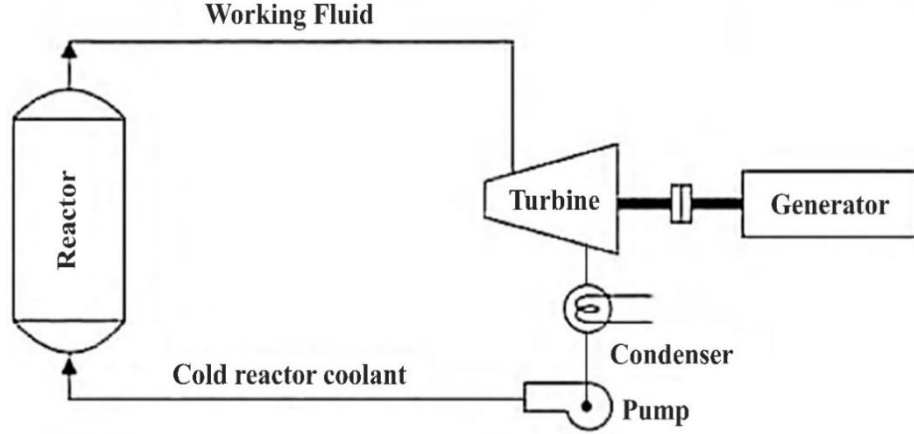


Figure 4. 2 Schematic of nuclear power plant – Direct cycle, reactor coolant used as working fluid (Image courtesy – R.K. Rajput Laxmi Publications, New Delhi 2016, ISBN-13 978-8131802557)

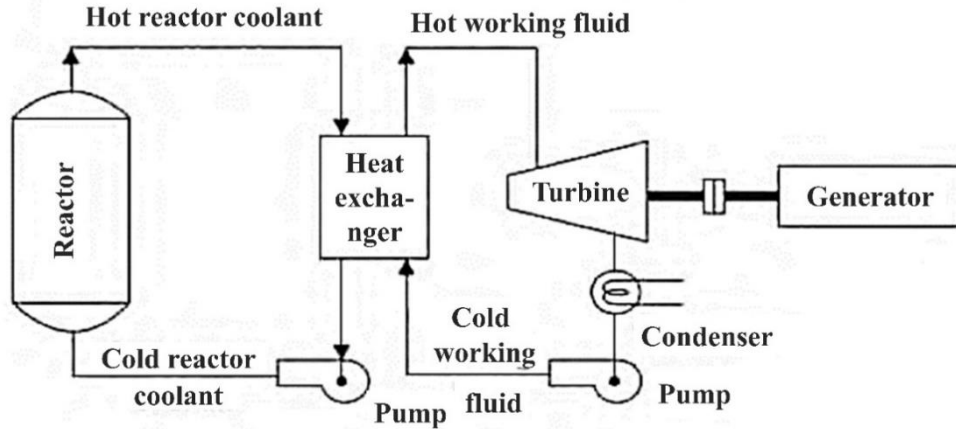


Figure. 4.3 Schematic of nuclear power plant – Indirect cycle, reactor coolant transfers heat to separate as working fluid

(Image courtesy – R.K. Rajput Laxmi Publications, New Delhi 2016, ISBN-13 978-8131802557) कधीकधी, न्यूक्लियर रिॲक्टरचा कूलंट आणि कार्य करणाऱ्या द्रव (working fluid) यांच्यात मध्यम उष्मा हस्तांतरण (intermediate heat-transfer) लूप लावला जातो, जेणेकरून रेडियोधर्मी रिॲक्टर कूलंट (radioactive reactor coolant) आणि वीज निर्माण करणाऱ्या उपकरणांमध्ये अधिक वेगळेपणा राखता येतो. नंतर कार्य करणाऱ्या द्रवाचा वापर टर्बाइन (turbine) चालवण्यासाठी केला जातो, ज्यामुळे वीज तयार होते. थेट (direct) आणि अप्रत्यक्ष (indirect) पद्धतीने वापरल्या जाणाऱ्या न्यूक्लियर पॉवर सिस्टम्सचे आरेख (schematic representations) Figure. 4.2 आणि Figure. 4.3 मध्ये दाखवले आहेत. न्यूक्लियर पॉवर प्लांटची मुख्य घटकं (main components) पुढीलप्रमाणे आहेत:

1. न्यूक्लियर रिॲक्टर (Nuclear reactor)
2. हीट एक्सचेंजर (steam generator)
3. वाफ टर्बाइन (steam turbine)
4. कंडेन्सर (condenser)

5. इलेक्ट्रिक जनरेटर (electric generator)

न्यूक्लियर पॉवर प्लांटमध्ये रिॲक्टरचा कार्य वाफ पॉवर प्लांटच्या भट्टीसारखाच असतो (म्हणजे उष्मा तयार करणे). इंधनाच्या न्यूक्लियर फिजनमुळे रिॲक्टरमध्ये निर्माण झालेली उष्मा कूलंटद्वारे (coolant) रिॲक्टर कोअरमध्ये फिरवली जाते. गरम कूलंट रिॲक्टरच्या वरून बाहेर पडते आणि नंतर हीट एक्सचेंजर (steam generator) मधील नळ्या (tubes) मधून प्रवाहित होते, जिथे थंड कार्य करणाऱ्या द्रवाला (cold working fluid) उष्मा हस्तांतरण होते. तयार झालेली वाफ वाफ टर्बाइनमध्ये विस्तारित होते, जेथे काम (work) तयार होते आणि नंतर ती कंडेन्सरमध्ये द्रवरूप होते. वाफ टर्बाइन इलेक्ट्रिक जनरेटर चालवते, ज्यामुळे वीज ऊर्जा तयार होते. कूलंट, कंडेन्सेट, आणि फीड वॉटरचा प्रवाह कायम ठेवण्यासाठी Figure. 4.2 आणि Figure. 4.3 प्रमाणे पंप्स (pumps) दिलेले असतात.

4.2 न्यूक्लियर रिॲक्टर (Nuclear Reactor): न्यूक्लियर रिॲक्टर हा एक यंत्र आहे जे न्यूक्लियर फिजन (nuclear fission) नावाच्या प्रक्रियेद्वारे ऊर्जा तयार करते. या प्रक्रियेत साखळी प्रतिक्रिया (chain reaction) सुरक्षित आणि नियंत्रित पद्धतीने घडते. रिॲक्टर भट्टीसारखे कार्य करते, पण येथे कोळसा (coal) किंवा तेल (oil) जाळण्याऐवजी युरेनियम-235 (U-235), युरेनियम-233 (U-233), किंवा प्लूटोनियम-239 (Pu-239) सारखे खास इंधन वापरले जाते. जेव्हा हे इंधनाचे अणू फाटतात, तेव्हा त्यातून उष्मा (heat), न्यूट्रॉन्स (neutrons), आणि रेडिओआयसोटॉप्स (radioisotopes) सोडले जातात.

उष्मा निर्मितीची यंत्रणा (Mechanism of heat production): जेव्हा अणूचे केंद्रक (nucleus) विभाजित होते, तेव्हा ते दोन भागांमध्ये फुटतात, ज्याला फिजन तुकडे (fission fragments) म्हणतात. हे तुकडे खूप वेगाने हलतात आणि त्यांच्याकडे सर्वाधिक ऊर्जा असते. युरेनियमसारख्या घनधातूमध्ये (dense metal) असल्यामुळे हे तुकडे लवकरच इतर अणूंना आदळतात आणि हळू होतात. जेव्हा ते हळू होतात, तेव्हा त्यांची ऊर्जा उष्मेत (heat) बदलते. हे ठीक Motor ला ब्रेक लावल्यावर निर्माण होणाऱ्या उष्मेशी सारखे आहे. अशा प्रकारे युरेनियम धातू गरम होतो.

4.2.1 न्यूक्लियर रिॲक्टरची घटक (Components of a Nuclear Reactor): न्यूक्लियर रिॲक्टरचे आवश्यक घटक पुढीलप्रमाणे आहेत:

1. रिॲक्टर कोअर (Reactor core)
2. रिफ्लेक्टर (Reflector)
3. नियंत्रण यंत्रणा (Control mechanism)
4. मॉडरेटर (Moderator)
5. कूलंट्स (Coolants)
6. शील्डिंग (Shielding)

1. रिॲक्टर कोअर (Reactor core): रिॲक्टर कोअर हा न्यूक्लियर पॉवर प्लांटचा मुख्य भाग आहे जिथे फिजन साखळी प्रतिक्रिया (fission chain reaction) होते. येथेच उष्मा तयार होतो जो टर्बाइन चालवण्यासाठी वापरला जातो. कोअरमध्ये इंधन घटक (fuel elements), नियंत्रण रॉड्स (control rods), कूलंट (coolant), आणि मॉडरेटर (moderator) असतात. कोअर सहसा उंच, गोलसर सिलेंडर आकाराचा असतो ज्याचा व्यास 0.5 ते 15 मीटर दरम्यान असतो. कोअरला धरून ठेवणारा प्रेशर व्हॅसल (pressure vessel) देखील कोअरचा भाग मानला जातो. इंधन घटक म्हणजे युरेनियम धातूचे रॉड्स किंवा प्लेट्स असतात. हे रॉड्स किंवा प्लेट्स कॉरोझन, रेडियोधर्मिता रोखण्यासाठी आणि आधार देण्यासाठी स्टेनलेस स्टील, झिरकोनियम, किंवा अॅल्युमिनियमच्या पातळ थराने झाकलेले असतात. रॉड्स किंवा प्लेट्सच्या मध्ये इतकी जागा असते की कूलंट मोकळेपणाने वाहू शकेल.

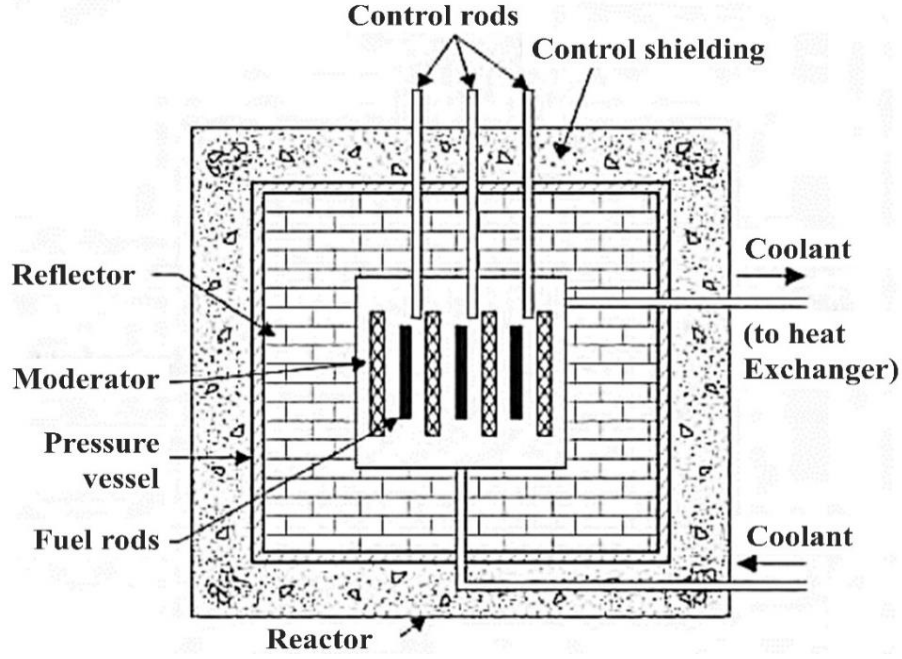


Figure. 4. 4 Nuclear Reactor

(Image courtesy – R.K. Rajput Laxmi Publications, New Delhi 2016, ISBN-13 978-8131802557)

