महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ
(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

RAILWAY, BRIDGE AND TUNNEL ENGINEERING

(314312)

K-Scheme

रेल्वे, ब्रिज अँड टनेल इंजिनीअरिंग

स्थापत्य अभियांत्रिकी गट

(Civil Engineering Group)

(के स्कीम)

मराठी-इंग्रजी (द्विभाषिक माध्यम)

(अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञानातील चतुर्थ सत्र पदविका)

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

रेल्वे, ब्रिज अँड टनेल इंजिनीअरिंग

RAILWAY, BRIDGE AND TUNNEL ENGINEERING

(314312)

स्थापत्य अभियांत्रिकी गट

(के स्कीम)

K-Scheme

मराठी-इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञानातील चतुर्थ सत्र पदविका)

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

रेल्वे, ब्रिज अँड टनेल इंजिनीअरिंग
RAILWAY, BRIDGE AND TUNNEL ENGINEERING (314312)

मार्गदर्शक

श्री राजेश त्र्यंबकराव आघाव
वरिष्ठ अधिव्याख्याता, उपयोजित यंत्र शास्त्र विभाग

संकलक

श्री गणेश सतीश गुजराथी
अधिव्याख्याता, स्थापत्य अभियांत्रिकी

श्री तेजस रमेशराव तिरुखे
अधिव्याख्याता, स्थापत्य अभियांत्रिकी

सौ सुप्रिया सुहास कानडे
अधिव्याख्याता, स्थापत्य अभियांत्रिकी

श्री दीपक बाळासाहेब पवार
विभाग प्रमुख, स्थापत्य अभियांत्रिकी विभाग

समीक्षक

श्री तेजस रमेशराव तिरुखे
श्री गणेश सतीश गुजराथी
सौ सुप्रिया सुहास कानडे
श्री दीपक बाळासाहेब पवार

मुख्य समन्वयक

श्री सुनील गुलाबराव देशमुख
प्राचार्य

संस्था समन्वयक

सौ नीता गजानन देशिंगकर
विभाग प्रमुख, स्थापत्य अभियांत्रिकी विभाग

प्रकल्प संस्था

मराठवाडा इन्स्टिट्यूट ऑफ टेक्नॉलॉजी, छत्रपती संभाजीनगर

महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ

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

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

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१७० / १६१

Email : director@msbte.com Web : www.msbte.org.in

प्रास्ताविक

महाराष्ट्र राज्यातील पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षणामध्ये विद्यार्थ्यांचे रोजगार कौशल्य विकसित करून विद्यार्थ्यांचा सर्वांगीण विकास घडवून आणण्याकरिता महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ कटिबद्ध आहे. उद्योगधंद्यातील बदलत्या तंत्रज्ञानाशी संबंधित गरजा लक्षात घेऊन महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाकडून पदविका अभ्यासक्रम वेळोवेळी अद्यावत करण्यात येतो . अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रम शिकत असतांना संकल्पनात्मक ज्ञान, सुसंगत संदर्भ, प्रश्न विचारणे, विश्वसनिय पुरावे, कारणमीमांसा आणि सुस्पष्ट निकष यांचा वापर करून अर्थांची 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 खेड्यापाड्यातून विकसित झालेला देश असून ग्रामीण भागातील विद्यार्थ्यांना तांत्रिक शिक्षण घेतांना भाषेचा अडसर न येता तांत्रिक बाबींचा आशय समजून घेणे शक्य होईल या दृष्टिकोनातून महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाने पदविका स्तरावरील तांत्रिक शिक्षणाकरीता विद्यार्थ्यांना मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय शैक्षणिक वर्ष २०२१-२२ पासून उपलब्ध करून दिलेला आहे .

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

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

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

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

अनुक्रमणिका

[Index]

Sr. No.	Unit Title	Page No
1.	रेल्वे अभियांत्रिकीचा परिचय (Introduction to Railway Engineering)	001
2.	ट्रॅक जियोमेट्रिक्स (Track Geometrics)	021
3.	ब्रिज इंजिनिअरिंग (Bridge Engineering)	063
4.	बोगदा अभियांत्रिकी (Tunnel Engineering)	097
5.	सुरुंगांचे बांधकाम आणि देखभाल (Construction and Maintenance of Tunnels)	114

युनिट I: रेल्वे अभियांत्रिकीचा परिचय
Unit I: Introduction to Railway Engineering

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcomes)

CO1 - रेल्वे ट्रॅकचे संबंधित घटक ओळखा.

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes)

TLO 1.1 भारतीय रेल्वेच्या आतापर्यंतच्या विकासाचे वर्णन करा.

TLO 1.2 दिलेल्या क्रॉस सेक्शनमध्ये रेल्वे ट्रॅकचे घटक दाखवा.

TLO 1.3 निर्दिष्ट रेल्वे ट्रॅकसाठी प्रदान केलेल्या स्लीपरचे प्रकार औचित्यसह सुचवा. दिलेल्या प्रणालीसाठी वेग मोजण्याचे साधन निवडा.

TLO 1.4 विशिष्ट रेल्वे ट्रॅकमध्ये कोणत्या प्रकारची बॅलास्ट दिली जाईल याचे कारण सुचवा. भारतीय रेल्वेच्या स्लीपरमध्ये आतापर्यंतच्या विकासाचे वर्णन करा.

TLO 1.5 दिलेल्या रेल्वे विभागात जोडणी असलेल्या फिक्स्चर ओळखा. भारतीय रेल्वेने आतापर्यंत जोडणी आणि जोडणीच्या बाबतीत केलेल्या विकासाचे वर्णन करा.

1.1 भारतातील रेल्वेच्या विकासाचा इतिहास (आयकेएस), रेल्वे: भारतीय रेल्वेचे क्षेत्र, रस्ते आणि रेल्वेचे फायदे आणि तोटे, मेट्रो आणि मोनो रेलचा, बुलेट ट्रेन परिचय

1.1.1 भारतातील रेल्वेच्या विकासाचा इतिहास (IKS) (History of development of railways in India (IKS)

वाहतूक ही व्यक्ती, वस्तू वाहतुकीचे साधन आहे. वाहतूक सेवा मानवी गरजा पूर्ण करण्याची सेवा सुलभ करतात. त्या संपत्तीचे उत्पादन, वापर, देवाणघेवाण आणि वितरण यांना समर्थन देतात. सार्वजनिक वाहतुकीची एक व्यापक आणि कार्यक्षम व्यवस्था ही राष्ट्राची एक मोठी संपत्ती आहे. रेल्वे सुरू होण्यापूर्वी, भारतातील वाहतुकीचे प्रमुख साधन खेचर, बैल, बैलगाड्या, उंट, घोडे आणि हत्ती होते आणि नद्या वाहतुकीचे मुख्य माध्यम होते.

1832 मध्ये, भारतात रेल्वे मार्ग उभारण्याचा पहिला प्रस्ताव अस्तित्वात आला. 1835 पर्यंत, मद्रासमधील रेड हिल्स आणि चिंताद्रिपेट दरम्यान रेल्वे ट्रॅक बांधण्यात आला, ज्यामुळे भारतात रेल्वेच्या विकासाचा मार्ग मोकळा झाला.

1852 मध्ये, युरोपमधून आयात केलेल्या पहिल्या वाफेच्या लोकोमोटिव्हची चाचणी भायखळा येथे घेण्यात आली. एप्रिल 1853 मध्ये, मुंबई आणि ठाणे दरम्यान सार्वजनिक सोयीसाठी भारतात पहिले भारतीय रेल्वे नेटवर्क सुरू करण्यात आले. एक वर्षानंतर, 1854 मध्ये कल्याणपर्यंत रुळांचे विस्तार करण्यात आले आणि 1858 पर्यंत, रुळ पूर्ण झाले आणि शेवटी खंडाळा-पुणे मार्गावर पोहोचले.

या टप्प्यानंतर, भारतातील रेल्वे विकासाच्या इतिहासात, भारतातील संपूर्ण प्रदेशांनी रेल्वे मार्ग बांधले. 1845 ते 1947 पर्यंत, पूर्व रेल्वेची प्रायोगिक मार्गिका, मुख्य मार्गिका, पूर्व भारत रेल्वे, बंगाल विभाग, मुख्य मार्गिका, पूर्व भारतीय रेल्वे, वायव्य प्रांत, कॉर्ड लाइन — पूर्व भारतीय रेल्वे, पूर्व बंगाल रेल्वे, कलकत्ता आणि मुलतान, किंवा आग्नेय रेल्वे, ग्रेट इंडियन पेनिन्सुला रेल्वे — बॉम्बे आणि मद्रास, बॉम्बे, बडोदा आणि मध्य भारत रेल्वे, सिंध आणि पंजाब रेल्वे, मद्रास ते बेपोर आणि ग्रेट सदर्न रेल्वे ऑफ इंडिया अशा विविध भागात रेल्वे मार्ग बांधण्यात आले. हे भारतातील प्रमुख रेल्वे मार्ग होते. या प्रदेशांवर रेल्वेच्या कामांचा परिणाम झाला.

1.1.2 रेल्वे: भारतीय रेल्वेचे क्षेत्र (Railway: Zones of Indian railways)

भारतीय रेल्वे 17 कार्यरत झोनमध्ये विभागली गेली आहे, प्रत्येक झोनचे नेतृत्व एका महाव्यवस्थापकाद्वारे केले जाते आणि पुढे विभागांमध्ये विभागले गेले आहे. येथे काही प्रमुख झोन आहेत:

1. उत्तर रेल्वे (NR)
2. ईशान्य रेल्वे (NER)
3. ईशान्य सीमावर्ती रेल्वे (NFR)
4. पूर्व रेल्वे (ER)
5. दक्षिण पूर्व रेल्वे (SER)
6. दक्षिण मध्य रेल्वे (SCR)
7. दक्षिण रेल्वे (SR)
8. मध्य रेल्वे (CR)

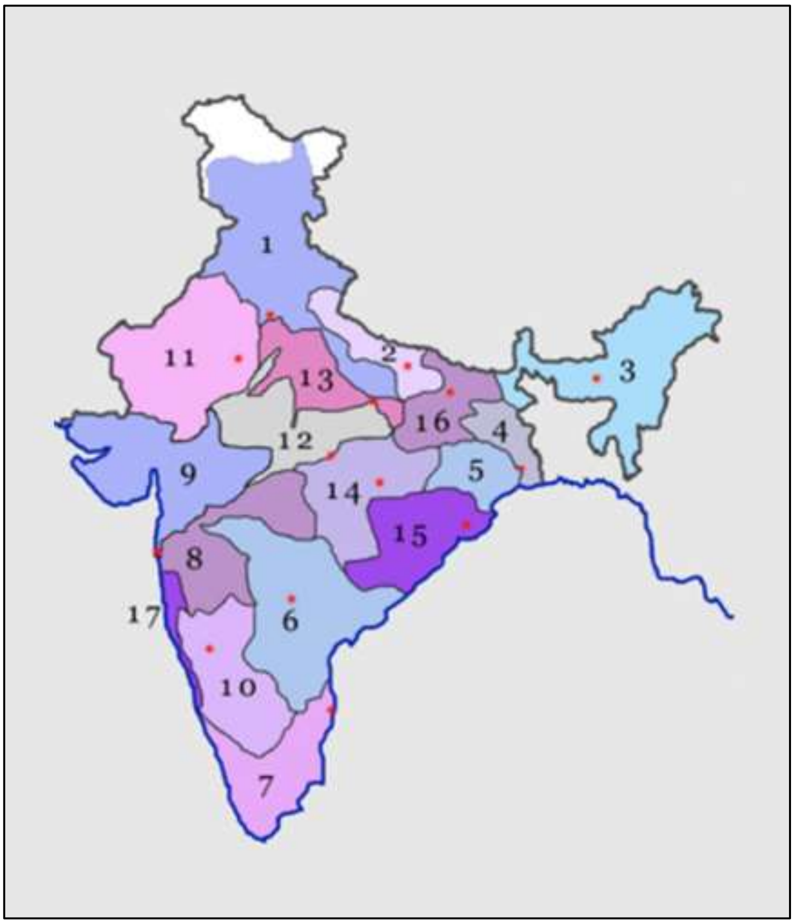


Figure 1.1 भारतीय रेल्वे: 17 कार्यरत झोन

(स्रोत: Railway Zones in India List their Headquarters and Divisions -)

1.1.3 रस्ते आणि रेल्वेचे फायदे आणि तोटे (Merits and demerits of roadway and railway)

फायदे (Merits)

1) **कार्यक्षम वाहतूक (Efficient Transportation):** रेल्वे मोठ्या प्रमाणात वस्तू आणि लोकांची लांब अंतरापर्यंत कार्यक्षमतेने वाहतूक करू शकते.

2) **किफायतशीर (Cost-Effective):** रेल्वे ही सामान्यतः इतर वाहतुकीच्या पद्धतींपेक्षा अधिक किफायतशीर असते, विशेषतः जड किंवा अवजड वस्तूंच्या वाहतुकीसाठी.

3) **पर्यावरणपूरक (Environmentally Friendly)**: रस्ते किंवा हवाई वाहतुकीच्या तुलनेत रेल्वे हे वाहतुकीचे अधिक पर्यावरणपूरक साधन आहे, त्यामुळे कमी उत्सर्जन होते आणि कमी इंधन वापरते.

4) **विश्वासार्ह (Reliable):** रेल्वेची वाहतूक एक विश्वासार्ह साधन म्हणून ख्याती आहे, ज्यामध्ये उच्च पातळीची सुरक्षितता आणि अपघातांचा धोका कमी आहे.

5) **उच्च क्षमता (High Capacity):** रेल्वे एकाच वेळी मोठ्या प्रमाणात लोक किंवा वस्तूंची वाहतूक करू शकते, ज्यामुळे ते मोठ्या गटांच्या किंवा मोठ्या प्रमाणात मालवाहतुकीसाठी एक कार्यक्षम पर्याय बनतात.

6) **कमी होणारी गर्दी (Reduced Congestion):** रेल्वे रस्त्यांवरील वाहतूक कोंडी कमी करण्यास मदत करू शकते, विशेषतः शहरी भागात जिथे वाहतूक जास्त असते.

तोटे (Demerits)

1) **मर्यादित लवचिकता (Limited Flexibility):** रेल्वे निश्चित ट्रॅकपुरती मर्यादित आहे, ज्यामुळे दुर्गम किंवा अतिदुर्गम भागात वाहतूक पुरवण्याची त्यांची क्षमता मर्यादित होते.

2) **भांडवल केंद्रित (Capital Intensive):** रेल्वे बांधण्यासाठी आणि देखभालीसाठी पायाभूत सुविधा आणि उपकरणांमध्ये लक्षणीय गुंतवणूक आवश्यक आहे.

3) **हवामान अवलंबून (Weather Dependence):** मुसळधार पाऊस, बर्फ किंवा अति तापमान यासारख्या प्रतिकूल हवामान परिस्थितीमुळे रेल्वेवर परिणाम होऊ शकतो, ज्यामुळे विलंब किंवा रद्दीकरण होऊ शकते.

4) **मर्यादित प्रवेशयोग्यता (Limited Accessibility):** रेल्वे विशिष्ट ठिकाणी किंवा गंतव्यस्थानांवर सोयीस्कर प्रवेश प्रदान करू शकत नाही, ज्यामुळे वाहतुकीच्या अतिरिक्त पद्धतींची आवश्यकता असते.

1.1.4 मेट्रो आणि मोनो रेल, बुलेट ट्रेनची ओळख. (Introduction to Metro and Monorail, Bullet Train.)

"मेट्रो" ही एक उच्च-क्षमतेची, जलद वाहतूक प्रणाली आहे जी सामान्यतः शहरी भागात आढळते, जी जमिनीखाली, जमिनीवरून किंवा दोन्हीच्या संयोजनावर चालते, जी शहरातील मोठ्या संख्येने प्रवाशांना कार्यक्षमतेने पोहोचविण्यासाठी डिझाइन केलेली आहे.

मेट्रोची काही वैशिष्ट्ये

1. उच्च प्रवासी क्षमता
2. शहराच्या आत विविध स्थानकांसह अनेक मार्ग
3. सहसा भूमिगत किंवा उंचावलेले ट्रॅक
4. काही प्रणालींमध्ये पूर्णपणे स्वयंचलित केले जाऊ शकते

"मोनोरेल" ही एक रेल्वे व्यवस्था आहे जी एकाच उंच रेल्वे ट्रॅकचा वापर करते, जी बहुतेकदा मर्यादित जागेत वापरली जाते जिथे पारंपारिक मेट्रो शक्य नसते;

मोनोरेलची काही वैशिष्ट्ये:

1. गाड्या चालवण्यासाठी एकच उंच ट्रॅक
2. त्याच्या लहान फूटप्रिंटमुळे मार्ग डिझाइनच्या बाबतीत अधिक लवचिक असू शकते
3. बहुतेकदा मोठ्या मेट्रो नेटवर्कला फीडर सिस्टम म्हणून वापरली जाते.

"बुलेट ट्रेन" म्हणजे मोठ्या शहरांमधील लांब पल्ल्याच्या प्रवासासाठी डिझाइन केलेली हाय-स्पीड ट्रेन, जी मानक ट्रेन किंवा मेट्रो सिस्टमच्या तुलनेत लक्षणीयरीत्या वेगवान असते. प्रत्येक सिस्टमबद्दलचे महत्त्वाचे मुद्दे:

बुलेट ट्रेनची काही वैशिष्ट्ये:

1. उच्च ऑपरेटिंग स्पीड, सामान्यतः 200 किमी/ताशी पेक्षा जास्त.
2. प्रमुख शहरांमधील लांब पल्ल्याच्या प्रवासासाठी डिझाइन केलेले.
3. प्रगत पायाभूत सुविधांसह समर्पित ट्रॅक आवश्यक आहेत.

1.2 रेल्वे ट्रॅकचे घटक: रेल, रेल्वे ट्रॅकच्या आदर्श आवश्यकता, रेलचे प्रकार, रेल गेज - प्रकार, गेजच्या निवडीवर परिणाम करणारे घटक. रेलचे झुकणे आणि चाकांचे कोनिंग. रेल जॉइंट्स: वेल्डेड जॉइंट्सची आवश्यकता, प्रकार, आवश्यकता. रेलचा क्रिप: क्रिपची व्याख्या, कारणे आणि प्रतिबंध.

1.2.1 रेल (Rails)

रेल हे दोन समांतर रेषांमध्ये रचलेल्या ट्रॅकचे घटक आहेत जे गाड्यांच्या हालचालीसाठी सतत आणि समतल पृष्ठभाग प्रदान करतात. ताण सहन करण्यास सक्षम होण्यासाठी, ते उच्च-कार्बन स्टीलचे बनलेले असतात.

रेलचे कार्य (Function of Rails)

1. रेल गाड्यांच्या हालचालीसाठी सतत आणि समतल पृष्ठभाग प्रदान करतात.
2. रेल चाकांसाठी मार्गदर्शक म्हणून काम करतात.
3. रेल चाकांवर एक्सल आणि रोलिंग स्टॉकच्या चाकांमधून तसेच ब्रेकिंग आणि थर्मल फोर्समुळे प्रसारित होणाऱ्या उभ्या भारांमुळे निर्माण होणारा ताण वाहून नेतात.
4. रेल स्लीपर आणि बॅलास्टद्वारे रचनेच्या मोठ्या भागात भार प्रसारित करण्याचे कार्य करतात.

1.2.2 परमनंट ट्रॅक (Permanent way)

रेल्वे मार्गाचा पूर्ण झालेला ट्रॅक हा परमनंट ट्रॅक म्हणून ओळखला जातो.

म्हणून, परमनंट ट्रॅकमध्ये रेल, स्लीपर, फिटिंग्ज आणि फास्टनिंग्ज, बॅलास्ट आणि फॉर्मेशन असतात.

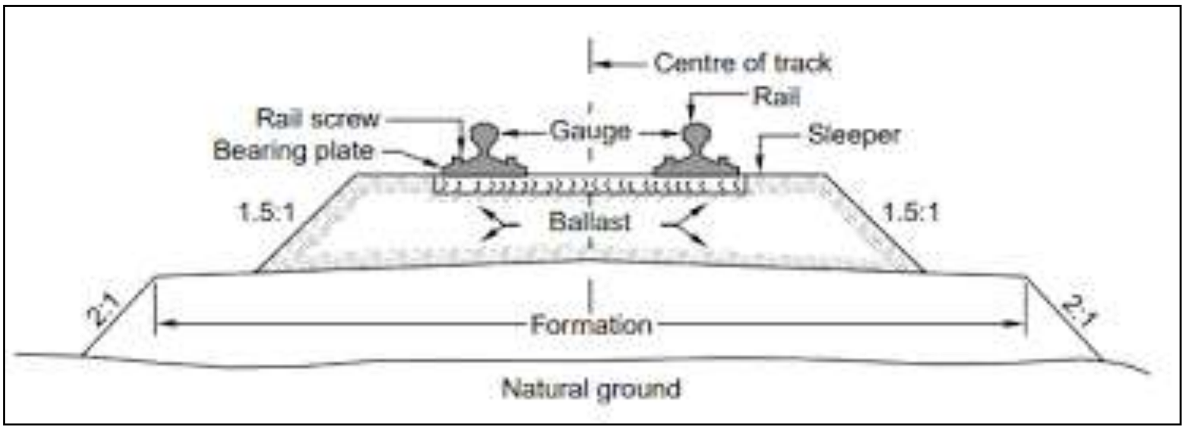


Figure 1.2 परमनंट ट्रॅक
(स्रोत: रेल्वे इंजिनिअरिंग-चरोतर पब्लिशिंग हाऊस प्रा. लि.)

परमनंट ट्रॅक ट्रॅकसाठी आदर्श आवश्यकता (Ideal requirements of permanent way/Railway track)

1. गेज एकसमान आणि योग्य असावा.
2. संरेखन योग्य असावे आणि सरळ भागावर रेल समान पातळीवर असावेत.
3. ट्रॅक लवचिक असावा. (म्हणजे ट्रॅकमध्ये विशिष्ट प्रमाणात लवचिकता असणे आवश्यक आहे)
4. ग्रेडियंट एकसमान असावा आणि ग्रेडियंटमध्ये कोणताही बदल झाल्यास गुळगुळीत वक्र असावा.
5. ट्रॅकमध्ये पुरेशी पार्श्व ताकद असावी जेणेकरून संरेखन राखले जाईल.
6. पॉईंट आणि क्रॉसिंग आणि रेल सांधे परिपूर्णपणे डिझाइन आणि देखभाल केलेले असावेत.
7. वक्रांवर त्रिज्या आणि वरची उंची योग्यरित्या डिझाइन आणि देखभाल केलेली असावी.
8. ड्रेनेज सिस्टम परिपूर्ण असावी.
9. फिक्स्चर आणि फास्टनिंग्ज (Fixtures and fastenings) ताण सहन करण्यासाठी पुरेसे मजबूत असावेत.
10. त्यात जास्त रेल सांधे नसावेत.
11. ट्रेनचा भार कायमस्वरूपी मार्गावर समान रीतीने वितरित केला पाहिजे.

1.2.3 रेलचे प्रकार (Types of Rails)

रेल तीन प्रकारांमध्ये विभागली जाऊ शकते:

1. दुहेरी डोक्याचे रेल (Double Headed Rails)
2. बुल हेडेड रेल (Bull Headed Rails)
3. फ्लॅट फूटेड रेल्स (Flat Footed Rails)

1. दुहेरी हेडेड रेल्स- हे रेल विकासाचा प्रारंभिक टप्पा दर्शवतात आणि आय (I) किंवा डंब-बेल सेक्शनचे बनलेले असतात. यात मूलत: तीन भाग असतात.

A. वरचे टेबल
B. वेब
C. तळाशी बाहेरील कडा

वरच्या आणि खालच्या दोन्ही फ्लाइंजेस एकसारख्या होत्या आणि रेल्वेचे आयुष्य दुप्पट करण्याच्या आशेने ते सादर केले गेले. या प्रकारची रेल्वे व्यावहारिकदृष्ट्या वापराच्या बाहेर आहे. आजकाल, या रेलची लांबी 610 सेमी ते 732 सेमी पर्यंत बदलते.

2. बुल हेडेड रेल

या प्रकारच्या रेल्वेचे देखील तीन भाग असतात.

A. डोके
B. वेब
C. पाय

हे रेलिंग स्टीलचे होते. डोके पायापेक्षा मोठे आहे आणि पायाची रचना फक्त लाकडी चाव्या व्यवस्थितपणे धरून ठेवण्यासाठी केली आहे ज्याद्वारे रेल सुरक्षित आहे. त्यांचे वजन प्रति मीटर लांबी 42 किलो पर्यंत असते.

3. फ्लॅट फूटेड रेल्स

या रेलचा सर्व प्रथम शोध १८३६ मध्ये चार्ल्स विग्नोल्सने लावला होता. आणि म्हणून या रेल्सना विग्नोल, उलटे टाईप क्रॉस सेक्शन असलेले रेल असेही म्हणतात. त्यात तीन भाग असतात

A. डोके
B. वेब
C. पाय

पाया तयार करण्यासाठी पाय पसरला आहे. रेल्वेचा हा प्रकार इतका लोकप्रिय झाला आहे की जगातील सुमारे 90% रेल्वे ट्रॅक या प्रकारच्या आहेत

फ्लॅट फूटेड रेलचे खालील फायदे आहेत

1. त्यांना कोणत्याही (chair) चेअर ची आवश्यकता नाही आणि ते थेट स्लीपरला चेअर ने बांधले जाऊ शकतात. त्यामुळे ते किफायतशीर आहेत.
2. ते उभ्या आणि बाजूच्या दोन्ही बाजूंनी जास्त कडक असतात. वक्रांसाठी बाजूकडील कडकपणा महत्त्वाचा आहे.
3. बुल हेडेड रेल्सपेक्षा अधिक नियमित टॉप पृष्ठभाग राखतात.

4. ते बुल हेडेड रेल्सपेक्षा स्वस्त आहेत.
5. ट्रेनच्या चाकांचे भार स्लीपरच्या मोठ्या क्षेत्रावर वितरीत केले जातात ज्यामुळे ट्रॅक स्थिरता, रेल आणि स्लीपरचे दीर्घ आयुष्य, कमी देखभाल, खर्च, कमी रेल्वे बिघाड आणि वाहतुकीत काही व्यत्यय येतो. येत नाही व स्थिरता प्रधान करते.

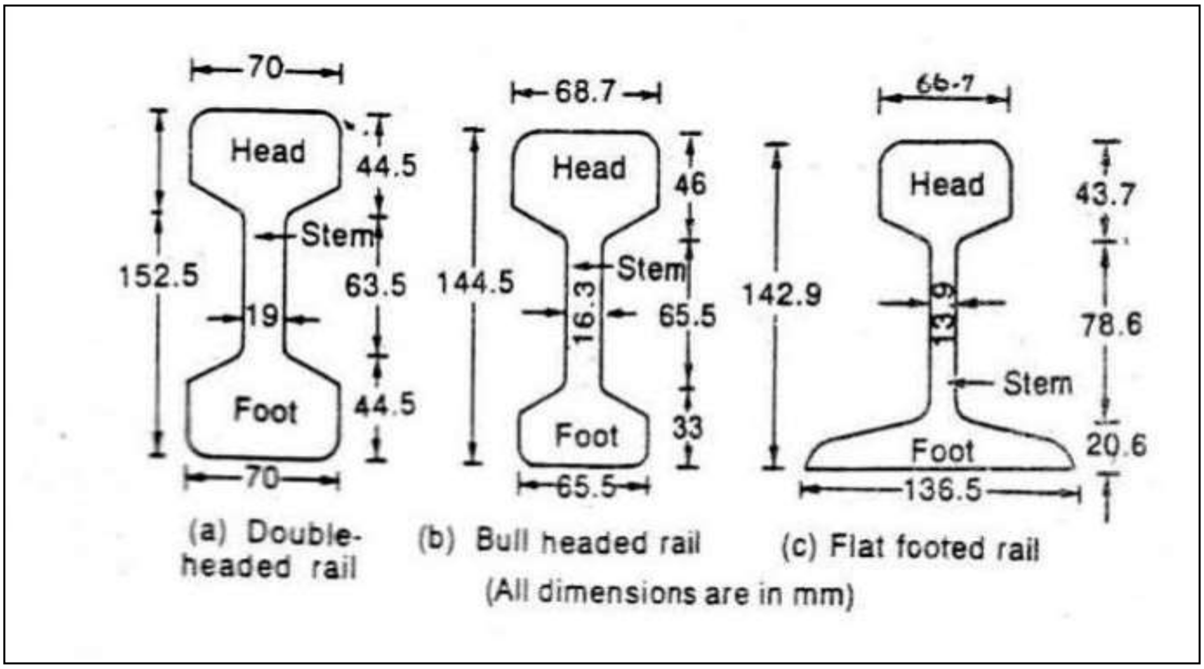


Figure 1.3 रेलचे प्रकार
(स्रोत: रेल्वे इंजिनिअरिंग-चरोतर पब्लिशिंग हाऊस प्रा. लि.)

1.2.4 रेल गेज (Rail Gauge)

ट्रॅक बनवणाऱ्या दोन रेल्वेच्या आतील (धावत्या) चेहऱ्यांमधील स्पष्ट आडवे अंतर रेल्वे गेज म्हणून ओळखले जाते.

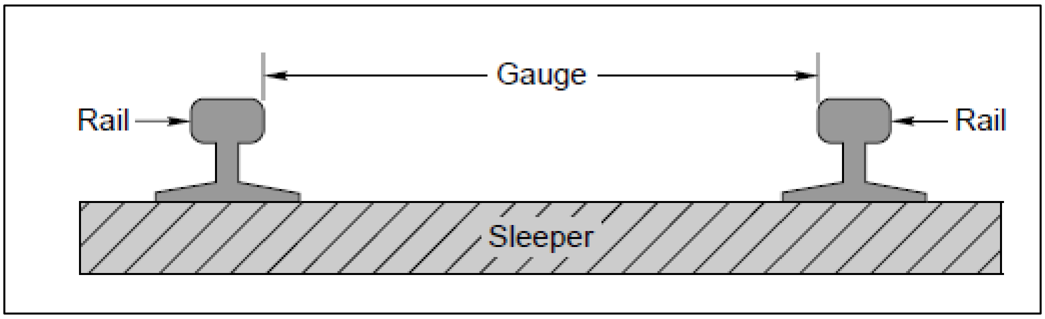


Figure 1.4 रेल्वे गेज
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

रेल्वे गेजचे प्रकार (Types of Rail Gauge):

ब्रॉड गेज (B.G) (Broad Gauge): जेव्हा दोन रेलच्या आतील चेहऱ्यांमधील स्पष्ट अंतर 1.676 मीटर (1676 मिमी) असते, तेव्हा गेजला ब्रॉडगेज म्हणतात.

स्टँडर गेज (S.G) (Standard Gauge): जेव्हा दोन रेलच्या आतील चेहऱ्यांमधील स्पष्ट अंतर 1.435 मीटर किंवा 1.451 मीटर असते, तेव्हा गेजला मानक गेज म्हणतात.

मीटर गेज (M.G) (Meter Gauge): जेव्हा दोन रेलच्या आतील चेहऱ्यांमधील स्पष्ट अंतर एक मीटर (1000 मिमी) असते, तेव्हा गेजला मीटर गेज म्हणतात.

नॅरो गेज (N.G) (Narrow Gauge): जेव्हा दोन रेलच्या आतील चेहऱ्यांमधील स्पष्ट अंतर 0.762 मीटर (762 मिमी) असते, तेव्हा गेजला नॅरो गेज म्हणतात.

1.2.5 रेल्वे गेजच्या निवडीवर परिणाम करणारे घटक (Factors affecting selection of rail gauge)

1. **बांधकामाचा खर्च (Cost of construction):** जर आपण विस्तीर्ण गेज निवडले तर सुरुवातीच्या खर्चात थोडीशी वाढ होते (म्हणे B. G.) हे खालील कारणांमुळे होते:
   i) गेजची रुंदी वाढल्याने मातीकाम, गिट्टी, स्लीपर, रेल इत्यादींचा खर्च वाढेल.
   ii) गेज वाढीसह कायमस्वरूपी ट्रॅकसाठी जमीन संपादनात वाढ होते
   iii) रोलिंग स्टॉकची वापरलेल्या खर्चात थोडीशी वाढ होते.
2. **ट्रॅफिकचे प्रमाण आणि स्वरूप (Volume and nature of traffic) -** हे जास्त ट्रॅफिक व्हॉल्यूम आणि जास्त भार वाहून नेण्याच्या क्षमतेमुळे स्पष्ट होते, ट्रेन्स चांगल्या ट्रॅक्शन तंत्राने किंवा चांगल्या लोकोमोटिव्हने चालवल्या पाहिजेत.
3. **क्षेत्राचा विकास (Development of the area)-**नॅरो गेजचा वापर गरीब विकसित भागांना विकसित किंवा शहरी भागांसह जोडून कमी लोकसंख्येचा विकास करण्यासाठी केला जाऊ शकतो.
4. **देशाची भौतिक वैशिष्ट्ये (Physical features of the country)-** डोंगराळ प्रदेशात जेथे रुंद आणि मीटर गेज तीव्र ग्रेडियंट आणि तीक्ष्ण वक्रांमुळे शक्य नाही अशा ठिकाणी अरुंद गेजचा वापर करणे आवश्यक आहे.
5. **हालचालीचा वेग (Speed of movement) -** ट्रेनचा वेग जवळजवळ गेजच्या प्रमाणात असतो. गती हे चाकाच्या व्यासाचे कार्य आहे, जे यामधून गेजद्वारे मर्यादित आहे. चाकाचा व्यास साधारणपणे गेजच्या 0.75 पट असतो. कमी वेग ग्राहकांना परावृत्त करतो आणि आतापर्यंत उच्च गती राखून, ब्रॉडगेजला प्राधान्य दिले जाते.

1.2.6 रेलचे टिल्टिंग (Tilting of rail)

रुळांवर तसेच चाकांची झीज कमी करण्यासाठी 1 in 20 च्या कोनात रेल आतील बाजूस झुकल्या जातात. ट्रॅकची रेल्वे उभ्या स्थितीत ठेवल्यास, चाकांच्या कोनिंगमुळे वरच्या पृष्ठभागाचा रेल्वेच्या चाकांच्या पृष्ठभाग ट्रेड्सच्या पूर्ण संपर्कात येणार नाही आणि चाकांचा दाब नेहमी रेल्वेच्या आतील कडांजवळ येतो. त्यामुळे, रेल त्वरीत झिजून जातील. वरच्या पृष्ठभागाशी पूर्ण संपर्क साधण्यासाठी आणि अशाप्रकारे रेलचा पोशाख कमी करण्यासाठी, 1 in 20 च्या आतील बाजूच्या उतारावर ठेवलेले आहेत. ज्याला रेलचे टिल्टिंग म्हणतात.

"**Adzing**" हे लाकडी स्लीपरमध्ये कट देऊन रेल्वेचे झुकणे साध्य केले जाते. कँटेड बेअरिंग प्लेट्सचा वापर लाकडी स्लीपरमध्ये देखील केला जाऊ शकतो ज्यामुळे रेलचे टिल्टिंग होते. स्टील, सीआय आणि काँक्रीट स्लीपरमध्ये रेलचे झुकणे प्रदान करण्यासाठी बेअरिंग पृष्ठभागावर बिल्ट स्लोप आहे.

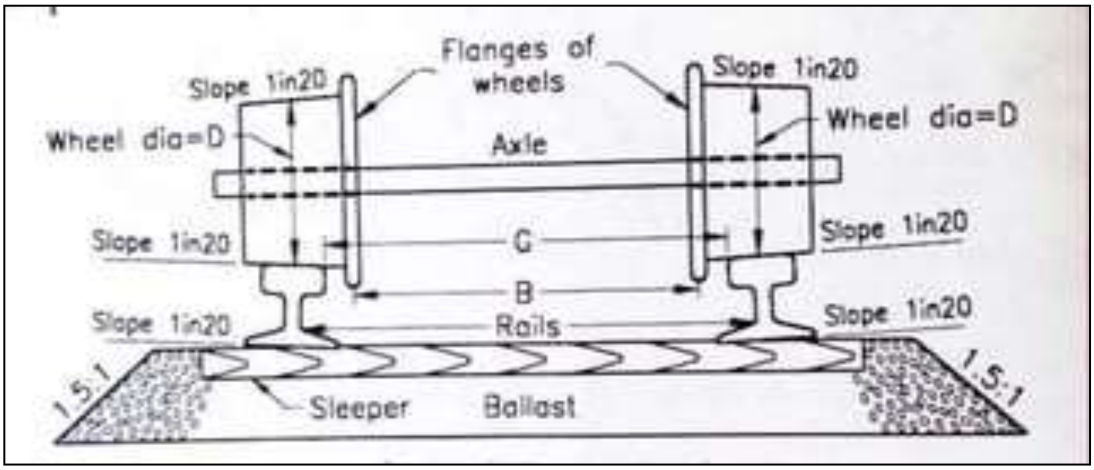


Figure 1.5 रेलचे टिल्टिंग
(स्रोत- रेल्वे अभियांत्रिकीचे एक पाठ्यपुस्तक-धनपत राय प्रकाशन (प्रा.) लि.)

1.2.7 चाकाचे कोनिंग (Coning Of wheel)

रोलिंग स्टॉकच्या चाकांच्या पायांना 1 in 20 बाह्य उतार देण्याची कला चाकांचे कोनिंग म्हणून ओळखली जाते. जर चाकाचे फ्लॅंज सपाट असतील तर धक्क्यांमुळे चाक आणि रेलमध्ये हालचाल होईल आणि त्यामुळे वाहन मध्यभागी राहणार नाही आणि भाराचे असमान वितरण होईल. म्हणून, फ्लॅंज शंकूच्या आकारात बनवले जातात ज्याचा उतार 1in 20 असतो. याला चाकाचे कोनिंग म्हणतात.

1. यामुळे फ्लॅंजेस आणि रेलची झीज कमी होण्यास देखील मदत होईल.
2. रेल आणि फ्लॅंजेसच्या आतील बाजूस घासण्यापासून रोखण्यासाठी, फ्लॅंजेसच्या आतील कडांमधील अंतर गेजपेक्षा कमी ठेवले जाते आणि त्यामुळे चाकांच्या कोनिंगमुळे रेलच्या आतील काठावर नेहमीच दाब राखला जातो.

1.2.8 रेल्वे जॉइंट (Rail Joint)

दोन रेल एकमेकांना जोडण्यासाठी आणि रेल्वे सुरक्षिततेची खात्री करण्यासाठी रेल्वे जॉइंटचा मोठ्या प्रमाणावर वापर केला जातो.

आवश्यकता-

1. हे रेलचे दोन भाग एकत्र जोडण्यासाठी आणि लांब अंतरावर सतत ट्रॅक चालविण्यासाठी डिझाइन केलेले आहेत.
2. तापमानातील फरकांमुळे रेलचा विस्तार आणि आकुंचन (expansion and contraction) होण्यास रेल्वे जॉइंट सक्षम करतात.

रेल्वे जॉइंटच्या आवश्यकता (Requirements of a standard rail joint)

1. ते मजबूत, कडक असावे आणि मूळ रेल्वे सेक्शनइतकेच ताकद देऊ शकेल असे असावे.
2. लॅटरलआणि वेगवेगळ्या भाराखाली, ते ट्रॅकचे गेज अंतर राखले पाहिजे.
3. ते स्वस्त आणि टिकाऊ असावे.
4. ते कोणत्याही परिस्थितीत रेल्वेच्या टोकाला धडक देऊ नये.
5. ते ट्रेनच्या हालचालीमुळे निर्माण होणारे धक्के आणि कंपन सहन करणारे असावे.
6. संपूर्ण ट्रॅकला त्रास न देता ते सहजपणे काढता येईल आणि बदलता येईल असे असावे.
7. ते दोन्ही रेल्स एकाच पातळीवर ठेवण्यास सक्षम असावे.
8. तापमानातील फरकामुळे ते मुक्त विस्तार आणि आकुंचन प्रदान करणारे असावे.

रेल्वे जॉइंट चे प्रकार (Types of Rail Joints)

1. पोझिशनच्या स्थितीनुसार (According to the Position of Joint)
2. स्लीपरच्या स्थितीनुसार (According to the Position of Sleepers)

1. पोझिशनच्या स्थितीनुसार (According to the Position of Joint)

i) **स्क्वेअर/चौरस जॉइंट (Square joint)** - या जॉइंट मध्ये दोन वेगवेगळ्या रेल्वेमधील जॉइंट एकमेकांच्या अगदी विरुद्ध असतात. भारतीय रेल्वेमध्ये हा सर्वात सामान्यपणे वापरला जाणारा जॉइंट प्रकार आहे.

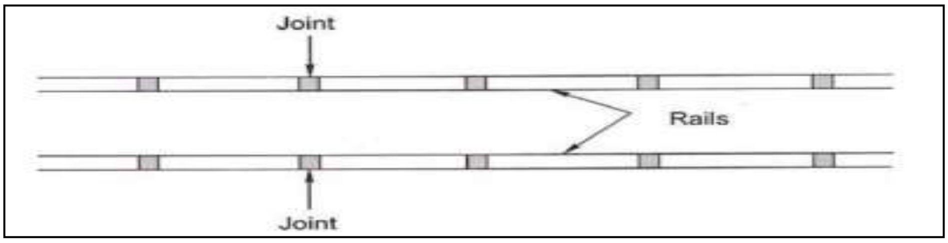


Figure 1.6 स्क्वेअर/चौरस
(जॉइंट (स्रोत: रेल्वे इंजिनिअरिंग-चरोतर पब्लिशिंग हाऊस प्रा. लि.)

ii) **स्टॅगर्ड जॉइंट्स (Staggered joints)** - यामध्ये एका रेलमधील जॉइंट्स स्टॅगर्ड असतात आणि दुसऱ्या रेलमधील जॉइंट्सच्या अगदी विरुद्ध नसतात. हे जॉइंट्स सामान्यतः वक्र ट्रॅकवर वापरले जातात कारण ते ट्रॅकला बाहेरच्या दिशेने ढकलणारे सेंट्रीफ्यूगल फोर्स /बल कमी करतात. स्टॅगर्ड जॉइंट्स हे स्क्वेअर /चौकोनी जॉइंट्सच्या तुलनेत सुरळीत धावण्याची सुविधा देतात.