2. रिफ्लेक्टर (Reflector): रिफ्लेक्टर सहसा रिॆक्टर कोअरच्या (core) भोवती लावला जातो, ज्यामुळे कोअरच्या पृष्ठभागावरून बाहेर पडणारे काही न्यूट्रॉन्स परत कोअरमध्ये परावर्तित (reflect) होतात. रिफ्लेक्टर सामान्यतः मॉडरेटर (moderator) सारख्या पदार्थाचा बनलेला असतो. न्यूट्रॉन्स जितके शक्य तितके जतन करणे आवश्यक असते, जेणेकरून फिशल (fissile) पदार्थाचा वापर कमी होईल आणि रिॆक्टरचा आकार लहान राहील. फिजन प्रक्रियेत सोडलेले न्यूट्रॉन्स इंधन, मॉडरेटर, कूलंट किंवा रिॆक्टरच्या संरचनात्मक पदार्थाद्वारे शोषले जाऊ शकतात. काही न्यूट्रॉन्स नशिबाने कोअरमधून बाहेर पडून कायमचे हरवतात. त्यांचा तोटा कमी करण्यासाठी रिॆक्टरच्या आतल्या पृष्ठभागावर अशा पदार्थाचे झाकलेले असते जो न्यूट्रॉन्स परत कोअरमध्ये परावर्तित करतो. या पदार्थाला रिफ्लेक्टर म्हणतात. चांगल्या रिफ्लेक्टरच्या गुणधर्मः

1. कमी शोषण क्षमता (Low absorption)
2. न्यूट्रॉन्ससाठी जास्त परावर्तन क्षमता (High reflection)
3. ऑक्सिडेशनविरोधक (High resistance to oxidation)
4. किरणोत्सर्ग (irradiation) आणि उच्च रेडिएशन स्थैर्य (high radiation stability)

बऱ्याच वेळा मॉडरेटर म्हणून वापरलेला पदार्थ रिफ्लेक्टर म्हणून देखील वापरला जातो कारण मॉडरेटिंग पदार्थांमध्ये चांगली परावर्तन क्षमता असते. H_2O (पाणी), D_2O (हेवी वॉटर) आणि कार्बन याही रिफ्लेक्टर म्हणून वापरले जातात.

3. नियंत्रण यंत्रणा (Control mechanism): रिॆक्टरचा एक महत्वाचा भाग असून याचे कार्य पुढीलप्रमाणे आहेः

1. रिॆक्टर थंड अवस्थेतून सुरू करताना तो चालू करणे.
2. साखळी प्रतिक्रिया स्थिर ठेवणे.
3. सामान्य किंवा आपत्कालीन परिस्थितीत रिॆक्टर बंद करणे.

साखळी प्रतिक्रिया अनियंत्रित होऊन रिॆक्टरला नुकसान होण्यापासून वाचवण्यासाठी नियंत्रण यंत्रणा आवश्यक आहे. साखळी प्रतिक्रिया नियंत्रण करण्यासाठी इंधन रॉड्स काढणे किंवा न्यूट्रॉन्स नियंत्रित करणे आवश्यक असते. नियंत्रण रॉड्स इंधनाच्या ट्यूबमध्ये घातल्या जातात ज्यामुळे न्यूट्रॉन्सची संख्या नियंत्रित होते. नियंत्रण रॉड्ससाठी वापरले जाणारे पदार्थ म्हणजे कॅडमियम (Cadmium), बोरॉन (Boron), किंवा हॅफ्निअम (Hafnium) जे उच्च न्यूट्रॉन शोषण क्षमता असलेले असतात.

4. मॉडरेटर (Moderator): न्यूक्लियर रिॆक्टरमध्ये मॉडरेटरचे काम फिजन प्रक्रियेतून बाहेर पडणाऱ्या जलद न्यूट्रॉन्सचा वेग कमी करणे आहे, ज्यामुळे त्यांची ऊर्जा कमी होते. न्यूट्रॉन्स सर्वात प्रभावीपणे हायड्रोजन, ग्रॅफाइट, बेरीलियम सारख्या हलक्या घटकांच्या केंद्रकांशी टकराव करून हळू होतात. मॉडरेटरमध्ये असाव्यात असे गुणधर्मः

1. उच्च वेग कमी करण्याची क्षमता (High slowing down power)

2. नॉन कोरोसीव (Non-corrosive)
3. मशीनिंगसाठी योग्य (Machinable), जर ठोस असेल तर
4. ठोस असल्यास उच्च वितळण्याचा बिंदू, द्रव असल्यास कमी वितळण्याचा बिंदू
5. रासायनिक व किरणोत्सर्गीय स्थिरता (Chemical and radiation stability)
6. उच्च उष्णता संवहन क्षमता (High thermal conductivity)
7. शुद्ध स्वरूपात उपलब्धता

सामान्य मॉडरेटर म्हणजे कॅडमियम (Cd), पाणी (H_2O), हेवी वॉटर (D_2O), हीलियम (He - गॅस), बेरीलियम (Be), आणि ग्रॅफाइट (C).

5. कूलंट्स (Coolants): रिॲक्टरमधील कूलंटचे मुख्य काम म्हणजे रिॲक्टरमध्ये निर्माण होणारा उष्मा वाहून नेणे. कूलंटने वाहून नेलेली उष्मा हीट एक्सचेंजरमध्ये (steam generator) वापरली जाते ज्यामुळे वाफ तयार होते. चांगल्या कूलंटचे आवश्यक गुणधर्म:

1. न्यूट्रॉन्स शोषू नयेत
2. उच्च रासायनिक आणि रेडिएशन स्थैर्य असावे
3. न कोरोजिव्ह (Non-corrosive) असावे
4. द्रव असल्यास उच्च उकळण्याचा बिंदू, ठोस असल्यास कमी वितळण्याचा बिंदू
5. ऑक्सिडायझिंग नसावे
6. विषारी नसावे (Non-toxic)
7. कमी सान्द्रता (Low viscosity)
8. उच्च विशिष्ट उष्मा (High specific heat)
9. उच्च घनता (High density)

पाणी, हेवी वॉटर, गॅसेस (He, CO_2), द्रव धातू (Na), आणि सेंद्रिय द्रव यांचा कूलंट म्हणून वापर होतो. कूलंट फक्त उष्मा वाहून नेत नाही, तर इंधनाच्या असेंबल्सना सुरक्षित तापमानावर ठेवतो जेणेकरून ते वितळून नष्ट होणार नाहीत.

6. शील्डिंग (Shielding): शील्डिंगची गरज आहे कारण:

- i. रिॲक्टर व्हेसलच्या भिंतींना रेडिएशनपासून संरक्षण देण्यासाठी.
- ii. काम करणाऱ्या कर्मचाऱ्यांना रेडिएशनपासून सुरक्षित ठेवण्यासाठी.

पहिला म्हणजे थर्मल शील्ड (thermal shield) जो स्टीलच्या आच्छादनाद्वारे दिला जातो. दुसरा म्हणजे बाह्य किंवा जैविक शील्ड (external/biological shield) जो जाड कंक्रीटने रिॲक्टरच्या भोवती बांधला जातो. रिॲक्टरमध्ये निर्माण होणाऱ्या न्यूक्लियर रेडिएशनमध्ये अल्फा, बेटा कण, थर्मल (हळू) न्यूट्रॉन्स, जलद न्यूट्रॉन्स आणि गॅमा किरणे असतात. त्यापैकी जलद न्यूट्रॉन्स आणि गॅमा किरणांपासून संरक्षण करणे आव्हानात्मक असते. अल्फा आणि बेटा कण काही इंचांच्या ठोस पदार्थाने थांबवता येतात, तर थर्मल न्यूट्रॉन्ससाठी जाड शील्ड लागते. शील्डचा प्रभाव गॅमा किरणांवर त्याच्या वस्तुमानावर (mass) अवलंबून असतो. लीड (Lead) सारखा जड पदार्थ वजनाच्या दृष्टीने अधिक प्रभावी असतो, तर हलक्या घटकांमध्ये, विशेषतः हायड्रोजन, जलद न्यूट्रॉन्ससाठी अधिक प्रभावी असतो. कंक्रीट ही अशी सामग्री आहे जी दोन्ही प्रकारच्या शील्डिंगसाठी (गॅमा आणि जलद न्यूट्रॉन्स) चांगली संतुलित सुविधा देते, कमी किंमतीत आणि सहज उपलब्ध असते. शील्ड डिझाइन करताना विचारात घेतल्या जाणाऱ्या गोष्टी:

- i. रिॲक्टरमध्ये तयार होणाऱ्या रेडिएशनची एकूण मात्रा.
- ii. शील्डमधून कशी आणि किती रेडिएशन बाहेर पडू शकते याची मर्यादा.
- iii. शील्ड सामग्रीचे संरक्षणात्मक गुणधर्म.

4.2.2 प्रेशराइज्ड वॉटर रिॲक्टर ची रचना आणि कार्यप्रणाली (Construction and Working of Pressurized Water Reactor - PWR): प्रेशराइज्ड वॉटर रिॲक्टर हा साध्या स्वरूपात एक लाइट वॉटर कूलंट आणि मॉडरेटेड थर्मल रिॲक्टर आहे, ज्याचा कोअर डिझाईन वेगळा असतो आणि यात नैसर्गिक तसेच उच्च प्रमाणात enriched इंधन वापरले जाते. रिॲक्टरचे मुख्य भाग खालीलप्रमाणे आहेत:

1. प्रेशर व्हेसल (Pressure vessel)
2. रिॲक्टर थर्मल शील्ड (Reactor thermal shield)
3. इंधन घटक (Fuel elements)

4. कंट्रोल रॉड्स (Control rods)
5. रिऐक्टर कंटेनमेंट (Reactor containment)
6. रिऐक्टर प्रेसरायझर (Reactor pressurizer)

प्रेसराइज्ड वॉटर प्लांटच्या सेकंडरी सिस्टीमचे घटक सामान्य स्टीम स्टेशनमध्ये असलेल्या घटकांप्रमाणेच असतात.

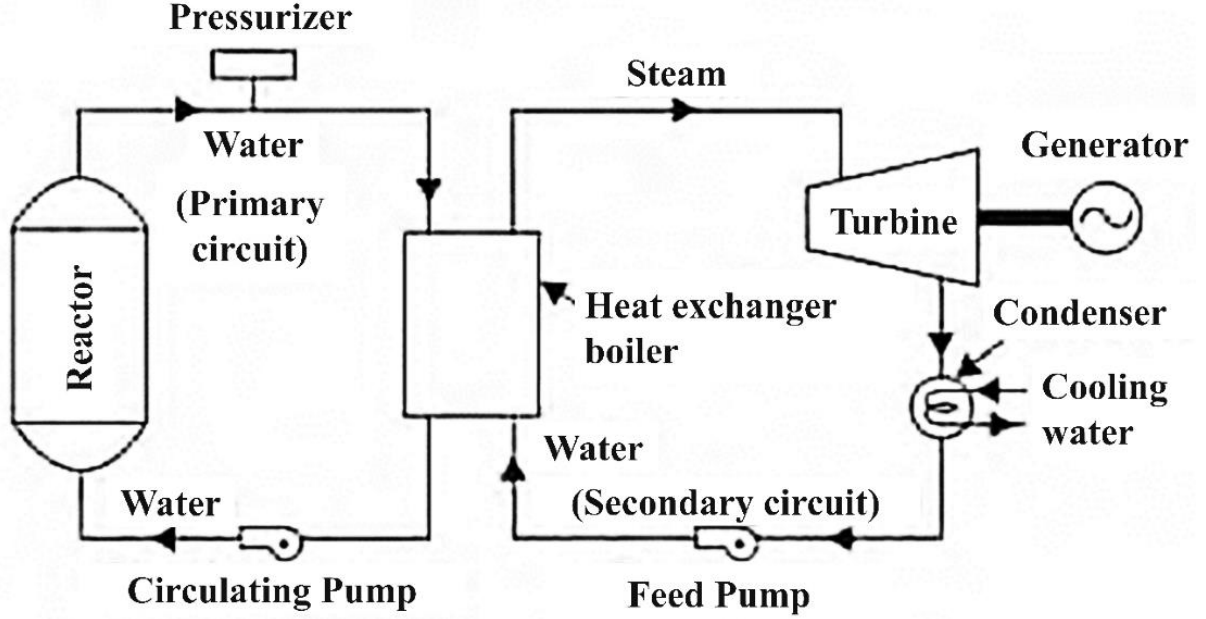


Figure. 4.5 Pressurized Water Reactor (PWR)

(Image courtesy – R.K. Rajput Laxmi Publications, New Delhi 2016, ISBN-13 978-8131802557)

प्रेसराइज्ड वॉटर रिऐक्टरमध्ये दोन पाण्याचे सर्किट असतात. एक प्राथमिक सर्किट (primary circuit) जो इंधनाच्या कोअरमधून जातो आणि तो रेडियोधर्मी असतो. हा प्राथमिक सर्किट नंतर द्वितीयक सर्किटमध्ये (secondary circuit) वाफ निर्माण करतो, ज्यात हीट एक्सचेंजर (heat exchanger) किंवा बॉयलर (boiler) आणि टर्बाईन (turbine) असतो. त्यामुळे, टर्बाईनमध्ये जाणारी वाफ रेडियोधर्मी नसते आणि ती शील्ड करणे आवश्यक नाही. प्राथमिक सर्किटमधील दाब (pressure) जास्त असायला हवा, जेणेकरून पाणी जास्त दाबाखाली उकळू शकते. प्रेसरायझर टाकी (pressurizing tank) मध्ये पाणी सुमारे 100 ते 130 बार दाबाखाली ठेवले जाते, ज्यामुळे ते उकळत नाही. प्रेसरायझरमध्ये असलेले इलेक्ट्रिक हीटिंग कॉइल्स (electric heating coils) काही पाणी उकळवून वाफ तयार करतात, जी डोममध्ये (dome) जमा होते. जास्त वाफ तयार झाल्यामुळे डोममधील दाब वाढतो आणि संपूर्ण सर्किटला प्रेसरायझर करतो. दाब कमी करण्यासाठी कूलिंग कॉइल्स (cooling coils) लावणे किंवा वाफेवर पाणी शिंपडणे (spraying) केले जाते. पाणी ही कूलंट (coolant) आणि मॉडरेटर (moderator) दोन्ही म्हणून काम करते. या कामासाठी हेवी वॉटर (heavy water) किंवा लाइट वॉटर (light water) वापरले जाऊ शकते. प्रेशराइज्ड वॉटर रिऐक्टर केवळ सॅच्युरेटेड वाफ (saturated steam) तयार करू शकतो. वेगळ्या फर्नेस (furnace) च्या माध्यमातून, रिऐक्टरमधून तयार झालेली वाफ सुपरहीट (superheated) केली जाऊ शकते.

4.2.3 बॉइलिंग वॉटर रिऐक्टर ची रचना आणि कार्यप्रणाली: (Construction and Working of Boiling Water Reactor - BWR): बॉइलिंग वॉटर रिऐक्टरमध्ये समृद्ध (enriched) इंधन वापरले जाते. प्रेशराइज्ड वॉटर रिऐक्टरच्या (Pressurized Water Reactor) तुलनेत, बॉइलिंग वॉटर रिऐक्टर प्लांटची रचना सोपी असते. हा प्लांट सुरक्षितपणे कोअरमध्ये नैसर्गिक संवहन (natural convection) किंवा जबरदस्तीच्या परिसंचरणाने (forced circulation) चालवला जाऊ शकतो, ज्याप्रमाणे Figure. 4.6 मध्ये दाखवले आहे. रिऐक्टरच्या सुरक्षित ऑपरेशनसाठी, फोर्सने फिरणाऱ्या पाण्याचा दाब (pressure) कितीही असो, तो स्थिर ठेवला पाहिजे. टर्बाईनच्या भाग लोड ऑपरेशनमध्ये काही वाफ बायपास केली जाते. बॉइलिंग वॉटर रिऐक्टरमध्ये, फिजन प्रक्रियेदरम्यान निर्माण झालेल्या उष्णतेच्या मदतीने पाणी उकळवून वाफेत रूपांतरित केले जाते. येथे, हीट एक्सचेंजरची गरज नसते कारण पाणी थेट सॅच्युरेटेड वाफेत (saturated steam) रूपांतरित होते. निर्मित वाफ टर्बाईनमध्ये विस्तारित होऊ दिली जाते ज्यामुळे यांत्रिक कार्य (mechanical work) होते. जनरेटर (generator) ही यांत्रिक ऊर्जा विद्युत उर्जेत (electrical energy) रूपांतरित

करतो. कॉन्डेंसर (condenser) वाफेला पाण्यात रूपांतरित करण्यासाठी वापरला जातो. हे पाणी फीड पंपच्या (feed pump) मदतीने रिॲक्टरमध्ये पुनः परिसंचालित (circulated) केले जाते.

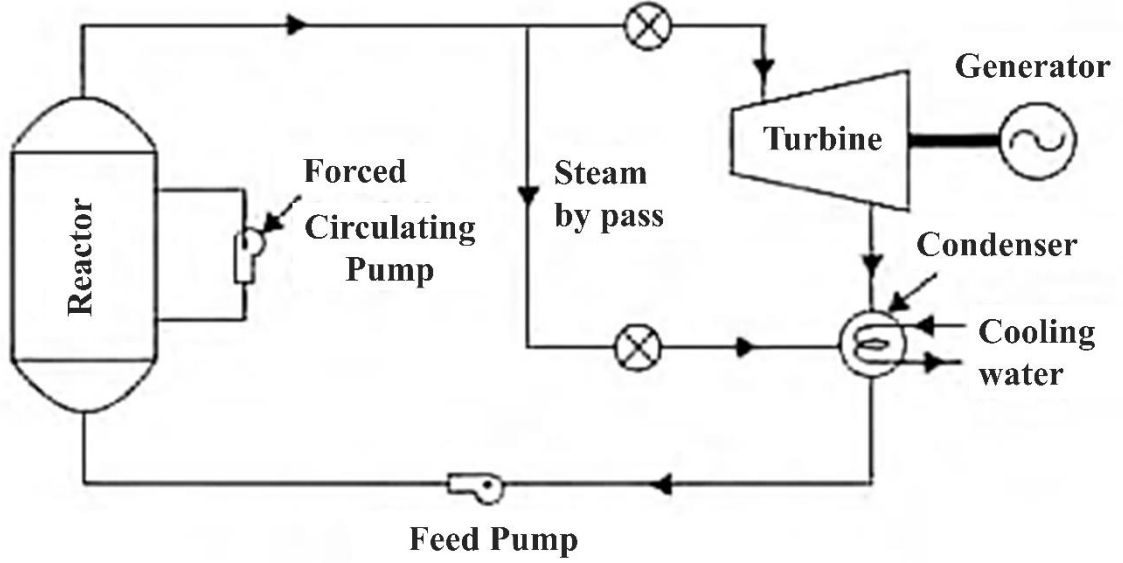


Figure. 4.6 Boiling Water Reactor (BWR)

(Image courtesy – R.K. Rajput Laxmi Publications, New Delhi 2016, ISBN-13 978-8131802557)

4.3 न्यूक्लियर कचरा आणि त्याचा निपटारा (Nuclear Waste and Its Disposal): न्यूक्लियर कचरा, ज्याला किरणोत्सर्गी कचरा (radioactive waste) असेही म्हणतात, हा न्यूक्लियर रिॲक्टर, इंधन प्रक्रिया केंद्र, Nuclear संशोधन, आणि वैद्यकीय व उद्योग क्षेत्रातील रेडिओधर्मी पदार्थांच्या वापराचा उपउत्पाद असतो. हा कचरा दीर्घकाळ रेडिओधर्मी आणि मानवी आरोग्यासाठी तसेच पर्यावरणासाठी संभाव्य धोका असतो. न्यूक्लियर कचऱ्याचे वर्गीकरण त्याच्या अर्धायुषी (half-life time) आणि विकिरण तीव्रतेच्या (radiation intensity) आधारावर कमी, मध्यम आणि उच्चस्तरीय रेडिओधर्मी कचऱ्यामध्ये केले जाते. रिॲक्टरच्या कार्यामुळे फिजन उत्पादने आणि प्लूटोनियमसह कचऱ्याची निर्मिती होते. बहुतेक फिजन उत्पादने 30 वर्षांपेक्षा कमी अर्धायुषी असतात, पण त्यांचा विषारी कालावधी (toxic lifetime) 500 ते 1000 वर्षांपर्यंत असतो. प्रारंभी कमी प्रमाणात असलेले प्लूटोनियम आणि इतर ॲक्टिनाइड्स (actinides) 1000 वर्षांनंतर प्रमुख प्रमाणात होतात. त्यामुळे अत्यंत रेडिओधर्मी कचऱ्याच्या धोका विरुद्ध भविष्यात सुरक्षितता सुनिश्चित करणे हे मोठे आव्हान ठरते.

4.3.1 न्यूक्लियर कचऱ्याचे प्रकार (Types of Nuclear Waste):

- 1. लो-लेव्हल वेस्ट (Low-Level Waste LLW):** या प्रकारचा न्यूक्लियर कचरा सिमेंटमध्ये ओतून (cast) स्टीलच्या ड्रममध्ये ठेवला जातो. हे ड्रम जमिनीत (काही मीटर खोल) किंवा समुद्राच्या तळाशी ठेवले जातात. या पद्धतीची सुरक्षितता म्हणजे समुद्राच्या तळाशी कचऱ्याचा सक्रियता (activity) मोठ्या प्रमाणात विरलेणे (dilution). रेडिओधर्मी दृष्ट्या, समुद्रात हा कचरा टाकणे जास्त सुरक्षित समजले जाते कारण त्यात अनावश्यक हाताळणी आणि साठवण टाळली जाते. यामध्ये कपडे, साधने (tools), फिल्टर्स आणि रेडिओधर्मी ट्यूब्स यांचा समावेश होतो. याची रेडिओधर्मिता कमी असते व अर्धायुषी (half-life)ही लहान असते. सामान्यतः ही कचरा जमिनीच्या जवळील लँडफिल (landfill) प्रकारच्या जागेत टाकली जाते.
- 2. इंटरमीडिएट-लेव्हल वेस्ट (Intermediate-Level Waste ILW):** हे कचऱ्यामध्ये प्रामुख्याने न्यूट्रॉन ॲक्टिवेशन प्रॉडक्ट आइसोटोप्स (neutron activation product isotopes) असतात. ते सिमेंट सिलेंडरमध्ये घातले जातात कारण सिमेंट जळत नाही आणि बाह्य विकिरणापासून संरक्षण (shielding) पुरवतो. सिमेंटला जमिनीतून आलेल्या पाण्याने (groundwater) धुवून टाकण्याचा (leaching) धोका कमी असतो. या कचऱ्यात Low-Level Waste पेक्षा अधिक रेडिओधर्मिता असते. यात रेजिन्स, रासायनिक चिकटपणा (chemical sludge), आणि रिॲक्टरचे भाग असतात. हाताळताना संरक्षणाची आवश्यकता असते आणि सामान्यतः कॉंक्रीटने बनवलेल्या वॉल्ट्समध्ये (concrete-lined vaults) साठवले जाते.
- 3. हाय-लेव्हल वेस्ट (High-Level Waste HLW):** उपयोगी इंधन नायट्रिक ऍसिडमध्ये विरघळवल्यानंतर उरलेले द्रावण (solution) म्हणजे हाय-लेव्हल वेस्ट. यामध्ये युरेनियम (U-235) आणि प्लूटोनियम (Pu-239)

काढले जातात. उरलेले द्रावण साइटवर विशेष स्टीलच्या टाक्यांमध्ये आणि कॉंक्रीट वॉल्ट्समध्ये ठेवले जाते. हे थंड ठेवण्यासाठी पाणी वापरले जाते आणि नंतर साठवण भागात नेले जाते. हे बहुतेक वेळा वापरलेले न्यूक्लियर इंधन किंवा वापरलेल्या इंधनाची प्रक्रिया करून निर्माण झालेले कचऱ्याचे स्वरूप आहे. खूप जास्त रेडिओधर्मी असते आणि उष्णता निर्माण करते. याला थंड ठेवणे आणि संरक्षण करणे आवश्यक आहे, त्यामुळे व्यवस्थापनात हे सर्वात आव्हानात्मक आहे.