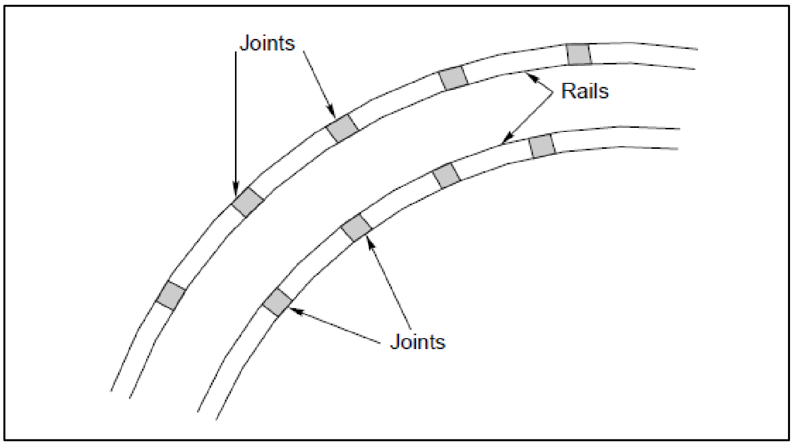


Figure1.7 स्टॅगर्ड जॉइंट्स
(जॉइंट (स्रोत: रेल्वे इंजिनिअरिंग-चरोतर पब्लिशिंग हाऊस प्रा. लि.)

2. स्लीपरच्या स्थितीनुसार (According to the Position of Sleepers)

i) **सपोर्टेड जॉईंट (Supported joint)** – या जॉईंट मध्ये रेल्वेचे टोक थेट स्लीपरवर आधारलेले असतात. या जॉईंट मुळे कॅन्टीलिव्हरची क्रिया रोखून रेल्वेमधील झीज कमी होते.

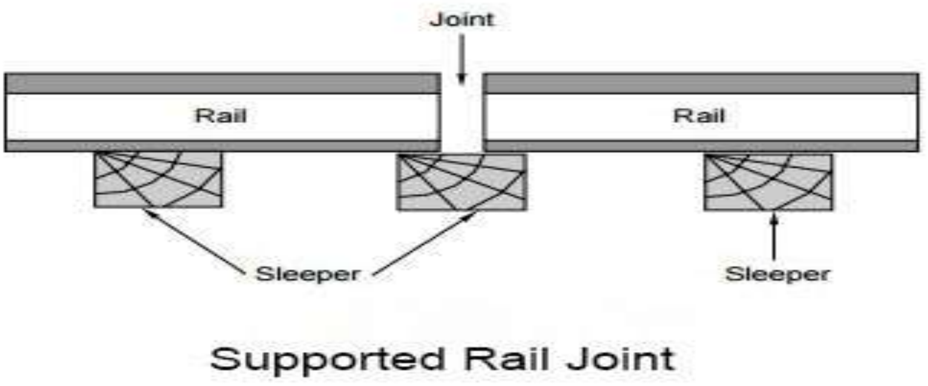


Figure 1.8 सपोर्टेड जॉईंट
(जॉइंट (स्रोत: रेल्वे इंजिनिअरिंग-चरोतर पब्लिशिंग हाऊस प्रा. लि.)

ii) **सस्पेंडेड जॉइंट (Suspended joint)** - सस्पेंडेड जॉइंटमध्ये, रेल्वेचे टोक स्लीपरमध्ये लटकलेले असतात, ज्यामध्ये काही रेल्वे भाग कॅन्टीलिव्हर केलेला असतो. कॅन्टीलिव्हर क्रियेमुळे, चालत्या गाड्यांमधील भारांमुळे हॅमरिंग क्रियेमुळे स्लीपर पॅकिंग सैल होते. हे जगातील रेल्वे प्रणालींमध्ये सर्वात जास्त वापरले जाणारे जॉइंट आहेत.

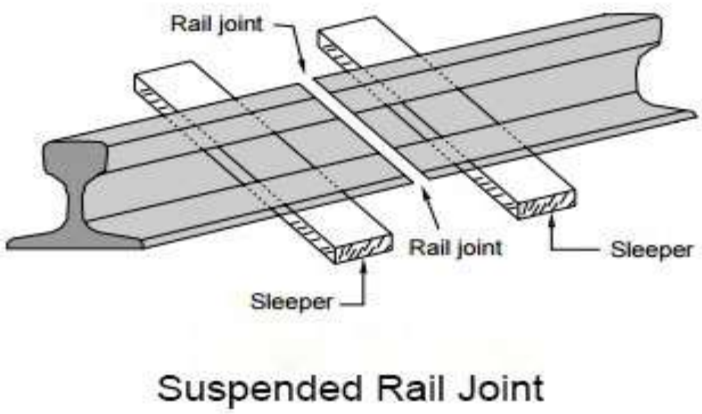
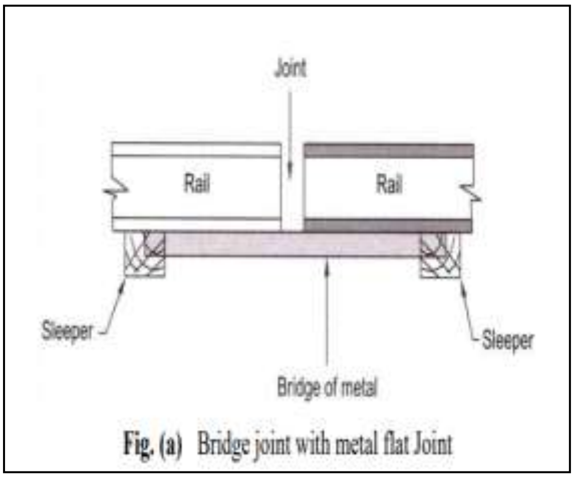


Figure1.9- सस्पेंडेड जॉइंट
(जॉइंट (स्रोत: रेल्वे इंजिनिअरिंग-चरोतर पब्लिशिंग हाऊस प्रा. लि.)

iii) **ब्रिज जॉइंट्स (Bridge joints)** हा जॉइंट जवळजवळ सस्पेंडेड जॉइंटसारखाच असतो. फरक एवढाच की ब्रिज जॉइंटच्या दोन्ही बाजूंच्या दोन स्लीपर एका सपाट धातूच्या किंवा नालीदार प्लेटने जोडलेल्या असतात. या प्लेटला ब्रिज प्लेट असेही म्हणतात.



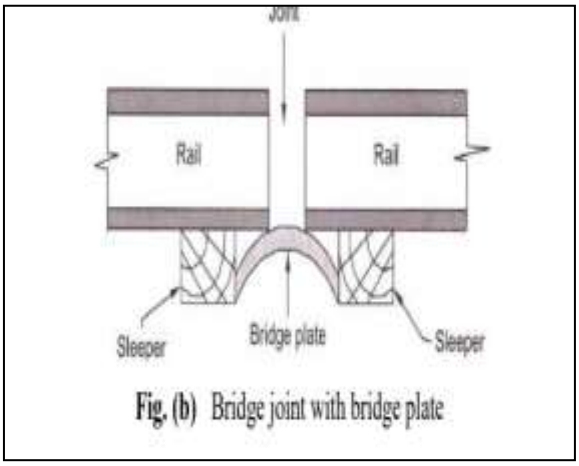


Figure 1.10 ब्रिज जॉइंट्स
(जॉइंट (स्रोत: रेल्वे इंजिनिअरिंग-चरोतर पब्लिशिंग हाऊस प्रा. लि.)

1.2.10 रेलचे क्रिपिंग (creep of rails):

रेलमधील क्रिप म्हणजे लोकोमोटिव्हच्या हालचालीच्या दिशेने ट्रॅकमधील रेलची रेखांशाची (longitudinal movement) हालचाल.

क्रिप होण्याची कारणे (Causes of creep):

1. **व्यव क्रिया किंवा व्यव सिद्धांत (Wave action or Wave Theory)**: व्यव गती ही चाकांच्या हालचालींमुळे एका लवचिक ट्रॅकमध्ये स्थापित होते. ट्रेनची चाके स्वतःखाली दाब निर्माण करतात ज्यामुळे लिफ्ट किंवा शिखरे तयार होतात. चाकांच्या हालचालीमुळे, चालत्या चाकांच्या समोरील लिफ्ट पुढे नेल्या जातात तर चालत्या चाकांच्या मागील बाजूस असलेल्या लिफ्ट त्यांच्या सामान्य स्थितीत परत येतात. अशा प्रकारे, रेल पुढे ढकलले जातात ज्यामुळे रेल पुढे दिशेने ढकलले जातात.

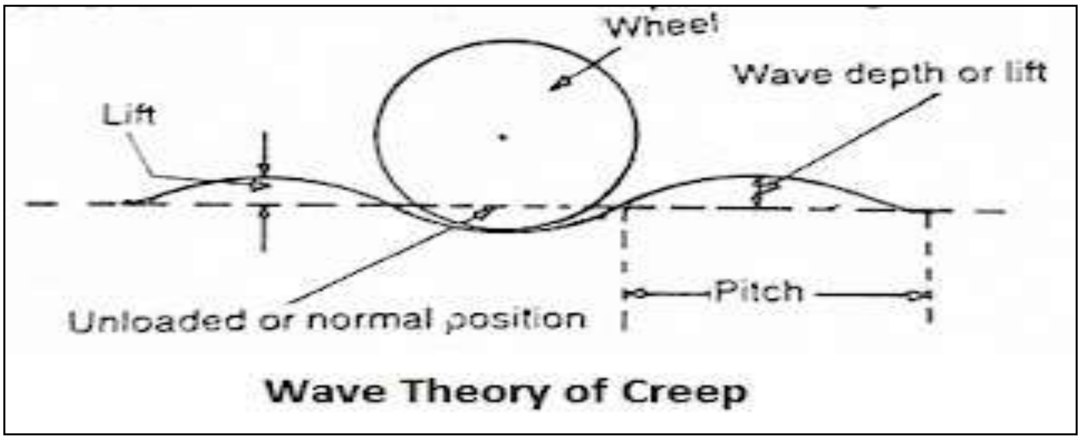


Figure 1.11 रेलचे क्रिपिंग
(स्रोत- रेल्वे अभियांत्रिकीचे एक पाठ्यपुस्तक-धनपत राय प्रकाशन (प्रा.) लि.)

2. **पर्कशन सिद्धांत (Percussion Theory)** – Figureत दाखवल्याप्रमाणे, प्रत्येक फिश प्लेट जॉइंटवर फेसिंग रेलच्या शेवटी असलेल्या चाकांच्या आघातामुळे रेल क्रिप होते. जेव्हा चाक अशा रेल जॉइंटवरून जाते तेव्हा मागचा रेल खाली दाबला जातो आणि चाक फेसिंग रेलच्या शेवटी आघात देतो, ज्यामुळे रेल पुढे सरकते.

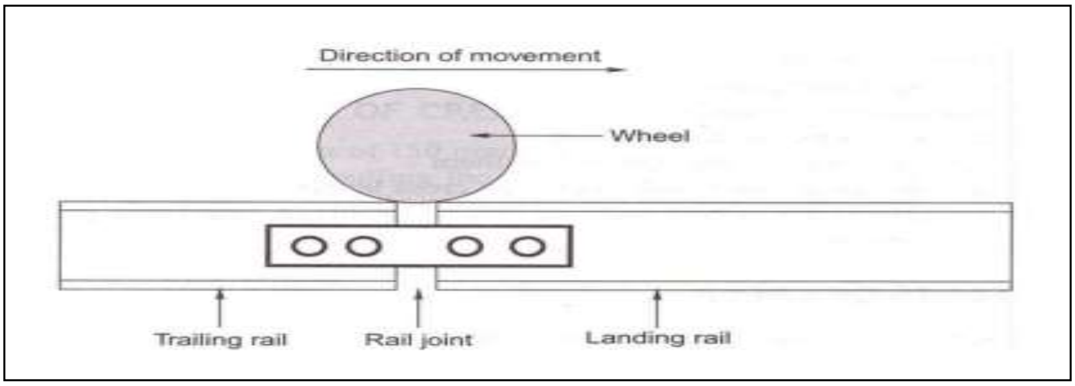


Figure 1.12 पर्कशन सिद्धांत
(स्रोत- रेल्वे अभियांत्रिकीचे एक पाठ्यपुस्तक-धनपत राय प्रकाशन (प्रा.) लि.)

3. **ट्रेनचा वेग वाढवणे किंवा सुरू करणे (Accelerating or starting of a train)** -ट्रेनचा वेग वाढवताना किंवा सुरू करताना, इंजिनची चाके मागे वळून जोर देतात ज्यामुळे रेल्वे मागे ढकलल्या जातात, ज्यामुळे मागच्या दिशे च्या आघातामुळे रेल क्रिप होते.
4. **ट्रेनचा वेग कमी करणे किंवा थांबवणे (De-accelerating or stopping the train) -** जेव्हा ट्रेनचा वेग कमी केला जातो किंवा थांबवला जातो तेव्हा ब्रेकिंग इफेक्टमुळे रेल्वे पुढे ढकलली जाते. त्यामुळे पुढच्या दिशेने रेल क्रिप होते.
5. **तापमानातील फरकामुळे रेंगाळण्याचा विस्तार आणि आकुंचन (Expansion and contraction of rails due to variation in temperature)** - तापमानातील फरकामुळे असमान विस्तार आणि आकुंचन यामुळे देखील रेल क्रिप होते.
6. **वाहतुकीची तीव्रता (Intensities of Traffic)** - एकाच रेषेच्या ट्रॅकमध्ये मोठ्या प्रमाणात वाहतुकीच्या दिशेने आणि दुहेरी रेषेच्या ट्रॅकमध्ये, दोन्ही ट्रॅकमध्ये गाड्यांच्या हालचालीच्या दिशेने रेल क्रिप होते.
7. **ट्रॅकचे संरेखन -** ट्रॅकच्या सरळ भागापेक्षा वक्र भागावर रेल क्रिप जास्त असते.
8. **ट्रॅकचा ग्रेडियंट (Gradient of the track)** - रेल क्रिप तीव्र ग्रेडियंट असलेल्या ट्रॅकवर जास्त असते, विशेषतः जर गाड्या जड भारांसह खाली सरकत असतील.

रेल क्रिप न होऊ देण्याची कारणे (Creep Prevention)-

1. रेलिंग मागे खेचणे. (Pulling back the rails)
2. स्टील स्लीपरचा वापर. (Use of steel sleepers)
3. अँकर/अँटी-क्रीपरचा वापर. (Using Anchors/Anti-creepers)
4. प्रत्येक रेल्वे लांबीसाठी स्लीपरची संख्या वाढवून घेणे.

1.3 स्लीपर: आवश्यकता, कार्ये आणि प्रकार, स्लीपरची घनता (Sleepers: Requirement, functions and types, sleeper density)

स्लीपर (Sleepers): रेल्वे स्लीपर हे असे घटक आहेत ज्यावर योग्य गेजने रेलची व्यवस्था केली जाते. हे स्लीपर्स सामान्यत: बॅलास्ट वर विसावले जातात .रेल्वेतून जाणारा भार हे स्लीपर्स घेतात आणि बॅलास्ट वर वितरीत करतात.

1.3.1 आवश्यकता

1. रेल्वे स्लीपरचा प्रारंभिक खर्च आणि देखभाल खर्च कमी असावा.
2. स्लीपरचे वजन मध्यम असावे आणि ते हाताळण्यास सोपे असावे.
3. ते पुरेसे बेअरिंग क्षेत्र असावे.

4. स्लीपरना पुरेसे ट्रॅक सर्किटिंग दिले पाहिजे.
5. स्लीपरने धक्के आणि कंपनांचा प्रतिकार केला पाहिजे.
6. फास्टनर्स काढणे आणि फास्टनिंग सोपे असावे.
7. स्लीपरमध्ये सहज देखभाल आणि गेज समायोजन असावे.

1.3.2 रेल्वे स्लीपरची कार्ये

1. स्लीपर रेल घट्ट ठेवतात तसेच एकसमान गेज देखील ठेवतात.
2. स्लीपर चाकांचे भार ब्लास्ट वर हस्तांतरित करतात.
3. लॅटरल आणि लॉंगीटुडीनल (lateral & longitudinal) स्थिरता प्रदान करतात.
4. रेल्समधून येणारी कंपने कमी करा.

1.3.3 स्लीपरचे प्रकार

1. लाकडी स्लीपर
2. काँक्रीट स्लीपर
3. स्टील स्लीपर
4. कास्ट लोह स्लीपर
5. संमिश्र स्लीपर

काँक्रीट स्लीपरचे फायदे

1. काँक्रीट स्लीपर रेलला चांगली स्थिरता देतात.
2. त्यांचे आयुर्मान दीर्घ आहे, त्यामुळे आर्थिकदृष्ट्या श्रेयस्कर.
3. त्यांच्याकडे आग प्रतिरोधक क्षमता चांगली आहे.
4. काँक्रीट स्लीपरमध्ये गंज होत नाही.
5. अळीचा हल्ला, किडणे इत्यादी होत नाहीत. म्हणून, ते सर्व प्रकारच्या माती आणि आर्द्रतेसाठी योग्य आहेत
6. काँक्रीट हे चांगले इन्सुलेटर आहे, त्यामुळे या प्रकारचे स्लीपर सर्किट केलेल्या ट्रॅकसाठी अधिक योग्य आहेत.
7. काँक्रीट स्लीपर ट्रॅक मजबूतपणे धरून ठेवतात आणि गेज राखतात.

1.3.4 स्लीपर घनता (Sleeper Density)

प्रत्येक रेल्वे लांबीच्या ट्रॅकखाली ठेवण्यासाठी आवश्यक असलेल्या रेल्वे स्लीपरच्या संख्येला रेल्वे स्लीपरची घनता असे म्हणतात. हे सामान्यतः सूत्राद्वारे दिले जाते.

स्लीपर घनता = n+ x
n = एका रेल्वेची लांबी मीटर मध्ये
x = रेल्वे स्लीपरची संख्या

उदाहरणार्थ, जर स्लीपरची घनता N+ 7 असेल आणि ब्रॉडगेज रेल्वेची लांबी 13 मीटर असेल, तर प्रति रेल्वे लांबीमध्ये 20 स्लीपर आहेत.

1.4 बॅलास्ट: आवश्यकता, कार्य, प्रकार, उपयुक्तता (Ballast: requirement, function, types, and suitability)

बॅलास्ट (Ballast) -ही एक दाणेदार सामग्री आहे, सामान्यतः तुटलेली दगड, जी स्लीपरसाठी बेड तयार करण्यासाठी फॉर्मेशनवर घातली जाते.

1.4.1 चांगल्या बॅलास्टची आवश्यकता

1. ते कठीण आणि पोशाख प्रतिरोधक असावे.
2. हलत्या भाराखाली चिरडल्याशिवाय ते कठीण असावे.
3. साधारणपणे तीक्ष्ण कडा असलेले घन असावे.
4. ते छिद्ररहित आणि पाणी शोषून न घेणारे असावे.
5. ते टिकाऊ असले पाहिजे आणि हवामानाच्या परिस्थितीत ते पल्व्हराइज्ड (pulverized) होऊ नये.
6. यामुळे पाण्याचा चांगला निचरा झाला पाहिजे.
7. ते किमतीत स्वस्त आणि किफायतशीर असा

1.4.2 चांगल्या बॅलास्टची कार्य

1. हे रेल्वे स्लीपरसाठी समतल बेड किंवा सपोर्ट प्रदान करते.
2. हे स्लीपरमधून भार सबग्रेडमध्ये हस्तांतरित करते आणि सबग्रेडवर लोडचे समान वितरण करते.
3. गाड्या जवळून जात असताना ते स्लीपरना घट्ट स्थितीत ठेवते.
4. हे स्लीपरच्या लॅटरल आणि लॉगीटुडीनल (lateral & longitiudinal) हालचाली प्रतिबंधित करते.
5. हे ट्रॅकला चांगला निचरा देते.

1.5 रेल फिक्स्चर आणि फास्टनिंग्ज: फिश प्लेट, स्पाइक, बोल्ट, की, बेअरिंग प्लेट्स, खुर्च्या, अँकरचे प्रकार आणि अँटी क्रीपर.

रेल फिक्स्चर आणि फास्टनिंग (Rail fixtures and fastenings) हे फिटिंग्ज आहेत जे रेल्वेच्या टोकापासून शेवटपर्यंत जोडण्यासाठी आवश्यकअसतातआणि ट्रॅकमध्ये स्लीपरसाठी रेल फिक्स करण्यासाठी फिक्स्चर आणि फास्टनिंग्ज म्हणून ओळखले जातात.

कार्य

1) रेल योग्य स्थितीत ठेवणे.
2) रेल ते रेल कनेक्शन करणे.
3) पॉइंट आणि क्रॉसिंग योग्यरित्या सेट करणे.
4) रेलचा विस्तार आणि आकुंचन करण्यास परवानगी देणे.

प्रकार

1) फिश प्लेट्स (Fish plates)
2) स्पाइक्स (Spikes)
3) बोल्ट (Bolts)
4) चेअर (Chairs)
5) कि (Keys)

6) बेअरिंग प्लेट्स चेअर फिश प्लेट्स स्पाइक्स की ब्लॉक्स बेअरिंग प्लेट्स (bearing plates Chairs Fish plates Spikes Keys Blocks bearing plate.)

1.5.1 फिश प्लेट्स (Fish Plates)

1. रेल्वे लाईनचे योग्य संरेखन राखण्यासाठी फिश प्लेट्सचा वापर केला जातो.
2. ते रेलचे सातत्य राखतात.
3. तापमानातील फरकांमुळे रेलचा विस्तार किंवा आकुंचन होण्यास मदत करतात.
4. साधारणपणे या प्लेट्स सौम्य स्टीलच्या आणि 20 मिमी जाडीच्या असतात.
5. ते 45.6 सेमी लांब आहेत 32 मिमी व्यासाचे छिद्र आहे, आणि दोन दोन छिद्रांमधील अंतर हे मध्यभागी ते मध्यभागी 11.4 आहे.
6. भारतीय रेल्वे सामान्यत: खालील दोन प्रकारच्या फिश प्लेट्सचा अवलंब करतात:
   1) बोनशेप आकाराची फिश प्लेट
   2) वाढलेली खोली फिश प्लेट
7. बोनशेप आकाराची फिश प्लेट सपाट पायांच्या रेल जोडण्यासाठी वापरली जाते. आणि वाढीव खोलीची फिश प्लेट सामान्यतः बुल-हेडेड रेल जोडण्यासाठी वापरली जाते.

Figure 1.13 फिश प्लेट

1.5.2 स्पाइक्स (Spikes)

1. लाकडी स्लीपरला रेल पकडण्यासाठी स्पाइक वापरतात.
2. रेल्वेला स्थितीत ठेवण्यासाठी पुरेशी ताकद असणे आवश्यक आहे.
3. योग्य गेज राखण्यास मदत केली पाहिजे.
4. स्लीपरमधून ते दुरुस्त करणे आणि बदलणे सोपे असावे.
5. भारतीय रेल्वे वापरतात 1. डॉग स्पाइक्स 2. स्क्रू स्पाइक 3. स्टँडर्ड स्पाइक्स 4. लवचिक स्पाइक

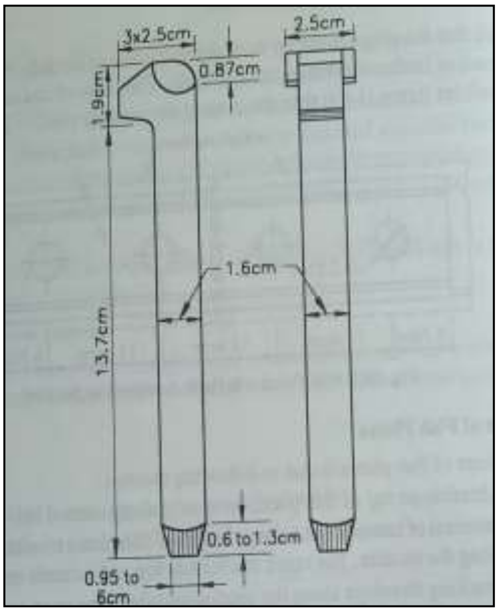


Fig-a-डॉग स्पाइक्स

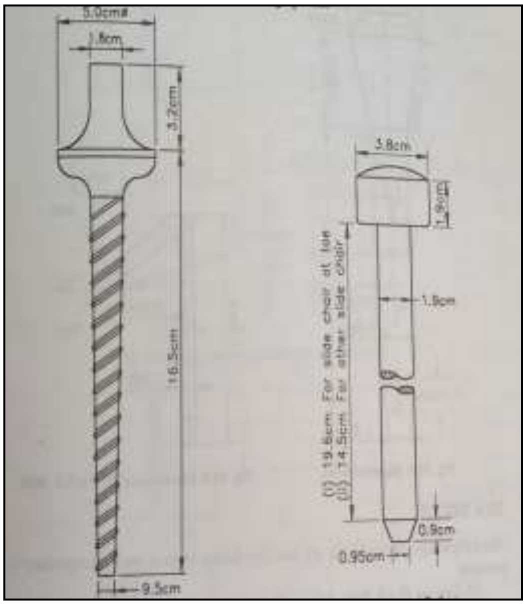


Fig-b- स्क्रू स्पाइक

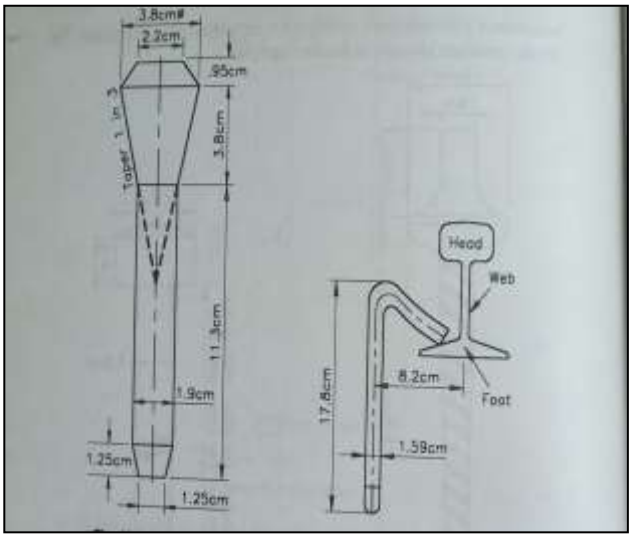


Fig-c- स्टँडर्ड स्पाइक्स लवचिक स्पाइक

Figure 1.14 स्पाइक्स

(स्रोत: रेल्वे अभियांत्रिकी-चरोतर पब्लिशिंग हाऊस प्रा. लि.)

1.5.3 बोल्ट (Bolts)

जोडण्यासाठी बोल्ट वापरले जातात:

1) प्रत्येक रेल जॉइंटवर फिश प्लेट्स रेलला जोडण्यासाठी
2) चेअर किंवा बेरिंग प्लेट्स रेलला
3) ब्रिज गर्डर करण्यासाठी

भारतीय रेल्वे वापरतात: 1. हुक बोल्ट 2. फिश बोल्ट 3. फँग बोल्ट 4. रॅग बोल्ट

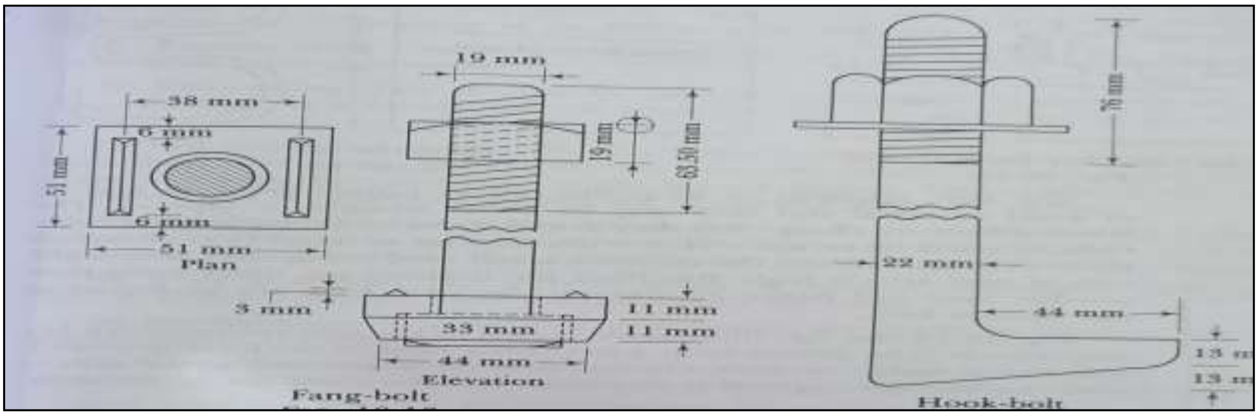


Figure 1.15 बोल्ट
(स्रोत: रेल्वे अभियांत्रिकी-चरोतर पब्लिशिंग हाऊस प्रा. लि.)

1.5.4 की (Keys)

की या टॅपर आकाराच्या असतात त्या लाकडी किंवा स्टीलच्याही असू शकतात. साधारणता स्लीपर हे रेलला कनेक्ट करण्यासाठी वापरले जातात.

साधारणपणे वापरल्या जाणाऱ्या की (Keys) चा प्रकार पुढीलप्रमाणे:

1) लाकडी की

2) धातूची की

3) स्टुअर्टच्या की (Stuart's keys)

4) मॉर्गन की (Morgan keys)

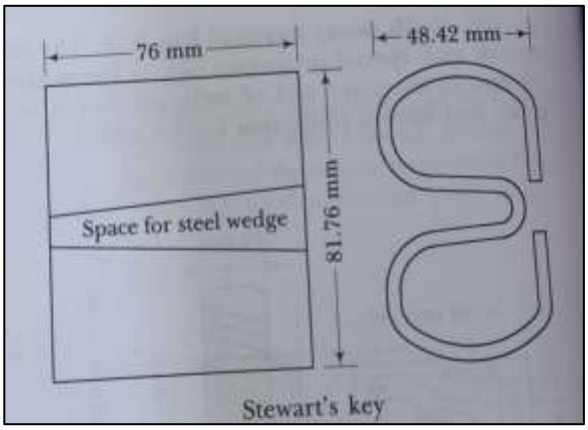


Figure 1.16 स्टुअर्टच्या की
(स्रोत: रेल्वे अभियांत्रिकी-चरोतर पब्लिशिंग हाऊस प्रा. लि.)

1.5.5 बेअरिंग प्लेट्स (Bearing Plates)

बेअरिंग प्लेट्सचे प्रकार

1) फ्लॅट बेअरिंग प्लेट्स - फ्लॅट बेअरिंग प्लेट्स अशा ठिकाणी वापरल्या जातात जिथे रेल सपाट असतात. तसेच ते पॉइंट्स आणि क्रॉसिंगच्या खाली टर्न आउट ट्रॅकमध्ये वापरले जातात.

2) कँटेड बेअरिंग प्लेट्स- कॅन्टेड बेअरिंग प्लेट्सचा वापर मऊ लाकडाच्या स्लीपरवर वक्रांवर, रेल्वेच्या सांध्याच्या दोन्ही बाजूला ठेवलेल्या स्लीपरवर केला जातो, पूल इत्यादी. जेव्हा रेलला 1 in 20 मध्ये इनवर्ड करायचे असेल त्यावेळेस ह्या बेरिंग चा उपयोग केला जातो.

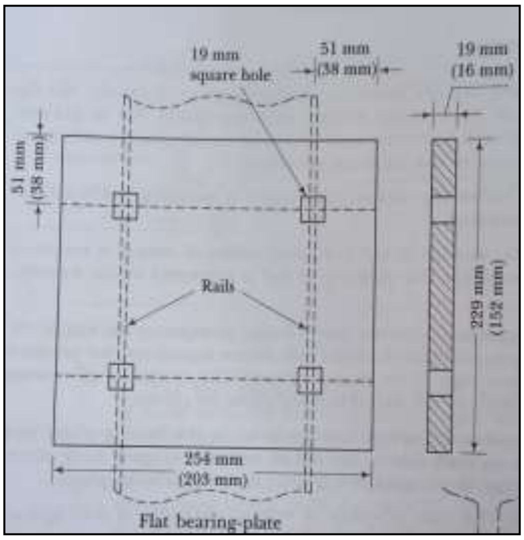


Figure 1.17 बेअरिंग प्लेट्स
(स्रोत: रेल्वे अभियांत्रिकी-चरोतर पब्लिशिंग हाऊस प्रा. लि.)

1.5.6 चेअर (Chairs)

दुहेरी डोक्याचे आणि बुल हेडेड रेल आवश्यक स्थितीत ठेवण्यासाठी चेअर (Chairs) चा वापर केला जातो. दुहेरी डोक्याची किंवा बुल हेडेड रेल्वेला बसवण्यासाठी, चेअर (Chairs) च्या दोन जबड्यांमध्ये रेल ठेवली जाते.

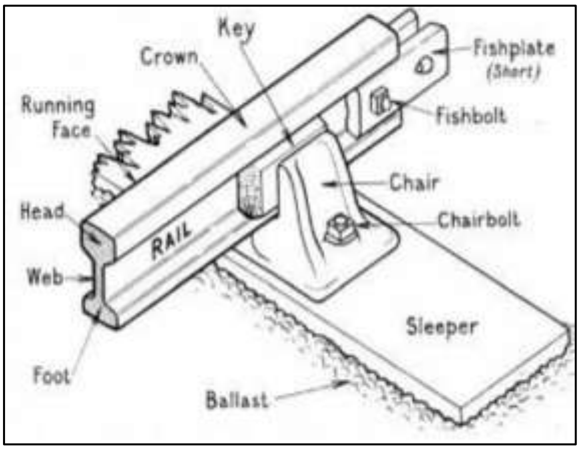


Figure 1.18 चेअर (Chairs)

1.5.7 अँकर आणि अँटी-क्रीपर (Anchors and anti-creepers)

हे स्लीपर ,रेल लॅटरल आणि लॉगीटुडीनल (lateral & longitiudinal) हालचाली रोखण्यासाठी अँटी-क्रीप अँकरचा वापर केला जातो, ते रेल्वेमधील स्थिर आणि गतिमान लॉगीटुडीनल (longitiudinal) बलांना क्रॉस टाईवर प्रसारित करतात. रेल्वेला एका निश्चित स्थितीत ठेवण्यासाठी पुरेशा प्रमाणात अँकर आवश्यक आहेत.

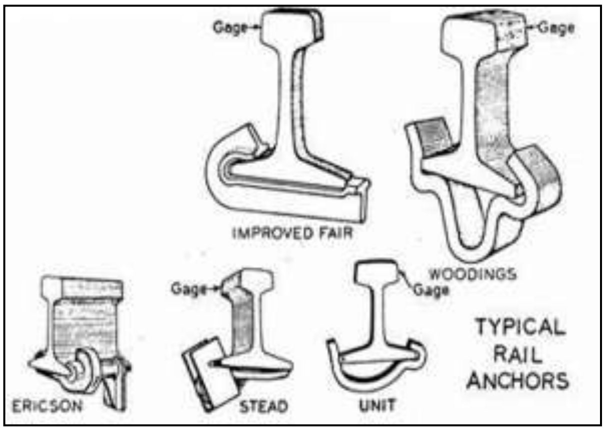


Figure 1.19 अँकर आणि अँटी-क्रीपर
(स्रोत- https://www.bing.com/images/search?)

प्रकार-

1. CQR अँकर --ज्यांना CQR अँकर देखील म्हणतात, ते गवत, चिखल आणि वाळूच्या तळासाठी उत्तम आहेत.
2. क्लॉ अँकर (Claw anchors):बहुतांश तळाच्या परिस्थितीसाठी योग्य असतात आणि खडकाळ तळासाठी उत्तम आहेत.
3. मशरूम अँकर (Mushroom anchors): मऊ बॉटमसाठी आणि ग्रॅपनेल अँकर खडकाळ तळांसाठी उत्तम आहेत.

Questions for Practices

Q 1. List out any four zones of the Indian Railway
Q 2. Define rail gauge.
Q 3. Define Permanent Way.
Q 4. State the role of transportation in the development of the nation.
Q 5. Define ballast and mention any three functions of ballast
Q 6. Explain any two causes of the creep of Rail with a neat sketch
Q 7. Explain the coning of wheels with a neat sketch
Q 8. State different types of rail & relative advantages of using F.F. Rails.
Q 9. Write short notes on:
   a. Bridge joint
   b. Supported joint
   c. Compromise joint,
Q 10. Write short notes on:
   a. Anchors or Anti-creepers
   b. Measurement of creep,

युनिट II: ट्रॅक जियोमेट्रिक्स
Unit II: Track Geometrics

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcomes)

CO2 - दिलेल्या रेल्वे ट्रॅकची देखभाल करा.

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes)

TLO 2.1 ठराविक भूभागावर दिलेल्या रेल्वे ट्रॅकचे अलाइनमेंट निश्चित करा.

TLO 2.2 ट्रॅकचा क्रॉस सेक्शन त्याचे भौमितिक घटक नीटनेटके लेबलांसह काढा.

TLO 2.3 ट्रॅक भौमितिक घटक त्याच्या डिझाइनमधील महत्त्वासह स्पष्ट करा.

TLO 2.4 रेल्वे ट्रॅकवर टर्न आउट, पॉइंट आणि क्रॉसिंगची संकल्पना स्केचसह स्पष्ट करा.

TLO 2.5 स्थानाच्या निवडीमध्ये विचारात घेतलेल्या ठळक मापदंडांसह संबंधित स्टेशनचा प्रकार प्रस्तावित करा.

TLO 2.6 रेल्वे अभियांत्रिकीमध्ये स्टेशन यार्डच्या आवश्यकतेचे समर्थन करा.

TLO 2.7 परमनंट वे इन्स्पेक्टरच्या क्षमतेनुसार ट्रॅकची देखभाल करा.

ट्रॅक जियोमेट्रिक्स(Track Geometrics)

परिचय (Introduction):

रेल्वे ट्रॅकच्या भौमितिक डिझाइनमध्ये त्या सर्व पॅरामीटर्सचा समावेश होतो जे ट्रॅकची भूमिती निर्धारित करतात किंवा प्रभावित करतात.

हे पॅरामीटर्स खालीलप्रमाणे आहेत.

1. ट्रॅकमधील ग्रेडियंट, ग्रेड कंपनसेशन, वाढणारा ग्रेडियंट आणि घसरणारा ग्रेडियंट.
2. ट्रॅकची वक्रता (कर्वेचर) , क्षैतिज आणि उभ्या वक्रांसह, ट्रान्झिशन कर्व, कर्वच्या त्रिज्या किंवा अंशाच्या दृष्टीने वक्राची तीक्ष्णता, वक्रांवर कॅन्ट किंवा अतिउच्चता इ.
3. सरळ तसेच कर्व अलाइनमेंटसह ट्रॅकचे अलाइनमेंट

जास्तीत जास्त परमिसिबल स्पीडने (permissible speed) आणि सर्वात जास्त एक्सल लोड घेऊन गाड्या सुरक्षित आणि सुरळीत चालाव्यात याची खात्री करण्यासाठी ट्रॅकमध्ये योग्य भौमितिक डिझाइन असणे आवश्यक आहे. ट्रेनचा वेग आणि एक्सल लोड खूप महत्वाचे आहेत आणि काहीवेळा ते ट्रॅकच्या भौमितिक डिझाइनसाठी विचारात घेतले जाणारे पॅरामीटर्स म्हणून देखील समाविष्ट केले जातात.

2.1 अलाइनमेंट (Alignment):

ट्रॅक अलाइनमेंट (Track Alignment): जमिनीवर रेल्वे ट्रॅकच्या मध्यभागी जी दिशा आणि स्थान दिले जाते त्याला ट्रॅक अलाइनमेंट म्हणतात.

रेल्वे अलाइनमेंट सुरक्षित, कार्यक्षम आणि किफायतशीर ट्रेन ऑपरेशन सुनिश्चित करण्यासाठी रेल्वे ट्रॅकच्या नियोजित क्षैतिज आणि उभ्या स्थितीचा संदर्भ देते.

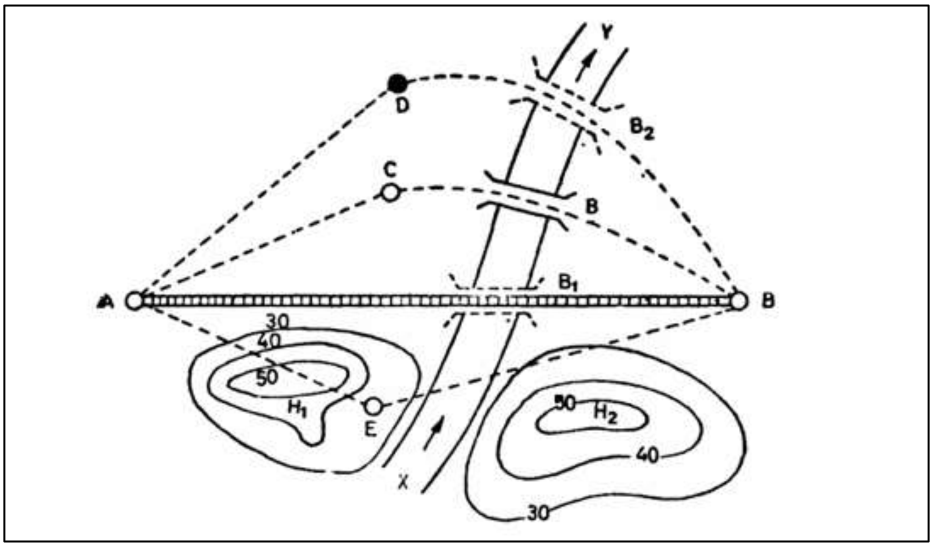


Figure 2. 1 ट्रॅक अलाइनमेंटसाठी पर्याय

(संदर्भ: एस. सी. सक्सेना, एस. पी. अरोरा यांचे रेल्वे अभियांत्रिकीचे पाठ्यपुस्तक)

Figure **ए आणि बी** या दोन बिंदूंमधील रेल्वे ट्रॅक अलाइनमेंट साठी भिन्न पर्याय दर्शवते, . भूप्रदेश, उंची आणि अडथळे यासारख्या घटकांचा विचार करून विविध संभाव्य मार्ग दाखवते. **सरळ** अलाइनमेंट **(AB)** सर्वात लहान मार्गाचे प्रतिनिधित्व करतो परंतु नैसर्गिक अडथळ्यांमुळे नेहमीच व्यवहार्य असू शकत नाही. कर्व मार्ग जसे **C, D, आणि E** सुरक्षित आणि कार्यक्षम ट्रेनची हालचाल सुनिश्चित करून, डोंगर, दऱ्या किंवा इतर भौगोलिक

आव्हानांना नेव्हिगेट करण्यात मदत करणारे पर्यायी मार्ग दाखवतात. बांधकामातील अडचणी कमी करताना परफॉर्मन्स ऑप्टिमाइझ करण्यासाठी रेल्वे अलाइनमेंट कसे प्लॅन केले जाते हे Figure दाखवते.