4.3.2 न्यूक्लियर कचऱ्याचा निपटारा करण्याच्या पद्धती (Methods of Nuclear Waste Disposal):

1. साठवण (तात्पुरती) (Storage - Temporary):

- वापरलेले इंधन सुरुवातीला रिॲक्टरच्या ठिकाणी कूलिंग पूल्समध्ये ठेवले जाते, ज्यामुळे उष्णता आणि रेडिओधर्मिता कमी होते.
- नंतर त्याला ड्राय कास्क किंवा कंटेनरमध्ये ठेवून पुढील साठवण केली जाते.

2. जमिनीच्या जवळ निपटारा (Near-Surface Disposal):

- मुख्यतः Low-Level Waste आणि काही Intermediate-Level Waste यासाठी वापरला जातो.
- कचऱ्याला उथळ खड्ड्यांत किंवा विशेष सुविधा असलेल्या ठिकाणी दफन केले जाते व त्यावर देखरेख ठेवली जाते.

3. खोल भूगर्भीय विल्हेवाट (Deep Geological Disposal):

- High-Level Waste आणि Intermediate-Level Waste साठी दीर्घकालीन उपाय म्हणून नियोजित आहे.
- कचऱ्याला स्थिर खडकांमध्ये (stable rock formations) शेकडो मीटर खोल दफन केले जाते, जे विशेष प्रकारे तयार केलेल्या ठिकाणी असते.
- यामुळे माणूस आणि पर्यावरणापासून कचऱ्याचा दीर्घकालीन वेगळेपणा (isolation) राखला जातो.

4. परिवर्तन (संशोधन टप्पा) (Transmutation - Research Stage):

- हा प्रयोगात्मक प्रक्रिया आहे ज्याद्वारे दीर्घायुषी रेडिओधर्मी आइसोटोप्सना कमी आयुष्य असलेल्या किंवा स्थिर आइसोटोप्समध्ये बदलले जाते, यासाठी न्यूक्लियर रिॲक्टर किंवा पार्टिकल अक्सिलरेटरचा वापर होतो.

4.3.3 सुरक्षितता आणि नियमन (Safety and Regulation):

- न्यूक्लियर कचऱ्याच्या निपटारा प्रक्रियेवर राष्ट्रीय आणि आंतरराष्ट्रीय संस्थांनी कडक नियम लादले आहेत (उदा. भारतातील Atomic Energy Regulatory Board - AERB, जागतिक स्तरावर International Atomic Energy Agency - IAEA).
- सुविधा अशा प्रकारे डिझाइन कराव्यात की विकिरणाचा प्रसार, भूजलाचा प्रदूषण आणि अनधिकृत प्रवेश टाळता येईल.
- सतत निरीक्षण आणि सार्वजनिक पारदर्शकता (transparency) आवश्यक आहे, जेणेकरून सुरक्षिततेवर विश्वास निर्माण होईल.

4.4 **भारतातील सध्याची अणुऊर्जा परिस्थिती (Present nuclear power scenario in India):** सध्या भारतात 25 अणुभट्टी (nuclear reactors - न्यूक्लियर रिॲक्टर्स) कार्यरत असून त्या आठ वेगवेगळ्या ठिकाणी (sites - साइट्स) पसरलेल्या आहेत. यामुळे एकूण सुमारे 8.7 गिगावॉट्स (GW - गिगावॉट्स) इतकी स्थापित उत्पादन क्षमता (installed capacity - इन्स्टॉल्ड कॅपॅसिटी) निर्माण होते. भारताच्या एकूण वीज निर्मितीत (electricity generation - इलेक्ट्रिसिटी जनरेशन) याचा वाटा सुमारे 2 ते 3 टक्के आहे. भारतामधील काही प्रमुख अणुऊर्जा प्रकल्प (nuclear power plants - न्यूक्लियर पॉवर प्लांट्स) खालीलप्रमाणे आहेत.

Table 4.1 Comparison Table

प्लांट नाव (Plant Name)	ठिकाण (Location)	रिॲक्टर प्रकार (Reactor Type)	एकूण क्षमता (Total Capacity-MW)

Tarapur Atomic Power Station (TAPS)	Tarapur, Maharashtra	Boiling Water Reactor (BWR) & Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR)	1,400 MW
Rajasthan Atomic Power Station (RAPS)	Rawatbhata, Rajasthan	Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR)	1,780 MW
Kaiga Generating Station (KGS)	Kaiga, Karnataka	Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR)	880 MW
Kudankulam Nuclear Power Plant (KKNPP)	Kudankulam, Tamil Nadu	Pressurized Water Reactor (PWR)	2,000 MW
Madras Atomic Power Station (MAPS)	Kalpakkam, Tamil Nadu	Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR)	440 MW
Narora Atomic Power Station (NAPS)	Narora, Uttar Pradesh	Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR)	440 MW
Kakrapar Atomic Power Station (KAPS)	Kakrapar, Gujarat	Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR)	1,840 MW

4.5 नियंत्रक संस्था व त्यांच्या नियमांची ओळख (Introductions to regulating agencies and its regulations):

1. अॅटोमिक एनर्जी रेग्युलेटरी बोर्ड (AERB - एईआरबी)
2. इंटरनॅशनल अॅटोमिक एनर्जी एजन्सी (IAEA - आयएईए)

4.5.1 अॅटोमिक एनर्जी रेग्युलेटरी बोर्ड (AERB - एईआरबी), भारत (Atomic Energy Regulatory Board (AERB) India): अॅटोमिक एनर्जी रेग्युलेटरी बोर्ड (AERB - एईआरबी) ही भारतातील सर्वोच्च नियामक संस्था आहे जी आयोनायझिंग रेडिएशन (ionizing radiation - आयोनायझिंग रेडिएशन) आणि अणु ऊर्जा (nuclear energy - न्यूक्लियर एनर्जी) च्या सुरक्षित वापरासाठी जबाबदार आहे. ही संस्था भारत सरकारने अॅटोमिक एनर्जी अॅक्ट, 1962 अंतर्गत 1983 साली स्थापन केली.

अॅटोमिक एनर्जी रेग्युलेटरी बोर्ड (AERB - एईआरबी), भारताचे नियम (Regulations of Atomic Energy Regulatory Board (AERB) India):

- i. भारतातील अणु व किरणोत्सर्गीय (radiation - रेडिएशन) सुविधांचे नियमन करणे.
- ii. अणु सुविधांच्या डिझाइन, बांधकाम, कमिशनिंग, ऑपरेशन (operation - ऑपरेशन) आणि डी-कमिशनिंग (decommissioning - डी-कमिशनिंग) साठी परवाने देणे.
- iii. कामगार, सामान्य नागरिक व पर्यावरणासाठी किरणोत्सर्गीय संरक्षण (radiation protection - रेडिएशन प्रोटेक्शन) सुनिश्चित करणे.
- iv. अणु सुविधांसाठी सेफ्टी कोड्स (safety codes - सेफ्टी कोड्स), मार्गदर्शक तत्त्वे (guides - गाइड्स) आणि मानके (standards - स्टॅंडर्ड्स) तयार करणे.
- v. सेफ्टी रिव्ह्यू (safety reviews - सेफ्टी रिव्ह्यू), तपासण्या (inspections - इन्स्पेक्शन्स) आणि अंमलबजावणी उपाययोजना (enforcement actions - एनफोर्समेंट अॅक्शन्स) करणे.
- vi. सर्व अणु संस्थांमध्ये सेफ्टी कल्चर (safety culture - सेफ्टी कल्चर) वाढविणे व कालांतराने सेफ्टी ऑडिट्स (safety audits - सेफ्टी ऑडिट्स) करणे.
- vii. अणु ऊर्जा प्रकल्प (nuclear power plants - न्यूक्लियर पॉवर प्लांट्स), वैद्यकीय किरणोत्सर्गीय वापर (medical radiation use - मेडिकल रेडिएशन यूज) व औद्योगिक उपयोगासाठी (industrial applications - इंडस्ट्रियल अॅप्लिकेशन्स) परवाना प्रक्रिया.

4.5.2 इंटरनॅशनल अॅटोमिक एनर्जी एजन्सी (IAEA - आयएईए) – जागतिक (International Atomic Energy Agency (IAEA) – Global): इंटरनॅशनल अॅटोमिक एनर्जी एजन्सी (IAEA - आयएईए) ही एक स्वायत्त आंतरराष्ट्रीय संस्था आहे, जी संयुक्त राष्ट्रसंघाच्या (United Nations - युनायटेड नेशन्स) छत्राखाली 1957 मध्ये स्थापन झाली. हिचे

मुख्यालय व्हिएना, ऑस्ट्रिया येथे आहे. ही संस्था अणु ऊर्जेचा शांततामय (peaceful - पीसफुल) उपयोग प्रोत्साहित करते व ती लष्करी कारणांसाठी वापरली जाऊ नये याची खात्री करते.

इंटरनॅशनल अॅटॉमिक एनर्जी एजन्सी (IAEA - आयएईए) चे नियम(Regulations of International Atomic Energy Agency (IAEA)):

- आंतरराष्ट्रीय सेफ्टी स्टॅंडर्ड्स (international safety standards - इंटरनॅशनल सेफ्टी स्टॅंडर्ड्स) तयार करणे व सदस्य देशांना तांत्रिक सहाय्य (technical support - टेक्निकल सपोर्ट) पुरविणे.
- अणु सुरक्षा, सुरक्षितता (nuclear safety, security - न्यूक्लियर सेफ्टी, सिक्युरिटी) व सावधगिरी (safeguards - सेफगार्ड्स) यावर समकक्ष पुनरावलोकने (peer reviews - पिअर रिव्ह्यूज) व सल्लागार सेवा (advisory services - अॅडव्हायजरी सर्व्हिसेस) करणे.
- अप्रसार करार (Non-Proliferation Treaty - नॉन-प्रोलिफरेशन करार) च्या अंमलबजावणीवर देखरेख (compliance monitoring - कॉम्प्लायन्स मॉनिटरिंग) करणे, निरीक्षणे (inspections - इन्स्पेक्शन्स) करणे.
- आपत्कालीन तयारी (emergency preparedness - एमर्जन्सी प्रिपेअर्डनेस) व प्रतिसाद मार्गदर्शक तत्वे (response guidelines - रिस्पॉन्स गाइडलाइन्स) प्रदान करणे.
- अणु ऊर्जा कार्यक्रम (nuclear power programs - न्यूक्लियर पॉवर प्रोग्रॅम्स) आणि किरणोत्सर्गीय सुरक्षितता पायाभूत सुविधा (radiation safety infrastructure - रेडिएशन सेफ्टी इन्फ्रास्ट्रक्चर) विकसित करण्यास देशांना मदत करणे.

Sample Review Questions:

TLO 4.1 Sketch the layout of nuclear power plant.

- List any four main components of a nuclear power plant.
- Define nuclear fission reaction.
- List any four nuclear fuels used in nuclear power plant.
- List any four site selection criteria for nuclear power plant.
- Sketch a labelled layout of a nuclear power plant using the indirect cycle approach.

TLO 4.2 Explain various nuclear reactor used in nuclear power plant.

- List any four essential components of a nuclear reactor.
- Explain construction and working principle of a Pressurized Water Reactor (PWR) with help of labelled diagram.
- Explain construction and working principle of a Boiling Water Reactor (BWR) with help of labelled diagram.
- List material used for moderator in nuclear power plant.
- Explain control rod mechanism in regulating nuclear reactions.
- State the function of a moderator in a nuclear reactor.
- State desirable properties of a moderator in reactor.
- State desirable properties of a good coolant in reactor.

TLO 4.3 Choose the waste disposal methods.

- Explain the High-Level Waste (HLW).
- Explain methods of nuclear waste disposal.
- Illustrate three different types of nuclear waste.
- State Safety and Regulation in nuclear waste and its disposal.
- Suggest appropriate disposal method for High-Level nuclear waste generated from a nuclear reactor.

TLO 4.4 Explain the present scenario of nuclear power plant in India.

- List any four number of nuclear reactors used in India.
- State the installed capacity of nuclear power plant in India and its contribution in Indian total electricity generation.

TLO 4.5 State the regulation for nuclear power plant.

1. Define the role of the Atomic Energy Regulatory Board (AERB).
2. List any four regulations under the Atomic Energy Regulatory Board.
3. List any four regulations of the International Atomic Energy Agency (IAEA).

Unit 5. सद्याचे प्रवाह आणि पॉवर प्लांट्सची आर्थिक विश्लेषण (Recent Trends and Economic Analysis of Power Plants)

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes) (CO):

CO5 - विविध उर्जा प्रकल्पांच्या आर्थिक मापदंडांची गणना करणे. (Calculate economic parameters of various power plants.)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

TLO 5.1 कॅप्टिव्ह पॉवर प्लांट स्पष्ट करणे. (Explain a captive power plant.)

TLO 5.2 पॉवर प्लांटमध्ये नॅशनल मिशन फॉर वर्धित उर्जा कार्यक्षमता (एनएमईई) राज्य सांगणे. (State the National Mission for Enhanced Energy Efficiency (NEMEE) in a power plant.)

TLO 5.3 साध्या संख्यात्मक समस्यांचा वापर करून दिलेल्या परिस्थितीत विजेच्या किंमतीचा अंदाज देणे. (Estimate the cost of electricity in the given situation using simple numerical problems.)

TLO 5.4 साध्या संख्यात्मक समस्यांचा वापर करून दिलेल्या पॉवर प्लांटसाठी कार्यप्रदर्शन मापदंडांची गणना करणे. (Calculate performance parameters for the given power plant using simple numerical problems.)

5.1 कॅप्टिव्ह पॉवर प्लांटचा परिचय (Introduction to Captive Power Plant)

कॅप्टिव्ह पॉवर प्लांट (Captive Power Plant) म्हणजे एखाद्या औद्योगिक (industrial) किंवा व्यावसायिक (commercial) संस्थेने स्वतःच्या ऊर्जेच्या गरजा (energy needs) भागवण्यासाठी उभारलेले खासगी वीज निर्माण केंद्र (power generation facility) होय.

सामान्यतः Power Plants (पॉवर प्लांट्स) राष्ट्रीय Grid (ग्रिड) ला वीज पुरवतात, पण Captive Power Plants (कॅप्टिव्ह पॉवर प्लांट्स) फक्त संबंधित कंपनीसाठीच वीज निर्माण करतात. अशा प्रकारे ही संस्था स्वतःवर ऊर्जेच्या बाबतीत (self-reliant) अवलंबून राहते आणि तिला निरंतर वीजपुरवठा (uninterrupted power supply) मिळतो. त्यामुळे ऊर्जा खर्चावर नियंत्रण (control over energy costs) ठेवता येते आणि Operational Reliability (कार्यात्मक विश्वासार्हता) वाढते. Captive Plants त्याठिकाणी जास्त महत्त्वाच्या ठरतात जिथे ग्रिड वीज (grid electricity) अपुरी किंवा महाग असते. हे Cement, Steel, Textiles, Chemicals, Paper, IT Services यांसारख्या क्षेत्रांमध्ये वापरले जातात. अशा ठिकाणी वीजपुरवठ्यात व्यत्यय आल्यास उत्पादनाचे नुकसान (production loss) किंवा equipment damage (यंत्रसामग्रीचे नुकसान) होऊ शकते.

भारतीय वीज कायदा 2003 (Electricity Act, 2003) नुसार, कोणत्याही संस्थेला आता स्वतःसाठी वीज निर्मिती करण्यासाठी परवाना (license) घेणे आवश्यक नाही. यामुळे Captive Power Generation मध्ये मोठी वाढ झाली आणि औद्योगिक ऊर्जा स्वावलंबन (industrial energy independence) वाढीस लागले.

Captive Power Plants मध्ये Coal (कोळसा), Natural Gas (नैसर्गिक वायू), Diesel (डिझेल), Biomass (बायोमास), Solar Energy (सौर ऊर्जा) आणि Wind Energy (वाऱ्याची ऊर्जा) यांचा वापर इंधन म्हणून केला जातो. ते लहान Diesel Generators (डीजल जनरेटर) पासून मोठ्या Thermal Power Stations (थर्मल पॉवर स्टेशन) पर्यंत असू शकतात. कधीकधी जर या प्लांटमध्ये तयार केलेली वीज आंतरिक वापर (Internal Use) पेक्षा जास्त असेल, तर ती उरलेली वीज नियामक अटीनुसार परत ग्रिड (Grid) ला विकता येते.

Captive Power Plants (कॅप्टिव्ह पॉवर प्लांट्स) केवळ Utility Grid (युटिलिटी ग्रिड) वरील अवलंबन कमी करतात असे नाही, तर कंपन्यांना अधिक स्वच्छ (cleaner) आणि कार्यक्षम (efficient) Energy Technologies (ऊर्जा तंत्रज्ञान) वापरण्याची संधी देतात. हा एक Strategic Investment (धोरणात्मक गुंतवणूक) आहे जो दीर्घकालीन Cost Savings (खर्च बचत), चांगली Energy Security (ऊर्जा सुरक्षितता) आणि Environmental Sustainability (पर्यावरणीय शाश्वतता) साध्य करण्यात मदत करतो.



Picture: [\(Captive Power Plant | NALCO \(National Aluminium Company Limited\) | A Govt. of India Enterprise\)](#)

Definition - Captive power plant

व्याख्या – कॅप्टिव्ह पॉवर प्लांट (Definition – Captive Power Plant)

Captive Power Plant (कॅप्टिव्ह पॉवर प्लांट) म्हणजे अशी एक सुविधा (facility) जी एखाद्या उद्योग (industry) किंवा उद्योगसमूह (group of industries) ला स्थानिक व सातत्यपूर्ण वीजपुरवठा (electricity supply) करण्यासाठी खास तयार केली जाते. सार्वजनिक Utilities (युटिलिटीज) जसे की वीज मंडळ अनेक ग्राहकांना वीज पुरवतात, पण CPP (Captive Power Plant) सामान्यतः एखाद्या कंपनीने किंवा उद्योगसमूहाने स्वतःसाठी उभारलेले असते, जेणेकरून विश्वासार्ह वीजपुरवठा (reliable power supply) सतत उपलब्ध राहिल. हे विशेषतः त्या उद्योगांसाठी महत्त्वाचे आहे, जिथे ऊर्जेची गरज (critical energy demand) जास्त आहे, जसे की, Cement (सिमेंट), Steel (स्टील), Textiles (कापड), Chemicals (रसायने)

Functioning of Captive Energy in Industry

Captive Energy: उद्योगांचा स्व-उर्जेच्या दिशेने कल

Captive Power Plant (कॅप्टिव्ह पॉवर प्लांट – CPP) म्हणजे विशिष्ट उद्योग (industry) किंवा उद्योगसमूह (group of industries) ला स्थानिक आणि सातत्यपूर्ण वीजपुरवठा (electricity supply) देण्यासाठी उभारलेली खास वीज निर्मिती सुविधा (power generation facility) होय.

सार्वजनिक Utilities (युटिलिटीज) जेथे सर्वसामान्य ग्राहकांना वीज पुरवतात, त्याउलट CPPs एखाद्या कंपनीकडूनच उभारली जातात जेणेकरून निरंतर (uninterrupted) व विश्वासार्ह (reliable) वीजपुरवठा मिळावा. हे विशेषतः Cement (सिमेंट), Steel (स्टील), Textile (कापड), Chemical (रसायन) आणि Sugar (साखर) उद्योगांसाठी अत्यंत गरजेचे असते कारण त्यांना सतत उच्च ऊर्जा गरज (high energy demand) असते.

हे Captive Plants संबंधित कंपनीकडूनच चालवले जातात आणि यामध्ये पारंपरिक Energy Sources (ऊर्जा स्रोत) जसे Coal (कोळसा), Gas (नैसर्गिक वायू) वापरले जाऊ शकतात, तसेच Renewable Sources (पुनर्नविकरणीय स्रोत) जसे Solar (सौर ऊर्जा) आणि Biomass (बायोमास) चाही वापर केला जातो.

Captive Power Plant चे फायदे (Advantages of CPP), are Grid Supply (ग्रिड वीजपुरवठा) वर अवलंबन कमी होते, Power Quality (वीज गुणवत्तेत) सुधारणा होते, Cost Optimization (खर्च नियंत्रण) शक्य होते.

◊ कॅप्टिव्ह पॉवर प्लांटचे तोटे (Drawbacks), सुरुवातीचा Capital Investment (भांडवली खर्च) जास्त असतो, Fuel Prices (इंधन दरांतील चढ-उतार) मुळे अस्थिरता, Regulatory Compliance (नियामक अटी) पूर्ण करण्याची आवश्यकता.

CPP चे प्रकार (Types of CPPs by Energy Source), Coal-Based CPP (कोळसा आधारित), Gas-Based CPP (नैसर्गिक वायू आधारित), Renewable-Based CPP (सौर, बायोमास आधारित)

उदाहरणार्थ, एका Textile Industry (कापड उद्योग) ने 10 MW Natural Gas-Based CPP (नैसर्गिक वायू आधारित कॅप्टिव्ह प्लांट) बसवून आपला वीजखर्च सुमारे 30% ने कमी (reduction in power costs) केला आहे. या कारणामुळे Steel, Cement, Chemical, Textile आणि Sugar सारखे उद्योग आपापल्या विशिष्ट ऊर्जा गरजा (specific energy

requirements) पूर्ण करण्यासाठी Captive Power Solutions निवडतात.

कॅप्टिव्ह स्टीम पॉवर प्लांट (Captive Steam Power Plant)

Captive Steam Power Plant (कॅप्टिव्ह स्टीम पॉवर प्लांट) ही एक अशा प्रकारची वीज निर्मिती प्रणाली आहे जी उद्योगासाठी स्थानिक आणि सातत्यपूर्ण वीजपुरवठा करते. अशा प्लांटमध्ये मुख्यतः काही आवश्यक घटक समन्वयाने कार्य करतात. सर्वप्रथम Boiler (बॉयलर) हे युनिट इंधन जसे Coal (कोळसा), Natural Gas (नैसर्गिक वायू) किंवा Biomass (बायोमास) जाळून High-Pressure Steam (उच्च दाबाचा वाफ) तयार करतो. तयार झालेला वाफ Steam Turbine (स्टीम टर्बाइन) मध्ये पाठवला जातो, जिथे त्याची Thermal Energy (तापीय ऊर्जा) एका फिरणाऱ्या Shaft (शाफ्ट) च्या माध्यमातून Mechanical Energy (यांत्रिक ऊर्जा) मध्ये रूपांतरित केली जाते. त्यानंतर Generator (जनरेटर) किंवा Alternator ही यांत्रिक ऊर्जा Electrical Energy (विद्युत ऊर्जा) मध्ये बदलतो, जी उद्योगातील विविध प्रक्रिया आणि उपकरणांमध्ये वापरली जाते.