2.1.1 रेल्वे अलाइनमेंट नियंत्रित करणारे घटक (Factors governing rail alignment)

सुरक्षितता, कार्यक्षमता आणि किफायतशीरपणा सुनिश्चित करण्यासाठी रेल्वे अलाइनमेंट वर अनेक घटकांचा प्रभाव असतो. रेल्वे अलाइनमेंट नियंत्रित करणारे मुख्य घटक हे खालील प्रमाणे आहेत :

1. टोपोग्राफी (Topography)

1) मातीकाम आणि बोगदे कमी करण्यासाठी रेल्वे मार्गांनी नैसर्गिक Figureचे अनुसरण केले पाहिजे.
2) बांधकामातील अडचणी कमी करण्यासाठी तीव्र उतार, खोल दरी आणि उंच पर्वत टाळले पाहिजे.

2. भूगर्भीय आणि मातीची परिस्थिती (Geological and Soil Conditions)

1) ट्रॅक सेटलमेंट किंवा लँडस्लाईड टाळण्यासाठी स्थिर माती आणि रॉक फॉरमेशनला प्राधान्य दिले पाहिजे.
2) सैल किंवा पाणी साचलेल्या मातीसाठी अतिरिक्त स्थिरीकरण उपायांची आवश्यकता असू शकते.

3. ग्रेडियंट आणि वक्रता (कर्वेचर) Gradient and Curvature

1) लोकोमोटिव्ह एफर्ट आणि इंधनाचा वापर कमी करण्यासाठी सौम्य ग्रेडियंट्सला (उतार) प्राधान्य दिले पाहिजे.
2) विशेषतः उच्च वेगाने जाणाऱ्या ट्रेनची सहज आणि सुरक्षित हालचाल सुनिश्चित करण्यासाठी कमीत कमी वक्रता (कर्वेचर) वापरली पाहिजे.

4. ऑपरेशनल गती आणि सुरक्षितता Operational Speed and Safety

1) हाय-स्पीड ट्रेनला रुळावरून घसरण्याचे धोके टाळण्यासाठी मोठ्या कर्व त्रिज्या आणि सुरळीत ट्रान्झिशन आवश्यक असते.
2) अलाइनमेंट प्लॅनिंग मध्ये सुरक्षित ब्रेकिंग डिस्टन्स आणि दृश्यमानता (व्हिसिबिलीटी) विचारात घेणे आवश्यक आहे.

5. भूसंपादन आणि मार्गाचा अधिकार Land Acquisition and Right of Way

1) जमिनीची किंमत आणि उपलब्धता अलाइनमेंट निर्णयांवर प्रभाव टाकते.
2) कायदेशीर आणि सामाजिक पैलू, जसे की समुदायांचे विस्थापन, विचारात घेणे आवश्यक आहे.

6. पर्यावरण आणि सामाजिक प्रभाव Environmental and Social Impact

1) रेल्वे अलाइनमेंटने जंगलतोड, प्रदूषण आणि स्थानिक परिसंस्थांना होणारा व्यत्यय कमी केला पाहिजे.
2) वारसा स्थळे, पाणवठे आणि वन्यजीव कॉरिडॉर टाळण्याचा प्रयत्न केला पाहिजे.

7. ड्रेनेज आणि जलकुंभ (वॉटर बॉडीस) Drainage and Water Bodies

1) पाणी साचणे आणि जमिनीची धूप रोखण्यासाठी योग्य ड्रेनेज सिस्टमचे नियोजन करणे आवश्यक आहे.
2) नद्या किंवा तलाव ओलांडण्यासाठी महागड्या पुलांची आवश्यकता असते, म्हणून योग्य अलाइनमेंटने असे क्रॉसिंग कमी केले पाहिजेत.

8. स्टेशन्स आणि टर्मिनल्ससाठी सुलभता Accessibility to Stations and Terminals

1) अलाइनमेंटने प्रमुख शहरे, उद्योग आणि बंदरे यांना सहज जोडता आले पाहिजे.
2) यामुळे भविष्यातील विस्तार आणि इतर वाहतूक व्यवस्थेशी एकीकरण होऊ शकेल.

9. बांधकाम आणि देखभाल खर्च Cost of Construction and Maintenance

1) प्रारंभिक बांधकाम खर्च आणि दीर्घकालीन देखभाल खर्च कमी करण्यासाठी अलाइनमेंट डिझाइन केले पाहिजे.

2) खर्च आणि कार्यक्षमता यांचा समतोल राखण्यासाठी बोगदे, पूल आणि वायडक्ट्स यांचा योग्य वापर केला पाहिजे.

2.2 ट्रॅकचे क्रॉस सेक्शन (Cross sections of Track):

रेल्वे ट्रॅकचा क्रॉस-सेक्शन त्याच्या संरचनात्मक घटकांना तपशीलवारपणे दाखवतो, तसेच स्थिरता, सुरक्षितता आणि कार्यक्षम ट्रेन हालचाल सुनिश्चित करतो. यात रेल, स्लीपर, बॅलास्ट, सबग्रेड आणि फॉर्मेशन यासारख्या आवश्यक घटकांचा समावेश आहे, जे प्रत्येक ट्रॅकच्या कामगिरीमध्ये महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावत आहे. क्रॉस-सेक्शनची रचना रहदारीचा भार, मातीची परिस्थिती आणि अलाइनमेंटच्या आवश्यकता यासारख्या घटकांवर आधारित बदलते. योग्यरित्या इंजिनीअरिंग केलेले क्रॉस-सेक्शन टिकाऊपणा वाढवतात आणि देखभाल गरजा कमी करतात. प्रभावी रेल्वे बांधकाम आणि देखभालीसाठी हे समजून घेणे अत्यावश्यक आहे.

2.2.1 महत्त्वाच्या तांत्रिक अटी (Important technical terms):

स्थिरता, टिकाऊपणा आणि सुरक्षितता सुनिश्चित करण्यासाठी रेल्वे ट्रॅक बांधकामाशी संबंधित प्रमुख तांत्रिक संज्ञा समजून घेणे आवश्यक आहे. विविध संरचनात्मक घटक ट्रॅकच्या कार्यक्षम कार्यामध्ये योगदान देतात, ज्यात जमिनीची रुंदी, निर्मिती रुंदी, बाजूचे उतार आणि ड्रेनेज सिस्टम यांचा समावेश होतो.

हे घटक ट्रॅकला आधार देण्यासाठी, भार व्यवस्थापित करण्यासाठी आणि धूप किंवा पाणी साचणे यासारख्या समस्यांना प्रतिबंध करण्यासाठी महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावतात. या घटकांची योग्य रचना आणि देखभाल ट्रॅक कार्यप्रदर्शन वाढवते आणि दीर्घकालीन देखभाल खर्च कमी करते. खालील विभाग या महत्त्वाच्या तांत्रिक संज्ञांचे तपशीलवार वर्णन करतात.

(A) कायम जमिनीची रुंदी/मार्गाचा हक्क (permanent land width/right of way (ROW))

1) ट्रॅक, बंधारे, नाले आणि भविष्यातील विस्तारासह रेल्वे बांधकाम आणि ऑपरेशनसाठी संपादित केलेली एकूण जमीन.
2) हे ट्रॅक प्रकार (एकेरी किंवा दुहेरी), भूप्रदेश आणि रेल्वे नियमांवर आधारित बदलते.
3) साधारणपणे, एकेरी मार्गिकेसाठी रेल्वेचा हक्काचा मार्ग (ROW) सुमारे 15 ते 25 मीटरपर्यंत असतो, तर दुहेरी मार्गिकेसाठी हा 25 ते 45 मीटरपर्यंत असतो.

(B) निर्मिती रुंदी (Formation Width)

1) ट्रॅक बसवण्यासाठी तयार केलेल्या जमिनीच्या पृष्ठभागाची एकूण रुंदी.
2) यामध्ये गिट्टी, स्लीपर आणि स्थिरतेसाठी आवश्यक असलेली अतिरिक्त जागा देखील समाविष्ट केली जाते.
3) **ठराविक मूल्ये:**
   a. **सिंगल ट्रॅक**: **5.5 ते 7.5 मीटर**
   b. **दुहेरी ट्रॅक**: **10 ते 13 मीटर**
4) **कर्व विभाग (curved sections)**: स्थिरता राखण्यासाठी मध्ये निर्मिती रुंदी वाढते.

(C) बाजूचा उतार (Side Slopes)

1) तटबंदी किंवा कटिंगचा कलते पृष्ठभाग स्थिरतेसाठी प्रदान केला जातो.
2) उतार हे गुणोत्तर **क्षैतिज: अनुलंब (horizontal: vertical)** म्हणून व्यक्त केले जातात, उदा., **2:1 (2H:1V)** म्हणजे प्रत्येक **2m** क्षैतिज **(horizontal)** अंतरासाठी, अनुलंब **(vertical)** उंची **1m** आहे.
3) तटबंदी उतार (Embankment slopes): **1.5 : 1 ते 2 : 1** (मातीच्या प्रकारावर अवलंबून)
4) उतार कापणे (Cutting slopes): 1 : 1 ते 1.5 : 1 (जमिनीच्या स्थिरतेवर अवलंबून असते)

5) राखून ठेवणाऱ्या भिंती (Retaining walls) उतार खूप जास्त असल्यास वापरले जातात.

(D) बाजूचे नाले (Side Drains).

1) पावसाचे पाणी गोळा करून वळवण्यासाठी रेल्वे ट्रॅकच्या दोन्ही बाजूंना खंदक (Trenches) दिलेले असतात, ज्यामुळे पाणी साचणे आणि ट्रॅक कमजोर होणे टाळता येते.
2) आवश्यकतेनुसार हे नाले अस्तरयुक्त **lined** (काँक्रीट/दगड) किंवा न अस्तोरीय **unlined** (मातीचे नाले) असू शकतात.
3) डोंगराळ भाग आणि जास्त पावसाचे प्रदेश यामध्ये ट्रॅक अपयश टाळण्यासाठी योग्य निचरा करणे खूप महत्त्वाचे आहे.

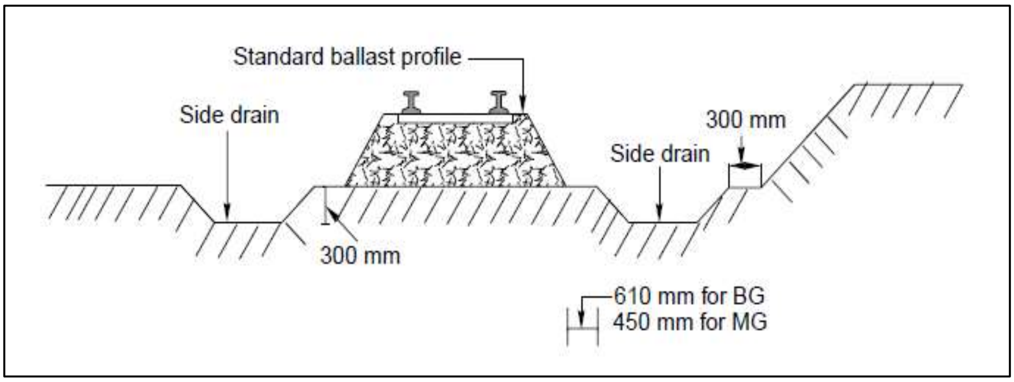


Figure 2. 2 साइड ड्रेनचा ठराविक क्रॉस-सेक्शन
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

2.2.2 कटिंग आणि बांधात एकेरी आणि दुहेरी ओळींचा स्टॅन्डर्ड क्रॉस सेक्शन. (Standard cross section of single and double lines in cutting and embankment).

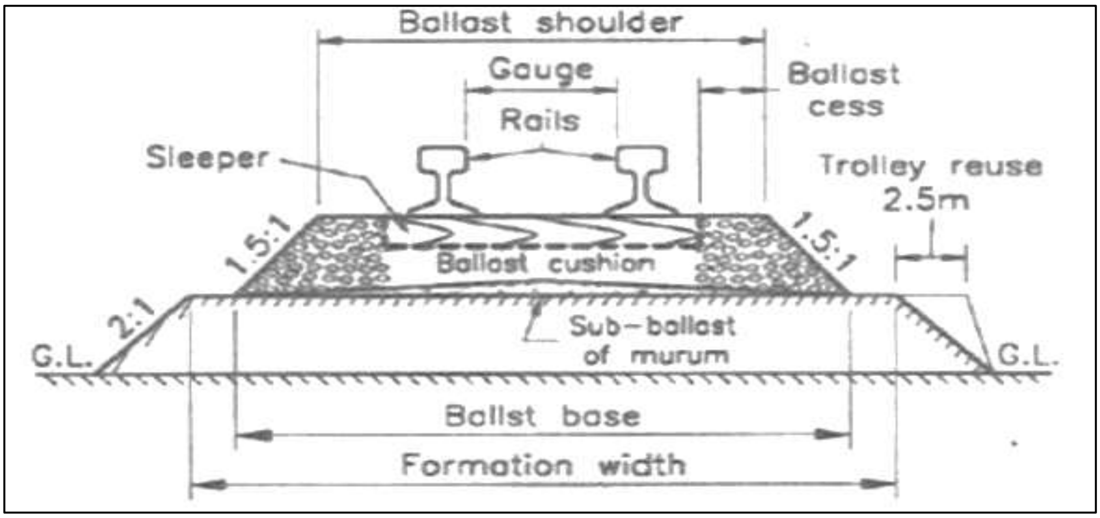


Figure 2. 3 तटबंधातील (embankment) स्थायी मार्गाचा क्रॉस सेक्शन (सिंगल ट्रॅक)
(स्रोत: MSBTE मॉडेल आन्सर की हिवाळी 2019)

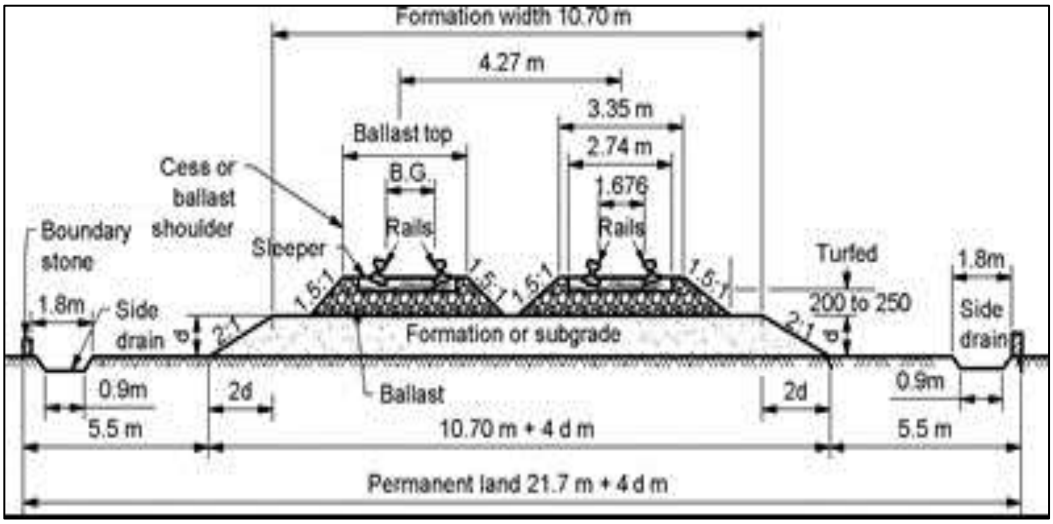


Figure 2. 4 तटबंधातील दुहेरी ब्रॉड-गेज ट्रॅकचा क्रॉस-सेक्शन
(स्रोत: MSBTE मॉडेल आन्सर की हिवाळी 2019)

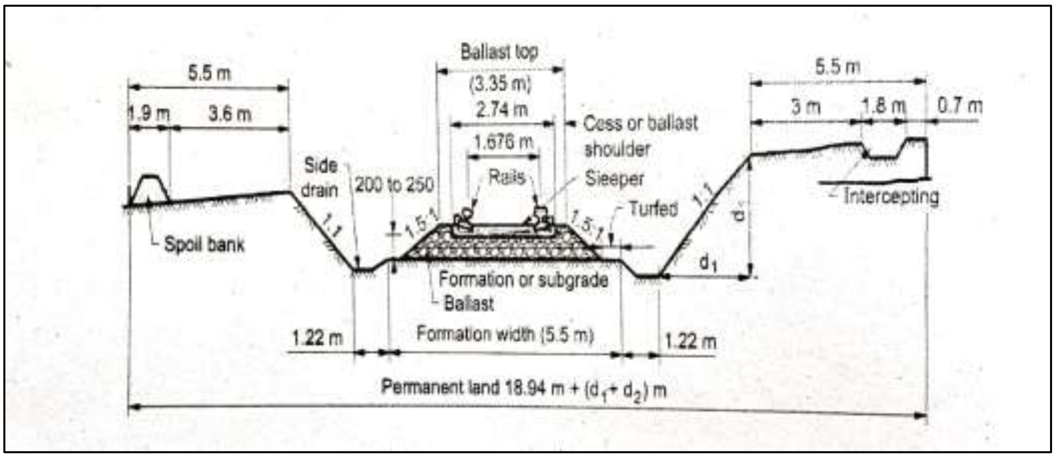


Figure 2. 5 डबल B.G ट्रॅकचे स्टॅन्डर्ड क्रॉस-सेक्शन कटिंग मध्ये
(स्रोत: रुळावरून घसरणे - डॉ राजीव देसाई)

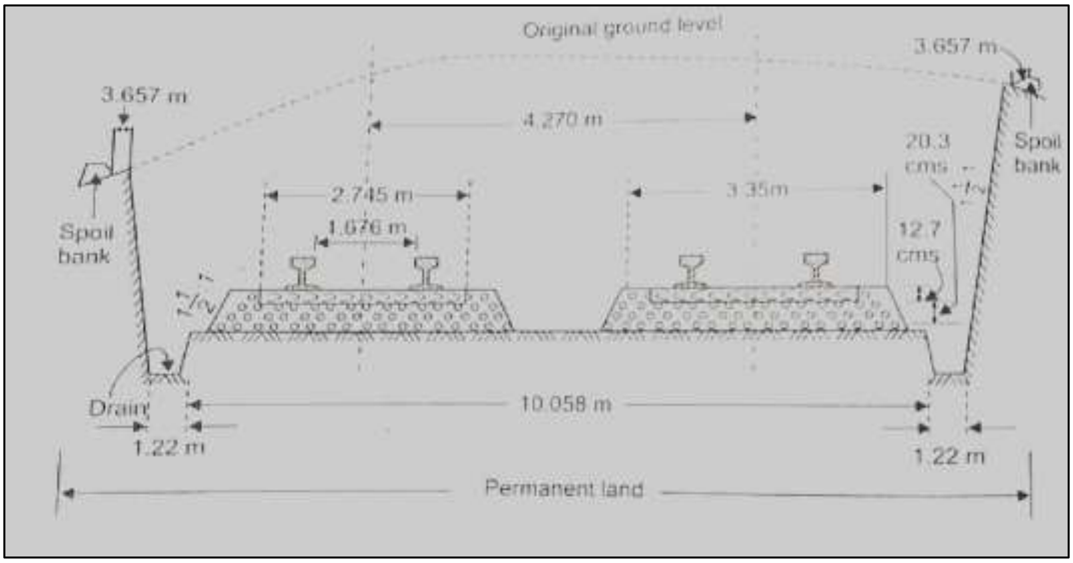


Figure 2. 6 दुहेरी B.G ट्रॅकचे स्टॅन्डर्ड क्रॉस-सेक्शन कटिंग मध्ये .
(स्रोत: MSBTE मॉडेल आन्सर की समर 2022)

2.3 रेल्वे ट्रॅक भौमितिक (Railway Track Geometrics):

रेल्वे ट्रॅक भौमितिक रेल्वे ट्रॅकच्या डिझाइन पैलूंचा संदर्भ देते जे सुरळीत, सुरक्षित आणि कार्यक्षम ट्रेन हालचाल सुनिश्चित करतात. मुख्य पॅरामीटर्समध्ये ग्रेडियंट, वक्र (कर्व), ग्रेड नुकसान कंपनसेशन, सुपर एलेवेशन आणि कँट कमतरता यांचा समावेश होतो.

(A) रेल्वे ट्रॅकच्या भूमितीवर परिणाम करणारे घटक (Factors Affecting Railway Track Geometrics):

1) **भूप्रदेश आणि स्थलाकृति (Terrain and Topography)** - सपाट, डोंगराळ किंवा पर्वतीय भाग ग्रेडियंट आणि वक्रांच्या निवडीवर परिणाम करतात.
2) **गाड्यांचा वेग (Speed of Trains)** - उच्च गतीसाठी सौम्य कर्व आणि सुरळीत संक्रमण (ट्रान्झिशन) आवश्यक आहे.
3) **रहदारीचा प्रकार (Type of Traffic)** - प्रवासी गाड्या, मालवाहतूक गाड्या किंवा मिश्र वाहतूक भौमितिक डिझाइनवर प्रभाव टाकतात.
4) **सुरक्षितता विचार (Safety Considerations)** - रुळावरून घसरणे टाळणे आणि आरामदायी राइड प्रदान करणे.
5) **बांधकाम आणि देखभाल खर्च (Construction and Maintenance Cost)** - जास्त मातीकाम, पूल आणि बोगदे कमी करणे.

2.3.1 ग्रेडियंट (Gradient)

ग्रेडियंट म्हणजे रेल्वे ट्रॅकच्या लांबीसह वाढ किंवा पडण्याचा दर, गुणोत्तर किंवा टक्केवारी म्हणून ग्रेडियंट व्यक्त केला जातो.

वाढणारा ग्रेडियंट म्हणजे ज्यामध्ये ट्रॅक ट्रॅफिकच्या हालचालीच्या दिशेने वर चढतो आणि खाली किंवा घसरणारा ग्रेडियंट असा आहे ज्यामध्ये ट्रॅक ट्रॅफिकच्या हालचालीच्या दिशेने उंची गमावतो.

ग्रेडियंट सामान्यत: एका युनिटच्या वाढ किंवा घसरणीसाठी प्रवास केलेल्या अंतराद्वारे दर्शविला जातो. कधीकधी ग्रेडियंट टक्के वाढ किंवा घसरण म्हणून दर्शविला जातो.

उदाहरणार्थ, 400 मीटरमध्ये 1 मीटरची वाढ असल्यास, Figure 2.7 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, ग्रेडियंट 400 मध्ये 1 किंवा 0.25% आहे.

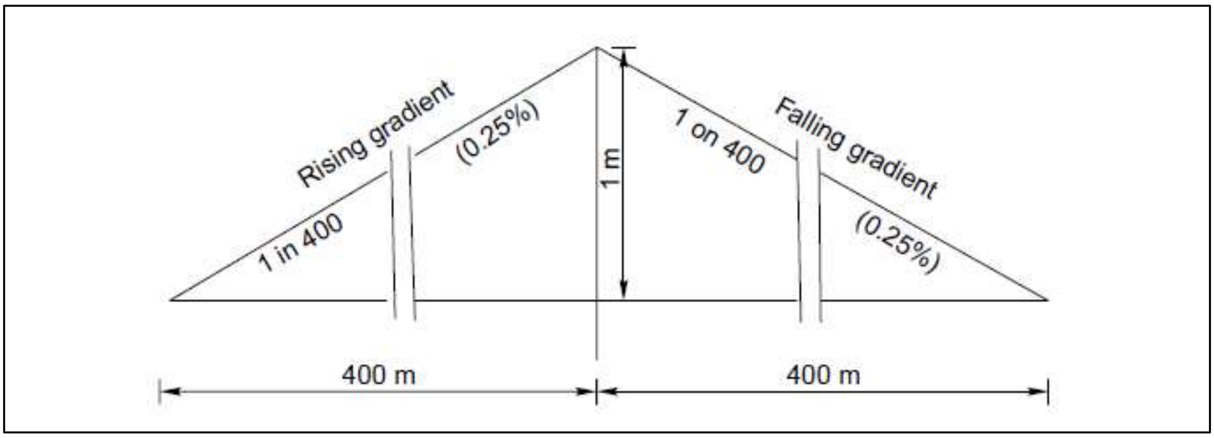


Figure 2. 7 वाढणारा आणि घसरणारा ग्रेडियंट
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

ग्रेडियंटचे प्रकार (Types of Gradients):

1. **रुलिंग ग्रेडियंट (Ruling Gradient**) - लोकोमोटिव्ह पॉवरवर आधारित, विभागात अनुमत कमाल ग्रेडियंट. रुलिंग ग्रेडियंट हा एका विभागात अस्तित्वात असलेला सर्वात उंच ग्रेडियंट आहे. ते त्या विभागावरील लोकोमोटिव्हद्वारे ओढले जाऊ शकणारे कमाल भार निर्धारित करते. विभागाचा रुलिंग ग्रेडियंट ठरवताना, ग्रेडियंटची तीव्रताच नाही तर त्याची लांबी तसेच दोन्ही बाजूंच्या ग्रेडियंटच्या संदर्भात त्याची स्थिती देखील विचारात घ्यावी लागते. ट्रॅकवर सेवेत लावल्या जाणाऱ्या लोकोमोटिव्हची शक्ती देखील हा निर्णय घेण्यात महत्त्वाची भूमिका बजावते, कारण लोकोमोटिव्हमध्ये जास्तीत जास्त परवानगी असलेल्या वेगाने संपूर्ण भार रूलिंग ग्रेडियंटवर उचलण्याची पुरेशी शक्ती असावी. अतिरिक्त शक्ती P वजनाची ट्रेन खेचण्यासाठी लोकोमोटिव्हची आवश्यकता असते //V कलतेचा कोन असलेल्या ग्रेडियंटवर θ आहे

$P = W \sin\theta$

$= W \tan\theta$ (अंदाजे, θ खूप लहान असल्याने)

$= W \times$ ग्रेडियंट

Figure 2. 8 रुलिंग ग्रेडियंट
(स्रोत: रेल्वे ट्रॅकमधील ग्रेडियंट आणि त्यांचे प्रकार - KPSTRUCTURES.IN)

भारतीय रेल्वेने देशाच्या भूगोलातील प्रचंड तफावत, विविध मार्गांवर चालणारी वाहतूक आणि विविध विभागांवर वापरात असलेल्या लोकोमोटिव्हचा वेग आणि प्रकार यामुळे कोणतेही निश्चित नियम नमूद केलेले नाहीत. साधारणपणे, भारतीय रेल्वेवर जेव्हा फक्त एकच लोकोमोटिव्ह ट्रेन खेचत असतो तेव्हा खालील नियमांचा अवलंब केला जातो.

सपाट प्रदेशात: 150 मध्ये 1 ते 250 मध्ये 1
डोंगराळ प्रदेशात: 100 मध्ये 1 ते 150 मध्ये 1

एकदा विभागासाठी रुलिंग ग्रेडियंट निर्दिष्ट केल्यावर, वक्रतेसाठी योग्य नुकसान कंपनसेशन दिल्यानंतर त्या विभागात प्रदान केलेले इतर सर्व ग्रेडियंट रुलिंग ग्रेडियंटपेक्षा सपाट असले पाहिजेत.

2. मोमेंटम ग्रेडियंट (**Momentum Gradient**)- एक स्टीपर ग्रेडियंट जो पुरेशा गतीने गाड्या आत जातात तेव्हा वापरला जाऊ शकतो. मोमेंटम ग्रेडियंट हा रुलिंग ग्रेडियंटपेक्षा जास्त तीव्र असतो आणि सेक्शनवर चालत असताना जो संवेग जमा होतो त्यामुळे ट्रेनद्वारे त्यावर मात करता येते. दऱ्यांमध्ये, घसरत जाणारा ग्रेडियंट काहीवेळा वाढत्या ग्रेडियंटनंतर येतो. अशा स्थितीत, घसरणाऱ्या ग्रेडियंटच्या खाली येणा-या ट्रेनला चांगला वेग आणि संवेग प्राप्त होतो, ज्यामुळे ट्रेनला अतिरिक्त गतीज ऊर्जा मिळते आणि ती रुलिंग ग्रेडियंटपेक्षा जास्त ग्रेडियंटशी निगोशिएट करू शकते. मोमेंटम ग्रेडियंट्स असलेल्या विभागांमध्ये, सिग्नल इत्यादी स्वरूपात कोणतेही अडथळे दिलेले नाहीत, जे ट्रेनला गंभीर वळणावर आणू शकतात.

Figure 2. 9 मोमेंटम ग्रेडियंट
(स्रोत: रेल्वे ट्रॅकमधील ग्रेडियंट आणि त्यांचे प्रकार - KPSTRUCTURES.IN)

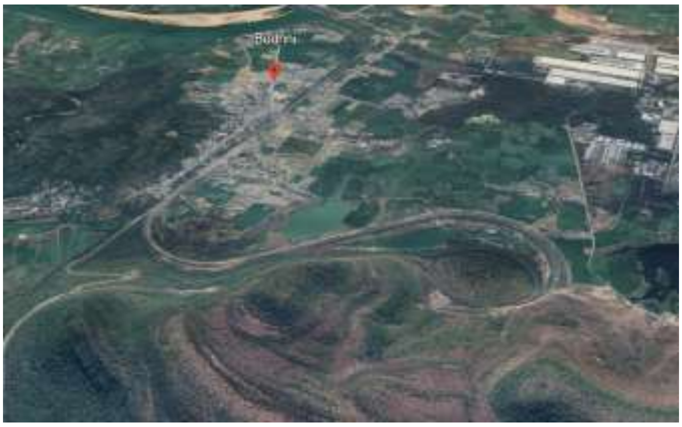
3. पुशर/हेल्पर ग्रेडियंट (Pusher/Helper Gradient) –

स्टीपर ग्रेडियंट विभाग जेथे अतिरिक्त इंजिन ट्रेनला मदत करतात. डोंगराळ भागात, रेल्वे मार्गाची लांबी कमी करण्याचा प्रयत्न करताना भूप्रदेशाच्या वाढीचा दर खूप महत्त्वाचा ठरतो आणि त्यामुळे काहीवेळा एकंदर खर्च कमी करण्यासाठी रूलिंग ग्रेडियंटपेक्षा जास्त तीव्र ग्रेडियंट प्रदान केले जातात. अशा परिस्थितीत, संपूर्ण भार खेचण्यासाठी एक लोकोमोटिव्ह पुरेसे नाही आणि अतिरिक्त लोकोमोटिव्ह आवश्यक आहे.

जेव्हा पुढील विभागाचा ग्रेडियंट इतका उंच असतो की ट्रेनला धक्का देण्यासाठी अतिरिक्त इंजिन वापरणे आवश्यक असते, तेव्हा त्याला पुशर किंवा हेल्पर ग्रेडियंट म्हणून ओळखले जाते.

Figure 2. 10 पुशर ग्रेडियंट
(स्रोत: रेल्वे ट्रॅकमधील ग्रेडियंट आणि त्यांचे प्रकार - KPSTRUCTURES.IN)

उदाहरणे पुशर ग्रेडियंट्समध्ये मध्य रेल्वेचा बुडनी-बरखेरा विभाग आणि दार्जिलिंग हिमालयन रेल्वे विभाग आहे..



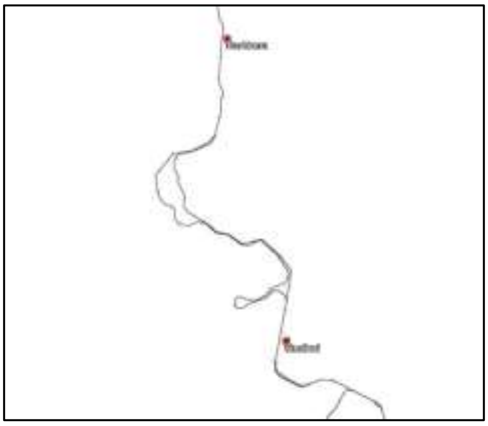


Figure 2. मध्य रेल्वेच्या बुडनी-बरखेरा विभागातील 11 हेल्पर ग्रेडियंट

(स्रोत: Google Earth आणि Google Earth Pro)

4. **स्टेशन यार्डमधील ग्रेडियंट (Gradients in Station Yards)** - स्थिर गाड्यांची अपघाती हालचाल टाळण्यासाठी फ्लॅटर ग्रेडियंट 400 पैकी 1 ते 1000 मध्ये 1 प्रदान केला जातो. स्टेशन यार्डमधील ग्रेडियंट खालील कारणांमुळे अगदी सपाट आहेत.

(a) गुरुत्वाकर्षण आणि जोरदार वाऱ्याच्या एकत्रित परिणामामुळे उभ्या असलेल्या वाहनांना यार्डपासून दूर जाण्यापासून रोखण्यासाठी.

(b) शक्य तितक्या प्रमाणात लोकोमोटिव्ह सुरू करण्यासाठी आवश्यक अतिरिक्त प्रतिरोधक शक्ती कमी करणे.

येथे नमूद केले जाऊ शकते की साधारणपणे, यार्ड पूर्णपणे समतल केले जात नाहीत, आणि चांगला निचरा सुनिश्चित करण्यासाठी काही सपाट ग्रेडियंट प्रदान केले जातात. भारतीय रेल्वेवरील स्टेशन यार्डांमध्ये निर्धारित कमाल ग्रेडियंट 400 पैकी 1 आहे, तर शिफारस केलेला ग्रेडियंट 1000 पैकी 1 आहे.

2.3.2 वक्र (Curves)

अडथळे दूर करण्यासाठी, लांब आणि सहज मार्गक्रमण केलेले ग्रेडियंट प्रदान करण्यासाठी आणि अनिवार्य किंवा इष्ट स्थानांमधून रेल्वे मार्ग पार करण्यासाठी कर्वरेल्वे ट्रॅकवर सादर केले जातात. जेव्हा ट्रॅकच्या दिशेने बदल आवश्यक असतो तेव्हा क्षैतिज वक्र (हॉरीझॉन्टल कर्व) प्रदान केले जातात, आणि जेथे दोन ग्रेडियंट एकत्र होतात किंवा जेथे ग्रेडियंट समतल जमिनीला भेटतात तेथे अनुलंब वक्र (व्हर्टिकल कर्व) प्रदान केले जातात.

वक्रांचे प्रकार (Types of Curves):

(अ) क्षैतिज वक्र (Horizontal Curves): ट्रॅक दिशा बदलते तेव्हा वापरले जाते. त्यांची त्रिज्या (radius) गती आणि स्थिरतेसाठी महत्त्वपूर्ण आहे. जेव्हा दिशा बदलते तेव्हा हे कर्व रेल्वे ट्रॅकमध्ये वापरले जातात. ते सुरळीत हालचाल आणि स्थिरता राखण्यात मदत करतात. प्रकारांमध्ये हे समाविष्ट आहे:

a) साधे वक्र (Simple Curve): स्थिर त्रिज्या (radius) असलेला एकेरी गोलाकार चाप (arc), सामान्यतः रेल्वे ट्रॅकमध्ये वापरला जातो.

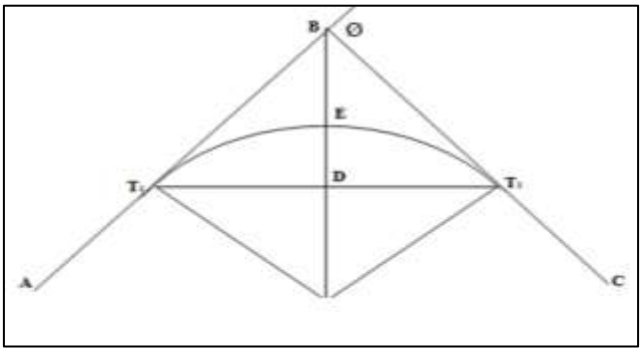


Figure 2. 12 साधे वक्र (कर्व)

(स्रोत: MSBTE हिवाळी 2019 मॉडेल उत्तरपत्रिका 22301)

BC पुढे स्पर्शिका (forward tangents) म्हणून ओळखले जाते.
T1 DT2 लाँग कॉर्ड (long chord) म्हणून ओळखले जाते.
कोन Ø हा विक्षेपण कोन (deflection angle) म्हणून ओळखला जातो.
BE हे शिखर अंतर (Apex distance) म्हणून ओळखले जाते.

b) कंपाऊंड वक्र (Compound Curve): वेगवेगळ्या त्रिज्यांचे दोन किंवा अधिक गोलाकार आर्क एकत्र जोडलेले असतात. ही पद्धत मुख्यत्वे त्या ठिकाणी वापरली जाते जेव्हा जागा मर्यादित असते.

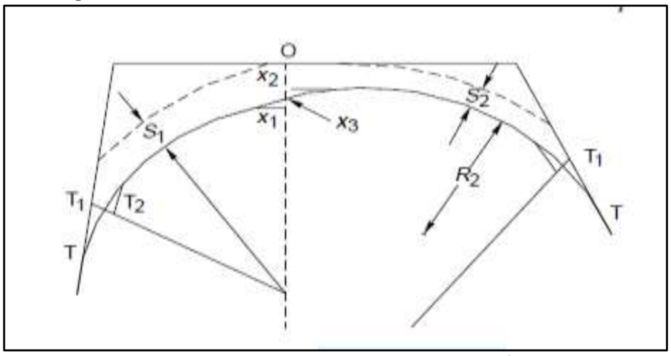


Figure 2. 13 कंपाऊंड वक्र (कर्व)

(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

c) उलट वक्र (Reverse Curve): दोन कर्व विरुद्ध दिशेने वाकलेले आहेत ज्यामध्ये मध्ये एक लहान सरळ विभाग (स्पर्शिका) आहे, स्विचयार्ड आणि साइडिंगमध्ये (switchyards and sidings) वापरला जातो.

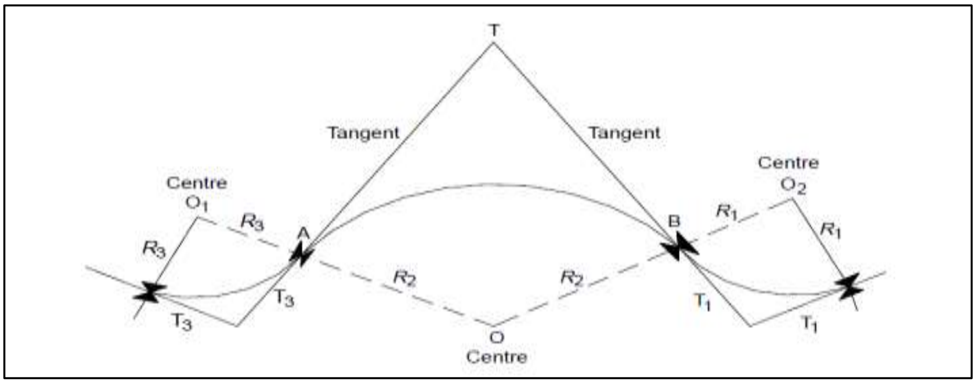


Figure 2. 14 उलट वक्र (कर्व)

(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

d) ट्रान्झिशन कर्व (Transition Curves) - अचानकपणे येणारी केंद्रापसारक शक्ती (centrifugal force) टाळण्यासाठी सरळ रेषेतून वक्र विभागाकडे हळूहळू बदल केला जातो. रेल्वे आणि महामार्ग अभियांत्रिकीमध्ये ट्रान्झिशन कर्वचा वापर केला जातो, ज्यामुळे सरळ मार्ग आणि वर्तुळाकार वक्र यांच्यात एकसारखा आणि हळूहळू बदल साध्य होतो, परिणामी अचानक पार्श्व त्वरण (lateral acceleration) कमी होते.

जेव्हा ट्रेन सरळ रुळांवरून गोलाकार वळणावर जाते, तेव्हा ती अचानक केंद्रापसारक शक्तीच्या प्रभावाखाली येते. यामुळे प्रवाशांना अस्वस्थता वाटते, ट्रॅकचे संरेखन बिघडते आणि रोलिंग स्टॉकच्या स्थिरतेवर नकारात्मक परिणाम होतो.

हा बदल सुरळीत करण्यासाठी, गोलाकार वळणाच्या दोन्ही बाजूंना ट्रान्झिशन कर्व प्रदान केले जातात. त्यामुळे Figure 2.12 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे सुपरलेव्हेशन हळूहळू आणि एकसमान दराने वाढत असताना केंद्रापसारक शक्ती देखील हळूहळू तयार होते.