टर्बाइनमधून बाहेर आलेला वाफ त्याचा दाब गमावतो आणि त्याला पुन्हा पाण्यात रूपांतरित करण्याची आवश्यकता असते. ही प्रक्रिया Condenser (कंडेन्सर) मध्ये केली जाते, जिथे वाफ पुन्हा पाण्यात बदलून Boiler मध्ये पुन्हा वापरण्यास तयार केला जातो, त्यामुळे संयंत्राची कार्यक्षमता वाढते आणि पाण्याची बचत होते. Cooling Tower (कूलिंग टॉवर) कंडेन्सरमध्ये वापरल्या गेलेल्या थंड पाण्यातील उष्णता काढून टाकण्याचे काम करतो जेणेकरून ते पाणी पुन्हा वापरता येईल. त्याचप्रमाणे, Deaerator (डिअरेटेर) हे उपकरण Feedwater (बॉयलरमध्ये दिले जाणारे पाणी) मधून Oxygen (ऑक्सिजन) आणि इतर Dissolved Gases (विरघळलेले वायू) काढून टाकतो, जे Corrosion (गंज) होण्यापासून संरक्षण करतो. Feed Pump (फीड पंप) हे आवश्यक दाब निर्माण करून Boiler मध्ये पाणी सतत आणि योग्य प्रमाणात पोहोचवण्याचे काम करतो.

संपूर्ण संयंत्राचे नियंत्रण Centralized Control Room (केंद्रीकृत नियंत्रण कक्ष) मधून केले जाते. इथे Fuel Supply (इंधनाचा पुरवठा), Load Sharing (भाराचे व्यवस्थापन), आणि System Protection (प्रणालीचे संरक्षण) यावर लक्ष ठेवले जाते. आधुनिक कॅप्टिव्ह प्लांट्स Automated Systems (स्वयंचलित प्रणाली) ने सुसज्ज असतात जे कार्यक्षमता आणि सुरक्षितता वाढवतात. या प्रकारचे पॉवर प्लांट उद्योगाच्या Energy Demand (ऊर्जा गरजे) नुसार 5 MW ते 150 MW या क्षमतेमध्ये असतात. Small Scale Industries (लघुउद्योग) मध्ये कमी क्षमतेचे यंत्र वापरले जाते, तर Heavy Industries (जड उद्योग) जसे की Cement (सिमेंट), Steel (स्टील), Chemical (रसायन) आणि Paper (कागद) यांना मोठ्या क्षमतेच्या संयंत्राची गरज असते. कॅप्टिव्ह पॉवर प्लांट्स केवळ Uninterrupted Power Supply (निरंतर वीजपुरवठा) देत नाहीत, तर Cost Savings (खर्च बचत), Energy Efficiency (ऊर्जा कार्यक्षमता) आणि Transmission Losses (प्रेषण हानी) मध्ये घट करून त्यांचे औद्योगिक महत्त्व अधोरेखित करतात. त्यामुळे अशा संयंत्रांचा वापर ऊर्जा-गर्द उद्योगांमध्ये फारच उपयुक्त ठरतो.

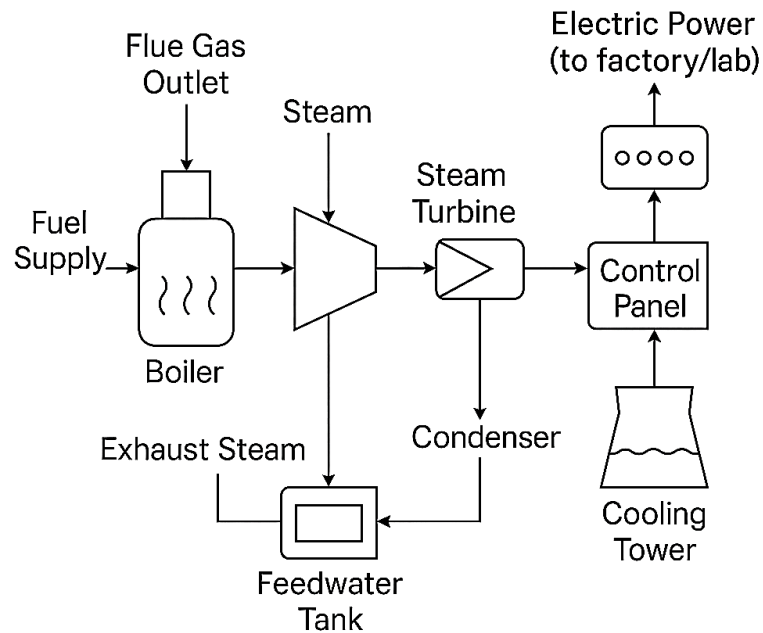


Figure 5.1: Captive Steam Power Plant

1. तिसरा फायदा म्हणजे Enhanced Energy Security (ऊर्जा सुरक्षिततेत वाढ). हे संयंत्र Power Cuts (वीज कपात), Voltage Fluctuations (दाबातील चढ-उतार), आणि Load Shedding (भार कपात) सारख्या अडचणींपासून संरक्षण करतात, ज्यामुळे उत्पादन प्रक्रियेत अडथळे येत नाहीत.
2. चौथा फायदा म्हणजे Customized Energy Mix (इच्छेनुसार इंधन निवड). उद्योग त्यांच्या गरजेनुसार इंधनाचा पर्याय निवडू शकतात जसे की Coal (कोळसा), Natural Gas (नैसर्गिक वायू) किंवा Renewable Energy (नवीन व हरित ऊर्जा). त्यामुळे Cost-Effectiveness (खर्च कार्यक्षमतेनुसार) किंवा Sustainability Goals (शाश्वततेच्या उद्दिष्टांनुसार) योग्य इंधन निवडता येते.
3. पाचवा फायदा म्हणजे Quick Response Time (त्वरित प्रतिसाद वेळ). कॅप्टिव्ह प्लांट अचानक बदलणाऱ्या औद्योगिक ऊर्जा गरजेनुसार लगेचच वीज उत्पादनात बदल करू शकतात.
4. शेवटचा महत्त्वाचा फायदा म्हणजे Grid Independence (ग्रिडपासून स्वतंत्रता). या संयंत्रामुळे National Power Grid (राष्ट्रीय वीज ग्रिड) वरचा अवलंब कमी होतो, विशेषतः Remote Areas (दुर्गम भाग) किंवा Underdeveloped Regions (अल्पविकसित भाग) यामध्ये हे खूपच उपयुक्त ठरते.

5.2 राष्ट्रीय ऊर्जा कार्यक्षमतेसाठी वर्धित अभियान (NMEEE) –

प्रस्तावना:

अलीकडच्या काळात औद्योगिकीकरण आणि नागरीकरणाच्या वेगामुळे ऊर्जा वापरात मोठी वाढ झाली आहे. यामुळे वीज वापर, इंधन खर्च आणि पर्यावरण प्रदूषण यामध्ये वाढ झाली आहे. हे आव्हान हाताळण्यासाठी भारत सरकारने National Action Plan on Climate Change (NAPCC) सुरू केले. यामधील महत्त्वाचे अभियान म्हणजे National Mission for Enhanced Energy Efficiency (NMEEE). हे अभियान ऊर्जा वापर जास्त असलेल्या क्षेत्रांमध्ये विशेषतः Power Plants मध्ये कार्यक्षमतेत वाढ करण्यावर भर देतो.

NMEEE चे मुख्य उद्दिष्ट:

ऊर्जा बचत वाढवणे

- Designated Consumers (DCs) चा Specific Energy Consumption कमी करणे
- ऊर्जा बचतीसाठी Energy Saving Certificates ची बाजारव्यवस्था तयार करणे
- ऊर्जा कार्यक्षमतेसाठी आर्थिक गुंतवणुकीला चालना देणे
- नवकल्पना व ऊर्जा कार्यक्षम तंत्रज्ञानाचा मोठ्या प्रमाणावर वापर

NMEEE चे मुख्य 4 घटक:

1. Perform, Achieve and Trade (PAT):

Market-Based Mechanism ज्याचा उद्देश म्हणजे उद्योगांनी विशिष्ट ऊर्जा कार्यक्षमता टारगेट पूर्ण करणे आणि त्यानंतर बचतीचे सर्टिफिकेट्स (ESCs) विक्रीसाठी खुले ठेवणे.

2. Market Transformation for Energy Efficiency (MTEE):

Energy Efficient Appliances वापरण्यास प्रोत्साहन देणे. उदा. LED दिवे, Efficient Motors, स्टार-रेटेड उपकरणे इत्यादी.

3. Energy Efficiency Financing Platform (EEFP):

ऊर्जा कार्यक्षमतेसाठी प्रकल्पांना आर्थिक मदत मिळावी यासाठी बँका, वित्तीय संस्था आणि प्रकल्प विकसक यांच्यातील संवाद व सहकार्य वाढवणे.

4. Framework for Energy Efficient Economic Development (FEEED):

धोरणात्मक उपाय आणि आर्थिक साधने वापरून ऊर्जा कार्यक्षमतेस चालना देणे.

वीज प्रकल्पांवरील परिणाम (Impact on Power Plants):

1. ऊर्जा वापरात घट
2. स्पर्धात्मकतेत वाढ
3. सरकारी नियमांचे पालन सुलभ

निष्कर्ष

NMEEE हे औद्योगिक क्षेत्रात, विशेषतः Power Plants मध्ये ऊर्जा कार्यक्षमतेचा प्रचार करणारे एक महत्वाचे अभियान आहे. 2010 साली, Ministry of Power अंतर्गत Bureau of Energy Efficiency (BEE) या नोडल एजन्सीद्वारे हे अभियान सुरू करण्यात आले. यामध्ये बाजारातील पद्धती (market mechanisms) वापरून ऊर्जा बचतीला चालना दिली जाते. त्यामुळे पर्यावरणावर होणारा परिणाम कमी होतो आणि औद्योगिक एककांचे कार्यक्षमता मानके सुधारतात.

NMEEE (National Mission for Enhanced Energy Efficiency) चे घटक

NMEEE म्हणजे भारत सरकारच्या National Action Plan on Climate Change (NAPCC) अंतर्गत उर्जा कार्यक्षमतेसाठीचे एक महत्वाचे अभियान आहे. यामध्ये चार नाविन्यपूर्ण आणि market-based programs आहेत:

Perform, Achieve and Trade (PAT)

PAT योजना ही NMEEE अंतर्गत सर्वात महत्वाची योजना आहे. 2012 मध्ये सुरू झालेल्या या योजनेचा मुख्य उद्देश म्हणजे ऊर्जा खपत जास्त असलेल्या उद्योगांनी (उदा. Thermal Power Plants) ठराविक उद्दिष्टानुसार energy efficiency सुधारावी.

PAT Scheme मध्ये प्रत्येक **Designated Consumer (DC)** ला ऊर्जा वापर कमी करण्याचे उद्दिष्ट दिले जाते. जर एखादा उद्योग हे उद्दिष्ट पार करतो, तर त्याला Energy Saving Certificates (ESCerts) मिळतात. हे ESCerts इतर उद्योगांना विकता येतात जे आपले उद्दिष्ट पूर्ण करू शकले नाहीत. उदाहरणार्थ, एखादा Thermal Power Plant नवीन high-efficiency Boilers बसवतो किंवा Turbines अपग्रेड करतो. त्यामुळे जर त्याच्या Heat Rate मध्ये सुधारणा झाली आणि अधिक ऊर्जा बचत झाली, तर त्या प्लांटला ESCerts मिळतात.

फायदे:

1. ऊर्जा कार्यक्षमतेत सातत्याने सुधारणा
2. खर्च कमी होणे
3. ऊर्जा कार्यक्षमतेला बाजारमूल्य मिळणे
4. पर्यावरणपूरक आणि आर्थिकदृष्ट्या फायदेशीर

Market Transformation for Energy Efficiency (MTEE)

MTEE हे अभियान NMEEE अंतर्गत 2010 मध्ये सुरू करण्यात आले. यामध्ये Energy Efficient Appliances आणि उत्पादने वापरण्यास प्रोत्साहन दिले जाते.

महत्वाच्या योजना:

- UJALA (LED दिव्यांचे वितरण)
- SEEP (Super-Efficient Equipment Program)
- Star Labelling Program

Power Plants संदर्भात, MTEE द्वारे खालील बाबींवर भर दिला जातो:

- जुने motors, fans, pumps, transformers इ. बदलून high-efficiency equipment वापरणे
- LED lighting systems लावणे
- Variable Frequency Drives (VFDs) बसवणे
- Automated Energy Management Systems वापरणे

यामुळे Auxiliary Operations मध्ये चांगली ऊर्जा बचत होते.

Energy Efficiency Financing Platform (EEFP)

EEFP हा NMEEE अंतर्गत एक महत्वाचा भाग आहे जो ऊर्जा कार्यक्षम प्रकल्पांसाठी आर्थिक मदत उपलब्ध करून देतो. यामध्ये बँका, financial institutions, आणि प्रकल्प विकसक यांच्यामध्ये समन्वय साधला जातो.

EEFP द्वारे:

- Performance-Based Contracts प्रोत्साहित केले जातात (जिथे परतफेड ही प्रत्यक्ष बचतीवर आधारित असते)
- उदा. Power Plant मध्ये Advanced Control Systems बसवणे किंवा Heat Recovery Mechanisms वापरणे हे प्रकल्प आर्थिकदृष्ट्या व्यवहार्य होतात आणि उर्जा कार्यक्षमतेचा लाभ मिळतो.

Framework for Energy Efficient Economic Development (FEEED)

FEEED योजना 2015 मध्ये सुरू करण्यात आली. हिचा उद्देश म्हणजे दीर्घकालीन धोरणात्मक चौकट तयार करणे जी ऊर्जा कार्यक्षम प्रकल्पांची अंमलबजावणी सुलभ करते.

FEEED अंतर्गत उपयोजना:

- PRGFEE (Partial Risk Guarantee Fund for Energy Efficiency)
- VCFEE (Venture Capital Fund for Energy Efficiency)

FEEED खालील गोष्टींवर भर देते:

1. Model Regulations व Performance Standards तयार करणे
2. Energy Audit Reports आणि Project Templates बनवणे
3. Public-Private Partnerships (PPPs) वाढवणे

Power Plants मध्ये, नवीन प्रकल्प हे सुरुवातीपासूनच उच्च कार्यक्षम आणि कमी उत्सर्जन असणारे असावेत याकडे लक्ष दिले जाते.

एकूणपरिणाम:

NMEEE मुळे Power Plants मध्ये खालील फायदे झाले:

1. ऊर्जा आणि इंधन वापरात घट
2. उत्सर्जनात घट
3. जुना पायाभूत भाग सुधारला गेला
4. नविन Sustainable Technology चा अवलंब
5. ESCerts Trading द्वारे आर्थिक फायदा
6. कार्यक्षमता हे एक व्यवसाय धोरण बनले

Table 5.1 Summary Table

Component	Launch Year	Purpose
NMEEE	2010	National strategy for enhancing energy efficiency
PAT Scheme	2012	Energy efficiency targets and trading for industries
MTEE	2010	Push energy-efficient appliances into the market
FEEED	2015	Mobilize financing for energy efficiency

National Mission for Enhanced Energy Efficiency (NMEEE) ही योजना भारतातील ऊर्जा क्षेत्रामध्ये विशेषतः Power Generation क्षेत्रात मोठा बदल घडवून आणते. ही योजना उद्योगांना अधिक efficient, पर्यावरणपूरक (environmentally friendly), आणि आर्थिकदृष्ट्या शाश्वत (economically sustainable) होण्यासाठी प्रोत्साहित करते. PAT, MTEE, EEPF, आणि FEEED सारख्या योजनांद्वारे Power Plants ना केवळ पर्यावरणावर होणारा परिणाम कमी करता येतो, तर त्यांची performance आणि profitability सुध्दा वाढवता येते.

5.3 वीज निर्मितीच्या खर्चाचा अंदाज (Estimation of the production cost of electrical energy.) (Simple Numerical)

Electrical Energy तयार करण्याचा खर्च विविध तांत्रिक आणि आर्थिक घटकांवर अवलंबून असतो. **Power Plant Operators** ना हा खर्च समजून घेणे आवश्यक असते जेणेकरून प्लांट **economically** चालवता येईल आणि **electricity selling price** ठरवता येईल.

सामान्यतः **Production Cost** मध्ये **Fixed** आणि **Variable Costs** यांचा समावेश असतो, जे दिलेल्या कालावधीतील वीज निर्मितीशी संबंधित असतात.

खर्चाच्या अंदाजाचे महत्त्व (Significance of Cost Estimation)

- a) **Tariff Determination** साठी उपयोगी
- b) वेगवेगळ्या **Power Plant Options** ची तुलना करण्यासाठी
- c) **Budgeting** आणि **Financial Planning** साठी सहाय्यक
- d) **Cost Optimization Techniques** ला चालना

खर्चावर परिणाम करणारे घटक (Factors Affecting Cost)

1. वापरलेले Fuel प्रकार व त्याचा खर्च
2. Plant Efficiency
3. Load Factor व Utilization Rate
4. Maintenance Practices
5. Regulatory आणि Tax Structure

Energy Cost चे घटक (Components of Energy Cost)

Electrical Energy Generation चा एकूण खर्च खालीलप्रमाणे असतो:

Fixed Costs – हे खर्च वीज किती तयार केली यावर अवलंबून नसतात. यात समावेश होतो:

- **Capital Cost (CC):** Power Plant उभारणीचा खर्च – इन्फ्रास्ट्रक्चर, Equipment आणि Installation साठीची गुंतवणूक.
- **Fuel Cost (FC):** Fuel Consumption वर आधारित खर्च – उदा. Coal, Gas, Diesel इत्यादी.
- **Operation and Maintenance (O&M):** नियमित ऑपरेशन व देखभाल खर्च.
- **Interest and Depreciation (I&D):** Capital Investment वर आधारित Financial Charges

Variable Costs – हे खर्च वीज निर्मितीच्या प्रमाणानुसार बदलतात:

- Fuel Cost
- Operation and Maintenance (O&M)
- Water and Lubricants
- Labor (जर Load प्रमाणे बदलत असेल तर)

Total Annual Cost (TAC)

TAC = Annual Fixed Cost + Annual Variable Cost

4. **Cost per Unit of Electricity (kWh):**

$$\text{Cost per unit} \left(\frac{\text{₹}}{\text{kWh}} \right) = \frac{\text{Total Annual Cost (₹)}}{\text{Annual Energy Generated (kWh)}}$$

Solved Numerical 01

Problem Statement: A gas-based power plant has the following data: Capital investment: ₹12 crore; Annual fixed cost: ₹1.5 crore; Annual fuel and O&M cost: ₹2.5 crore; Annual generation: 3 crore kWh. Calculate: Total annual cost & Cost per unit.

Solution:

$$\begin{aligned} \text{Total annual cost} &= ₹1.5 \text{ crore} + ₹2.5 \text{ crore} \\ &= ₹4.0 \text{ crore} \\ \text{Cost per unit} &= ₹4.0 \text{ crore} / 3 \text{ crore kWh} \\ &= ₹1.33 \text{ per kWh} \end{aligned}$$

Solved Numerical 02

Problem Statement: A diesel generator generates 1,00,000 kWh annually. The total fuel cost is ₹1,80,000 and O&M is ₹70,000. The fixed cost is ₹1,00,000. Calculate: Total annual cost & Cost per unit.

Solution:

$$\begin{aligned} \text{Total cost} &= ₹1,80,000 + ₹70,000 + ₹1,00,000 \\ &= ₹3,50,000 \\ \text{Cost per unit} &= ₹3,50,000 / 1,00,000 \\ &= ₹3.50 \text{ per kWh} \end{aligned}$$

Solved Numerical 03

A thermal power plant has the following parameters: Capital Cost: ₹100 crores, Fixed Charges: 10%, Fuel Cost: ₹2.50/kWh, O&M Cost: ₹0.50/kWh, Annual Generation: 500 million kWh.

Calculate: Total Fixed Cost, Fixed Cost per Unit & Total Cost per Unit.

Solution:

$$\begin{aligned}\text{Total Fixed Cost} &= 10\% \text{ of } ₹100 \text{ crores} \\ &= ₹10 \text{ crores}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fixed Cost per Unit} &= ₹10 \text{ crores} / 500 \text{ million} \\ &= ₹0.20/\text{kWh}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total Cost per Unit} &= ₹2.50 \text{ (Fuel)} + ₹0.50 \text{ (O\&M)} + ₹0.20 \text{ (Fixed)} \\ &= ₹3.20/\text{kWh}\end{aligned}$$

(This kind of calculation helps in comparing different energy sources and determining tariff structures.)

5.4: विविध कार्यक्षमतेच्या घटकांचा अंदाज (Estimation of various performance parameters) (Simple numerical)

Power Plant मधील Performance Parameters चा अंदाज लावणे खूप महत्वाचे असते, कारण यामुळे Operational Efficiency सुधारण्यासाठी आवश्यक त्या भागांची ओळख पटते.

अचूक अंदाज लावल्यामुळे Power Generation, Maintenance, व Investment यांच्याशी संबंधित Economic व Strategic Decisions अधिक चांगल्या पद्धतीने घेता येतात.

त्याचबरोबर, हा अंदाज Benchmarking Efforts व Energy Audit साठी सुद्धा उपयुक्त ठरतो, कारण तो Performance चे मोजमाप करण्यायोग्य संकेत (Indicators) प्रदान करतो, जे Industry Standards किंवा कालानुसार तुलना करण्यासाठी वापरले जाऊ शकतात.

1. Thermal Efficiency (η)

It is the ratio of output energy to input energy.

Higher value = better energy conversion.

$$\text{Thermal Efficiency } (\eta) = \frac{\text{Electric Power Output Energy}}{\text{Heat Input from Fuel}} \times 100$$

Solved Numerical 04

A thermal power plant consumes fuel equivalent to 400 MJ of energy and produces 120 MJ of electricity. Calculate its thermal efficiency.

Solution:

$$\text{Thermal Efficiency } (\eta) = \frac{120}{400} \times 100 = 30\%$$

2. Heat Rate (HR)

It represents the amount of heat required to produce one kWh of electricity.

Lower heat rate = better efficiency.

$$\text{Heat Rate (HR)} = \frac{\text{Fuel Energy Input (kJ/hr)}}{\text{Power Output (kW)}}$$

Solved Numerical 05

A power plant produces 200 MW of power. The fuel consumption is 5200 MJ per second. Find the heat rate in kJ/kWh.

$$\begin{aligned}\text{Solution: Fuel energy per hour} &= 5200 \text{ MJ/s} \times 3600 \text{ s} \\ &= 18,720,000 \text{ MJ} \\ &= 18720000000 \text{ kJ}\end{aligned}$$

$$\text{Power Output} = 200 \text{ MW} \times 1000 = 200000 \text{ kW}$$

$$\text{Heat Rate (HR)} = \frac{18720000000}{200000} = 93600 \text{ kJ/kWh}$$

3. Plant Load Factor (PLF)

Indicates actual output compared to the maximum possible output.

Indicates utilization of the plant.

$$\text{Plant Load Factor (PLF)} = \frac{\text{Actual energy generated}}{\text{Maximum possible energy generation}}$$

Maximum possible energy generation = Installed Capacity × Time period

Time Period = The total number of **hours**

In a non-leap year:

365 days/year × 24 hours/day = **8760** hours/year

If it is a **leap year**, the total hours would be,

366 days/year × 24 hours/day = 8784 hours/year

This value is commonly used in calculations like load factor, capacity factor, and availability factor, because it represents the maximum possible operating time for a power plant in one year.

Solved Numerical 06

A 50 MW plant operates at full capacity for 1500 hours a year and generates 60,000 MWh. Calculate the load factor.

Solution: Maximum generation = 50 MW × 8760 hr
= 438,000 MWh

$$\text{Plant Load Factor (PLF)} = \frac{60000}{438000} = 0.137 = 13.7\%$$

Solved Numerical 07

A power plant with an installed capacity of 100 MW generates 720 million units annually. Calculate PLF.