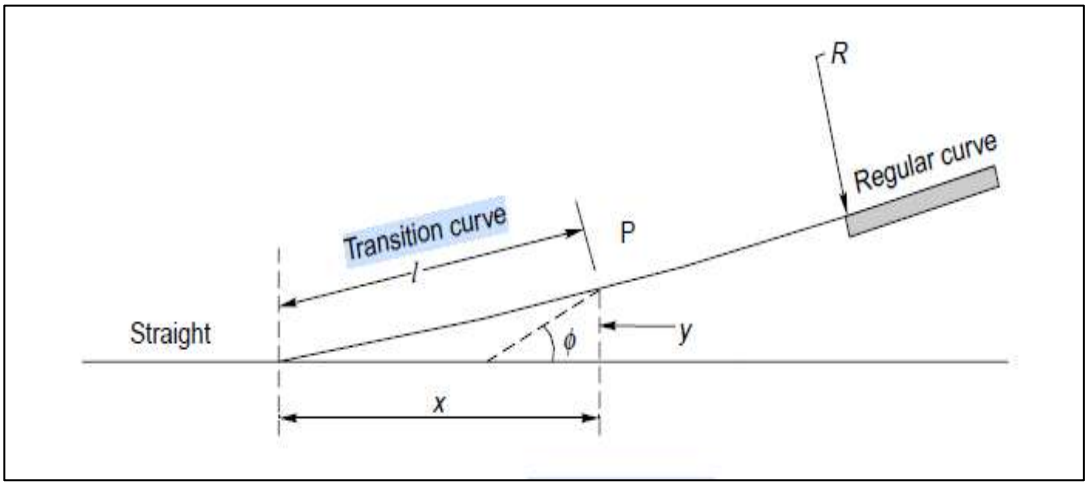


Figure 2. 15 संक्रमण वक्र (ट्रान्झिशन कर्व)

(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

संक्रमण (ट्रान्झिशन) वक्रांचे मुख्य प्रकार आहेत:

1. **स्पायरल (क्लोथॉइड) कर्व (Spiral (Clothoid) Curve)** – सर्वात जास्त वापरले जाणारे संक्रमण वक्र (Transition Curves), जिथे त्रिज्या सरळ विभागातील अनंततेपासून गोलाकार कर्वयेथे एका निश्चित मूल्यापर्यंत हळूहळू कमी होते. हे सेंट्रीफ्यूगल फोर्सच्या बदलाचा एकसमान दर प्रदान करते, सुरळीत प्रवास सुनिश्चित करते.
2. **बर्नौलीचे लेम्निस्केट (Bernoulli's Lemniscate)** - बदलत्या वक्रतेसह संक्रमण वक्र (Transition Curves), काही रेल्वे आणि महामार्ग अनुप्रयोगांमध्ये (applications) वापरले जाते. तथापि, त्याच्या गणिती जटिलतेमुळे (mathematical complexity) ते क्लॉथॉइड वक्रच्या तुलनेत कमी सामान्य बनते.
3. **घन पॅराबोला (Cubic Parabola)** - ट्रान्झिशन कर्वचा एक प्रकार जेथे कर्व समीकरण घन बहुपदी फॉलो करते. हे ऐतिहासिकदृष्ट्या रेल्वे ट्रॅकमध्ये वापरले जात होते परंतु आता अधिक चांगल्या गतिमान गुणधर्मांमुळे स्पायरल वक्रांनी बदलले आहे.
4. **यूलरचे स्पायरल (Euler's Spiral)** - क्लॉथॉइड प्रमाणेच, या वक्राची हळूहळू बदलणारी त्रिज्या आहे आणि पार्श्व प्रवेगातील अचानक बदल कमी करण्यासाठी रेल्वे आणि रस्त्यांच्या डिझाइनमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.

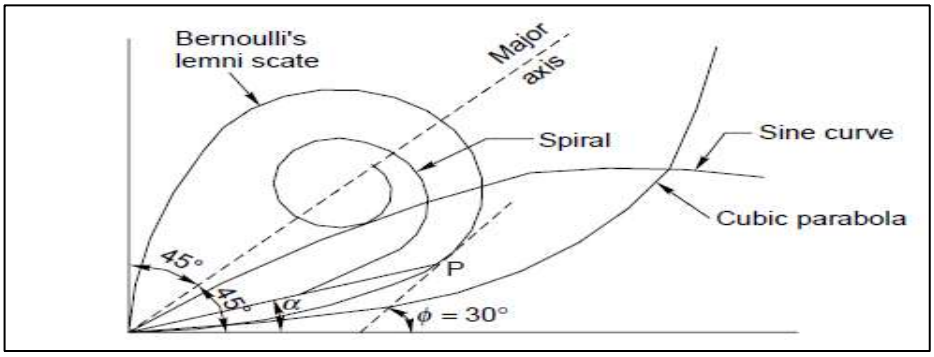


Figure 2.16 संक्रमण वक्रांचे प्रकार (Types of Transition Curves)
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

(ब) अनुलंब वक्र (Vertical Curves) - जेव्हा ट्रॅक एका ग्रेडियंटमधून दुसऱ्या ग्रेडियंटमध्ये जातो तेव्हा सुरळीत संक्रमण (ट्रान्झिशन) सुनिश्चित करण्यासाठी अनुलंब वक्रांचा वापर केला जातो. हे वक्र ट्रॅकला दोन वेगवेगळ्या ग्रेडियंट्समध्ये सहजतेने बदलण्यास मदत करतात. त्याचे प्रकार पुढीलप्रमाणे आहेत:

(A) कळस वक्र (Summit Curve): हे एक उत्तल वक्र (कॉन्व्हेक्स कर्व) आहे, जो वरच्या दिशेने खालच्या दिशेने उतरताना वापरला जातो. अशा परिस्थितीत दृश्यमानता राखण्यासाठी काळजीपूर्वक डिझाइन करणे आवश्यक असते.

(B) सॅग वक्र (Sag Curve): हे एक अवतल वक्र (कॉन्केव्ह कर्व) आहे, जे खालच्या दिशेने वरच्या उताराकडे संक्रमण (ट्रान्झिशन) करताना वापरले जाते. योग्य निचरा सुनिश्चित करणे आणि प्रवाशांचा आराम राखणे यासाठी याचे योग्यरित्या डिझाइन केले जाते.

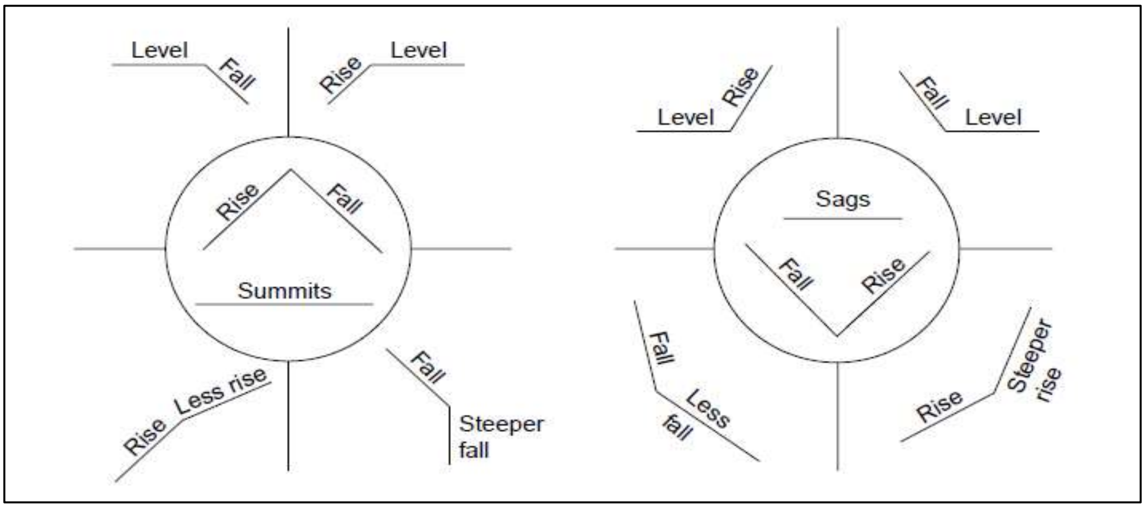


Figure 2. 17 अनुलंब वक्रमध्ये समिट आणि सॅग (Summits and sags in vertical curves)
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

2.3.3 ग्रेड कंपनसेशन (Grade Compensation)

1) वक्रांवर केंद्रापसारक शक्ती (centrifugal force) मुळे हालचालींना अधिक प्रतिकाराचा (resistance) सामना करावा लागतो.
2) या प्रतिकाराची भरपाई (कंपनसेशन) करण्यासाठी, स्वीकार्य ग्रेडियंट (allowable gradient) कमी केला जातो. ब्रॉड गेज (BG) साठी, हे कंपनसेशन 0.04% प्रति डिग्री कर्व असते, तर मीटर गेज (MG) साठी 0.03% प्रति डिग्री असते.

हे सुनिश्चित करण्यासाठी आहे की वक्रांवर लोकोमोटिव्हला जास्त शक्तीची आवश्यकता भासू नये. कर्व गाड्यांच्या हालचालींना अतिरिक्त प्रतिकार निर्माण करतात, त्यामुळे वक्रांवर ग्रेडियंटचे कंपनसेशन वरील प्रमाणानुसार केले जाते.

a. BG ट्रॅकवर: वळणाच्या प्रति अंशाला 0.04% किंवा 70/R, यापैकी जे कमी असेल ते लागू होते.
b. MG ट्रॅकवर: वळणाच्या प्रति अंशाला 0.03% किंवा 52.5/R, यापैकी जे कमी असेल ते लागू होते.
c. NG ट्रॅकवर: वळणाच्या प्रति अंशाला 0.02% किंवा 35/R, यापैकी जे कमी असेल ते लागू होते.

येथे,
कर्वची त्रिज्या R मीटरमध्ये आहे.

कर्व विभागाचा ग्रेडियंट रुलिंग ग्रेडियंटपेक्षा कमी असावा कारण कर्व अतिरिक्त प्रतिकार निर्माण करतो.

उदाहरण 2.1: BG रेषेसाठी 200 मध्ये 1 च्या रुलिंग ग्रेडियंटसह 2° कर्ववर सर्वात उंच ग्रेडियंट शोधा.

(i) रुलिंग ग्रेडियंट = 200 मध्ये 1 = 0.5%
(ii) 2° कर्व= 0.04 × 2 = 0.08% कंपनसेशनसाठी
(iii) कंपनसेशन दिलेला ग्रेडियंट = 0.5 – 0.08 = 0.42% = 238 मध्ये 1

कर्व ट्रॅकवरील सर्वात उंच ग्रेडियंट 238 पैकी 1 आहे.

2.3.4 अतिउत्थान (Superelevation)

अतिउत्थान (Superelevation (or cant)) म्हणजे बाह्य रेल्वेचा स्तर उंचावणे, ज्याचा उद्देश केंद्रापसारक शक्तीचा प्रतिकार करणे आणि ट्रेनच्या कर्ववरील सुरळीत हालचालीस अनुमती देणे आहे. यामुळे ट्रेन अधिक स्थिरपणे वळण घेऊ शकते आणि प्रवाशांच्या आरामात सुधारणा होते.

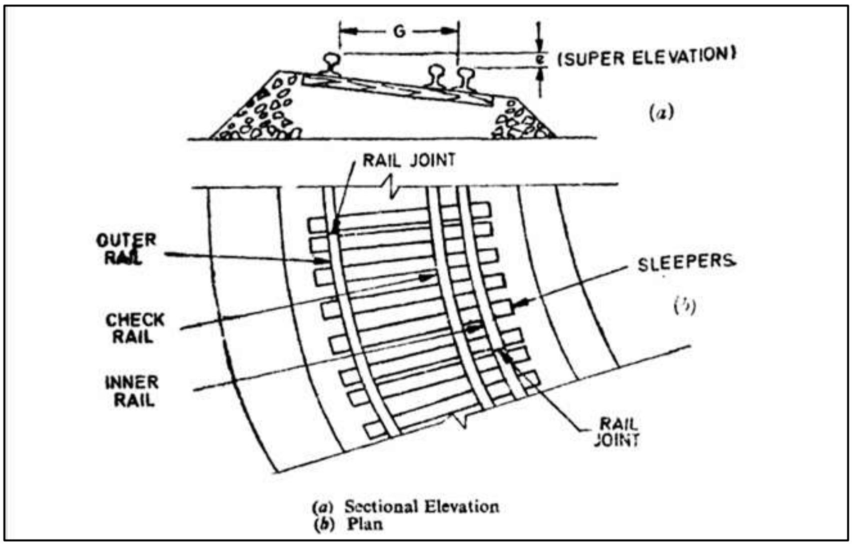


Figure 2. 18 रेल्वे ट्रॅकवरील सुपर एलेवेशन
(संदर्भ: एस. सी. सक्सेना, एस. पी. अरोरा यांचे रेल्वे अभियांत्रिकीचे पाठ्यपुस्तक)

सुपर एलेवेशनचे सूत्र:

$$e = \frac{GV^2}{127\ R}$$

जेथे
e = सुपर एलेवेशन (मिमी)
G = गेजची रुंदी (मिमी)
V = ट्रेनचा वेग (किमी/ता)
R = कर्वची त्रिज्या (Radius) (मी)

सुपर एलेवेशनच्या मर्यादा (Limits of Superelevation):

रेल्वे अभियांत्रिकीमध्ये, प्रवाशांच्या आराम, ट्रॅक स्थिरता आणि सुरक्षित ट्रेन ऑपरेशन सुनिश्चित करण्यासाठी अतिउच्चताच्या मर्यादा निश्चित केल्या जातात. केंद्रापसारक शक्तींचा प्रतिकार करण्यासाठी कर्वमार्गावरील बाह्य आणि आतील रेलमधील उंचीमधील फरक म्हणजे सुपरलेव्हेशन किंवा कॅन्ट. तिची कमाल मर्यादा चाक-फ्लँज संपर्क, रुळावरून घसरण्याचा धोका आणि ट्रॅकवर जास्त बाजूकडील बल यासारख्या घटकांमुळे मर्यादित आहे. ट्रॅक गेज, ट्रेनचा वेग आणि ऑपरेशनल आवश्यकतांवर आधारित अनुज्ञेय उच्च उंची बदलते. भारतात, ब्रॉडगेज (BG) ट्रॅकसाठी, कमाल उच्च उंची साधारणपणे 165 मिमी पर्यंत मर्यादित असते. अत्याधिक उंचीमुळे कमी वेगाने अस्वस्थता येते, तर अपुरी उच्च उंचीमुळे जास्त झीज आणि अस्थिरता येऊ शकते.

1) **ब्रॉड गेज (BG):** कमाल **165 मिमी**
2) **मीटर गेज (MG):** कमाल **90 मिमी**
3) **नॅरो गेज (NG):** कमाल **75 मिमी**

टीप: कमी-स्पीड मालवाहू गाड्यांसाठी, जास्त उंची टाळली जाते.

2.3.5 कॅन्टची कमतरता (Cant deficiency (Cd)).

कॅन्टची कमतरता म्हणजे जेव्हा ट्रेन कर्व ट्रॅकवर समतोल वेगापेक्षा जास्त वेगाने प्रवास करते तेव्हा निर्माण होणारी स्थिती. अशा वेळी, लागू केलेले सुपर एलेवेशन उच्च गतीसाठी अपुरा ठरतो. याचा परिणाम म्हणून पार्श्विक शक्ती (lateral force) निर्माण होते, जी प्रवाशांना अस्वस्थ करते आणि ट्रॅकच्या संरचनेवर अतिरिक्त ताण (additional stress) टाकते.

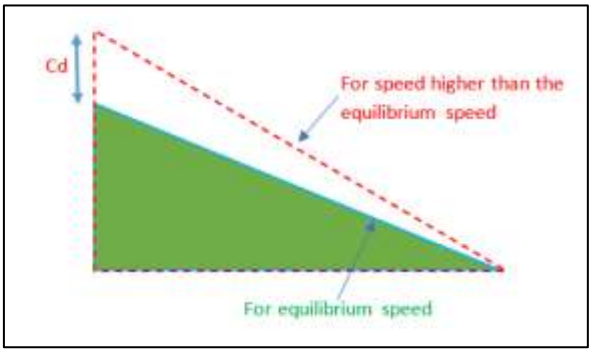


Figure 2. 19 कॅन्ट कमतरता

$$Cd = \frac{V^2 - Ve^2}{gR}$$

येथे,
V = ट्रेनचा वास्तविक वेग (m/s)
Ve = समतोल गती (m/s)
g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारा प्रवेग (9.81 m/s²)
R = कर्व त्रिज्या (m)

1. हे आवश्यक सुपर एलेवेशनच्या कमतरतेचे प्रतिनिधित्व करते, जे जास्त वेगाने जाणाऱ्या ट्रेनसाठी अपुरा ठरतो.
2. उच्च कॅन्टची कमतरता म्हणजे असमान आणि खडबडीत प्रवास, परंतु यामुळे वक्रांवर वेगाने गतीने जाण्याची परवानगी मिळते.

कॅन्ट कमतरतेची मानक मर्यादा (Standard Limits of Cant Deficiency):

कॅन्ट कमतरतेची मानक मर्यादा पार्श्व शक्तींचे योग्य व्यवस्थापन करून वक्रांवर सुरक्षित ट्रेन ऑपरेशन सुनिश्चित करते. जेव्हा ट्रेन दिलेल्या सुपरलेव्हेशनसाठी निर्धारित समतोल वेग ओलांडते, तेव्हा कॅन्टची कमतरता उद्भवते.

भारतामध्ये, ब्रॉडगेज (BG) ट्रॅकसाठी पारंपारिक गाड्यांसाठी कमाल कॅन्टची कमतरता 100 मिमी आहे, तर काही विशिष्ट सेवांसाठी ती 75 मिमी आहे. जर ही मर्यादा ओलांडली गेली, तर ट्रॅकची झीज, अस्वस्थता आणि अस्थिरता निर्माण होऊ शकते, ज्याचा परिणाम सुरक्षितता आणि कार्यक्षमतेवर होतो.

मानक मर्यादा (Standard Limits):

1. **BG (ब्रॉडगेज):** 100 मिमी
2. **MG (मीटर गेज):** 75 मिमी
3. **NG (नॅरो गेज):** 50 मिमी

2.4 ट्रॅकची शाखा (Branching of Tracks):

सुरळीत रेल्वे वाहतुकीसाठी रेल्वे रुळांची शाखा करणे आवश्यक आहे, ज्यामुळे एका ट्रॅकवरून दुसऱ्या मार्गावर वळवता येऊ शकते. हे पॉइंट्स आणि क्रॉसिंग्सद्वारे साध्य केले जाते, जे ट्रॅक व्यवस्था आहेत ज्यामुळे ट्रेन न थांबता दिशा बदलू शकतात.

2.4.1 पॉइंट्स आणि क्रॉसिंग्स (Points and crossings):

पॉइंट्स (Points):

पॉइंट्स किंवा स्विच ही यांत्रिक व्यवस्था आहे जी फिरत्या रेलचा (टंग रेल) वापर करून ट्रेनला एका ट्रॅकवरून दुसऱ्या ट्रॅकवर वळवते.

क्रॉसिंग (Crossing):

क्रॉसिंग म्हणजे दोन ट्रॅक एकमेकांना छेदणारे विभाग, ज्यामुळे ट्रेनला सहजपणे मार्गक्रमण करणे शक्य होते.

2.4.2 टर्नआऊट (Turnout):

टर्नआऊट म्हणजे पॉइंट्स आणि क्रॉसिंग्सचे संयोजन, ज्याद्वारे ट्रेनला एका ट्रॅकवरून दुसऱ्या ट्रॅकवर नेण्याची परवानगी मिळते.

टर्नआऊटचे घटक पुढीलप्रमाणे आहेत:

a) पॉइंट्स (स्विच) (Switch (Point)):

फिरत्या रेलचा संच (टंग रेल) जो ट्रेनला इच्छित ट्रॅककडे योग्य मार्गदर्शन करतो.

b) क्रॉसिंग (Crossing):

एक विभाग जिथे एक ट्रॅक दुसऱ्या ट्रॅकला विशिष्ट कोनात ओलांडतो.

c) लीड रेल (Lead Rails):

स्विच आणि क्रॉसिंग दरम्यानचा ट्रॅकचा विभाग, जो दोन्ही भागांना जोडतो आणि ट्रेनला योग्य मार्गाने नेण्यास मदत करतो.

(अ) डाव्या आणि उजव्या हाताने टर्नआऊट (left and right-hand turnout)

१) **डाव्या हाताने टर्नआऊट (Left-Hand Turnout):** टर्नआऊटला सामोरे जाताना ट्रेन **डाव्या हाताकडे** वळते.

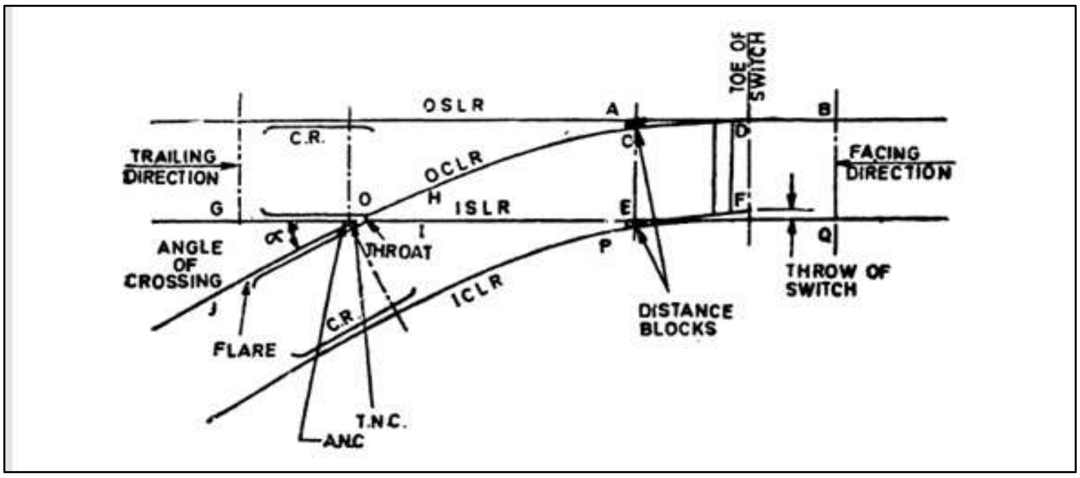


Figure 2. 20 डाव्या हाताने टर्नआउट
(संदर्भ: एस. सी. सक्सेना, एस. पी. अरोरा यांचे रेल्वे अभियांत्रिकीचे पाठ्यपुस्तक)

२) **उजव्या हाताने टर्नआऊट (Right-Hand Turnout):** टर्नआऊटला सामोरे जाताना ट्रेन **उजव्या हाताकडे** वळते

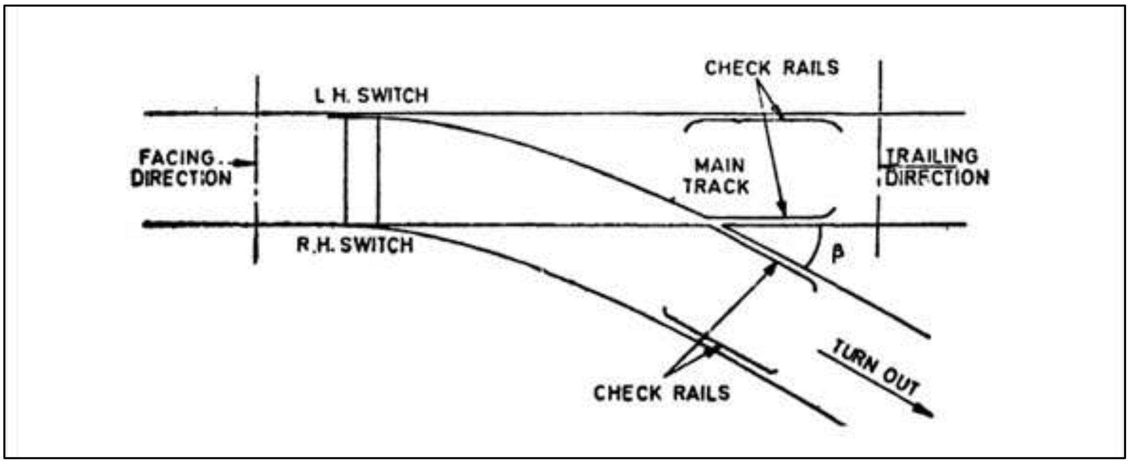


Figure 2. 21 उजव्या हाताने टर्नआउट
(संदर्भ: एस. सी. सक्सेना, एस. पी. अरोरा यांचे रेल्वे अभियांत्रिकीचे पाठ्यपुस्तक)

(ब) टर्नआउटचे घटक आणि त्यांची कार्ये (Components of Turnout and Their Functions)

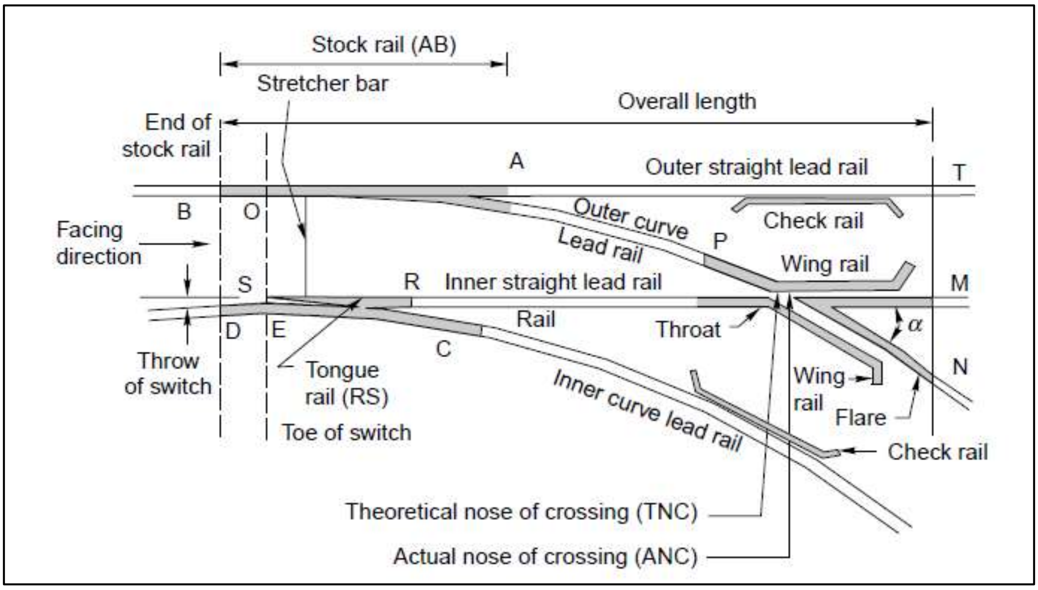


Figure 2. 22 टर्नआउटचे घटक

(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

टर्नआउटचे घटक (Components of Turnout):

1. **टंग रेल (स्विच रेल) (Tongue Rails (Switch Rails)):**
   मुख्य ट्रॅकपासून टर्नआउट ट्रॅकपर्यंत गाड्यांना मार्गदर्शन करणाऱ्या हलत्या रेल.
2. **स्टॉक रेल (Stock Rails):**
   स्थिर रेल ज्याच्या विरुद्ध टंग रेल फिरते, म्हणजेच टंग रेलला आधार देणारी मुख्य रेल.
3. **स्विच असेंब्ली (Switch Assembly):**
   गाड्यांना थेट मार्गदर्शन करणाऱ्या टंग रेल आणि स्टॉक रेलचा संपूर्ण संच.
4. **फ्रॉग (क्रॉसिंग) (Frog (Crossing)):**
   ज्या भागात एक रेल्वे दुसऱ्या रेल्वेला विशिष्ट कोनात ओलांडते, ज्यामुळे चाकाच्या फ्लॅंजेसला सहजतेने ओलांडण्याची परवानगी मिळते.
5. **विंग रेल (Wing Rails):**
   फ्रॉगवर चाकांना सहजतेने मार्गदर्शन करणाऱ्या साइड रेल्स.
6. **चेक रेल (Check Rails):**
   चाकांची सुरळीत हालचाल सुनिश्चित करण्यासाठी आणि रुळांवरून घसरणे टाळण्यासाठी क्रॉसिंगच्या विरुद्ध बाजूला दिलेल्या रेल्स.
7. **लीड रेल (Lead Rails):**
   स्विचला क्रॉसिंगशी जोडणारे रेल्वे ट्रॅकचे विभाग.

2.4.3 ट्रॅक जंक्शन्स (Track Junctions)

ट्रॅक जंक्शन म्हणजे अशी रेल्वे व्यवस्था जिथे दोन किंवा अधिक ट्रॅक एकमेकांना छेदतात किंवा जोडतात. यामुळे ट्रेनला मार्ग बदलता येतो, दिशा बदलता येतो किंवा इतर ट्रॅक सुरक्षितपणे ओलांडता येतो.

जंक्शन्स हे विविध रेल्वे मार्ग, स्थानके आणि यार्ड्समधील सुरळीत हालचाली सक्षम करतात आणि कार्यक्षम रेल्वे ऑपरेशनसाठी अत्यावश्यक ठरतात.

ट्रॅक जंक्शन्समधील महत्त्वाच्या तांत्रिक अटी (Important Technical Terms in Track Junctions):

1. **टर्नआउट त्रिज्या (Turnout Radius):**
   टर्नआउट ट्रॅकची वक्रता (कर्वेचर) ठरवणारी त्रिज्या. ही त्रिज्या ट्रेनच्या गती आणि सुरळीत हालचालीवर प्रभाव टाकते.
2. **क्रॉसिंग अँगल (Crossing Angle):**
   दोन ट्रॅक एकमेकांना ज्या कोनात छेदतात तो कोन. हा कोन जितका कमी असेल तितकी ट्रेनची हालचाल अधिक सुरळीत होते.
3. **हिल ऑफ स्विच (Heel of Switch):**
   टंग रेल आणि स्टॉक रेल यांचा जोडणारा भाग, जिथे स्विचची हालचाल सुरू होते.
4. **थ्रो ऑफ स्विच (Throw of Switch):**
   टंग रेलची बाजूकडील हालचाल, जी स्विचच्या हालचालीदरम्यान ट्रॅक बदलण्यासाठी आवश्यक असते.
5. **फ्लँजवे क्लिअरन्स (Flangeway Clearance):**
   क्रॉसिंगच्या ठिकाणी व्हील फ्लँजसाठी ठेवलेले अंतर, ज्यामुळे व्हील्सला सहजतेने मार्गक्रमण करता येते.

2.4.3.1 ट्रॅक जंक्शनचे प्रकार (Types of Track Junctions)

(अ) क्रॉसओवर (Crossovers):
क्रॉसओव्हर दोन समांतर ट्रॅक जोडतो, ज्यामुळे ट्रेनला एका ट्रॅकवरून दुसऱ्यावर जाता येते.

1. **सिंगल क्रॉसओवर:** एका टर्नआऊटचा वापर करून ट्रॅक बदलण्यासाठी वापरले जाते.
2. **दुहेरी क्रॉसओवर:** दोन टर्नआउट्स असतात, ज्यामुळे दोन समांतर ट्रॅक दरम्यान दोन्ही दिशेने हालचाल करण्याची परवानगी मिळते.

(ब) सिझर क्रॉसओव्हर (Scissor Cross-Over):

दोन क्रॉसओव्हरचे संयोजन (combination of two crossovers): समांतर ट्रॅक दरम्यान गाड्यांना दोन्ही दिशेने सहजतेने हालचाल करण्याची परवानगी देते.

वापर: जागा वाचवण्यासाठी आणि व्यस्त स्थानके किंवा मेट्रो रेल्वे प्रणालींमध्ये प्रामुख्याने वापरले जाते. हे प्रकार रेल्वे ऑपरेशन अधिक कार्यक्षम आणि लवचिक बनवण्यासाठी महत्त्वपूर्ण आहेत.

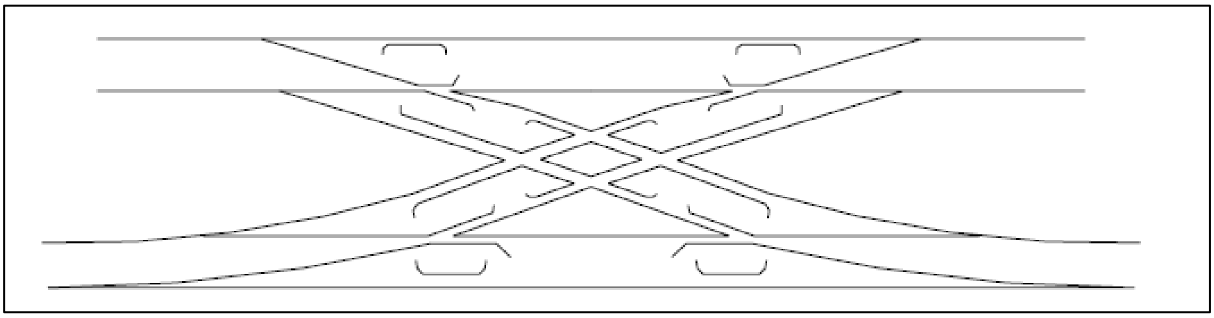


Figure 2. 23 सिझर क्रॉसओवर
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

(C) डायमंड क्रॉसिंग (Diamond Crossing):

व्याख्या: डायमंड क्रॉसिंग तेव्हा तयार होते जेव्हा दोन ट्रॅक एकमेकांना कोणत्याही कनेक्शनशिवाय एका कोनात ओलांडतात.

वापर: हे सामान्यतः वेगवेगळे मार्ग ओलांडत असलेल्या रेल्वे चौकात आढळते. डायमंडच्या आकाराच्या क्रॉसिंगने ट्रेनला मार्ग न बदलता पुढे जाण्याची परवानगी दिली जाते. हे विशेषतः रेल्वे यार्ड, मोठ्या स्थानकांमध्ये किंवा विविध मार्ग ओलांडताना वापरले जाते.

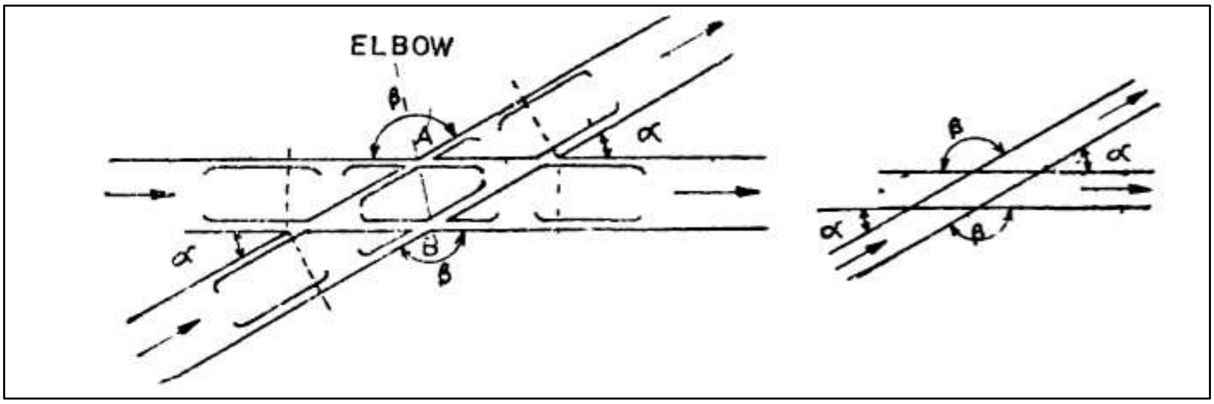


Figure 2. 24 डायमंड क्रॉसिंग
(संदर्भ: एस. सी. सक्सेना, एस. पी. अरोरा यांचे रेल्वे अभियांत्रिकीचे पाठ्यपुस्तक)

(अ) (ब)

Figure 2. 25 डायमंड क्रॉसिंग (अ) डायमंड क्रॉसिंग नागपूर (ब) डायमंड क्रॉसिंग भुसावळ
(स्रोत: गुगल अर्थ प्रो)

(डी) ट्रॅक त्रिकोण (Track Triangle):

व्याख्या: तीन एकमेकांशी जोडलेले टर्नआउट्स एकत्र येऊन त्रिकोण तयार करतात, ज्यामुळे ट्रेनला उलट न करता दिशा बदलता येते.

वापर: लोकोमोटिव्ह रिव्हर्सल यार्डमध्ये किंवा जंक्शनवर दिशा बदलण्यासाठी याचा उपयोग केला जातो. हे सुलभ आणि किफायतशीर मार्गाने ट्रेनला दिशानिर्देश बदलण्यास सक्षम बनवते. ट्रॅक त्रिकोण रेल्वे ऑपरेशनमध्ये महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावतात, विशेषतः जेथे टर्नटेबल्स उपलब्ध नाहीत.

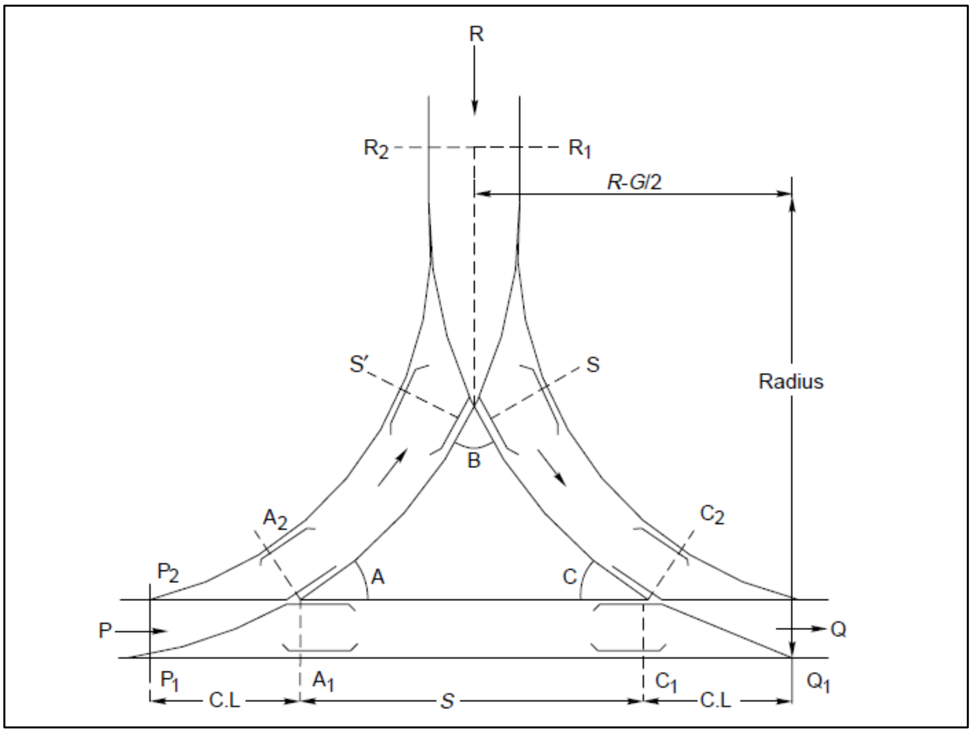


Figure 2. 26 त्रिकोण

(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

2.5 रेल्वे स्टेशन (Railway Station):

रेल्वे स्टेशन हे रेल्वे मार्गावरील एक ठरवलेले क्षेत्र आहे जिथे वाहतूक व्यवस्थापन, प्रवाशांचे चढणे आणि उतरणे, तसेच मालाची लोडिंग आणि अनलोडिंग यासारख्या विविध क्रिया पार पाडल्या जातात. याशिवाय, गाड्यांना पुढील ट्रॅकवर जाण्याची परवानगी देण्यासाठी हे एक ठिकाण म्हणून देखील काम करते. रेल्वे स्थानके मुख्यतः दोन प्रकारांमध्ये वर्गीकृत केली जातात: **फ्लॅग स्टेशन** आणि **ब्लॉक स्टेशन**.

फ्लॅग स्टेशन ही अशी व्यवस्था आहे जिथे वाहतूक हाताळण्यासाठी सुविधा असतात पण गाड्यांच्या हालचालींवर नियंत्रण ठेवण्यासाठी कोणतीही यंत्रणा नसते. अशा स्टेशनचे मुख्य कार्य प्रवासी आणि मालवाहतुकीपुरते मर्यादित असते, पण गाड्यांच्या हालचालींचे नियमन केले जात नाही.

याच्या विपरीत, **ब्लॉक स्टेशन** विशेषतः गाड्यांच्या हालचालींवर नियंत्रण ठेवण्यासाठी तयार केलेले असते. ब्लॉक स्टेशनवर, पुढील स्टेशनची परवानगी मिळाल्याशिवाय गाडी पुढे जाऊ शकत नाही. ही प्रणाली गाड्यांमधील योग्य अंतर राखून सुरक्षितता आणि कार्यक्षमतेची खात्री करते. ब्लॉक स्टेशन वाहतूक हाताळू शकतात किंवा नाही, परंतु त्यांचा मुख्य उद्देश गाड्यांच्या हालचालींचे नियमन करणे हा असतो.

तथापि, बहुतांश रेल्वे स्थानके ही वर उल्लेख केलेली दोन्ही कार्ये करतात: वाहतूक हाताळणे आणि गाड्यांच्या हालचालींवर नियंत्रण ठेवणे. तसेच, गाड्यांचे क्रॉसिंग, सिग्नलिंग आणि देखभाल यांसारख्या ऑपरेशनल क्रियाकलापांमध्येही रेल्वे स्थानके महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावतात.

2.5.1 उद्देश (Purpose):

रेल्वे स्थानकाचे मुख्य उद्दिष्ट खालीलप्रमाणे आहे:

1. **प्रवासी व्यवस्थापन (Passenger Handling)-** प्लॅटफॉर्म, प्रतीक्षालय, तिकीट काउंटर आणि इतर प्रवाशांसाठी आवश्यक सुविधा उपलब्ध करून देणे.
2. **माल वाहतूक (Goods Transport) -** मालवाहतुकीसाठी लोडिंग आणि अनलोडिंग सुविधा पुरवणे.
3. **ऑपरेशनल नियंत्रण (Operational Control) -** ट्रेनच्या वेळापत्रकाचे नियोजन, सिग्नलिंग आणि क्रूचे व्यवस्थापन करणे.
4. **ट्रेन देखभाल (Train Maintenance) -** तपासणी करणे, इंधन भरणे आणि किरकोळ दुरुस्ती करणे.
5. **संपर्क आणि प्रवेश सुविधा (Connectivity & Accessibility) -** बस, टॅक्सी, मेट्रो यांसारख्या विविध प्रवास पद्धतींशी जोडणारे वाहतूक केंद्र म्हणून कार्य करणे.

2.5.2 रेल्वे स्टेशनची आवश्यकता (Requirement of a Railway Station)

रेल्वे स्थानकाने कार्यक्षमतेने काम करण्यासाठी काही निकषांची पूर्तता करणे आवश्यक आहे:

1. **प्लॅटफॉर्मची पुरेशी लांबी (Adequate Platform Length):** स्टेशनवर थांबणाऱ्या सर्वात लांब ट्रेनला सहज सामावून घेण्याची क्षमता असावी.
2. **प्रवासी सुविधा (Passenger Facilities):** प्रतीक्षालये, सेवानिवृत्त खोल्या, अल्पोपहार कक्ष, चहा स्टॉल, चौकशी आणि आरक्षण कार्यालये, स्नानगृहे, शौचालये, पिण्याच्या पाण्याचा पुरवठा, प्लॅटफॉर्म आणि प्लॅटफॉर्म शेड, तसेच संपर्क रस्ते यांचा समावेश असावा.
3. **कार्यक्षम ट्रॅक लेआउट (Efficient Track Layout):** गर्दी न होता गाड्यांचा सुरळीत प्रवेश आणि निर्गमन होण्यासाठी योग्य ट्रॅक लेआउट असावे.
4. **सिग्नलिंग आणि कम्युनिकेशन (Signalling & Communication):** सुरक्षित ट्रेन हालचालींसाठी प्रगत सिग्नलिंग आणि संवाद प्रणालीची आवश्यकता आहे.
5. **मालवाहतूक सुविधा (Freight Facilities):** मालवाहतूक स्टेशनसाठी स्वतंत्र माल लोडिंग आणि अनलोडिंग क्षेत्र असावे.
6. **पार्किंग आणि प्रवेशयोग्यता (Parking & Accessibility):** प्रवाशांच्या वाहनांसाठी, बसेस आणि टॅक्सींसाठी पुरेशी पार्किंगची सोय असावी.
7. **सुरक्षा आणि संरक्षा (Safety & Security):** कुंपण, योग्य प्रकाश व्यवस्था, सीसीटीव्ही पाळत ठेवणे आणि आपत्कालीन सेवांची उपलब्धता असावी.

2.5.3 रेल्वे स्थानकांसाठी साइट निवडीवर परिणाम करणारे घटक (Factors Affecting Site Selection for Railway Stations):

रेल्वे स्थानकाचे स्थान निवडताना विविध घटकांचा विचार केला जातो:

1. **लोकसंख्या आणि मागणी (Population & Demand):** ज्या ठिकाणी प्रवासी आणि माल वाहतूक लक्षणीय प्रमाणात आहे, अशा भागात रेल्वे स्थानक असणे आवश्यक आहे.
2. **टोपोग्राफी (Topography):** जास्त मातीकाम टाळण्यासाठी आणि बांधकामाचा स्थैर्य सुनिश्चित करण्यासाठी सपाट जमीन निवडली जाते. स्थानकाचा अलाइनमेंट शक्यतो सरळ असावा, जेणेकरून सिग्नल स्पष्टपणे दिसतील. कर्वजवळील स्थानकांमुळे अनेक ऑपरेशनल समस्यांचा सामना करावा लागू शकतो.
3. **कनेक्टिव्हिटी (Connectivity):** स्थानक रस्ते, मेट्रो किंवा सार्वजनिक वाहतुकीद्वारे सहज उपलब्ध असावे. गावे आणि शहरे जवळ असावीत आणि प्रवाशांच्या सोयीसाठी संपर्क रस्ते व्यवस्थित असावेत.
4. **जमिनीची उपलब्धता (Land Availability):** प्लॅटफॉर्म, इमारती, पार्किंग आणि भविष्यातील विस्तारासाठी पुरेशी जमीन उपलब्ध असावी. तसेच, प्रस्तावित क्षेत्र कोणत्याही धार्मिक इमारती नसलेले असावे.

5. **पाण्याचा निचरा (Water Drainage):** ट्रॅकचे नुकसान आणि पाणी साचणे टाळण्यासाठी प्रस्तावित जागा पूरप्रवण क्षेत्रापासून दूर असावी. चांगल्या ड्रेनेज व्यवस्थेसह समतल जमिनीवर यार्ड बांधले जावे. भारतात, जास्तीत जास्त परवानगीयोग्य ग्रेडियंट 1:400 मानले जाते, तर 1:1000 हा ग्रेडियंट आदर्श मानला जातो.
6. **ऑपरेशनल आवश्यकता (Operational Requirements):** स्थानाने ट्रेनच्या हालचाली सुरळीतपणे करण्याची सुविधा पुरवावी, ज्यामुळे अनावश्यक थांबे आणि विलंब टाळता येतील.
7. **पर्यावरणीय प्रभाव (Environmental Impact):** पर्यावरणीय व्यत्यय, आवाज आणि प्रदूषणाचे परिणाम कमी करण्यावर लक्ष केंद्रित केले पाहिजे.

हे घटक विचारात घेऊनच रेल्वे स्थानकाचे स्थान निवडले जाते, जेणेकरून प्रवासी आणि मालवाहतुकीच्या दृष्टीने कार्यक्षमता आणि सुरक्षितता राखली जाईल.

2.5.4 रेल्वे स्थानकातील महत्त्वाच्या तांत्रिक अटी (Important Technical Terms in Railway Stations)

1. **प्लॅटफॉर्म (Platform):** प्रवाश्यांना ट्रेनमध्ये चढण्यासाठी आणि उतरण्यासाठी पुरेशी जागा असलेली उंचावलेली रचना.
2. **लूप लाइन (Loop Line):** जलद गतीने जाणाऱ्या गाड्यांना अडथळा न आणता थांबविण्यासाठी मुख्य मार्गाला समांतर असलेला अतिरिक्त ट्रॅक.
3. **यार्ड:** मालवाहतूक गाड्या उभ्या करणे, एकत्र करणे किंवा ठेवल्या जाण्यासाठी वापरले जाणारे क्षेत्र.
4. **फूट ओव्हरब्रिज (एफओबी) (Foot Overbridge (FOB)):** प्रवाश्यांची सुरक्षित वाहतूक सुनिश्चित करण्यासाठी प्लॅटफॉर्मला जोडणारा पूल.
5. **सिग्नल केबिन (Signal Cabin):** रेल्वे सिग्नल आणि ट्रॅक स्विचिंगचे नियंत्रण ठेवणारी जागा.
6. **मार्शलिंग यार्ड (Marshalling Yard):** मालवाहतूक गाड्यांना त्यांच्या गंतव्यस्थानानुसार व्यवस्थित लावण्यासाठी आणि व्यवस्थापित करण्यासाठी वापरलेले क्षेत्र.
7. **वस्तूंचे शेड (Goods Shed):** मालवाहतुकीपूर्वी माल साठवण्यासाठी वापरली जाणारी झाकलेली जागा.
8. **लेव्हल क्रॉसिंग (Level Crossing):** रेल्वे-रोड छेदनबिंदू, जिथे वाहने आणि पादचारी सुरक्षितपणे ट्रॅक ओलांडू शकतात.

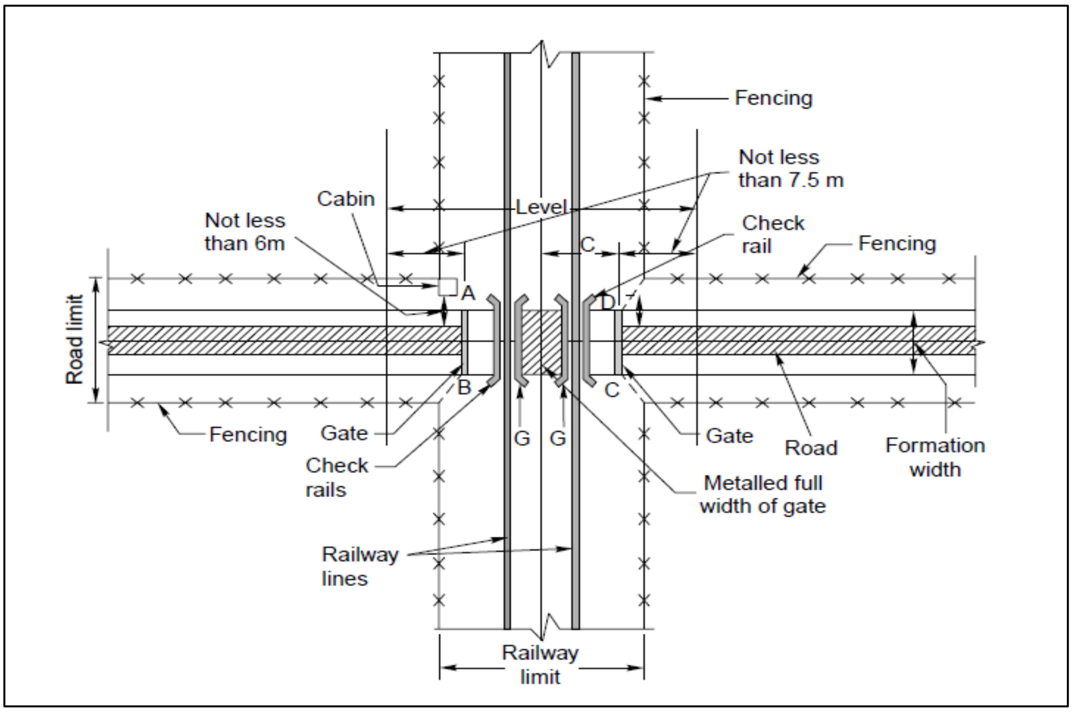


Figure 2. 27 लेव्हल क्रॉसिंगचा ठराविक लेआउट

(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

2.5.5 रेल्वे स्थानकांचे प्रकार (Types of Railway Stations):

रेल्वे स्थानके त्यांच्या कार्यप्रणाली आणि परिचालन महत्त्वावर आधारित वर्गीकृत केली जातात.

(अ) वाहतूक हाताळणीवर आधारित

रेल्वे स्थानकांची रचना त्यांचे आकार, महत्त्व, हाताळल्या जाणाऱ्या रहदारीचा प्रकार आणि ते शहरे किंवा औद्योगिक क्षेत्रांशी असलेल्या जवळिकीवर अवलंबून बदलते. प्रवासी स्थानके आणि त्यांचे यार्ड यांची मांडणी प्रामुख्याने खालील प्रकारात विभागली जाते:

(a) वे-साइड स्टेशन (Way-side Station)

1. हॉल्ट (Halts)
2. फ्लॅग स्थानके (Flag stations)
3. रस्त्याच्या कडेला किंवा क्रॉसिंग स्टेशन (Roadside or crossing stations)

(b) जंक्शन स्टेशन (Junction stations)

(c) टर्मिनल स्टेशन (Terminal stations)

(A) वे-साइड स्टेशन (Way-side Station)

वेसाइड स्टेशन्स ही लहान रेल्वे स्थानके आहेत जी प्रामुख्याने मोठ्या स्थानकांदरम्यानच्या मध्यवर्ती थांब्यांच्या रूपात कार्य करतात. ही स्थानके प्रामुख्याने ग्रामीण किंवा कमी लोकसंख्या असलेल्या भागात ऑपरेशनल उद्देशांसाठी वापरली जातात, जसे की ट्रेन क्रॉसिंग, ओव्हरटेकिंग आणि प्रवाशांचे चढणे-उतरणे. त्यांच्या कार्यप्रणाली आणि उपलब्ध सुविधांवर आधारित, वेसाइड स्टेशन्स खालील प्रकारांमध्ये विभागली जातात:

1. हॉल्ट (Halts)

2. फ्लॅग स्थानके (Flag stations)

3. रस्त्याच्या कडेला किंवा क्रॉसिंग स्टेशन (Roadside or crossing stations)

1. हौल्ट (Halts):

हौल्ट हे सर्वात साधे आणि लहान रेल्वे स्थानक आहे जेथे गाड्या थांबू शकतात. अशा स्थानकांवर सहसा फक्त एकच रेल्वे-स्तरीय प्लॅटफॉर्म असतो, ज्याच्या दोन्ही टोकांना स्थानकाचे नाव दर्शवणारे फलक असतात. कधीकधी प्रवाशांसाठी लहान प्रतीक्षागृह (वेटिंग शेड) देखील उपलब्ध असते, जे बुकिंग ऑफिस म्हणून देखील कार्य करते. हौल्ट प्रकारच्या स्थानकांमध्ये यार्ड, स्टेशन इमारत किंवा कर्मचारी नसतात. निवडक गाड्यांना येथे एक ते दोन मिनिटांचा थांबा दिला जातो, ज्यामुळे प्रवाशांना चढणे किंवा उतरता येते. तिकीट बुकिंग प्रवासी तिकीट परीक्षक किंवा बुकिंग क्लर्कद्वारे केले जाते. अशा प्रकारच्या स्थानकांचे एक उदाहरण म्हणजे गंगा नदीच्या काठावर असलेले गुरमुक्तेश्वर ब्रिज हॉल्ट.

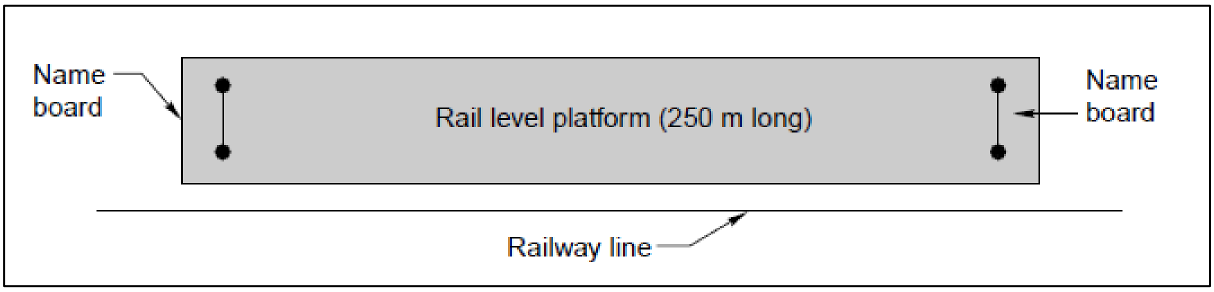


Figure 2. 28 हॉल्ट स्टेशनचा लेआउट
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

2. फ्लॅग स्टेशन (Flag stations):

फ्लॅग स्टेशन हे हौल्टपेक्षा अधिक महत्त्वाचे स्थानक आहे कारण येथे गाड्यांना थांबा देण्याची अधिक सुविधा असते. अशा स्थानकांमध्ये स्टेशनची इमारत आणि कर्मचारी असतात. नियंत्रित विभागांमध्ये, फ्लॅग स्टेशन मोर्स टेलिग्राफ किंवा कंट्रोल फोनने सुसज्ज असते, ज्याद्वारे ते दोन्ही बाजूंच्या एका स्टेशनशी जोडलेले असते आणि दळणवळण सुलभ होते. फ्लॅग स्टेशनमध्ये सहसा एक लहान प्रतीक्षागृह, बुकिंग ऑफिस, प्लॅटफॉर्म, प्रवाशांसाठी बेंच आणि पिण्याच्या पाण्याची सोय असते. काहीवेळा, फ्लॅग स्टेशनला त्यासाठी बुक केलेल्या स्टॅबलिंग वॅगन्ससाठी साइडिंग देखील प्रदान केले जाते.

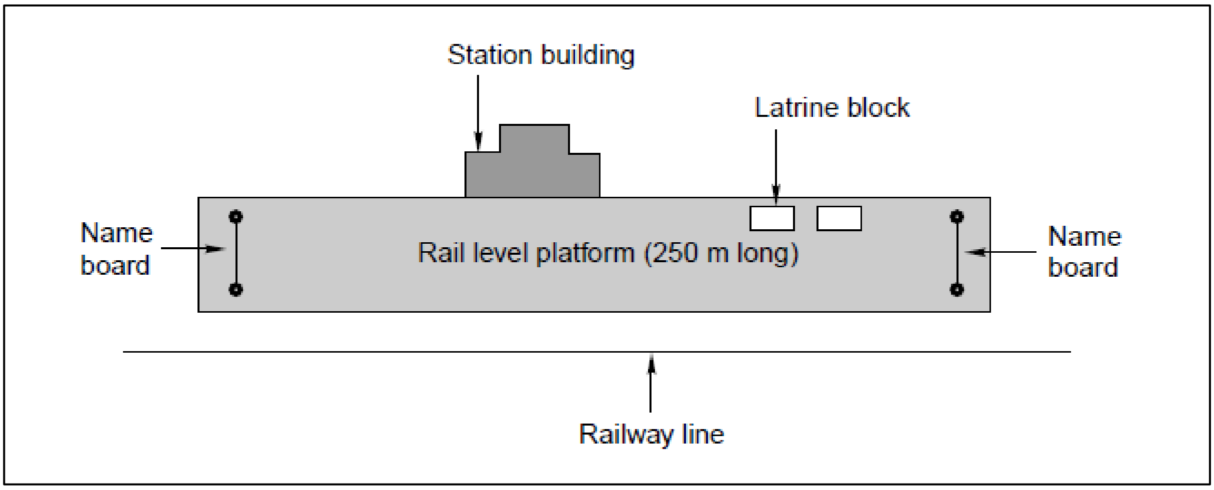


Figure 2. 29 ध्वज स्टेशनचा लेआउट
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

3. वेससाइड किंवा क्रॉसिंग स्टेशन (Roadside or crossing stations)

फ्लॅग स्टेशनच्या पुढे वेससाइड किंवा क्रॉसिंग स्टेशन येते. फ्लॅग स्टेशनमध्ये वाहतूक हाताळण्यासाठी काही सोयी सुविधा असतात, परंतु गाड्यांच्या हालचालींवर नियंत्रण ठेवण्यासाठी कोणतीही व्यवस्था नसते. याउलट, क्रॉसिंग स्टेशनमध्ये ब्लॉक विभागांवर गाड्यांच्या हालचालींवर नियंत्रण ठेवण्यासाठी विशिष्ट प्रणाली असते. क्रॉसिंग स्टेशनची संकल्पना सुरुवातीला एकेरी लाईन विभागांसाठी होती, ज्यामध्ये विरुद्ध दिशेने येणाऱ्या गाड्यांना ओलांडणे सुलभ होईल आणि त्यामुळे गाड्यांची गती अधिक कार्यक्षमतेने व्यवस्थापित केली जाऊ शकेल.

क्रॉसिंग स्टेशनचे वर्गीकरण पुढीलप्रमाणे केले जाते:

(a) रस्त्याच्या कडेला असलेली लहान आणि मध्यम आकाराची स्थानके.

(b) प्रमुख स्थानके.

(i) एकेरी लाईन विभागावरील वेससाइड किंवा क्रॉसिंग स्टेशन:
(Wayside or crossing station on a single-line section):

एकेरी लाईन विभागावरील वाढत्या वाहतुकीमुळे तीन-लाइन स्टेशन बांधण्याची गरज भासली, जे अधिक सुविधांसह अतिरिक्त मार्ग आणि रहदारी पार करण्यासाठी अधिक चांगले पर्याय प्रदान करते. तीन ओळींच्या स्टेशनचे सामान्य लेआउट एक अतिरिक्त लाइन आणि रिसेप्शन सुविधांचा समावेश करतो. यामुळे एकाच वेळी येणाऱ्या आणि जाणाऱ्या गाड्यांना अधिक प्रभावीपणे हाताळता येते. तसेच, जर मालवाहतुकीला सामोरे जाण्याची आवश्यकता असेल, तर अतिरिक्त मार्ग सुरू करून या सुविधांमध्ये आणखी सुधारणा करणे शक्य होते.

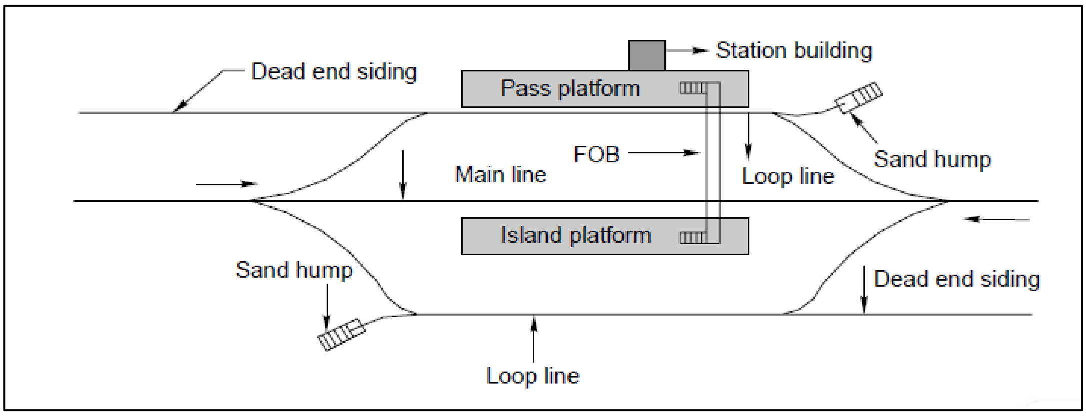


Figure 2. 30 सिंगल-लाइन सेक्शनवरील वेसाइड किंवा क्रॉसिंग स्टेशन

(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

या ट्रॅक लेआउटची काही महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्ये पुढीलप्रमाणे आहेत:

1. **तीन ओळींचे स्टेशन (three-line station):** या स्टेशनवर प्रत्येक दिशेने वाळूच्या कुबड्या असल्यामुळे दोन्ही बाजूंनी येणाऱ्या गाड्यांना एकाच वेळी थांबवण्यासाठी सुविधा उपलब्ध आहे.
2. **फलाटांची रचना:** स्टेशन इमारतीजवळ एक बेट प्लॅटफॉर्म (island platform) आणि एक साधा प्लॅटफॉर्म आहे. बेट प्लॅटफॉर्मवर एकाच वेळी दोन गाड्या थांबू शकतात. मालगाड्या (goods train) थांबवण्यासाठी लूप लाईनचा वापर केला जातो, ज्यामुळे मुख्य मार्ग वाहतुकीसाठी मोकळा ठेवता येतो. महत्त्वाच्या गाड्यांना स्टेशन इमारतीजवळील फलाटावर थांबवता येते.
3. **डेड-एंड साइडिंग (dead-end siding):** स्टेशनच्या दोन्ही टोकांना एक डेड-एंड साइडिंग आहे, जे खराब किंवा आजारी म्हणून चिन्हांकित केलेल्या वॅगनना ठेवण्यासाठी वापरले जाते.

4. **फूट-ओव्हर ब्रिज (एफओबी):** प्रवाशांना स्टेशन इमारतीपासून बेट प्लॅटफॉर्मवर जाण्यासाठी आणि परत येण्यासाठी एफओबीची सोय उपलब्ध आहे.

(ii) अतिरिक्त लूपसह डबल-लाइन क्रॉसिंग स्टेशन

(**Double line crossing station with an extra loop**):

दुहेरी-रेषा विभागामध्ये, अप आणि डाउन लाईन्ससाठी स्वतंत्र मार्ग असल्याने, प्रत्येक दिशेने जाणाऱ्या गाड्यांची हाताळणी करण्यासाठी स्टेशन यार्डचे लेआउट वेगळे असते.

Figure 2.31 मध्ये दाखवलेले लेआउट तीन ओळींच्या स्टेशनचे उदाहरण आहे ज्यामध्ये दोन्ही दिशांनी येणाऱ्या गाड्यांसाठी समान लूपची सोय केली आहे. अशा प्रकारे, प्रत्येक दिशेने येणाऱ्या गाड्या स्वतंत्रपणे हाताळल्या जातात आणि मुख्य मार्गावरील वाहतुकीत अडथळा न आणता सुरक्षितपणे थांबवता येतात.

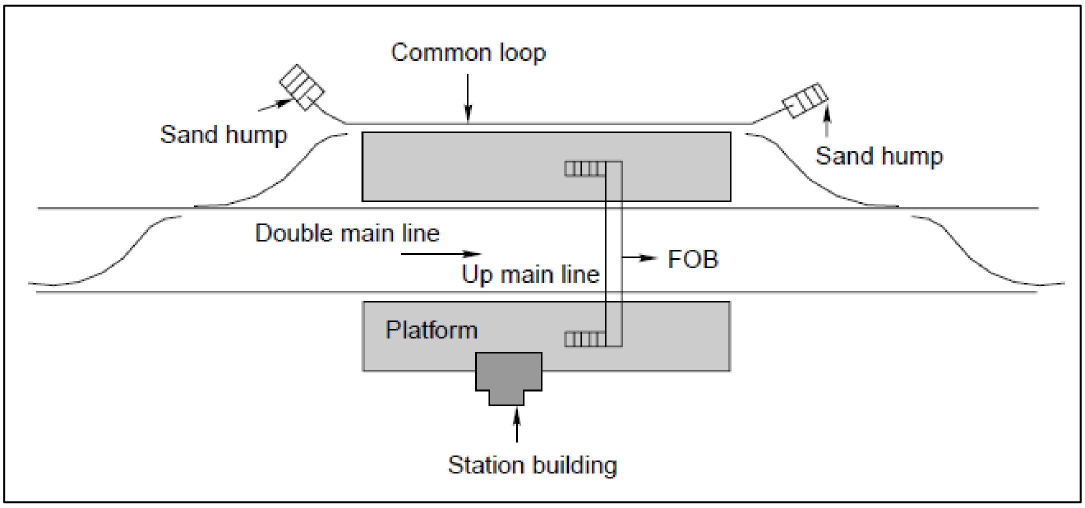


Figure 2. 31 तीन ओळींसह डबल लाइन क्रॉसिंग स्टेशन

(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

या मांडणीची काही महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्ये पुढीलप्रमाणे आहेत:

1. हे दुहेरी-लाइन विभागासाठीचे वेसाइड स्टेशन आहे, जे जवळजवळ किमान सुविधांसह तयार केलेले आहे.
2. अप लाईन आणि डाउन लाईन या दोन मुख्य ओळींशिवाय, एक सामान्य लूप उपलब्ध आहे जो दोन्ही दिशांमधून येणाऱ्या गाड्यांना स्वीकारू शकतो. यामध्ये एकूण तीन ओळी आहेत.
3. यामध्ये दोन प्लॅटफॉर्म आहेत – एक बेट प्लॅटफॉर्म आणि दुसरा स्टेशन इमारतीच्या बाजूला असलेला प्लॅटफॉर्म.
4. स्टेशन इमारतीला बेट प्लॅटफॉर्म आणि मागील भागाशी जोडण्यासाठी फूट-ओव्हर ब्रिजची सोय आहे.
5. स्टेशनच्या दोन्ही बाजूंना आपत्कालीन क्रॉसओव्हर दिलेले आहेत, ज्यामुळे आपत्कालीन परिस्थितीत हे स्टेशन एकेरी-लाइन स्टेशनमध्ये रूपांतरित करता येते.

(iii) चार ओळींचे दुहेरी मार्ग क्रॉसिंग स्टेशन

(**Double line crossing station with four lines**):

दुहेरी-लाइन विभागातील स्टेशन यार्डचे अधिक सामान्य लेआउट, जो चार ओळींच्या स्टेशनसाठी आहे, चित्र 2.32 मध्ये दर्शविला आहे. या प्रकारच्या लेआउटमध्ये अप आणि डाउन लाईन्सव्यतिरिक्त दोन अतिरिक्त लूप्स असतात. हे लूप्स गाड्यांचे स्वागत करणे, ओव्हरटेक करणे आणि मालवाहतूक हाताळणे यासाठी वापरले जातात. हा लेआउट ट्रॅफिकच्या सहज आणि कार्यक्षम व्यवस्थापनासाठी उपयुक्त आहे.

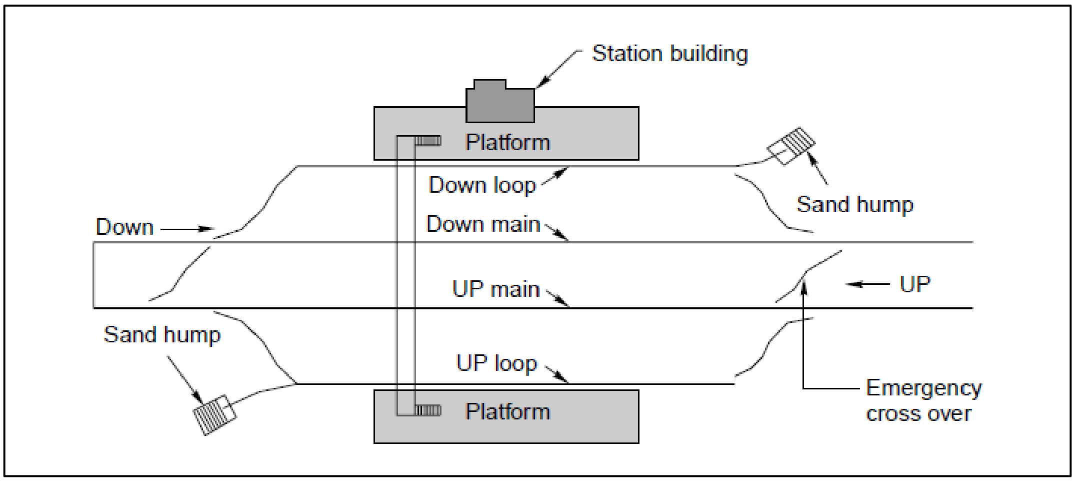


Figure 2. 32 चार ओळींसह दुहेरी लाइन क्रॉसिंग स्टेशन
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

या मांडणीची काही महत्वाची वैशिष्ट्ये पुढीलप्रमाणे आहेत:

1. हे चार ट्रॅक असलेले स्टेशन आहे, ज्यामध्ये दोन अप आणि डाउन मुख्य ट्रॅक व्यतिरिक्त दोन अतिरिक्त लूप ट्रॅक आहेत. हे लूप दिशात्मक असतात – एकाला डाउन लूप म्हणतात कारण तो डाउन ट्रेनसाठी वापरला जातो, तर दुसरा अप लूप आहे, जो अप ट्रेनसाठी वापरला जातो.
2. लूप ट्रॅकना जोडण्यासाठी दोन प्लॅटफॉर्म दिले आहेत. यापैकी एक प्लॅटफॉर्म बेट प्लॅटफॉर्म असू शकतो.
3. दोन्ही फलाटांना जोडण्यासाठी फूट-ओव्हर ब्रिजची सोय करण्यात आलेली आहे.
4. स्थानकाच्या दोन्ही बाजूंना आपत्कालीन क्रॉसओव्हर्स दिले आहेत, ज्यामुळे आपत्कालीन परिस्थितीत या स्टेशनला सिंगल-लाइन स्टेशनमध्ये रूपांतरित करता येऊ शकते.

(B) जंक्शन स्टेशन (Junction Station) –

जंक्शन स्टेशन हे असे स्थानक असते जेथे अनेक रेल्वे लाईन्स एकत्र येतात, ज्यामुळे गाड्यांचे मार्ग बदलणे किंवा त्यांना वेगवेगळ्या दिशांना वळवणे शक्य होते (उदाहरणार्थ, नवी दिल्ली जंक्शन).

हे स्टेशन त्या ठिकाणी असते जेथे तीन किंवा अधिक ट्रॅक वेगवेगळ्या दिशांना जातात. साधारणपणे, जंक्शनवर गाड्या शाखा मार्गांवर येतात आणि त्या मार्गावरून पुन्हा परत जातात किंवा इतर स्थानकांवर जातात आणि तिथून त्या त्यांच्या मूळ स्थानकांवर परत येऊ शकतात.

एक मुख्य लाईन आणि एक शाखा लाईन असलेल्या जंक्शन स्टेशनचा सामान्य लेआउट Figure 2.33 मध्ये दाखवलेला आहे. अशा प्रकारच्या स्टेशनमध्ये ट्रेन ट्रॅक व्यवस्थापन, सिग्नलिंग आणि प्रवासी सुविधांसाठी वेगवेगळ्या सोयीसुविधा पुरवल्या जातात.

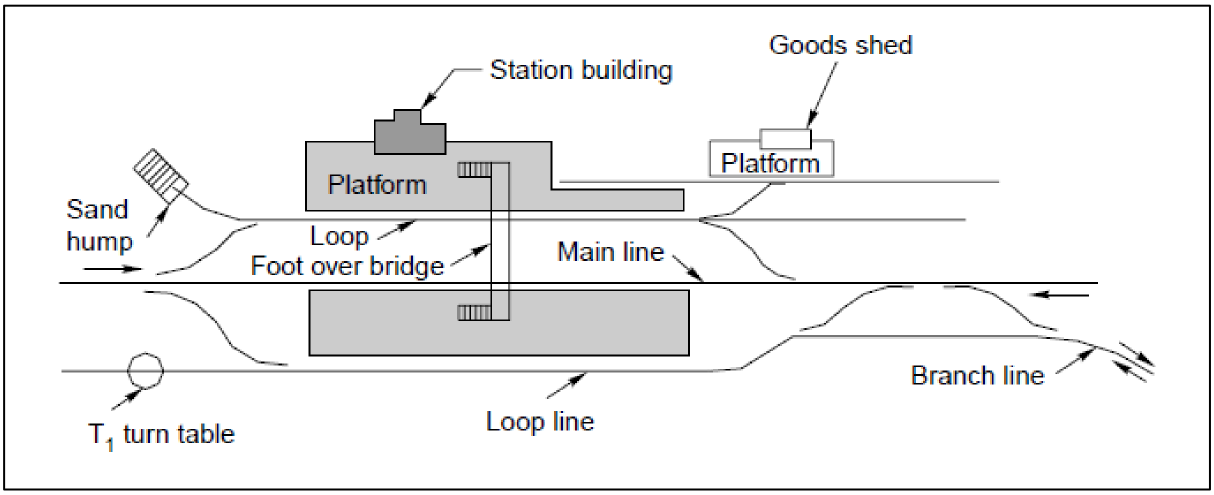


Figure 2. 33 सिंगल मेन लाइन आणि सिंगल ब्रँच लाइनसह जंक्शन स्टेशन
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

जंक्शन स्थानकांची महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्ये पुढीलप्रमाणे आहेत:

1. दोन प्रकारचे प्लॅटफॉर्म आहेत - एक मुख्य लाईन प्लॅटफॉर्म आणि दुसरा बेट प्लॅटफॉर्म. जर दोन गाड्या एकाच वेळी येत असतील तर त्या बेट प्लॅटफॉर्मच्या दोन्ही बाजूंनी थांबू शकतात. यामुळे प्रवासी आणि सामानाची सोयीस्कररीत्या अदलाबदल करता येते. मुख्य प्लॅटफॉर्मवर मुख्य मार्गावरील तसेच शाखा मार्गावरील गाड्याही थांबवता येतात.
2. प्रवाशांच्या सोयीसाठी मुख्य प्लॅटफॉर्म आणि बेट प्लॅटफॉर्मला जोडणारा फूट ओव्हर ब्रिज उपलब्ध आहे.
3. मालवाहतूक हाताळण्यासाठी लहान माल साईडिंग आणि माल प्लॅटफॉर्मची सोय केलेली आहे.
4. आवश्यकता असल्यास, इंजिनची दिशा बदलण्यासाठी टर्नटेबलची सुविधा उपलब्ध आहे.
5. आणीबाणीच्या परिस्थितीत सिंगल-लाइन सेटअपमध्ये बदल करण्यासाठी स्थानकाच्या दोन्ही बाजूंना आणीबाणी क्रॉसओवर दिलेले आहेत.

उदाहरणे: गाझियाबाद, अलाहाबाद, इटारसी, नागपूर आणि जबलपूर जंक्शन ही प्रमुख जंक्शन स्थानके आहेत.

चित्र 2.34 मध्ये दर्शविलेल्या लेआउटमध्ये, दोन वेगवेगळ्या दिशांनी येणाऱ्या एक किंवा दोन शाखा रेषा असलेल्या दुहेरी-रेषा विभागावरील जंक्शन स्टेशनची रचना दाखवली आहे. या लेआउटचे मुख्य वैशिष्ट्य म्हणजे चार वेगवेगळ्या दिशांकडून वाहतूक प्राप्त करणे - मुख्य लाईन, डाउन मेन लाईन, ब्रँच लाईन 1 आणि ब्रँच लाईन 2. या स्टेशनवरील सुविधा चित्र 2.33 मध्ये दर्शविलेल्या लेआउटसारख्याच आहेत.

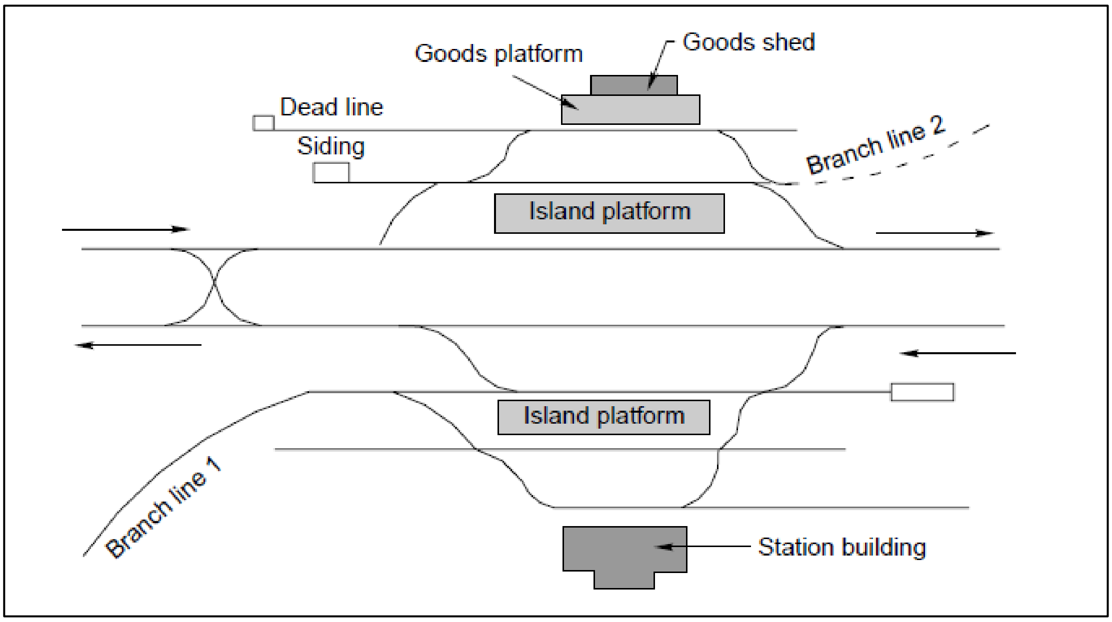


Figure 2. 34 दुहेरी मुख्य लाइन आणि दोन शाखा ओळी असलेले जंक्शन स्टेशन
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

(c) टर्मिनल स्टेशन (Terminal Station) –

रेल्वे मार्गावरील शेवटचे स्थानक, जिथे गाड्या सुरू होतात किंवा संपतात (उदा. मुंबई CSMT, हावडा).

जेथे रेल्वे लाईन किंवा तिची शाखा संपते, त्या स्थानकाला टर्मिनल स्टेशन किंवा टर्मिनल जंक्शन म्हणतात (चित्र 2.35). रिसेप्शन लाइन डेड एंडवर संपते आणि या स्टेशनवर येणाऱ्या ट्रेनच्या इंजिनला मागील बाजूस नेण्यासाठी वळवण्याची सोय केली जाते. तसेच, टर्मिनल स्टेशनला पाणी भरणे, साफसफाई करणे, कोळसा आणि इंधन भरणे, इंजिन थांबवणे, कॅरेज साठवणे, तपासणी करणे, धुणे आणि चार्ज करणे यांसारख्या विविध सुविधा पुरवल्या जातात.

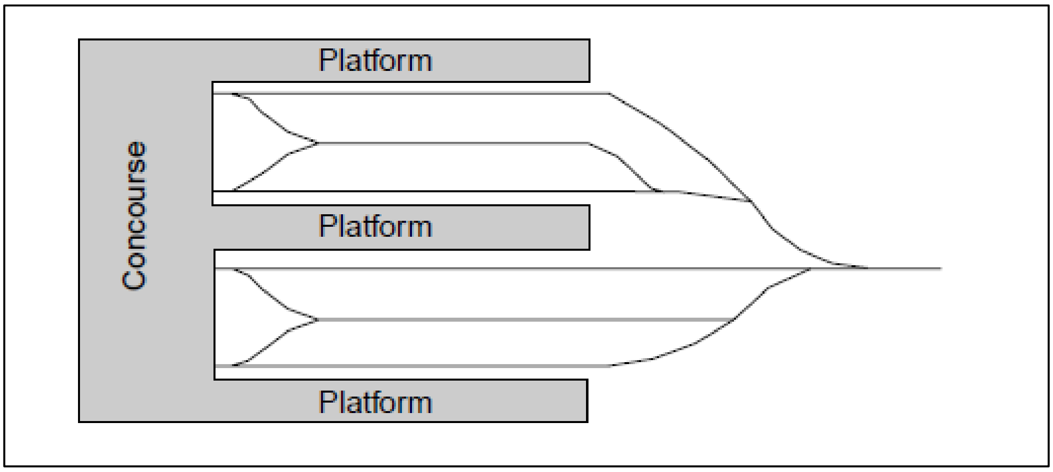


Figure 2.35 रन राउंड लाइनसह 35 टर्मिनल स्टेशन
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

महत्त्वाच्या नसलेल्या शाखा मार्गांवर, टर्मिनल स्टेशनला फक्त एकच प्लॅटफॉर्म असू शकतो. परंतु, हावडा आणि मुंबई सारख्या मोठ्या टर्मिनल स्थानकांना अधिक सुविधांसह सुसज्ज केले जाते. मोठ्या टर्मिनल स्टेशनचे सामान्य लेआउट चित्र 2.36 मध्ये दाखवले आहे.