Solution:

Installed capacity = 100 MW

Annual generation = 720 million units = 720 million kWh

Total hours in a year = 8760 hours

Maximum possible generation = 100 MW × 8760 hours
= 876,000 MWh
= 876 million kWh

$$\text{Plant Load Factor (PLF)} = \frac{720}{876} = 0.8219 = 82.19\%$$

4. Capacity Utilization Factor (CUF)

Like PLF, but includes off-peak hours and maintenance periods.

Reflects overall efficiency in long-term use.

$$\text{Capacity Factor (CF)} = \frac{\text{Average Load}}{\text{Installed Capacity}}$$

Solved Numerical 08

A plant with a 100 MW installed capacity operates with an average load of 75 MW. Find the capacity factor.

Solution:

$$\text{Capacity Factor (CF)} = \frac{75}{100} = 0.75 = \%$$

1. Availability Factor

The Availability Factor is the ratio of the time a power plant can produce electricity.

High AF = good maintenance and reliability.

$$\text{Availability Factor} = \frac{\text{Time plant is available}}{\text{Total Time}} \times 100$$

Solved Numerical 9

Problem: A plant is operational for 8000 hours in a year. Find the availability factor.

Solution:

$$\text{Availability Factor} = \frac{8000}{8760} \times 100 = 91.3\%$$

Sample Case Study for Laboratory Load Calculation:**Connected Load**

The connected load is the total wattage of all electrical appliances and devices that could be used at the same time in a particular space (e.g., a laboratory). It gives an idea of the maximum power requirement of the lab.

Power (Watts)=Voltage (V) × Current (A)

For estimating load,

Connected Load = Wattage of Appliance × Quantity of Appliance

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

Selection of Power Plant

Once the total load is known, the suitable type of power plant can be suggested based on the load type:

Table 5.2 Load & Powerplant suggested

Load Nature	Suggested Power Plant	Reason
Base Load	Thermal / Nuclear / Hydro	High-capacity, continuous and reliable supply
Intermittent Load	Solar / Wind / Diesel (captive)	Suitable for variable or small load environments

Sample Load Calculation for Lab**Step 1: Select a Laboratory**

Choose any one laboratory, such as Mechanical Lab, Computer Lab, etc.

Step 2: Identifying and Recording Devices for Load Calculation

Table 5.3 Load calculation for data on all Mechanical appliances in the lab

Sr. No	Appliance Name	Quantity	Power Rating (W)	Total Power (W)
1	Ceiling Fan	4	70	280
2	Tube Light	6	40	240
3	Computer System	10	150	1500
4	Printer	1	200	200
	Total Load			2220 W = 2.22 kW

Step 3: Suggest the Type of Power Plant

Based on the total connected load:

1. If load is below 5 kW and used intermittently - Solar or Diesel Generator (captive).
2. If the load is between 5–25 kW and consistent, a small wind turbine or rooftop solar hybrid.
3. If load exceeds 25 kW regularly, consider grid connection with backup captive generation.

Justification:

“For a connected load of 2.22 kW in the Mechanical lab, which is used 5 days a week for 8 hours, a rooftop **solar PV system** of ~3 kW with battery backup is suggested. This ensures renewable,

low-emission power for sustainable operation and aligns with energy efficiency goals.”

Sample Review Questions:

TLO 5.1: Explain a captive power plant.

1. Define a captive power plant and state how it differs from a public utility power plant.
2. List any four industries where captive power plants are commonly used.
3. Explain the benefits of setting up a captive power plant for an energy-intensive industry.
4. State the use of a natural gas-based captive power plant in reducing power costs for a textile company.

TLO 5.2: State the National Mission for Enhanced Energy Efficiency (NMEEE) in power plants.

1. State the four key components of NMEEE.
2. State the nodal agency responsible for implementing NMEEE and its launch year.
3. Describe the objective and functioning of the Perform, Achieve and Trade (PAT) scheme.
4. Explain the Market Transformation for Energy Efficiency (MTEE) contributing to energy savings in power plants.
5. Explain the thermal power plant benefits from FEEED through modernization and improved efficiency.

TLO 5.3 Estimate the cost of electricity in the given situation using simple numerical problems.

1. Define fixed and variable costs in the context of electrical energy production.
2. List any four factors that affect the cost of electricity generation in power plants.
3. Explain how capital cost differs from O&M cost, supported by examples from power plant operations.
4. State load factor and the electricity cost per unit.
5. A biomass power plant has the following data: Capital Cost = ₹200 lakh, Annual O&M cost = ₹20 lakh, Fuel Cost = ₹80 lakh, Annual Generation = 80 lakh kWh. Calculate: (a) Total Annual Cost, (b) Cost per Unit of Electricity (₹/kWh).

TLO 5.4 Calculate performance parameters for the given power plant using simple numerical problems.

1. Define thermal efficiency in the context of a power plant.
2. 3. Explain why heat rate is considered a measure of the efficiency of a power plant.
4. Define Plant Load Factor (PLF) and Capacity Utilization Factor (CUF) with suitable examples.
5. A power plant consumes fuel energy of 600 MJ and produces 180 MJ of electric power. Calculate: Thermal Efficiency.
6. A 250 MW thermal plant generates 1,200,000 MWh in a year. Calculate: Plant Load Factor.
7. A gas turbine has a fuel input of 4000 MJ/sec and generates 150 MW. Calculate: Heat Rate in kJ/kWh.
8. A solar power plant of 10 MW operates with an average load of 6 MW. Calculate: Capacity Factor.
9. A hydro plant was available for 8450 hours in a year. Calculate: Availability Factor.

Review Numerical Questions

Unsolved Numerical

Section A: Estimation of Cost of Electricity

Numerical 1: A diesel power plant has the following costs: Capital cost = ₹300 lakh, Annual fuel cost = ₹120 lakh, Annual O&M cost = ₹25 lakh, Annual generation = 75 lakh kWh. Calculate the cost per unit of electricity.

Numerical 2: Q2. A coal-fired thermal power plant costs ₹800 lakh to build. Annual fixed charges are ₹100 lakh, fuel cost is ₹180 lakh, and the plant generates 150 lakh kWh per year. Find the cost per kWh.

Numerical 3: An industrial plant installs a captive power plant with a capital cost of ₹500 lakh. If the annual energy generation is 100 lakh kWh and the yearly O&M cost is ₹40 lakh, compute the cost per unit assuming fuel cost is ₹120 lakh.

Section B: Performance Parameters

Numerical 4: A power plant has a maximum demand of 60 MW and an average load of 45 MW. Calculate: Load Factor

Numerical 5: A hydroelectric station has an installed capacity of 150 MW and operates for 3000 hours annually at full capacity. Calculate: Plant Use Factor & Annual energy generated

Numerical 6: A power plant with 200 MW capacity generates 14,00,000 MWh annually. The maximum possible generation is 17,52,000 MWh. Calculate: Plant Capacity Factor

Numerical 7: A power plant with a load factor of 0.75 and a maximum demand of 80 MW operates for 8760 hours in a year. Calculate: Average load & Total energy generated

Numerical 8: Compare two plants: Plant A: Capital cost ₹600 lakh, annual generation 100 lakh kWh & Plant B: Capital cost ₹500 lakh, annual generation 80 lakh kWh. Determine: Cost per kWh for each plant if the total operating cost per year is ₹100 lakh for both.

Numerical 9: Determine the thermal efficiency of a coal-fired plant with a heat input of 9000 kCal and energy output of 1.5 kWh.

Numerical 10: A thermal plant has the following data: Capital cost = ₹500 lakh, Annual O&M cost = ₹30 lakh, Fuel cost = ₹100 lakh, Annual generation = 100 lakh kWh. Calculate: Total Fixed Cost, Fixed Cost per Unit & Total Cost per Unit.

Numerical 11: Connected Load Calculation for a Computer Lab - A Computer Lab contains the following appliances: Ceiling Fans: 5 units, 70 W each, LED Tube Lights: 8 units, 18 W each, Computer Systems: 15 units, 150 W each, Printers: 2 units, 250 W each. Calculate the total connected load in watts and kilowatts. Suggest a suitable type of power plant and justify your suggestion based on load characteristics.

Numerical 12: Intermittent Load in a Physics Lab - In a Physics Lab used only during experiments (2–3 times a week), the following equipment is present, Oscilloscopes: 3 units, 100 W each, Tube Lights: 6 units, 40 W each, PCs: 4 units, 150 W each. Calculate the total connected load, determine if the load is base or intermittent and recommend a suitable power source with justification.

Numerical 13: Evaluating Load for a Mechanical Workshop -The Mechanical Workshop has, Drilling Machines: 2 units, 750 W each, Grinding Machines: 2 units, 500 W each, Tube Lights: 10 units, 40 W each, and Exhaust Fans: 3 units, 80 W each. Find the total connected load, classify the load (base/intermittent), and recommend an appropriate power plant.

Numerical 14: Lab with High Load and Grid Dependency - An Electrical Lab has, Transformers (small scale): 1 unit, 3,000 W, Computers: 8 units, 150 W each, Tube Lights: 10 units, 40 W each. Compute the total load in kW. The lab runs 8 hours/day, 6 days/week. Suggest the best energy supply strategy (e.g., grid + backup, solar + diesel hybrid). and provide technical justification.

Numerical 15: Design a Renewable System for a Sustainable Lab - A sustainability Research Lab uses the following: ACs: 2 units, 1,000 W each, LED Lights: 12 units, 20 W each, Research Equipment: 1 unit, 2,000 W, Laptops: 10 units, 65 W each. Calculate the total connected load. If the lab emphasizes clean energy, suggest a renewable energy system with a backup and estimate the minimum size of a solar PV system needed, assuming 6 hours of average daily sun.

References:

1. Nag, P. K. (2018). Power Plant Engineering (4th ed.). McGraw-Hill Education.
2. Soni, M. L., Gupta, P. V., Bhatnagar, U. S., & Chakrabarti, A. (2010). A Textbook on Power System Engineering. Dhanpat Rai & Co.
3. Central Electricity Authority (CEA). (2025). Monthly All India Installed Generation Capacity Report (March 2025). Ministry of Power, Government of India. Retrieved from <https://cea.nic.in>
4. Ministry of Power (MoP). (2024). Power Sector at a Glance – All India. Government of India. Retrieved from <https://powermin.gov.in>
5. NTPC Limited. (2024). Annual Report 2023–24. Retrieved from <https://ntpc.co.in>
6. Nuclear Power Corporation of India Ltd. (NPCIL). (2024). Operational Power Stations. Retrieved from <https://npcil.nic.in>
7. NHPC Limited. (2024). Company Overview. Retrieved from <https://nhpcindia.com>
8. NLC India Ltd. (2024). Corporate Profile. Retrieved from <https://nlcindia.in>
9. Power Grid Corporation of India Ltd. (PGCIL). (2024). Transmission Network Map and Projects. Retrieved from <https://powergrid.in>
10. Energy Institute, 2024 Statistical Review of World Energy, released in June 2024.
11. <http://www.electrcialeasy.com/2015/08/thermal-power-plant.html>.
12. International Energy Agency (IEA)
13. Global Electricity Review (Ember, 2024)
14. World Nuclear Association
15. International Renewable Energy Agency (IRENA)
16. BP Statistical Review of World Energy
17. R.K. Rajput Laxmi Publications, New Delhi 2016, ISBN-13 978-8131802557
18. P. K. Nag McGraw Hill 2017, ISBN-13 978-9339204044
19. M.M. EL-Wakil McGraw Hill 2084 ISBN-13 978-0070192881
20. www.need.org
21. Power Plant Engineering by P.K. Nag
22. Bureau of Energy Efficiency (BEE) – www.beeindia.gov.in
23. MNRE and MoP Government of India reports
24. Energy Management by W.F. Stoecker