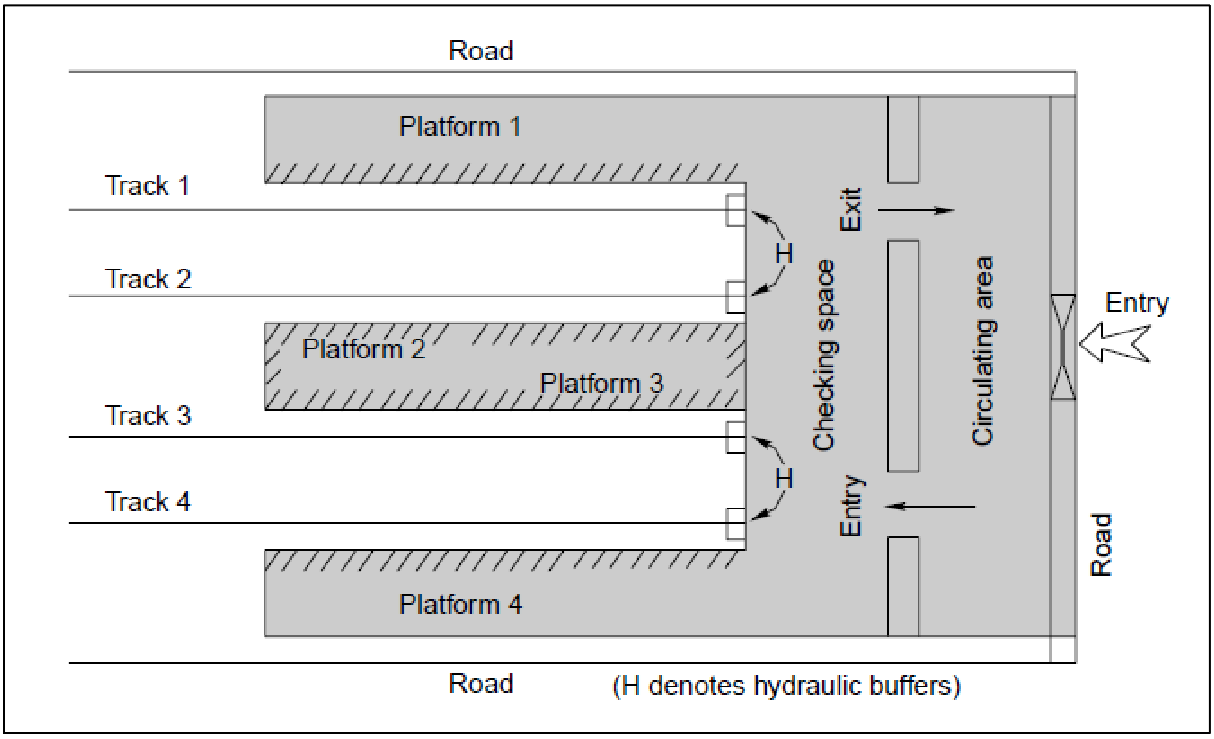


Figure 2. 36 मोठ्या टर्मिनल स्टेशनचे लेआउट

(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

चित्र 2.37 मध्ये मुंबईतील छत्रपती शिवाजी महाराज टर्मिनस (CSMT) येथे रेल्वे मार्गांच्या समाप्तीचे चित्रण केले आहे.

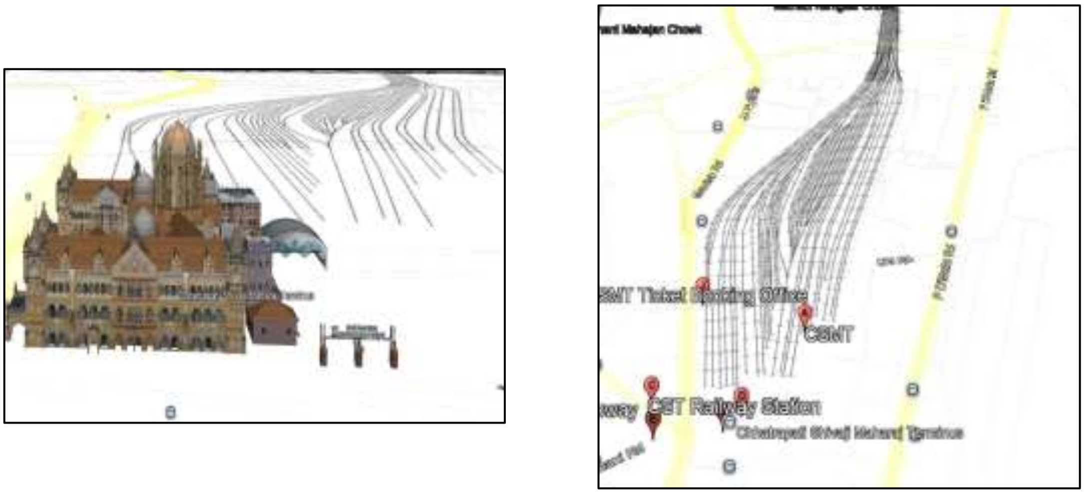


Figure 2. 37 सीएसएमटी, मुंबई हे दर्शविते की स्टेशनवर रेल्वे लाईन संपुष्टात आल्या आहेत

(संदर्भ: गुगल अर्थ प्रो)

(ब) ट्रेन ऑपरेशन्सवर आधारित (Based on Train Operations):

1. **प्रवासी स्थानक** (**Passenger Station**) - केवळ प्रवासी गाड्यांसाठी आवश्यक सुविधा उपलब्ध करून देणारे स्थानक.
2. **माल स्थानक** (**Goods Station**) - माल लोडिंग आणि अनलोडिंगसाठी खास बनवलेले स्थानक.
3. **एकत्रित स्थानक** (**Combined Station**) - प्रवासी आणि माल वाहतूक दोन्ही हाताळणारे स्थानक.

(क) मांडणीवर आधारित (Based on Layout):

1. **थ्रू स्टेशन** (**Through Station**) - जिथून गाड्या थांबत नाहीत आणि पुढे जातात (जसे बहुतेक रेल्वे स्थानके).
2. **टर्मिनस स्टेशन** (**Terminus Station**) - अशा स्थानकावरून पुढे गाड्या जाऊ शकत नाहीत (रेल्वे मार्गाचा शेवट).
3. **वेसाइड हॉल्ट** (**Wayside Halt**) - ग्रामीण भाग किंवा स्थानिक गाड्यांसाठी छोटा थांबा.

2.6 स्टेशन यार्ड (Station yard):

स्टेशन यार्ड म्हणजे रेल्वे स्थानकातील असे क्षेत्र जेथे गाड्या येतात, जातात, एकत्र केल्या जातात, तपासल्या जातात किंवा लोड आणि अनलोड केल्या जातात. यामध्ये रेल्वेच्या कार्यक्षम व्यवस्थापनासाठी विविध ट्रॅक, साइडिंग आणि आवश्यक सुविधा समाविष्ट असतात.

2.6.1 कार्ये (Functions):

स्टेशन यार्डची मुख्य कार्ये खालीलप्रमाणे आहेत:

1. **गाड्या प्राप्त करणे आणि पाठवणे (Receiving and Dispatching Trains):** येणाऱ्या आणि जाणाऱ्या ट्रेनच्या हालचालींचे व्यवस्थापन करणे.
2. **शंटिंग ऑपरेशन्स (Shunting Operations):** आवश्यकतेनुसार ट्रेनच्या डब्यांची किंवा वॅगनची पुनर्रचना करणे.
3. **लोडिंग आणि अनलोडिंग (Loading and Unloading):** मालवाहतूक आणि प्रवासी सेवा कार्यक्षमतेने हाताळणे.
4. **लोकोमोटिव्ह आणि प्रशिक्षक देखभाल (Locomotive and Coach Maintenance):** किरकोळ दुरुस्ती आणि साफसफाईसाठी जागा उपलब्ध करणे.
5. **स्टेबलिंग आणि पार्किंग (Stabling and Parking):** निष्क्रिय गाड्या किंवा इंजिन सुरक्षितपणे साठवणे.
6. **वॅगन्सचे मार्शलिंग (Marshalling of Wagons):** डेस्टिनेशन नुसार मालवाहू वॅगन व्यवस्थित लावणे.

2.6.2 स्टेशन यार्डचे वर्गीकरण (Classification of Station Yards):

(A) पॅसेंजर यार्ड (Passenger Yard):

1. प्रवासी गाड्या हाताळण्यासाठी खास तयार केलेले असते.
2. यात प्लॅटफॉर्म, साइडिंग, वॉशिंग लाइन आणि देखभाल शेड यांचा समावेश असतो.
3. तिकीट काउंटर, वेटिंग हॉल, लाईटिंग यासारख्या सुविधांनी सुसज्ज केलेले असते.

Figure 2. 38 पॅसेंजर यार्ड
(स्रोत: स्टेशन आणि यार्ड्स रेल्वे सिग्नलिंग – रेल्वे सिग्नलिंग संकल्पना)

उदाहरणे: मुंबई CST, आणि नवी दिल्ली रेल्वे स्टेशन सारखी प्रमुख रेल्वे स्थानके.

(B) माल यार्ड (Goods Yard):

1. मालवाहू वॅगन लोड करण्यासाठी आणि अनलोड करण्यासाठी खास तयार केलेले असते.
2. यात गोदामे, क्रेन आणि माल प्लॅटफॉर्म यांचा समावेश असतो.
3. ट्रक आणि वाहतूक वाहनांसाठी पुरेशी जागा उपलब्ध असते.

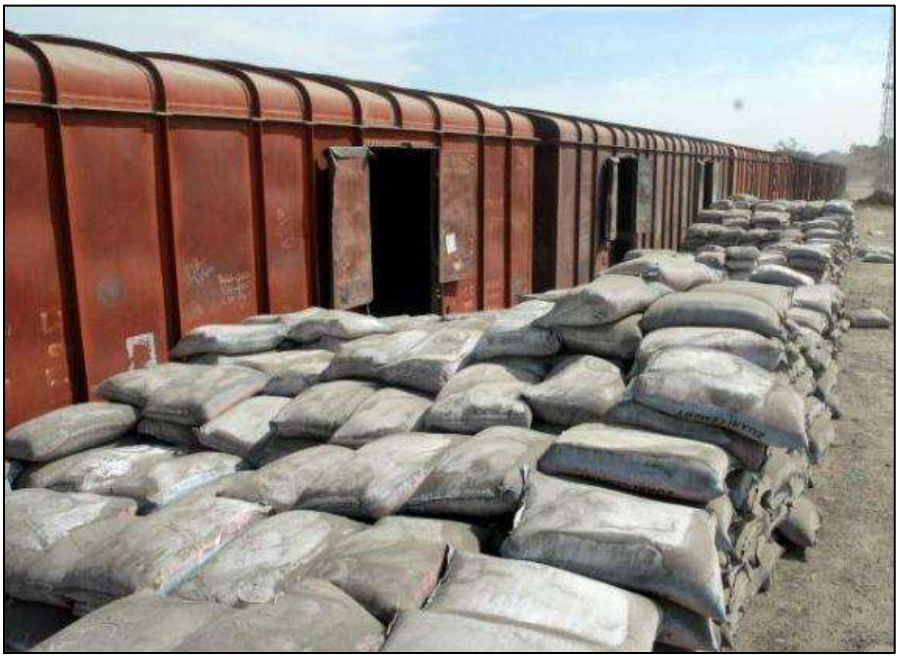


Figure 2. 39 गुड्स यार्ड
(स्रोत: स्टेशन आणि यार्ड्स रेल्वे सिग्नलिंग – रेल्वे सिग्नलिंग संकल्पना)

उदाहरणे: अंतर्देशीय कंटेनर डेपो (ICD), मालवाहतूक टर्मिनल.

(C) लोकोमोटिव्ह यार्ड (Locomotive Yard)

1. इंजिनच्या देखभाल, इंधन भरणे आणि दुरुस्तीसाठी सुविधा पुरवणे.
2. लोकोमोटिव्ह शेड, टर्नटेबल्स आणि इंधन केंद्रांचा समावेश.
3. वापरात नसलेल्या डिझेल, इलेक्ट्रिक किंवा स्टीम लोकोमोटिव्हचे साठवण करण्यासाठी वापरले जाते.

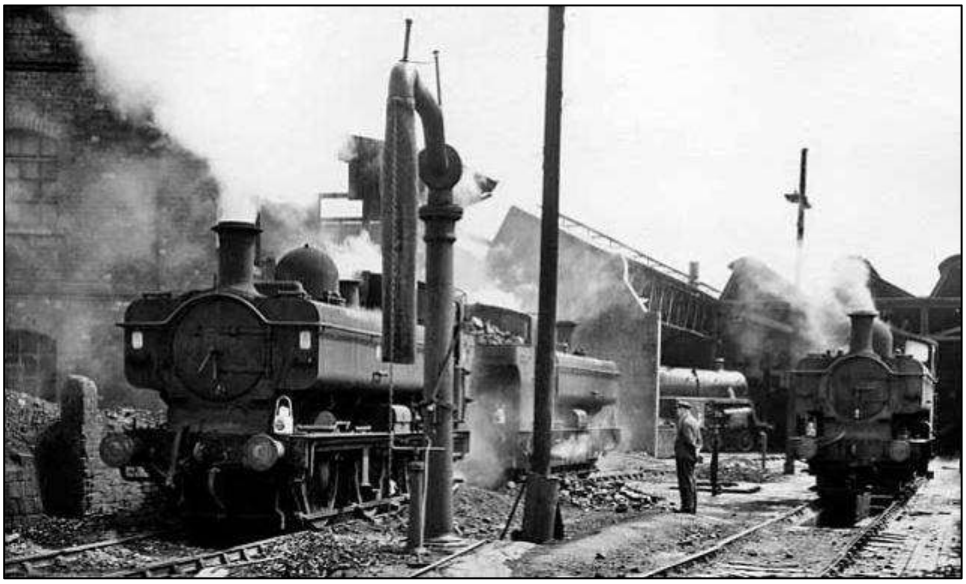


Figure 2. 40 लोकोमोटिव्ह यार्ड
(स्रोत: स्टेशन आणि यार्ड्स रेल्वे सिग्नलिंग – रेल्वे सिग्नलिंग संकल्पना)

उदाहरणे: विविध रेल्वे झोनमध्ये डिझेल लोको शेड आणि इलेक्ट्रिक लोको शेड.

(D) मार्शलिंग यार्ड (Marshalling Yard)

1. मालवाहू गाड्यांची सोय करण्यासाठी खास डिझाइन केलेले.
2. वॅगन्स त्यांच्या डेस्टिनेशननुसार वर्गीकृत करून गटबद्ध केल्या जातात.
3. **हंप यार्ड्सने सुसज्ज:** वॅगन्सच्या स्वयंचलित हालचालीसाठी उताराचे ट्रॅक असतात, ज्यामुळे त्यांचे सुलभ आणि कार्यक्षम वर्गीकरण केले जाते.

उदाहरणे: मुघल सराई (आता पं. दीनदयाळ उपाध्याय जंक्शन), इटारसी आणि विजयवाडा यार्ड.

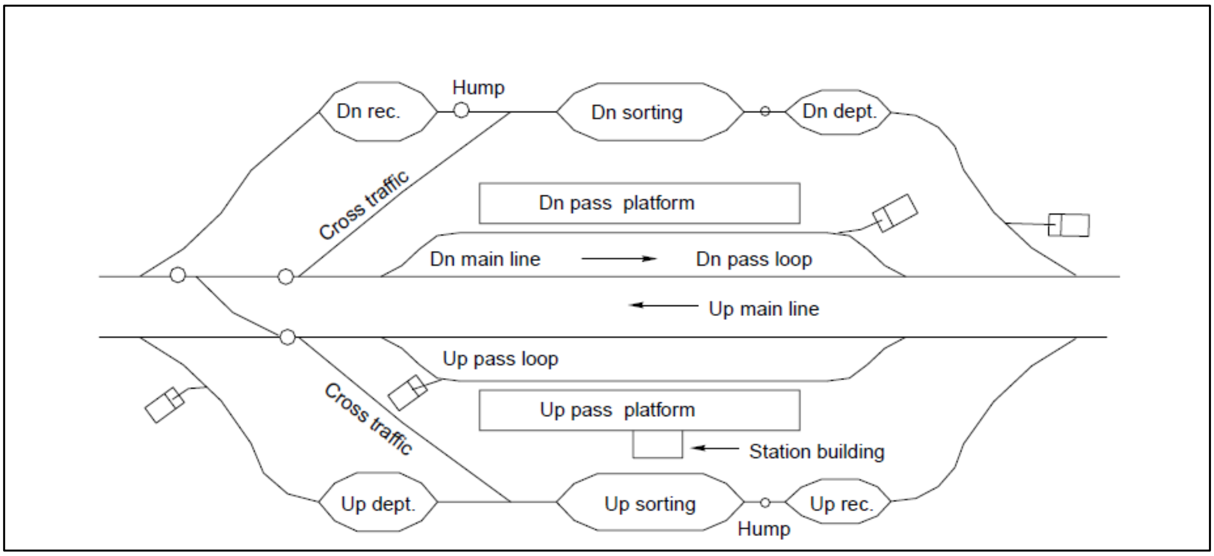


Figure 2. 41 मार्शलिंग यार्ड वेगळ्या कुबड्या आणि वेगळ्या सॉर्टिंग लाईन्ससह
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

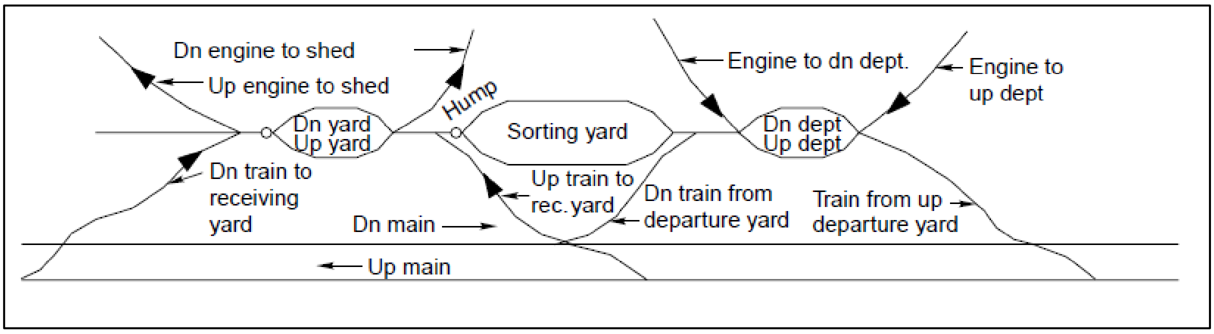


Figure 2. 42 कॉमन हंप आणि कॉमन सॉर्टिंग यार्ड असलेले मार्शलिंग यार्ड
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

(i) मार्शलिंग यार्डचे तोटे (Drawbacks of Marshalling Yards)

1. **वेळखाऊ (Time-Consuming):** वॅगनची क्रमवारी लावणे आणि पुनर्रचना करण्यात खूप वेळ लागतो, त्यामुळे उशीर होतो.
2. **उच्च देखभाल खर्च (High Maintenance Costs):** जटिल पायाभूत सुविधा, सिग्नलिंग आणि शंटिंग उपकरणे आवश्यक असतात.
3. **मनुष्यबळ सधन (Manpower Intensive):** ऑपरेशनसाठी प्रशिक्षित कर्मचाऱ्यांची आवश्यकता असल्याने मजुरीचा खर्च वाढतो.
4. **गर्दीची समस्या (Congestion Issues):** मोठ्या यार्डमध्ये गर्दीमुळे कार्यक्षमता कमी होते.
5. **वाढलेली झीज आणि तोडफोड (Increased Wear and Tear):** वारंवार वॅगन हालचालींमुळे ट्रॅक आणि चाकांचे नुकसान होते.
6. **ऊर्जेचा वापर (Energy Consumption):** शंटिंग लोकोमोटिव्ह इंधन आणि वीज वापरतात, ज्यामुळे ऑपरेशनल खर्च वाढतो.

2.7 ट्रॅकची देखभाल (Track Maintenance):

2.7.1 आवश्यकता (Necessity)

रेल्वे ट्रॅकची देखभाल ही पायाभूत सुविधांची सुरक्षा, कार्यक्षमता आणि दीर्घायुष्य सुनिश्चित करण्यासाठी खूप महत्त्वाची आहे. नियमित देखभाल केल्याने अपघात टाळता येतात, रोलिंग स्टॉकवरील झीज कमी होते आणि ऑपरेशन्स सुरळीत पार पाडले जातात. वेळोवेळी, जड वाहतूक, हवामानातील बदल आणि सततच्या वापरामुळे ट्रॅक खराब होतात. योग्य देखभालीशिवाय, ट्रॅकमध्ये चुकीचे संरेखन, झीज किंवा संरचनात्मक नुकसान यासारख्या समस्या निर्माण होऊ शकतात, ज्यामुळे असुरक्षित परिस्थिती उद्भवू शकते.

2.7.2 वर्गीकरण (Classification)

ट्रॅक देखभाल विविध प्रकारांमध्ये विभागली जाते:

1. **नियमित देखभाल (Routine Maintenance):** दैनंदिन तपासणी आणि लहान-मोठ्या दुरुस्ती करणे.
2. **नियतकालिक देखभाल (Periodic Maintenance):** बोल्ट घट्ट करणे, जीर्ण भाग बदलणे आणि रेल्वेची स्थिती तपासणे यासारख्या नियमित क्रिया.
3. **मुख्य देखभाल (Major Maintenance):** रुळांचे बदल, ट्रॅकचे पुनर्संरेखन आणि मोठे नूतनीकरण यासारखे मोठे काम करणे.
4. **आपत्कालीन देखभाल (Emergency Maintenance):** रुळावरून गाडी घसरल्यास किंवा ट्रॅक निकामी झाल्यास तातडीने केलेली देखभाल.

2.7.3 त्यांच्या कार्यासह ट्रॅक देखभालसाठी आवश्यक साधने

ट्रॅक देखभालीसाठी वापरली जाणारी उपकरणे:

1. **रेल चिमटा (Rail Tongs):** ट्रॅक देखभाल किंवा बदलताना रेल हाताळण्यासाठी वापरले जाते.
2. **ट्रॅक व्रेंचेस (Track Wrenches):** बोल्ट आणि नट घट्ट किंवा सैल करण्यासाठी वापरले जातात.
3. **स्पाइक आणि स्पाइक पुलर्स (Spikes & Spike Pullers):** लाकडी बांधांवर रेल सुरक्षित करण्यासाठी स्पाइक्स लावणे आणि काढणे.
4. **रेल्वे जॅक (Rail Jacks):** दुरुस्ती किंवा भाग बदलताना रेल्वे उचलण्यासाठी वापरले जाते.
5. **ट्रॅक गेज (Track Gauge):** रेल्वे रुळांमधील योग्य अंतर सुनिश्चित करण्यासाठी.
6. **बॅलास्ट रेग्युलेटर (Ballast Regulator):** बॅलास्ट पसरवणे आणि समतल करणे, योग्य अलाइनमेंट ठेवण्यासाठी.
7. **टॅम्पर (Tamper):** ट्रॅक जागेवर ठेवण्यासाठी गिट्टी पॅक करणारे मशीन.
8. **खडू आणि चिन्हांकित साधने (Chalk and Marking Tools):** तपासणीसाठी लक्ष देणे आवश्यक असलेल्या ट्रॅक क्षेत्रांचे चिन्हांकन करण्यासाठी.

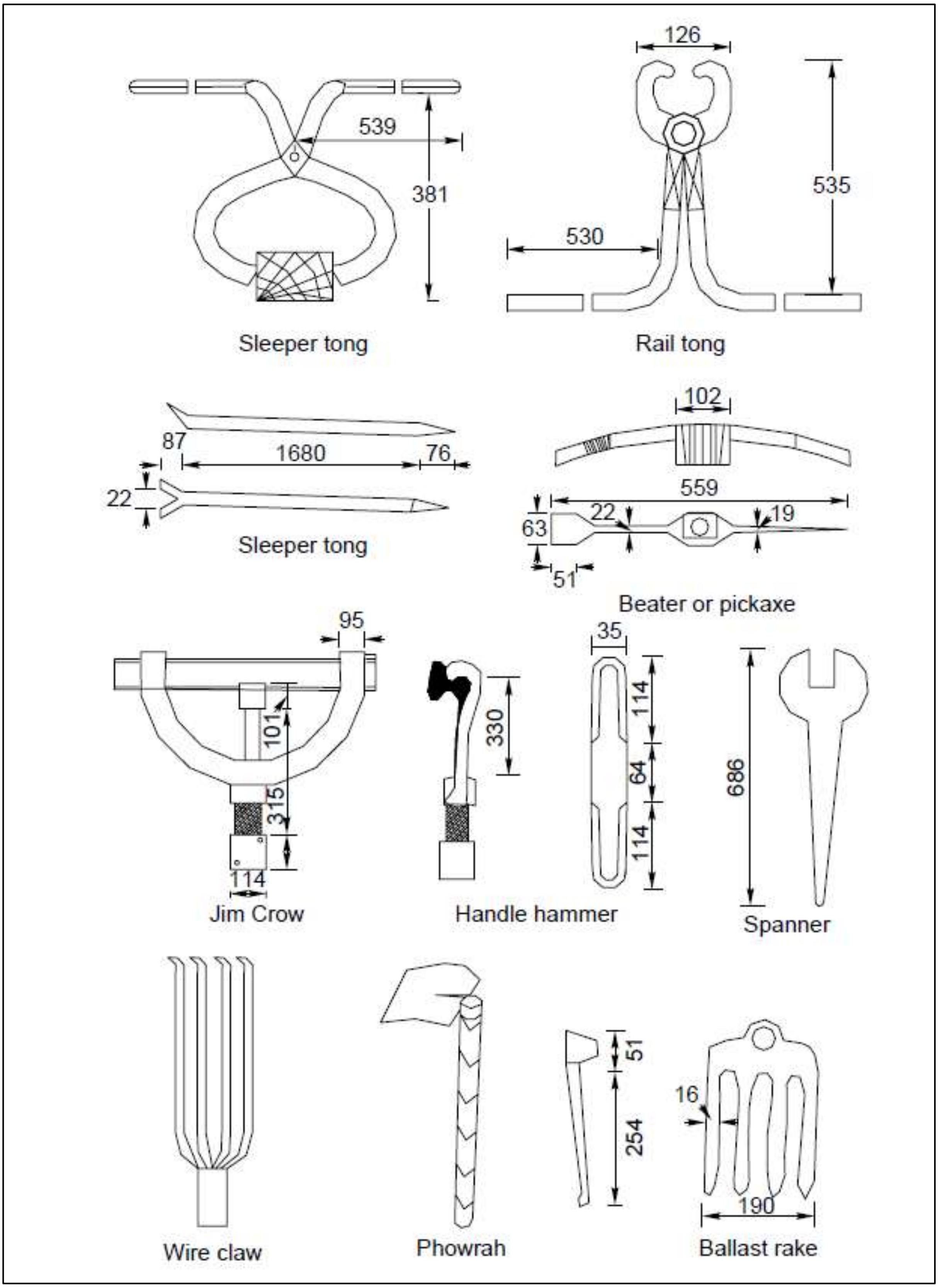


Figure 2. 43 ट्रॅकच्या देखभालीसाठी वापरलेली साधने
(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

2.7.4 ट्रॅक देखभालीचे आयोजन (Organization of track maintenance)

रेल्वे संघटनेमध्ये, ट्रॅक देखभाल प्रामुख्याने ट्रॅक देखभाल विभागाद्वारे केली जाते. हा विभाग विविध भागांमध्ये विभागलेला असतो आणि प्रत्येक भाग ठराविक देखभाल कार्यांसाठी जबाबदार असतो:

1. **तपासणी पथके (Inspection Teams):** नियमितपणे ट्रॅक तपासणी करणे.
2. **देखभाल करणारी गँग (Maintenance Gangs):** दुरुस्ती आणि बदलण्याची कामे करणारे कर्मचारी गट.
3. **कार्यशाळा (Workshops):** साधने आणि सुटे भाग तयार करण्याचे आणि दुरुस्त करण्याचे ठिकाण.
4. **नियंत्रण कक्ष (Control Room):** देखभाल कार्यांचे समन्वय करणे आणि रेल्वे वाहतुकीत कमीत कमी अडथळा निर्माण होईल याची खात्री करणे.

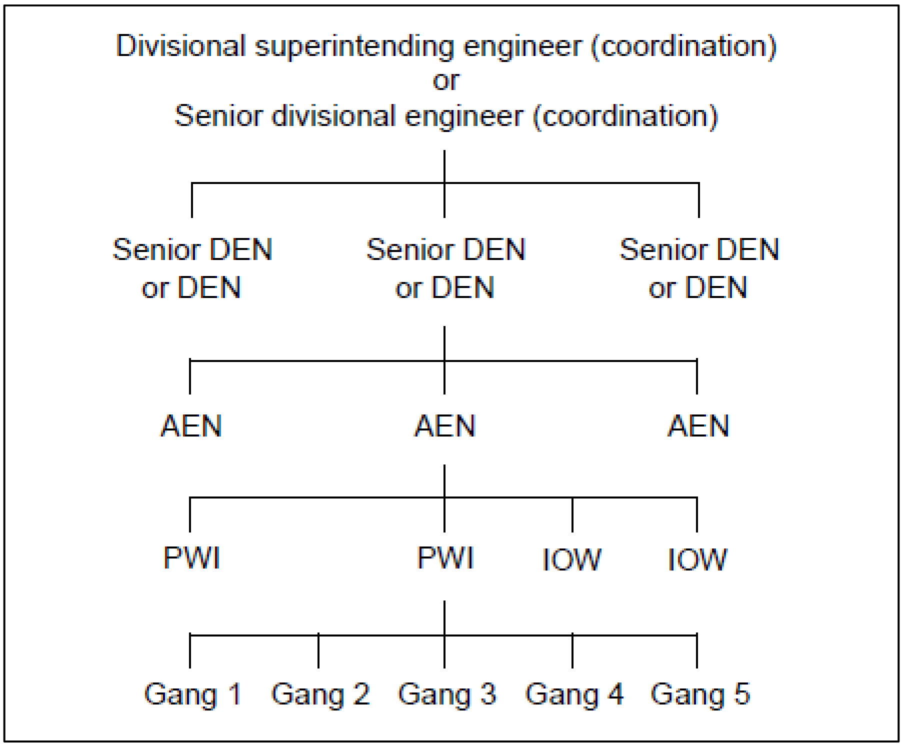


Figure 2. 44 ट्रॅक देखभाल संस्था

(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

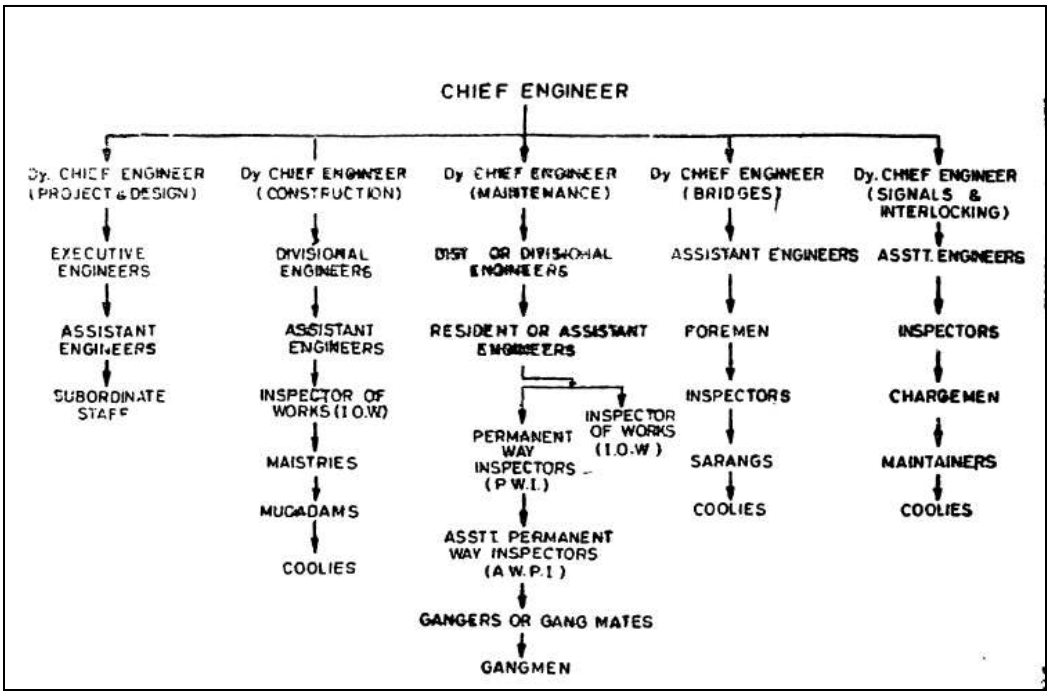


Figure 2. 45 ट्रॅक देखभाल संस्था

(स्रोत: सतीश चंद्रा आणि एम. एम. अग्रवाल, ऑक्सफर्ड युनिव्हर्सिटी प्रेस द्वारे रेल्वे अभियांत्रिकी)

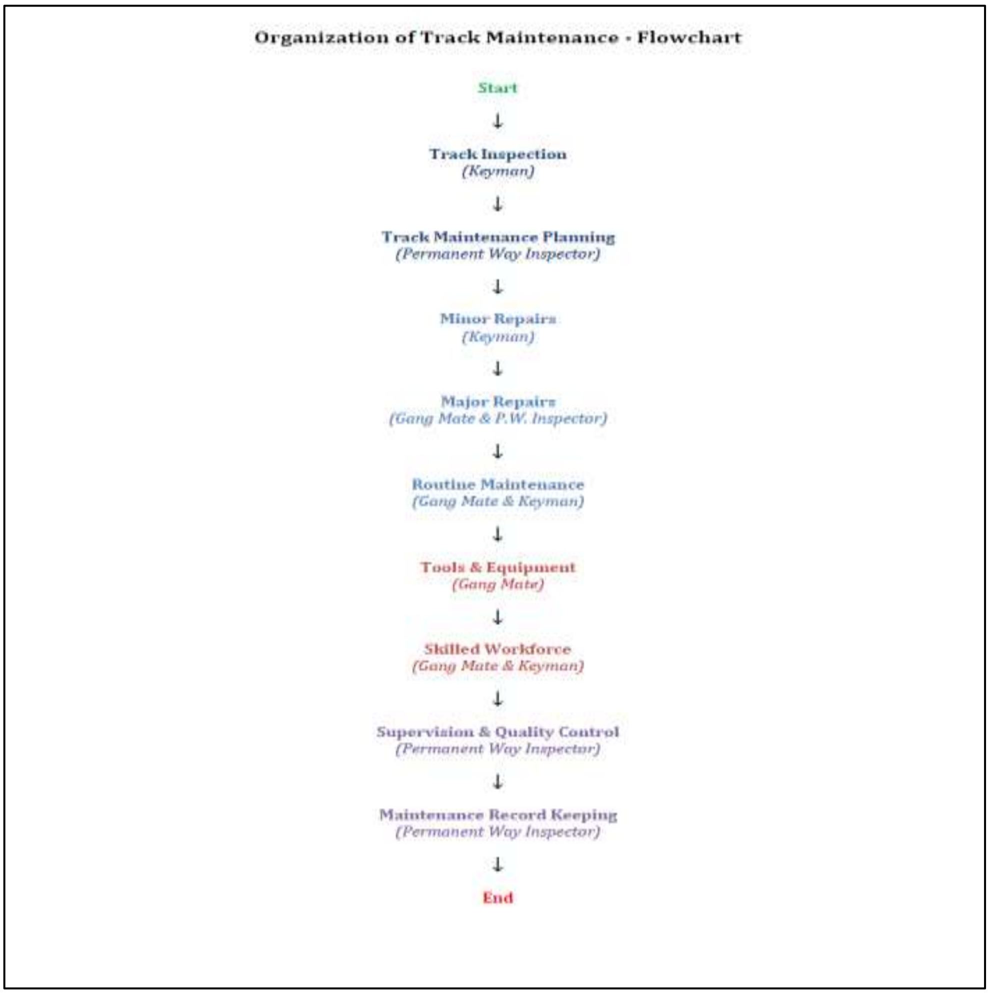


Figure 2. 46 ट्रॅक देखभालची सोपी कार्यप्रवाह

2.7.5 स्थायी मार्ग निरीक्षक, गँग मेट आणि की मॅन यांचे कर्तव्ये (Duties of Permanent Way Inspector, Gang Mate and Key Man)

(A) स्थायी मार्ग निरीक्षक (PWI) (Permanent Way Inspector (PWI))

1. ट्रॅकची तपासणी करणे आणि सुरक्षा मानकांचे पालन सुनिश्चित करणे.
2. गँगमध्ये साथीदार आणि प्रमुख पुरुषांद्वारे केलेल्या देखभालीच्या कामावर देखरेख ठेवणे.
3. ट्रॅक, पूल आणि इतर संबंधित पायाभूत सुविधा चांगल्या स्थितीत असल्याचे सुनिश्चित करणे.
4. नियतकालिक तपासण्या करणे आणि उच्च अधिकाऱ्यांना समस्या कळवणे.
5. ट्रेनच्या पासिंगसाठी ट्रॅक चांगल्या स्थितीत ठेवण्यासाठी PWI वैयक्तिकरित्या जबाबदार असतो. या हेतूसाठी, तो पुश ट्रॉलीद्वारे ट्रॅक तपासतो आणि गँगच्या मदतीने दोष दुरुस्त करतो.
6. रेल्वे आणि स्लीपरचे नूतनीकरण करण्यासाठी जबाबदार.
7. त्याच्या विभागातील रेलच्या पोशाखांचे रेकॉर्ड ठेवणे आवश्यक आहे. हिवाळ्यात संपूर्ण रेल्वे जॉइंट्सचे वंगण घालण्याचे कार्यक्रम देखील तो तपासतो.
8. अचूक गेज राखणे आणि वाकलेल्या कर्व्ह काढणे.
9. गँगच्या कामावर नियमितपणे देखरेख ठेवणे.
10. गँगच्या माणसांचे कल्याण पाहणे.
11. त्याच्या चार्ज अंतर्गत लेव्हल क्रॉसिंग परिपूर्ण स्थितीत ठेवणे. लेव्हल क्रॉसिंगच्या भेटी दरम्यान गेटमनचे काम तपासणे आणि आवश्यक असल्यास सूचना देणे.
12. अपघाताच्या वेळी, वाहतूक लवकरात लवकर सुरळीत करणे आणि अपघाताच्या कारणांचा शोध घेणे.
13. देखभाल कामांचे अंदाजपत्रक तयार करणे आणि प्रगतीचा अहवाल वरिष्ठ अधिकाऱ्यांना सादर करणे.

(B) गँग मेट (Gang Mate)

1. ट्रॅकच्या दैनंदिन देखभालीसाठी जबाबदार असलेल्या देखभाल दलाचे (गँग) नेतृत्व करणे.
2. काम शेड्यूल आणि सुरक्षा प्रोटोकॉलनुसार चालत आहे याची खात्री करणे.
3. ट्रॅक देखभालीसाठी आवश्यक संसाधने, साधने आणि साहित्य व्यवस्थापित करणे.
4. कामाच्या प्रगतीचा आणि कोणत्याही समस्यांबाबत स्थायी मार्ग निरीक्षकांना अहवाल देणे.
5. कायमस्वरूपी कामावर असलेल्या कामगारांच्या गँगचा प्रभारी म्हणून काम करणे.
6. ट्रॅकच्या देखभालीची जबाबदारी सांभाळणे.
7. गँगसाठी साधने आणि इतर गरजांची व्यवस्था करणे.
8. प्रत्येक गँगमनला ड्युटी देणे आणि त्यांच्या कामाचे निरीक्षण करणे.
9. कामाचा रेकॉर्ड ठेवणे आणि महत्त्वाच्या माणसांचे अहवाल सादर करणे.

(C) की मॅन (Key Man)

1. स्पाइक्स बदलणे, गिट्टी तपासणे आणि रेल्वे दुरुस्तीसाठी मदत करणे यासारख्या विशिष्ट कामांसाठी जबाबदार असणे.
2. गँग मेटच्या देखरेखीखाली काम करणे.
3. संघाच्या सुरक्षिततेची आणि विशिष्ट देखभाल कार्यांची योग्य अंमलबजावणी सुनिश्चित करणे.
4. किरकोळ दोषांसाठी ट्रॅकची नियमितपणे तपासणी करणे आणि निष्कर्ष नोंदवणे.
5. की मॅनचे स्थान गँगमेटच्या पुढे असते आणि अनुपस्थितीत त्याने गँगमेटची कर्तव्ये पार पाडावी.

6. त्याच्या विभागातील सर्व फास्टनिंग्ज आणि रेल्वे जॉइंट्सची देखभाल करणे.
7. दररोज फास्टनिंग्ज आणि सांधे तपासण्यासाठी विभागात फिरणे.
8. तपासणी दरम्यान सैल आढळलेल्या फिश बोल्ट, स्पाइक, स्लीपर, चाव्या इ. घट्ट करणे.
9. फिश प्लेट्स आणि फिश बोल्टला ग्रीस करणे.
10. वर्षातून किमान एकदा सर्व सांधे उघडणे आणि पुन्हा बसवणे.

Questions for Practices

Q 1. Explain any four factors governing rail alignment with a brief description.
Q 2. Draw a neat, labelled cross-section of a single-track railway in an embankment.
Q 3. What are the different types of gradients used in railway track design? Explain.
Q 4. What are the different types of railway stations based on their function and operation?
Q 5. Describe the different types of railway station yards and their functions.
Q 6. Draw a neat sketch of a standard cross-section of a double broad-gauge track in cutting.
Q 7. Explain the duties of the following personnel in rail track maintenance:
(i) Permanent Way Inspector
(ii) Gang Mate
(iii) Key Man
Q 8. Explain the different types of railway crossings with sketches.
Q 9. What is track maintenance? Explain its types and importance in railway engineering.
Q 10. What are the common defects in railway tracks, and how are they rectified?

युनिट III: ब्रिज इंजिनिअरिंग
UNIT III: Bridge Engineering

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcomes)

CO3 - योग्य तपासणीद्वारे दिलेल्या प्रकारच्या पुलाची देखभाल करा.

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes)

TLO 3.1 भारतातील प्रमुख महत्वाच्या पुलांची वैशिष्ट्यपूर्ण वैशिष्ट्ये वर्णन करा.
TLO 3.2 उपलब्ध डेटाच्या आधारे योग्य प्रकारचा पूल सुचवा.
TLO 3.3 दिलेल्या प्रकारच्या पुलासाठी साइट निवडीवर परिणाम करणारे घटक स्पष्ट करा.
TLO 3.4 पुलाशी संबंधित महत्त्वपूर्ण तांत्रिक संज्ञा स्केचसह स्पष्ट करा.
TLO 3.5 दिलेल्या पुलाच्या घटकाचे नीटनेटके स्केचसह स्पष्टीकरण द्या.
TLO 3.6 दिलेल्या परिस्थितीसाठी योग्य प्रकारचा पूल सुचवा.
TLO 3.7 पावसाळ्यापूर्वी आणि पावसाळ्यानंतरच्या काळात पुलाची तपासणी करा.
TLO 3.8 दिलेल्या प्रकारचा पूल प्रभावीपणे देखरेख करा.

ब्रिज इंजिनिअरिंग

3.1 भारतातील पुलांच्या विकासाचा इतिहास (History of development of bridges in India (IKS))

भारतामध्ये पूल बांधणीची समृद्ध परंपरा आहे, जी पुरातन अभियांत्रिकी परंपरा आणि स्वदेशी ज्ञान प्रणाली (IKS) मध्ये खोलवर रुजलेली आहे. प्राचीन काळातील दगड आणि लाकडापासून तयार केलेले पूल ते आधुनिक काळातील पोलाद आणि काँक्रीटच्या संरचनांपर्यंत, भारतीय पुल अभियांत्रिकीमध्ये लक्षणीय प्रगती झाली आहे.

3.1.1 भारतातील प्राचीन पूल बांधकाम (Ancient Bridge Construction in India)

(अ) पौराणिक संदर्भ (Mythological References):

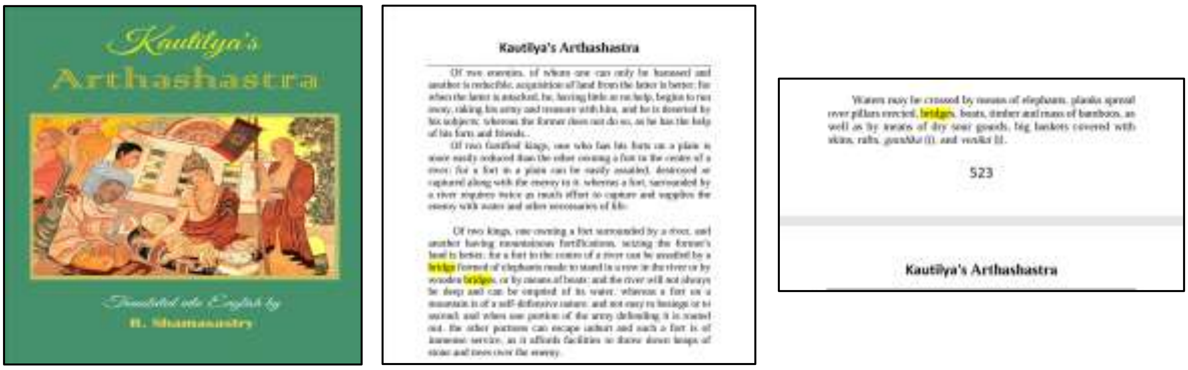
1) रामायणात उल्लेखिलेला भारत आणि श्रीलंका यांच्यातील राम सेतू (आदामचा पूल), भारतीय पौराणिक कथेतील पूल बांधणीचे सर्वात जुने उदाहरण आहे.

Figure 3. 1 राम सेतू / Adam's Bridge
(स्रोत: गुगल अर्थ)

2) ऐतिहासिक आणि वैज्ञानिक अभ्यास असे सूचित करतात की ही एक नैसर्गिक निर्मिती असू शकते जी प्राचीन अभियंत्यांनी सुधारली असेल.

(ब) प्राचीन भारतातील पूल (पूर्व-मध्ययुगीन युग) (Bridges in Ancient India (Pre-Medieval Era)):

1) प्राचीन ग्रंथ जसे **Arthashastra by Kautilya** पूल बांधण्याचे तंत्र आणि त्यांचे आर्थिक महत्त्व नमूद करतात.



(a) (b) (c)

Figure 3. 2 कौटिल्याच्या अर्थशास्त्रातील पुलाच्या बांधकामाचा संदर्भ
(संदर्भ: आर. शामशास्त्री यांनी इंग्रजीत अनुवादित कौटिल्यचे अर्थशास्त्र)

2) स्थानिक स्तरावर उपलब्ध असलेल्या साहित्याचा वापर करून प्राचीन काळात नद्यांवर दगडी आणि लाकडी पूल बांधले जात असत.
3) मौर्य साम्राज्याच्या काळात (ईसापूर्व चौथे शतक) उत्तम कनेक्टिव्हिटीसाठी रस्ते आणि पुलांसह पायाभूत सुविधांचा विकास झाला.
4) त्यानंतर, गुप्त काळात (चौथे ते सहावे शतक) स्थापत्य अभियांत्रिकीमध्ये लक्षणीय प्रगती झाली, ज्यामध्ये वीट आणि दगड वापरून पुलांचे बांधकाम करण्यात आले.

3.1.2 मध्ययुगीन भारतीय पुल अभियांत्रिकी (७वे-१८वे शतक) Medieval Indian Bridge Engineering (7th–18th Century):

1. मध्ययुगीन काळात, दगडी कमानी, विटांचे बांधकाम आणि लाकडी संरचना यांचा वापर करून पूल बांधले गेले.
2. मुघल काळ (16वे-18वे शतक):
   a) मुघल शासकांनी यमुना नदीवरील मुघल पूल यांसारखे अनेक दगडी पूल उभारले.
   b) या पुलांच्या रचनेवर पर्शियन आणि भारतीय स्थापत्यशैलींचा ठसा दिसून येतो.

(a)

(b)

(C)

Figure 3. 3 मुघल काळात बांधलेले पूल
(Figure (a) स्रोत: मुघल ब्रिज बद्दल शीर्ष 10 उल्लेखनीय तथ्ये - डिस्कव्हर वॉक ब्लॉग)
(Figure (b) आणि Figure (c) स्रोत: लाल किल्ल्याच्या भिंतीवर पाणी आल्याने यमुनेने जुना मार्ग परत मिळवला. इतिहासकारांना काय वाटते - दिल्ली बातम्या | इंडिया टुडे)

3.1.3 वसाहती युग (18वे-20वे शतक) Colonial Era (18th–20th Century):

1) ब्रिटीश अभियंत्यांनी आधुनिक पूल बांधकाम तंत्रे सादर केली, जसे की:
   a) लोखंडी आणि पोलादी पूल
   b) कॅन्टिलिव्हर आणि ट्रस ब्रिज

2) प्रमुख रेल्वे पूल बांधण्यात आले, जसे:
   a) **हावडा ब्रिज (Howrah Bridge) (1943)** - कोलकात्यातील हुगळी नदीवरील कॅन्टीलिव्हर पूल.

Figure 3. 4 हावडा ब्रिज
(संदर्भ: गुगल अर्थ)

b) **गोदावरी पूल (Godavari Bridge) (1900, 1974 मध्ये पुनर्निर्मित)** – सर्वात लांब रेल्वे-सह-रोड पुलांपैकी एक.

Figure 3. 5 गोदावरी पूल
(संदर्भ: गुगल अर्थ)

3.1.4 स्वातंत्र्योत्तर कालखंड आणि आधुनिक ब्रिज अभियांत्रिकी (20 वे शतक - वर्तमान) Post-Independence Era & Modern Bridge Engineering (20th Century – Present):

1) स्वातंत्र्यानंतर, भारताने ब्रिज इंजिनीअरिंगमध्ये वेगाने प्रगती केली प्रबलित काँक्रीट (reinforced concrete (RCC)), प्रीस्ट्रेस्ड काँक्रीट (prestressed concrete) आणि केबल-स्टेड पूल (cable-stayed bridges).

2) **उल्लेखनीय आधुनिक पूल (Notable modern bridges):**
   a) **वांद्रे-वरळी सी लिंक (मुंबई)** - भारतातील पहिला केबल-स्टेड पूल (2009).

(a) बांधकाम करण्यापूर्वी

(b) बांधकामादरम्यान

(c) बांधकामानंतर

Figure 3. 6 वांद्रे-वरळी सी लिंक (मुंबई)
(स्रोत: Google Earth आणि Google Earth Pro)

b) **बोगीबील पूल (आसाम, 2018)** - भारतातील सर्वात लांब रेल्वे-सह-रोड पूल.

Figure 3. 7 बोगीबील पूल
(स्रोत: विश्वास कुमार त्यागी सीनियर प्रोफेसर/ब्रिज-II IRICEN)

c) **चिनाब ब्रिज (जम्मू आणि काश्मीर, 2022)** - जगातील सर्वात उंच रेल्वे पूल.

Figure 2. 46 चिनाब पूल: जगातील सर्वात उंच रेल्वे पूल.
(स्रोत: Google Earth आणि Google Earth Pro)

3.1.5 आधुनिक पूल अभियांत्रिकीमध्ये IKS चे समाकलन (Integration of IKS in Modern Bridge Engineering):

1. **पारंपारिक ज्ञानाचा वापर (Use of Traditional Knowledge):**
   a) प्राचीन भारतीय अभियांत्रिकी संकल्पना, जसे की स्थानिक साहित्याचा प्रभावी वापर आणि नैसर्गिक पूर व्यवस्थापन तंत्र, पुन्हा शोधून वापरल्या जात आहेत.
2. **शाश्वत आणि पर्यावरणास अनुकूल बांधकाम (Sustainable and Eco-friendly Construction):**
   a) पारंपारिक पद्धतींनी प्रेरित आधुनिक पुलांमध्ये जिओपॉलिमर काँक्रीट, बांबूचे मजबुतीकरण आणि पर्यावरणास संवेदनशील डिझाईन्सचा समावेश केला जात आहे.

3.2 पुलांचे वर्गीकरण (Classification of bridges):

स्पॅन, उद्देश, साहित्य, आयुर्मान, अलाइनमेंट, उच्च पूर पातळी (H.F.L), लोडिंग आणि पुलाच्या मजल्याची पातळी यासह विविध पॅरामीटर्सच्या आधारे पुलांचे वर्गीकरण केले जाऊ शकते.

Table 3. 1 पुलांचे वर्गीकरण (Classification of Bridges)

Sl. No.	Main classification	Sub classification
1.	Function	Foot; Road; Railway; Road-cum-rail; Pipe line; Water conveying (aqueduct); Jetty (Port)
2.	Material	Stone; Brick; Stone; Timber; Steel; Concrete; Composite; Aluminium; Fibre
3.	Form	Slab; Beam; Arch; Truss; Suspension; Cable supported)
4.	Type of support	Simply supported; Continuous; Cantilever
5.	Position of floor/ deck	Deck; Through: Semi through
6.	Usage	Temporary; Permanent; Service (Army)
7.	With respect to water level	Causeway; Submersible; High level (normal case)
8.	Grade separators	Road-over; Road under (sub way); Fly over (Road over road)
9.	With respect to connections (Type of jointing)	Pin jointed; riveted/ bolted; Welded
10.	Movable bridges (over navigation channels)	Bascule, (Plate1.14) Lifting, Swing (Plate 1.15)
11.	Temporary bridges	Pontoon, Bailey, Callender-Hamilton, Light alloy portable bridges developed by the Army

(स्रोत: एस. पोन्नुस्वामी, टाटा मॅकग्रॉ-हिल पब्लिशिंग कंपनी लिमिटेड, नवी दिल्ली यांचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

3.2.1. स्पॅनवर आधारित वर्गीकरण (Classification Based on Span)

सपोर्ट्समधील लांबीच्या आधारे पुलांचे वर्गीकरण खालीलप्रमाणे केले जाते:

1. **कल्व्हर्ट (Culverts):** 6 मीटरपेक्षा कमी अंतर असलेले.
2. **किरकोळ पूल (Minor Bridges):** 6 ते 30 मीटर दरम्यानचे अंतर असलेले.
3. **प्रमुख पूल (Major Bridges):** 30 मीटरपेक्षा जास्त अंतर ओलांडणारे.
4. **लांब-स्पॅन पूल (Long-Span Bridges):** 120 मीटरपेक्षा जास्त अंतर ओलांडणारे, जसे की निलंबन (suspension) पूल किंवा केबल-स्टेड पूल (cable-stayed bridges).

3.2.2. उद्देशावर आधारित वर्गीकरण (Classification Based on Purpose)

वापरानुसार पुलांचे विविध कार्ये पुढीलप्रमाणे आहेत:

1. **रस्त्यावरील पूल (Road Bridges):** वाहने आणि रहदारीच्या प्रवासासाठी डिझाइन केलेले.
2. **रेल्वे पूल (Railway Bridges):** विशेषतः रेल्वे मार्गांच्या प्रवासासाठी बनवलेले.
3. **फूटब्रिज (पादचारी पूल) (Footbridges (Pedestrian Bridges)):** पादचाऱ्यांना नद्या, रेल्वे किंवा रस्ते ओलांडण्यासाठी तयार केलेले.
4. **पाइपलाइन पूल (Pipeline Bridges):** पाणी, वायू किंवा तेलाच्या वाहतुकीसाठी पाइपलाइन वाहून नेणारे.
5. **जलवाहिनी पूल (Aqueduct Bridges):** दऱ्या, रस्ते किंवा इतर अडथळ्यांवरून पाण्याचा प्रवाह वाहून नेणारे.
6. **वायडक्ट्स (Viaducts):** डोंगराळ प्रदेशात विविध ठिकाणांना जोडणारे अनेक स्पॅन असलेले लांब पूल.
7. **उड्डाणपूल आणि ओव्हरब्रिज (Flyovers & Overbridges):** शहरी भागात वाहतूक कोंडी कमी करण्यासाठी वापरले जाणारे.

3.2.3. सामग्रीवर आधारित वर्गीकरण (Classification Based on Material)

संरचनात्मक गरजांनुसार विविध साहित्य वापरून पूल बांधले जातात:

1. **लाकडी पूल (Timber Bridges):** लाकडापासून तयार केलेले, प्रामुख्याने तात्पुरते किंवा ग्रामीण भागातील पुलांसाठी वापरले जातात.
2. **दगडी पूल (Stone Bridges):** दगडी बांधकामाने बनविलेले, विशेषतः लहान अंतरांवर वापरले जातात.
3. **वीट पूल (Brick Bridges):** प्राचीन बांधकामांमध्ये वापरलेले, सध्या अत्यल्प प्रमाणात वापरले जातात.
4. **काँक्रीट पूल (Concrete Bridges):**
   a) **प्रबलित काँक्रीट पूल (Reinforced Concrete Bridges (RCC)):** मध्यम अंतरांवर वापरले जाणारे सर्वात सामान्य प्रकार.
   b) **प्रीस्ट्रेस्ड काँक्रीट पूल (Prestressed Concrete Bridges):** मोठ्या स्पॅनसाठी योग्य.
5. **स्टील पूल (Steel Bridges):** उच्च सामर्थ्याच्या संरचना, रेल्वे पूल आणि लांब अंतरांवर वापरले जातात.
6. **संमिश्र पूल (Composite Bridges):** स्टील, काँक्रीट किंवा इतर साहित्यांचा मिलाफ करून तयार केलेले, अधिक ताकद आणि टिकाऊपणासाठी वापरले जातात.

3.2.4. आयुर्मानावर आधारित वर्गीकरण (Classification Based on Life Expectancy)

पुलांचे वर्गीकरण त्यांच्या अपेक्षित सेवा जीवनानुसार केले जाते:

1. **तात्पुरते पूल (Temporary Bridges):** अल्पकालीन वापरासाठी डिझाइन केलेले, जसे की बेली ब्रिज (Bailey bridges).
2. **अर्ध-स्थायी पूल (Semi-Permanent Bridges):** मध्यम कालावधीच्या वापरासाठी बनवलेले, ज्यांना नियमित देखभाल आवश्यक असू शकते.
3. **कायमस्वरूपी पूल (Permanent Bridges):** योग्य देखरेखीसह 100 वर्षांपेक्षा जास्त काळ टिकण्यासाठी डिझाइन केलेले मजबूत पूल.

3.2.5. अलाइनमेंट वर आधारित वर्गीकरण (Classification Based on Alignment)

1) **सरळ पूल (Straight Bridges)**: डेक सरळ मार्गाने अलाइन आहे.
2) **स्क्यू ब्रिजेस (Skew Bridges)**: पूल 90° पेक्षा इतर कोनात ओलांडतो.
3) **कर्व पूल (Curved Bridges)**: अनेकदा शहरी उड्डाणपुलांमध्ये डेक वक्र रेखांकन (कर्व अलाइनमेंट) केले जाते.

3.2.6. उच्च पूर पातळी (H.F.L) वर आधारित वर्गीकरण (Classification Based on High Flood Level (H.F.L))

1) **सबमर्सिबल पूल (Submersible Bridges)**: पुराच्या वेळी पाण्याखाली जाण्यासाठी डिझाइन केलेले (निम्न-स्तरीय पूल).
2) **नॉन-सबमर्सिबल पूल (Non-Submersible Bridges)**: बुडणे टाळण्यासाठी H.F.L च्या वर बांधलेले.

3.2.7. लोडिंग क्षमतेवर आधारित वर्गीकरण (Classification Based on Loading Capacity)

वाहून नेणाऱ्या भारांच्या आधारावर पुलांचे वर्गीकरण केले जाते:

1) **वर्ग अ पुल (Class A Bridges)**: अवजड वाहनांच्या रहदारीसाठी (महामार्ग (highways), द्रुतगती मार्ग (expressways)) डिझाइन केलेले.

2) **वर्ग ब पूल (Class B Bridges)**: मध्यम वाहतूक भारांसाठी योग्य.
3) **वर्ग क पूल (Class C Bridges)**: हलकी वाहने, पादचारी आणि ग्रामीण रस्त्यांसाठी वापरले जाते.
4) **रेल्वे लोडिंग पूल (Railway Loading Bridges)**: ट्रेन लोडसाठी रेल्वे मानकांनुसार (standards) डिझाइन केलेले.

3.2.8. ब्रिज फ्लोअरच्या स्तरावर आधारित वर्गीकरण (Classification Based on Level of Bridge Floor)

1. **उच्चस्तरीय पूल (High-Level Bridges):** पूर पातळीच्या वर उभारलेले, जेणेकरून वाहतुकीचा प्रवाह सुरळीत राहील.
2. **निम्नस्तरीय पूल (Low-Level Bridges):** पाण्याच्या पातळीच्या जवळ बांधलेले, ज्यामुळे पुराच्या वेळी ते पाण्याखाली जाऊ शकतात.

3.3 साइट निवड आणि तपासणी प्रभावित करणारे आणि नियंत्रित करणारे घटक (Site selection and investigation Factors affecting and controlling):

पुलाच्या यशस्वी बांधकामासाठी योग्य स्थळाची निवड आणि तपासणी (investigation) करणे अत्यावश्यक आहे. संरचनेची स्थिरता (structural stability), आर्थिक व्यवहार्यता (economic feasibility) आणि दीर्घकालीन कार्यक्षमता (long-term functionality) सुनिश्चित करण्यासाठी विविध घटक साइट निवड आणि पुलाच्या संरेखनावर परिणाम करतात.

3.3.1 पुलासाठी साइट (Site for Bridge):

पुलासाठी जागेची निवड ही भूवैज्ञानिक, जलशास्त्रीय, पर्यावरणीय आणि आर्थिक घटकांसह विविध घटकांवर अवलंबून असते.

(A) भूगर्भीय घटक (Geological Factors):

1. **पाया स्थिरता (Foundation Stability):** पुलाच्या भारांना आधार देण्यासाठी साइटवरील माती किंवा खडक मजबूत आणि स्थिर असावा.
2. **मातीचा प्रकार (Soil Type):** सैल वाळू (loose sand), चिकणमाती (clay) किंवा कुजलेले वनस्पतिजन्य पदार्थ यांसारख्या कमजोर मातीपासून बचाव करणे आवश्यक आहे, कारण यामुळे सेटलमेंट (settlement) किंवा पाया निकामी होऊ शकतो (foundation failure).
3. **भूकंप विचार (Seismic Considerations):** भूकंप-प्रवण भागात (earthquake-prone areas), भूकंप सुरक्षिततेसाठी आणि योग्य पाया डिझाइनसाठी साइटचे काटेकोर मूल्यांकन करणे आवश्यक आहे.

(B) जलविज्ञान घटक (Hydrological Factors):

1. **नदीचे वर्तन (River Behaviour):** भविष्यात होणारे नुकसान टाळण्यासाठी नदीच्या प्रवाहाचे नमुने (flow patterns), खोलीतील बदल (depth variations) आणि संभाव्य वळण (meandering) यांचा सखोल अभ्यास करावा.
2. **उच्च पूर पातळी (High Flood Level (H.F.L)):** बुडण्यापासून बचाव करण्यासाठी पुलाचा डेक (bridge deck) सर्वात जास्त नोंदलेल्या पूर पातळीपेक्षा वर असावा.
3. **खोली घासणे (Scour Depth):** पाण्याच्या प्रवाहामुळे पुलाच्या पायाभोवती धूप (erosion) होण्याची खोली बिघडू नये म्हणून विचारात घेतली पाहिजे.

4. **अवसादन (Sedimentation):** पुलाच्या स्थिरतेवर आणि पाण्याच्या प्रवाहावर परिणाम होऊ नये म्हणून अतिरिक्त गाळ (silt) आणि कचरा (debris) साचण्याचे निरीक्षण करणे आवश्यक आहे.

(C) पर्यावरण आणि हवामान घटक (Environmental and Climatic Factors):

1. **वारा आणि वादळांचा प्रभाव (Wind and Storm Effects):** किनारी भाग किंवा चक्रीवादळ-प्रवण प्रदेशातील (cyclone-prone areas) पुलांची रचना तीव्र वाऱ्याच्या दाबाचा प्रतिकार करण्यासाठी सक्षम असावी.
2. **तापमानातील बदल (Temperature Variations):** थर्मल विस्तार (Thermal expansion) आणि आकुंचन (contraction) यांचा विचार करणे अत्यंत आवश्यक आहे, विशेषतः अत्यंत तापमान (extreme climates) असलेल्या प्रदेशांमध्ये.
3. **पर्यावरणीय परिणाम (Environmental Impact):** नैसर्गिक अधिवास (natural habitats), जंगले आणि जलचर परिसंस्थांवर (aquatic ecosystems) होणारे नुकसान कमी करण्यासाठी योग्य साइटची निवड करणे महत्त्वपूर्ण आहे.

(D) आर्थिक आणि सामाजिक विचार

1. **प्रवेशयोग्यता (Accessibility):** पुलाने मुख्य रस्ते, शहरे किंवा महत्त्वपूर्ण व्यापारी मार्गांशी परिणामकारकपणे जोडलेले असावे.
2. **बांधकाम खर्च (Cost of Construction):** साइटची निवड अशी असावी की उत्खनन, भूसंपादन आणि साहित्य वाहतुकीवरील खर्च कमी करता येईल.
3. **साहित्य उपलब्धता (Availability of Materials):** सिमेंट, पोलाद आणि समुच्चय यांसारख्या बांधकाम साहित्याच्या जवळ असण्यामुळे खर्चात बचत होते.
4. **पुनर्वसन समस्या (Resettlement Issues):** विस्थापन आणि नुकसान भरपाईच्या खर्चात बचत करण्यासाठी साइटने दाट लोकवस्ती असलेले भाग टाळावेत.

(E) कायदेशीर आणि प्रशासकीय घटक (Legal and Administrative Factors)

1. **भूसंपादन (Land Acquisition):** जागा निवडण्यापूर्वी सरकारी मान्यता मिळवणे आणि जमिनीच्या मालकीशी संबंधित समस्यांचे योग्य निराकरण करणे आवश्यक आहे.
2. **प्राधिकरणाची परवानगी (Permission from Authorities):** पर्यावरणीय संस्था, स्थानिक प्रशासन आणि रेल्वे (लागू असल्यास) कडून आवश्यक मंजुरी घेणे आवश्यक आहे.

3.3.2 ब्रिज अलाइनमेंट (Bridge Alignment)

ब्रिज अलाइनमेंट म्हणजे नदी, रस्ता किंवा खोऱ्याच्या सापेक्ष पुलाचे अभिमुखता आणि स्थिती. योग्य अलाइनमेंट संरचनाची कार्यक्षमता, सुरक्षितता आणि टिकाऊपणा सुनिश्चित करते.

1. पुलाच्या अलाइनमेंट वर परिणाम करणारे घटक (Factors Affecting Bridge Alignment)

1) **लंबवत क्रॉसिंग (Perpendicular Crossing)**: लांबी कमी करण्यासाठी आणि बांधकाम खर्च कमी करण्यासाठी पुलाने आदर्शपणे 90° वर नदी ओलांडली पाहिजे.
2) **वाहतूक प्रवाह (Traffic Flow)**: सुरळीत संक्रमण (ट्रान्झिशन) प्रदान करण्यासाठी अलाइनमेंट विद्यमान रस्ते किंवा रेल्वे मार्गांशी जुळले पाहिजे.
3) **किमान वक्रता (कर्वेचर) (Minimum Curvature)** : स्ट्रक्चरवर ताण आणि परिधान कमी करण्यासाठी कर्व अलाइनमेंट टाळले पाहिजे.

4) **हायड्रॉलिक कार्यक्षमता (Hydraulic Efficiency)**: धूप आणि अवसादन समस्या टाळण्यासाठी अलाइनमेंट ने नैसर्गिक पाण्याच्या प्रवाहात अडथळा आणू नये.

2. ब्रिज अलाइनमेंटसाठी नियंत्रण घटक (Controlling Factors for Bridge Alignment):

1) **भौगोलिक वैशिष्ट्ये (Geographical Features)**: अलाइनमेंट ने टेकड्या, खडक आणि खोल दरी यासारखे अडथळे टाळावेत.
2) **विद्यमान पायाभूत सुविधा (Existing Infrastructure)**: पूल जवळचे रस्ते, रेल्वे आणि शहरी नियोजन मांडणीसह संरेखित असावा.
3) **आर्थिक व्यवहार्यता (Economic Feasibility)**: थेट आणि लहान अलाइनमेंट सामग्री आणि बांधकाम खर्च कमी करते.
4) **पर्यावरणीय मर्यादा (Environmental Constraints)**: अलाइनमेंट ने संवेदनशील पर्यावरणीय क्षेत्रे, संरक्षित क्षेत्रे किंवा ऐतिहासिक स्थळे टाळली पाहिजेत.

3.4 महत्त्वाच्या तांत्रिक अटी (Important technical terms):

योग्य नियोजन, डिझाइन आणि देखभालीसाठी पुलाच्या बांधकामातील तांत्रिक संज्ञा समजून घेणे आवश्यक आहे. खाली काही प्रमुख संज्ञा आणि त्यांच्या व्याख्या आहेत:

3.4.1 जलमार्ग (Waterway)

1) नदी किंवा वाहिनीची एकूण रुंदी जी पुलाखाली पाणी सुरक्षितपणे जाण्यासाठी आवश्यक आहे.
2) येथे मोजले जाते **उच्च पूर पातळी (HFL)** आणि ब्रिज स्पॅनची संख्या आणि आकार निर्धारित करते.
3) जलमार्गाची योग्य रचना पुरापासून बचाव करते आणि संरचनात्मक नुकसान कमी करते.

उदाहरण: रुंद नदीवरील पुलासाठी लहान प्रवाहाच्या तुलनेत मोठ्या जलमार्गाची आवश्यकता असेल.

3.4.2 आर्थिक स्पॅन (Economic Span)

1) समतोल राखणारी सर्वात किफायतशीर **स्पॅन बांधकाम खर्च** आणि **संरचनात्मक स्थिरता (structural stability)**.
2) खूप लहान असलेला स्पॅन पायर्सची संख्या वाढवतो, खर्च वाढवतो, तर खूप लांब अंतरामुळे सामग्री आणि डिझाइनची जटिलता वाढते.

उदाहरण: प्रबलित काँक्रीट पुलासाठी, आर्थिक कालावधी असू शकतो **20-25 मीटर**, तर स्टील ब्रिजसाठी, ते जास्त लांब असू शकते.

3.4.3 पाण्याचा प्रवाह (ओघ) (Afflux)

जेव्हा पूल बांधला जातो, तेव्हा ॲब्यूटमेंट्स आणि पिअर्स सारख्या संरचनांमुळे नैसर्गिक जलमार्गाचे क्षेत्र कमी होते. प्रवाहाचे आकुंचन करणे इष्ट आहे कारण यामुळे खर्चात मूर्त बचत होते विशेषत: ज्यांच्या पृष्ठभागाची नैसर्गिक रुंदी स्थिरतेसाठी आवश्यक आहे त्यापेक्षा जास्त आहे. त्यामुळे जास्तीत जास्त पूर वाहून नेण्यासाठी पुलाखालील वेग वाढतो. या वाढलेल्या वेगामुळे ओढ्याच्या वरच्या बाजूने पाण्याचा अचानक शिरकाव होतो. प्रवाहाच्या वरच्या बाजूने पाणी वर येण्याच्या घटनेला "**ओघ"**

पुलाच्या खालच्या बाजूने प्रवाह जितका जास्त असेल तितका वेग जास्त असेल आणि घासण्याची खोली जास्त असेल आणि परिणामी पायाची खोली जास्त असेल.

1) **पाण्याच्या पातळीत वाढ** पुलाच्या वरच्या बाजूस खांब आणि खांबामुळे निर्माण झालेल्या अडथळ्यामुळे.
2) पुलाच्या डिझाईनमध्ये हा एक महत्त्वाचा घटक आहे कारण अतिप्रवाहामुळे होऊ शकते **पूर आणि धूप**.

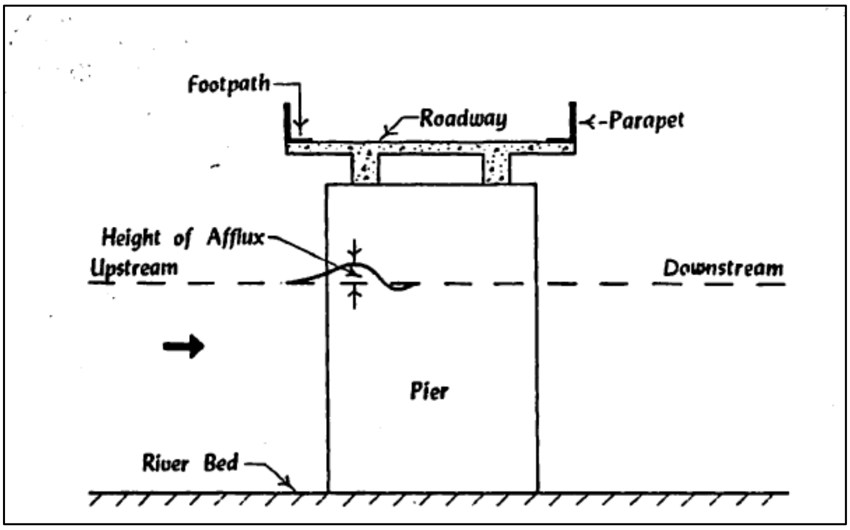


Figure 3. 8 प्रवाह/ओघ
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

सूत्र:

$$Aflux = Hf - Ho$$

येथे :
Hf = पूल बांधल्यानंतर पाण्याची पातळी
Ho = पूल बांधण्यापूर्वी मूळ पाण्याची पातळी

उदाहरण: जर एखाद्या पुलाने उर्ध्व पाण्याची पातळी 0.5 मीटरने वाढवली, तर प्रवाह 0.5 मीटर आहे.

3.4.4 घासणे/स्कॉरिंग (scouring)

(a) स्कॉरिंग

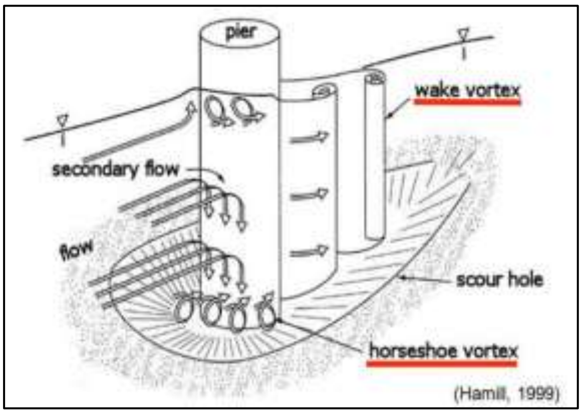
(b) एका पुलाचे निकामी होणे

Figure 3. 9 स्कॉरिंग
(स्रोत: ब्रिज स्कॉर, व्हिक्टर एम. पोन्स)

1) वेगाने वाहणाऱ्या पाण्याच्यामुळे **माती, वाळू किंवा खडक** पुलाच्या खांबाच्या आजूबाजूला काढणे.
2) जास्त **स्कॉरिंगमुळे (scouring) पाया अपयश** होऊ शकते.

स्कॉरिंगचे प्रकार (Types of Scouring):

a) **स्थानिक स्कॉर** (**Local Scour**): piers आणि ॲबटमेंट जवळ.



(a) (a)

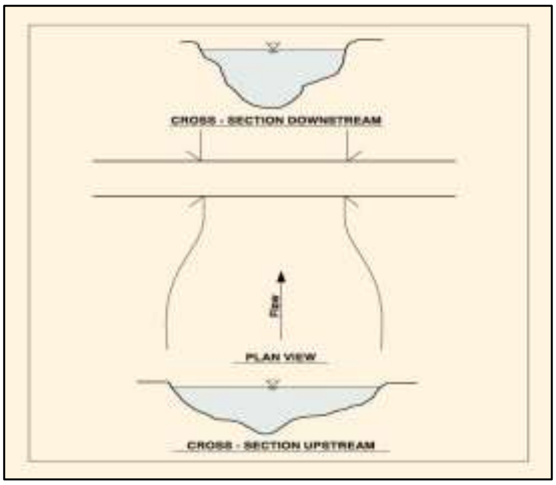
Figure 3. 10 स्थानिक स्कॉर
(स्रोत: घासणे म्हणजे काय? - पिअर म्यान)

b) **जनरल स्कॉर (General Scour):** संपूर्ण नदीपात्रात आढळते.

(अ) (ब)

Figure 3. 11 सामान्य तपासणी
(स्रोत: ब्रिज स्कॉर, व्हिक्टर एम. पोन्स)

c) **आकुंचन स्कॉर (Contraction scour):** पुलाखालील अरुंद जलवाहिनीमुळे.



(अ) (ब)

Figure 3. 12 आकुंचन स्कॉर
(स्रोत: ब्रिज स्कॉर, व्हिक्टर एम. पोन्स)

उदाहरण: स्कॉर टाळण्यासाठी, खोलीची गणना केली जाते आणि संरक्षणासाठी रिपरॅप किंवा एप्रन बसवले जातात.

(अ) (ब) (c)

Figure 3. 13 स्काउअरिंग प्रोटेक्शन ऍप्रन

(स्रोत: ब्रिज ॲबटमेंट स्कॉर प्रोटेक्शन सोल्युशन्स | सिंथेटेक्स)

3.4.5 क्षरण (Erosion)

1) पाण्याच्या प्रवाह, वारा किंवा मानवी क्रियाकलापांमुळे नदीकाठ किंवा नदीचे पात्र हळूहळू झिजणे.
2) धूप पुलाच्या पायाची स्थिरता बिघडवू शकते आणि संरचनात्मक बिघाडास कारणीभूत ठरू शकते.

उदाहरण: ज्या भागात उच्च धूप आहे, तिथे मातीचे नुकसान नियंत्रित करण्यासाठी संरक्षक भिंती, जिओटेक्स्टाइल किंवा वनस्पतींचा वापर करून पूल बांधणे आवश्यक आहे.

3.4.6 फ्रीबोर्ड (Freeboard)

1) उच्च पूर पातळी (HFL) आणि पुलाच्या डेकमधील अनुलंब मंजुरी (vertical clearance).
2) हे सुनिश्चित करते की पुराचे पाणी पुलाच्या संरचनेला स्पर्श करणार नाही.
3) मानक फ्रीबोर्ड मूल्ये:
   a) महामार्गांसाठी: 0.6 ते 1.5 मी
   b) रेल्वेसाठी: 1.2 ते 2.5 मी

उदाहरण: पूरप्रवण नदीवरील (flood-prone river) पुलावर अतिप्रचंड पूर पातळी सामावून घेण्यासाठी उच्च फ्रीबोर्ड असेल.

3.4.7 कट वॉटर (Cut Water)

1) पुलाच्या खांबाचा वरच्या बाजूचा टोकदार भाग पाण्याच्या प्रवाहाला विभागण्यासाठी डिझाइन केला जातो, ज्यामुळे प्रतिकार कमी होतो आणि स्कॉर कमी होतो.
2) हे खांबावर येणाऱ्या पाण्याच्या शक्तीचा प्रभाव कमी करण्यास मदत करते.

उदाहरण: जुन्या दगडी आणि वीट बांधकाम पुलांमध्ये उच्च-गतीच्या पाण्याच्या प्रवाहाचा सामना करण्यासाठी त्रिकोणी किंवा अर्धवर्तुळाकार कटवॉटर असतात.

3.4.8 पाण्याची सोय करा (Ease Water)

1) पुलाच्या खांबाचा खालील बाजूचा गोलाकार भाग पाण्याला सहजतेने दूर मार्गदर्शन करतो, ज्यामुळे अशांतता आणि धूप कमी होते.
2) स्थिर पाण्याचा प्रवाह राखण्यासाठी कट वॉटरसोबत कार्य करतो.

उदाहरण: आधुनिक पूल सहसा ड्रॅग कमी करण्यासाठी आणि स्थिरता वाढवण्यासाठी पाण्याच्या डिझाइनसाठी हायड्रोडायनामिक आकारांचा (hydrodynamic shapes) वापर करतात.

3.4.9 एप्रन (Apron)

1) स्कॉरिंग आणि धूप रोखण्यासाठी पुलाच्या पायाभरणीभोवती ठेवलेले दगड, कॉंक्रिट किंवा इतर सामग्रीचे संरक्षक थर.
2) हे पाण्याची ऊर्जा शोषून घेतो आणि नदीच्या तळाला स्थिर ठेवतो.

उदाहरण: मोठ्या दगडांनी बनवलेल्या रिपरॅप एप्रनचा सामान्यत: पुलाच्या खांबाच्या तळाशी माती वाहून जाणे रोखण्यासाठी वापर केला जातो.

3.5 पुलाचे घटक भाग: कार्य, आवश्यकता आणि प्रकार (Component parts of bridge: Function, requirement, and types):

एका पुलामध्ये स्थिरता, टिकाऊपणा आणि भार वहन क्षमता सुनिश्चित करण्यासाठी विशिष्ट कार्ये असलेल्या अनेक संरचनात्मक घटकांचा समावेश असतो. खाली मुख्य पुल घटकांचे सविस्तर स्पष्टीकरण दिले आहे:

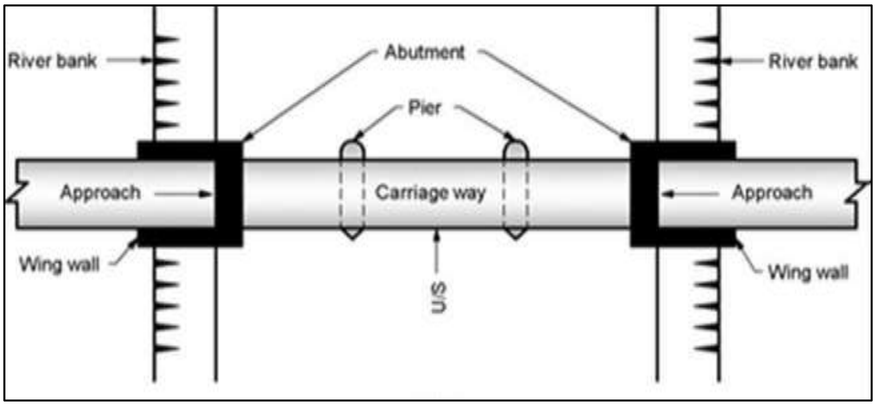


Figure 3. 14 पुलाचे सर्व घटक दर्शविणारी Figure
(स्रोत: MSBTE मॉडेल उत्तर की हिवाळी 2019)

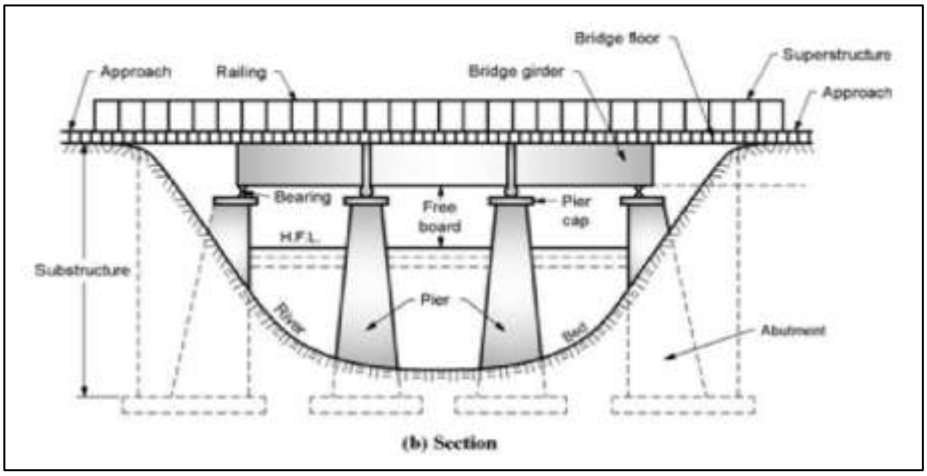


Figure 3.15 पुलाचा सेक्शन त्याचे सर्व घटक दर्शवित आहे
(स्रोत: MSBTE मॉडेल आन्सर की समर 2022)

3.5.1 पिअर (Pier)

(A) कार्य (Function)

1) पिअर ही एक उभी रचना आहे जी पुलाच्या डेकला दोन टोकांच्या दरम्यान आधार प्रदान करते.
2) ही संरचना अधिरचना (superstructure) (डेक आणि वाहने) मधून येणारा भार पायावर (foundation) हस्तांतरित करते.

(B) आवश्यकता (Requirements)

1. क्षैतिज (horizontal) आणि उभ्या (vertical) शक्तींना प्रतिकार करण्यासाठी मजबूत आणि स्थिर असणे आवश्यक आहे.
2. पाण्याच्या प्रवाहामुळे होणारे स्कॉरिंग आणि धूप सहन करण्यास सक्षम असावे.
3. पाण्याच्या प्रवाहातील अडथळा शक्य तितका कमी केला पाहिजे.

(C) पियर्सचे प्रकार

खालील सामान्यत: वापरले जाणारे पुलाचे पिअर प्रकार आहेत:

1. कॉलम बेंट्स (Column bents)
2. सिलेंडर पिअर (Cylinder piers)
3. डंब-बेल पिअर (Dumb-bell piers)
4. पाइल बेंट्स (Pile bents)
5. सॉलिड (घन) पिअर (Solid piers)
6. ट्रेसल बेंट्स (Trestle bents)

(1) कॉलम बेन्ट्स (Column bents):

पुलाच्या वरच्या रचनेचे रेखांशाचे तुळके (longitudinal beams) किंवा गर्डर्स (girders) जवळून अंतरावर असल्यास **कॉलम बेन्ट्स**चा अवलंब केला जातो. पद वाकलेला अनुलंब सदस्य आणि ब्रेसेस असलेली एक आधार देणारी फ्रेम दर्शविण्यासाठी वापरली जाते. Figure 3.16 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे अनुदैर्ध्य बीमला (longitudinal beams) आधार देण्यासाठी ट्रान्सव्हर्स बीम (transverse beams) प्रदान केले जातात आणि Figure 3.16 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आडवा बीमला आधार देण्यासाठी एका भक्कम पायावर दोन किंवा अधिक स्तंभ तयार केले जातात.

रेखांशाच्या बीममध्ये तयार केलेले खिसे गॅस पाईप्स, सीवेज पाईप्स किंवा पाण्याचे पाईप्स वाहून नेण्यासाठी वापरले जाऊ शकतात. स्तंभाचे वाकणे दगडी बांधापेक्षा हलके असतात आणि सतत स्पॅनसाठी वापरले जातात.

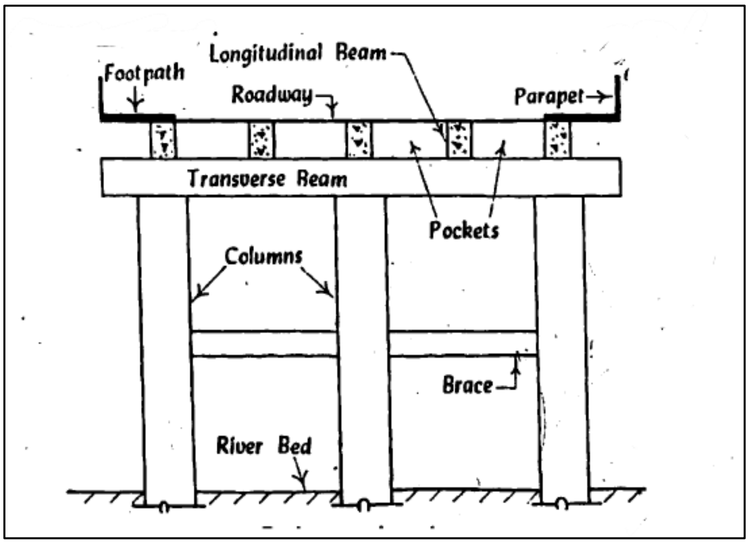


Figure 3. 16 कॉलम बेंट
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

(2) सिलेंडर पिअर्स (Cylinder piers):

सिलेंडर पिअरमध्ये Figure 3.17 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे क्षैतिज आणि कर्णरिषांनी (horizontal and diagonal bracings) जोडलेले सौम्य स्टील सिलेंडर असतात. जेव्हा पाया स्टील सिलेंडर कॅसॉन (caisson) प्रकारचा असतो तेव्हा हे पायर्स घेतले जातात. कॉंक्रिट स्टील सिलिंडरमध्ये बुडवल्यानंतर ओतले जाते आणि योग्य बेअरिंगद्वारे ते पुलाच्या गर्डरना आधार देतात.

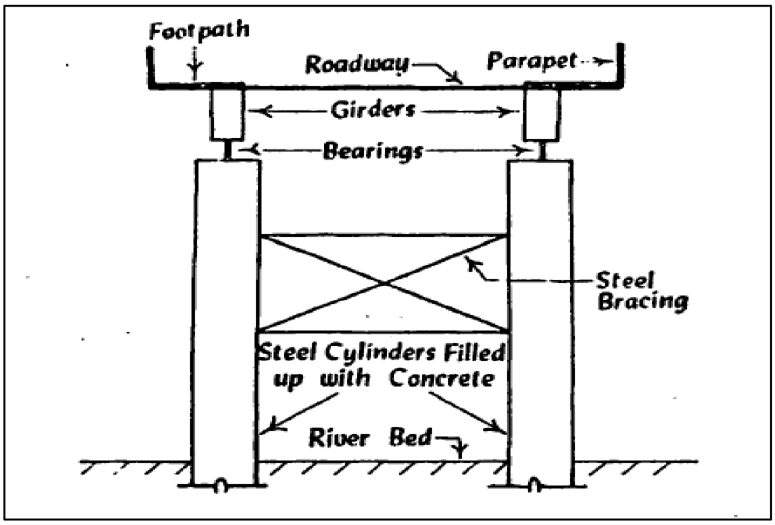


Figure 3. 17 सिलेंडर पियर्स
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

(3) डंब-बेल पायर्स (Dumb-bell piers):

डंब-बेल पिअरला वरून पाहिल्यास त्याचे रूप डंब-बेलसारखे दिसते, म्हणजेच व्यायामासाठी वापरले जाणारे वजन. हा प्रकार तेव्हा अवलंबला जातो जेव्हा पुलाची अधिरचना जुळ्या गर्डरवर आधारलेली असते. प्रत्येक गर्डरखाली एक स्तंभ दिला जातो आणि हे स्तंभ त्यांची उंचीभर पातळ डायफ्राम भिंतीने जोडलेले असतात, जसे की Figure 3.18 मध्ये दाखवले आहे.

डंब-बेल पिअरचे फायदे खालीलप्रमाणे आहेत:

(i) त्याच्या वस्तुमानाच्या तुलनेत, डंब-बेल पिअर जास्तीत जास्त जडत्व क्षण (Moment of Inertia) प्रदान करतो.

(ii) डंब-बेल पिअरची रचना साधी असते आणि त्यामुळे हलक्या मजबुतीकरणाची आवश्यकता असते.

(iii) ठोस कॉंक्रिट पिअरच्या तुलनेत हे वजनाने हलके असतात.

(iv) जेव्हा विहिरीच्या पायाचे फाउंडेशन (Well Foundations) वापरले जातात, तेव्हा हे अतिशय योग्य असतात.

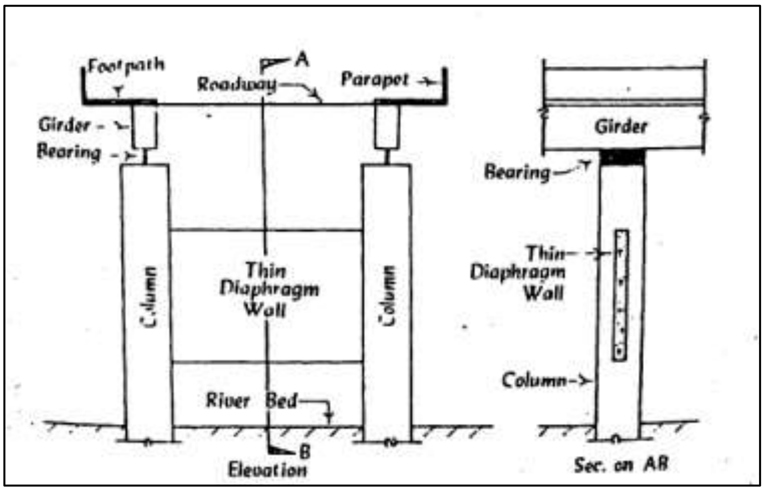


Figure 3. 18 डंब-बेल पायर्स

(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

(4) पाइल बेंट्स (Pile bents):

पाइल बेंटच्या बाबतीत, पुलाच्या अधिरचनांचे गर्डर RCC किंवा स्टील पाइल्सवर आधारलेले असतात. पाइलच्या वरच्या टोकाला जोडण्यासाठी पाइल कॅप दिले जाते आणि त्यांची उंचीभर योग्यरित्या ब्रेसिंग (आधार) केली जाते, जसे की Figure 3.19 मध्ये दाखवले आहे. पाइल बेंट्स अस्थिर किंवा चिखलयुक्त जमिनीवर कमी उंचीच्या पिअरसाठी वापरले जातात.

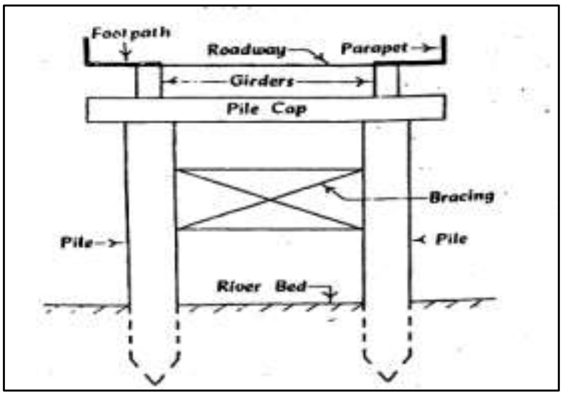


Figure 3. 19 पाइल बेंट्स

(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

(5) सॉलिड (घन) पिअर (Solid piers):

सॉलिड पिअरच्या बाबतीत, पिअर संपूर्ण लांबीभर घन विभागांच्या दगडी बांधकाम किंवा सिमेंट कॉंक्रिटने बनलेले असतात. अशा प्रकारच्या पिअरचे बांधकाम पुलांच्या बांधकामात खूप लोकप्रिय आहे, मुख्यतः दोन कारणांसाठी:

(i) हे पुलाच्या कोणत्याही प्रकारच्या अधिरचनेसाठी वापरता येते.
(ii) हे तरंगणाऱ्या वस्तूंच्या क्रियांना उत्कृष्ट प्रतिकार प्रदान करते.

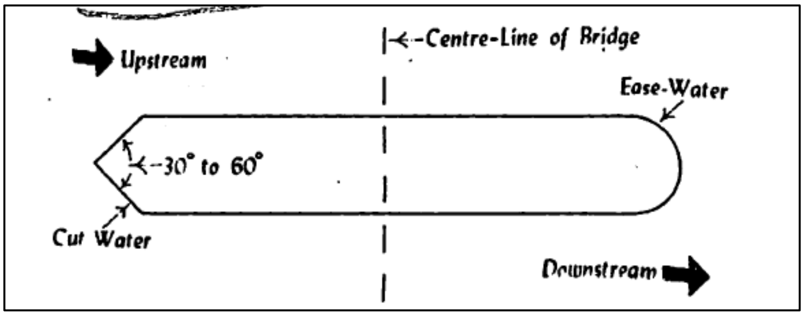


Figure 3. 20 पाणी कापून पाणी सोपे करा
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

(6) ट्रेसल बेंड्स (Trestle bents):

ट्रेस्टल हा एक फ्रेम केलेला पिअर आहे आणि तो उभ्या, आडव्या आणि तिरक्या घटकांनी बनलेला असतो, जसे की Figure 3.21 मध्ये दाखवले आहे. ट्रेस्टल बेंट्स स्टील किंवा कॉंक्रिटचे असू शकतात, ज्यामध्ये स्टीलचे वापर जास्त प्रमाणात आढळतो. ट्रेस्टल बेंट्सचा उपयोग विशेषतः व्हायाडक्ट्ससह पुलांचे पिअर तयार करण्यासाठी किंवा उड्डाणपूल आणि उंच रस्त्यांच्या बांधकामासाठी केला जातो.

नदीचे पात्र किंवा पाण्याचा प्रवाह नसलेली खोल दरी याला व्हायाडक्ट म्हणतात. मोठ्या उंचीचे आणि अरुंद रस्त्याचे ट्रेस्टल बेंट्स अतिरिक्त स्थिरतेसाठी सहसा तिरपे केलेले असतात, जसे की Figure 3.21 मध्ये दाखवले आहे. तळाशी असलेला रुंद पाया वाऱ्याच्या दाबाचा अधिक चांगल्या प्रकारे प्रतिकार करतो. ही झुकावाची कोन 1:4 ते 1:8 म्हणजेच प्रति मीटर उंचीला 250 मिमी ते 125 मिमी इतकी असते.

ट्रेस्टल बेंट्स फक्त त्या ठिकाणी योग्य असतात जिथे वाहिनीचे तळभाग (चॅनेल बेड) पुरेसा ठोस असतो आणि खडकाळ तळावर वेगवान प्रवाहासाठी योग्य नसतो. हे स्कॉर निर्माण करतात, ज्याला तळभागावर पिचिंग प्रदान करून कमी करता येते. सॉलिड पिअरसारख्या प्रकारांपेक्षा हे कमी स्थिर असतात.

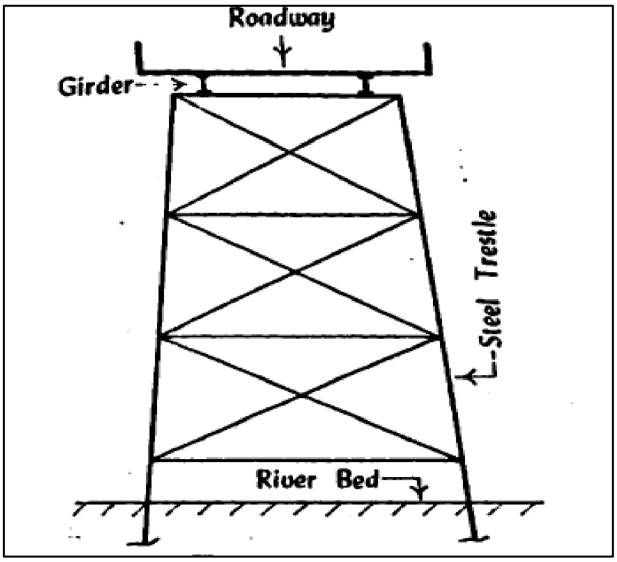


Figure 3. 21 ट्रेस्टल बेंट
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

3.5.2 ॲबटमेंट (Abutment)

(A) कार्य (Function)

1) ॲबटमेंट येथे संरचना आहेत **पुलाचे टोक** जे डेकच्या भाराला समर्थन देतात आणि दृष्टीकोनातील तटबंध टिकवून ठेवतात.
2) ते पुलावरून जमिनीवर भार हस्तांतरित करतात आणि स्थिरता प्रदान करतात.

(B) आवश्यकता (Requirements)

1) राखून ठेवलेल्या मातीपासून पार्श्वभूमीच्या दाबाचा प्रतिकार केला पाहिजे.
2) पुलाच्या डेकला मजबूत अँकरेज प्रदान केले पाहिजे.
3) इरोशन आणि सेटलमेंटसाठी प्रतिरोधक असावे.

(C) ॲबटमेंट चे प्रकार (Types of Abutments)

1) **स्टब ॲबटमेंट (Stub Abutment) -** जेव्हा तटबंदी जास्त असते तेव्हा लहान ॲबटमेंट वापरले जाते.
2) **पूर्ण-उंची ॲबटमेंट (Full-Height Abutment) -** जमिनीपासून पुलाच्या डेक पातळीपर्यंत विस्तारते.
3) **स्पिल-थ्रू एबटमेंट (Spill-through Abutment) -** संरचनेतील छिद्रांमधून पाणी किंवा हवा जाऊ देते.
4) **काउंटरफोर्ट ॲबटमेंट (Counterfort Abutment) -** अतिरिक्त ताकदीसाठी उभ्या स्लॅबसह मजबूत केले.

3.5.3 विंग वॉल (Wing Wall)

(A) कार्य (Function)

विंग वॉल आहेत ॲबटमेंट **च्या विस्तार** आणि जे पुलावर माती सांडण्यापासून रोखतात आणि तटबंदीचे धूप होण्यापासून संरक्षण **विंग वॉल** करतात.

(B) आवश्यकता (Requirements)

1) एक सुरळीत संक्रमण (ट्रान्झिशन) प्रदान करण्यासाठी ॲबटमेंट **सह मिश्रण** पाहिजे.
2) **मातीचा दाब**: बॅकफिल मातीपासून प्रतिकार केला पाहिजे.
3) **योग्य निचरा**: पाणी साचण्यापासून रोखण्यासाठी प्रतिकार केला पाहिजे.

(C) विंग वॉल चे प्रकार (Types of Wing Walls)

1) **सरळ विंग वॉल (Straight Wing Wall)** - ॲबटमेंट करण्यासाठी लंब विस्तारित.

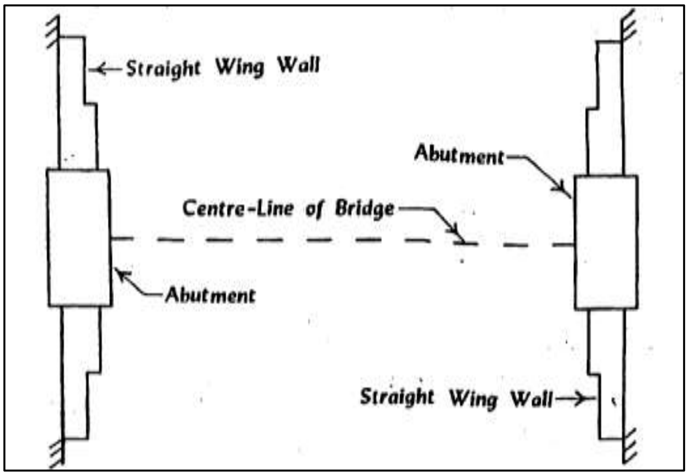


Figure 3. 22 सरळ विंग वॉल

(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

2) **स्प्लेड विंग वॉल (Splayed Wing Wall)** - पाण्याच्या प्रवाहाचे मार्गदर्शन करण्यासाठी एका कोनात बाहेरून पसरवा.

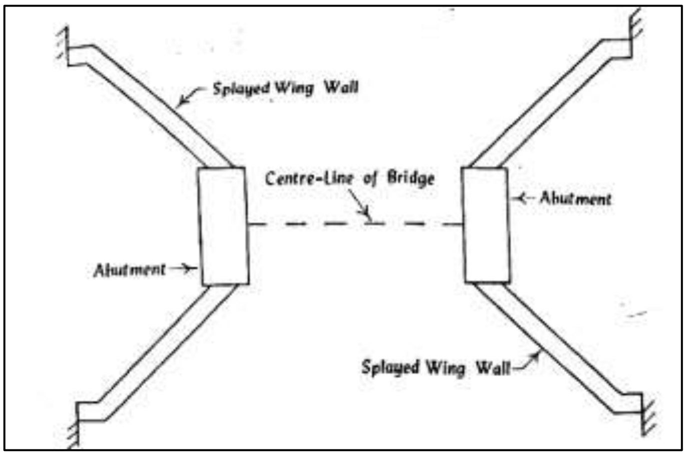


Figure 3. 23 स्प्लेड विंग वॉल
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

3) **रिटर्न विंग वॉल (Return Wing Wall)** - रस्त्याच्या समांतर स्थित, डोंगराळ भागात वापरले जाते.

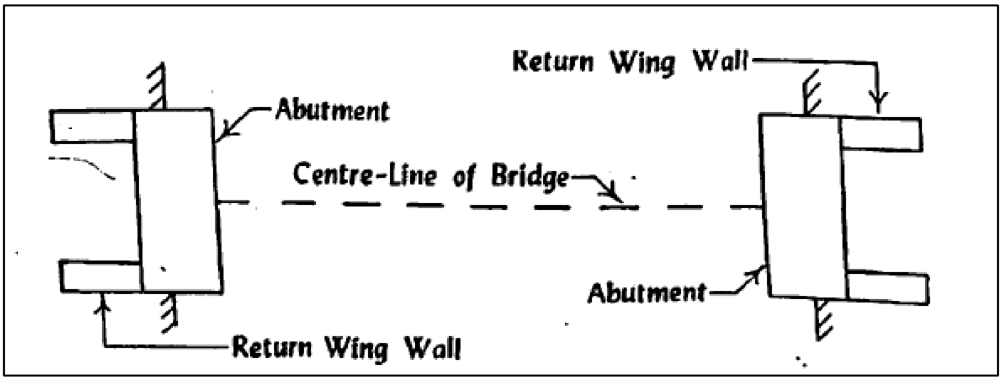


Figure 3. 24 रिटर्न विंग वॉल
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

3.5.4 पाया (Foundation)

(A) कार्य (Function)

1) पाया हा पुलाच्या संरचनेचा सर्वात खालचा भाग आहे जो पिअर आणि पायथ्याचे आधार (abutments) मधून येणारे भार जमिनीत हस्तांतरित करतो.
2) हे सुनिश्चित करते की पुल स्थिर राहील आणि बसणारे हालचाल आणि पाण्याच्या शक्तींना प्रतिकार करू शकेल.

(B) आवश्यकता (Requirements)

1. पुरेसा भार वहन क्षमता प्रदान करावी.
2. पाण्याच्या प्रवाहामध्ये स्कॉरिंग आणि धूप यांना प्रतिकार करावा.
3. मातीच्या दाबामुळे (**soil pressure**) होणारी हालचाल रोखण्यासाठी पुरेशा खोलीपर्यंत असावा.

(C) ब्रिज फाउंडेशनचे प्रकार (Types of Bridge Foundations)

1) शॅलो फाऊंडेशन (Shallow Foundation)- मातीची वहन क्षमता (bearing capacity) जास्त असते तेव्हा वापरली जाते.

a) स्प्रेड फूटिंग (Spread Footing) –

या प्रकारच्या पायाचा आकार भिंतींसाठी प्रदान केल्याप्रमाणे आहे. ज्या परिस्थितीत नदीचे पात्र घासणे कमी आहे आणि नदीच्या पातळीपासून 2 मीटर ते 3 मीटर खाली चांगली कठीण माती उपलब्ध आहे अशा परिस्थितीत हे सर्वात योग्य आहे. या प्रकारचा पाया जरी पलंगावर वाळूसारखे खोडण्यायोग्य सामग्री असेल तरीही प्रदान केले जाऊ शकते, परंतु वरच्या बाजूस आणि खालच्या बाजूस शीटचे ढिगारे चालवून आणि मजल्यावरील पिचिंगमुळे स्कॉरिंग प्रतिबंधित केले जाते.

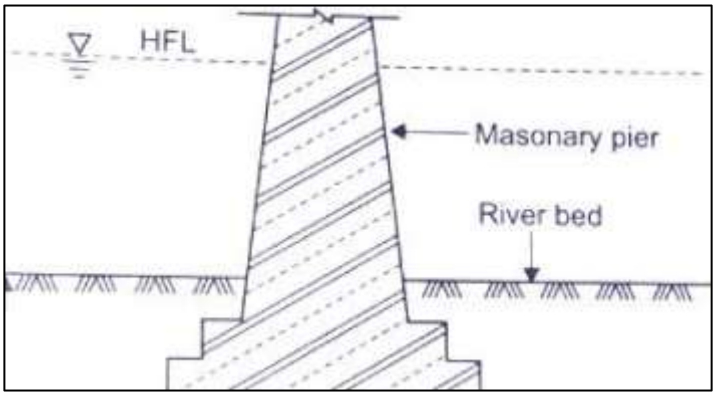


Figure 3. 25 स्प्रेड फाउंडेशन.
(स्रोत: MSBTE मॉडेल आन्सर की समर 2022)

b) राफ्ट फाउंडेशन (Raft foundation):

पायाखालचा काँक्रीट सपोर्ट आहे जो भक्कम जमिनीवर असतो आणि सपोर्ट केलेल्या संरचनेपेक्षा विस्तीर्ण असतो. पायाने संरचनेचे वजन जमिनीवर वितरीत केले.

राफ्ट फाउंडेशन हा एक जाड काँक्रीट स्लॅब आहे जो स्टीलने मजबूत केला आहे जो जाड मजल्याप्रमाणे संरचनेचा संपूर्ण संपर्क क्षेत्र व्यापतो. काहीवेळा तराफ्याने झाकलेले क्षेत्र जमिनीच्या खाली असलेल्या धारण क्षमतेनुसार संपर्क क्षेत्रापेक्षा जास्त असू शकते. रीइन्फोर्सिंग बार स्टीलच्या मजबुतीकरणाच्या वरच्या आणि खालच्या दोन्ही स्तरांमध्ये एकमेकांना सामान्यपणे चालतात.

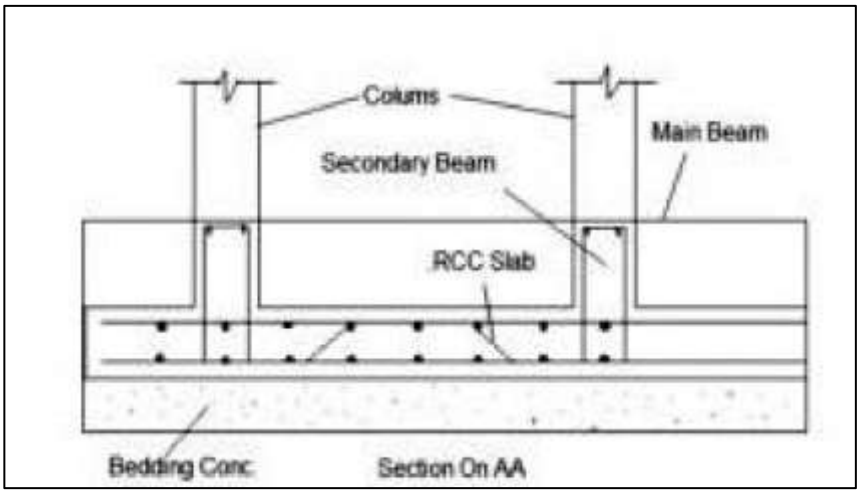


Figure 3. 26 राफ्ट फाउंडेशन
(स्रोत: MSBTE मॉडेल आन्सर की समर 2022)

c) ग्रिलेज फाऊंडेशन (Grillage foundation):

ग्रिलेज फाउंडेशनचा वापर केला जातो जेव्हा स्तंभ, पिअर किंवा स्टॅन्चियन्सचे जड स्ट्रक्चरल भार कमी बेअरिंग क्षमतेच्या मातीत स्थानांतरित करणे आवश्यक असते. ग्रिलेज फाउंडेशन बहुतेकदा हलके आणि अधिक किफायतशीर असल्याचे दिसून येते. हे खोल उत्खनन टाळते आणि जमिनीच्या सुरक्षित वहन क्षमतेमध्ये दाबाची तीव्रता कमी करण्यासाठी तळाशी आवश्यक क्षेत्र प्रदान करते.

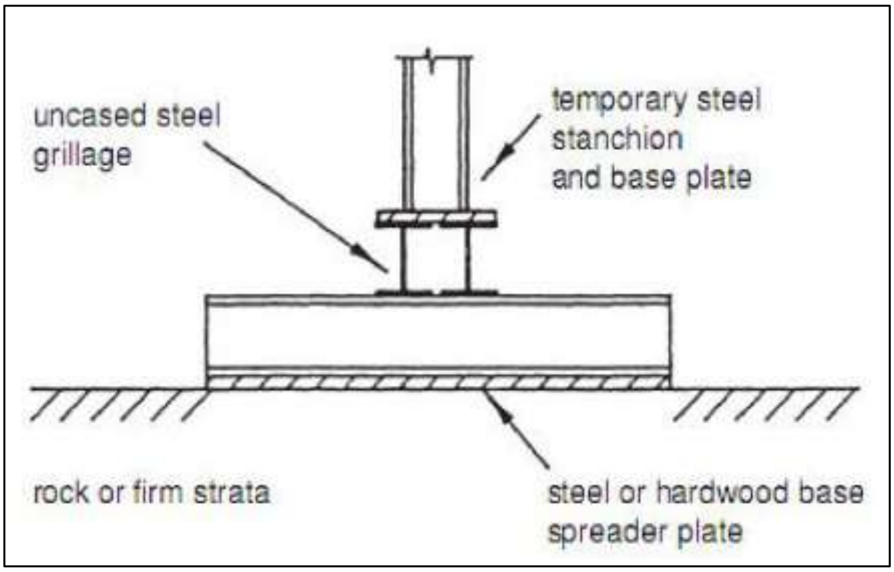


Figure 3. 27 फाउंडेशन लोखंडी जाळी.
(स्रोत: MSBTE मॉडेल आन्सर की समर 2022)

d) उलटा कमान पाया (Inverted Arch foundation):

जुन्या काळातील बहुमजली इमारतींसाठी इनव्हर्टेड आर्क फूटिंग/फाऊंडेशनचा वापर केला जातो. तथापि, प्रबलित सिमेंट काँक्रीट बांधकाम प्रथेच्या आगमनाने, आजकाल उलट्या कमानाचे पाय क्वचितच केले जातात. या प्रकारच्या बांधकामातील त्रुटींपैकी एक म्हणजे पिअर जंक्शनला रॅप्चर करण्यासाठी कमान थ्रस्ट टाळण्यासाठी शेवटच्या ढिगाऱ्यांना विशेषत: बट्रेसने मजबूत केले पाहिजे. तथापि, उलट्या कमान बांधकामाचा फायदा असा आहे की मऊ मातीत पायाची खोली खूप कमी होते. इनव्हर्टेड कमान पाया खाली सचित्र केले आहे.

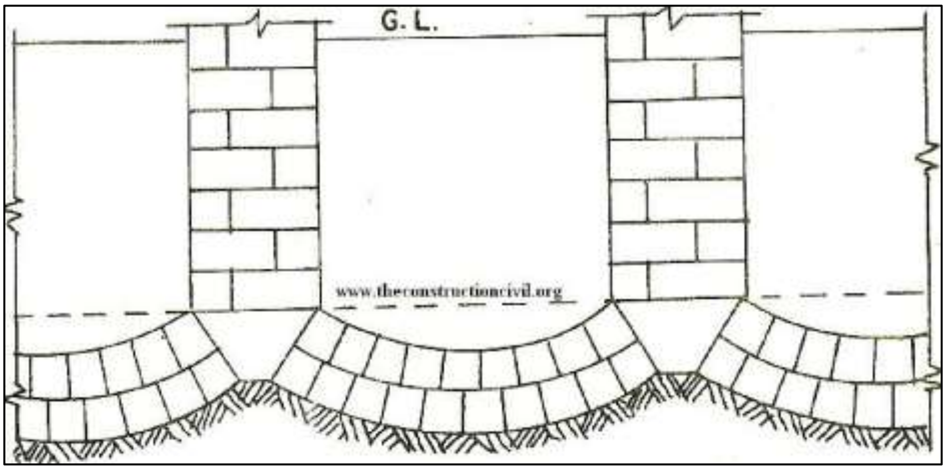


Figure 3. 28 इन्व्हर्टेड आर्क फाउंडेशन.
(स्रोत: MSBTE मॉडेल आन्सर की समर 2022)

2) डीप फाऊंडेशन (Deep Foundation) - माती कमकुवत किंवा अस्थिर असताना वापरली जाते.

a) पाइल फाउंडेशन (Pile Foundation) - भारांचे समर्थन करण्यासाठी ढीगांचा एक गट जमिनीवर चालविला जातो. ढीग हा मुळात कॉंक्रीटसारख्या मजबूत सामग्रीचा एक लांब सिलेंडर असतो जो जमिनीत ढकलला जातो आणि त्याच्या वरच्या बाजूस बांधलेल्या संरचनांना स्थिर आधार म्हणून काम करतो.

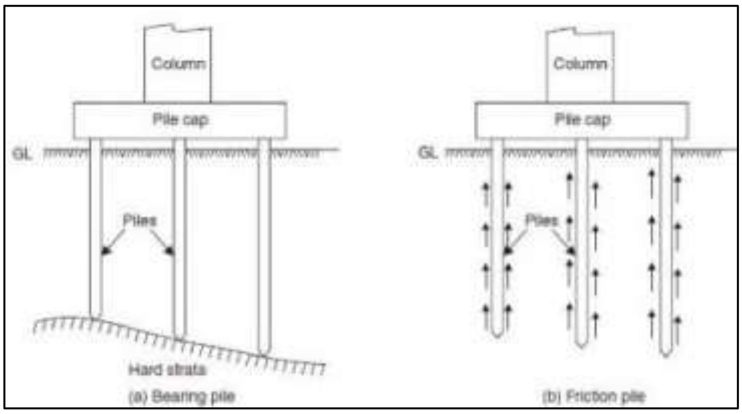


Figure 3. 29 पाइल फाउंडेशन.
(स्रोत: MSBTE मॉडेल आन्सर की समर 2022)

पाइल फाउंडेशन खालील परिस्थितींमध्ये वापरले जातात:

i) जेव्हा पृष्ठभागावर कमकुवत मातीचा थर असतो. हा थर इमारतीच्या वजनाला आधार देऊ शकत नाही, त्यामुळे इमारतीच्या भारांना या थराला मागे टाकावे लागते आणि कमकुवत थराच्या खाली असलेल्या मजबूत मातीच्या किंवा खडकाच्या थरात स्थानांतरित करावे लागते.

ii) जेव्हा एखाद्या इमारतीमध्ये खूप जड, केंद्रित भार असतो, जसे की उंचावरील रचना, पूल किंवा पाण्याची टाकी.

b) वेल फाऊंडेशन (Well Foundation) - खोल पाण्याच्या पुलांसाठी वापरलेली मोठी दंडगोलाकार रचना. एकच मोठी विहीर, दुहेरी विहीर किंवा अनेक लहान विहिरी, प्रत्येक खांबाखाली किंवा घाटाखाली बुडवून बांधलेला पाया विहीर पाया म्हणून ओळखला जातो. आपल्या देशात पुलांसाठी वापरला जाणारा हा सर्वात सामान्य प्रकारचा पाया आहे. विहिरी साधारणपणे कॉंक्रीट किंवा दगडी बांधकामाच्या असतात. त्यामध्ये लोह आणि स्टील देखील असू शकते, अशा परिस्थितीत, फाउंडेशनला ट्यूबलर फाउंडेशन म्हणून ओळखले जाते. खोल विहीर पाया आणि उथळ विहीर पाया हे दोन प्रकारचे विहीर पाया आहेत.

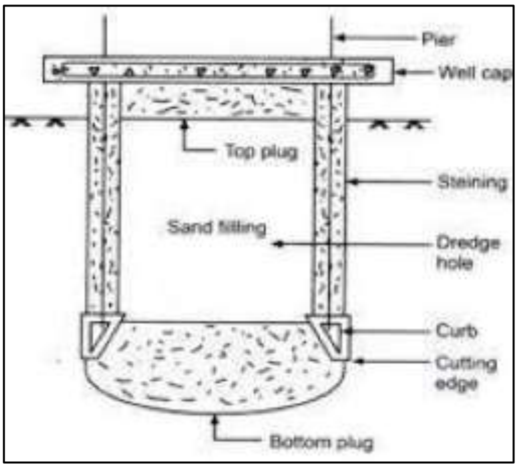


Figure 3. 30 वेल फाऊंडेशन
(स्रोत: MSBTE मॉडेल आन्सर की समर 2022)

c) **कैसन फाउंडेशन** **(Caisson Foundation)** - पुलाच्या घाटांसाठी पाण्यात ठेवलेली वॉटरटाइट रचना. कॅसॉन फाउंडेशन ज्याला पिअर फाउंडेशन देखील म्हणतात, ही एक जलरोधक राखून ठेवणारी रचना आहे जी पुलाचा घाट म्हणून, काँक्रीट बांधाच्या बांधकामात किंवा जहाजांच्या दुरुस्तीसाठी वापरली जाते. हा पूर्वनिर्मित पोकळ बॉक्स किंवा सिलेंडर जमिनीत काही हव्या त्या खोलीत बुडवला जातो आणि नंतर काँक्रीटने भरला जातो आणि त्यामुळे पाया तयार होतो.

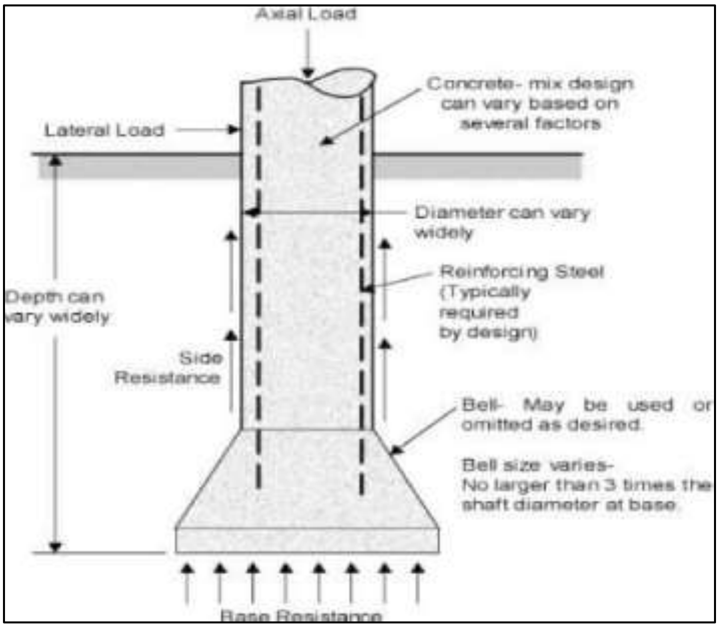


Figure 3. 31 Caisson फाउंडेशन.
(स्रोत: MSBTE मॉडेल आन्सर की समर 2022)

3.5.5 बेअरिंग (Bearing)

कार्य (Function)

1) तापमानातील बदल, वाहतूक भार आणि इतर शक्तींमुळे नियंत्रित हालचालींना अनुमती देण्यासाठी **ब्रिज डेक आणि पायर्स/अबटमेंट्स दरम्यान ठेवलेली उपकरणे बेअरिंग्ज** आहेत
2) ते धक्के आणि कंपने शोषून संरचनेवरील ताण कमी करतात.

आवश्यकता (Requirements)

1) डेक च्या **क्षैतिज आणि रोटेशनल हालचाल** परवानगी दिली पाहिजे.
2) असणे आवश्यक आहे **भार हस्तांतरित करण्यासाठी पुरेसे मजबूत** जास्त हालचाल प्रतिबंधित करताना.
3) विरोध केला पाहिजे **झीज** सतत वापरण्यापासून.

बियरिंग्जचे प्रकार (Types of Bearings)

1) **सिमेंट मोर्टार पॅड (Cement Mortar Pad):** सिमेंट मोर्टार पॅड हे लहान पुलांमध्ये वापरले जाणारे सोपे आणि किफायतशीर बेअरिंग आहे. त्यामध्ये भाराचे एकसमान वितरण आणि पातळीमध्ये किरकोळ समायोजन प्रदान करण्यासाठी पुलाच्या अधिरचना आणि सबस्ट्रक्चरमध्ये सिमेंट मोर्टारचा एक थर असतो. तथापि, त्यात मर्यादित लवचिकता आहे आणि लक्षणीय हालचाल किंवा व्हायब्रेशन अनुभवणाऱ्या पुलांसाठी योग्य नाही.

2) **विस्तार बेअरिंग (Expansion Bearing):** ब्रिज स्ट्रक्चर्सचे थर्मल विस्तार आणि आकुंचन समायोजित करण्यासाठी विस्तार बियरिंग्ज डिझाइन केले आहेत. ते उभ्या विस्थापनास प्रतिबंधित करताना नियंत्रित क्षैतिज

हालचालींना परवानगी देतात, तापमानातील फरकांमुळे होणारे नुकसान टाळतात. हे बियरिंग्स सामान्यतः लांब-स्पॅन पुलांमध्ये वापरले जातात जेथे विस्तार आणि आकुंचन महत्त्वपूर्ण चिंता आहे.

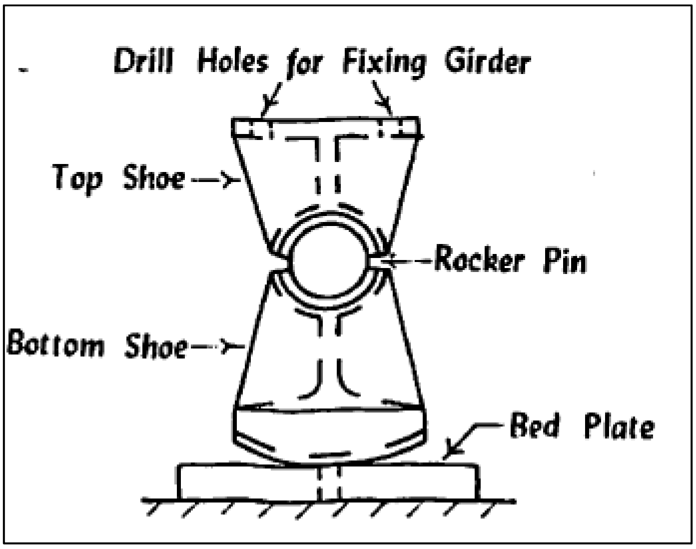


Figure 3. 32 विस्तार बेअरिंग
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

3) **नकल बेअरिंग (Knuckle Bearing):** नकल बेअरिंग्समध्ये कर्वनकल-आकाराची पृष्ठभाग असते जी रोटेशन आणि मर्यादित हालचाल करण्यास परवानगी देते, ज्यामुळे ते नियंत्रित उच्चार आवश्यक असलेल्या पुलांसाठी आदर्श बनतात. हे बियरिंग्ज स्ट्रक्चरल अखंडता राखून कोनीय हालचालींना परवानगी देऊन ताण एकाग्रता कमी करण्यात मदत करतात.

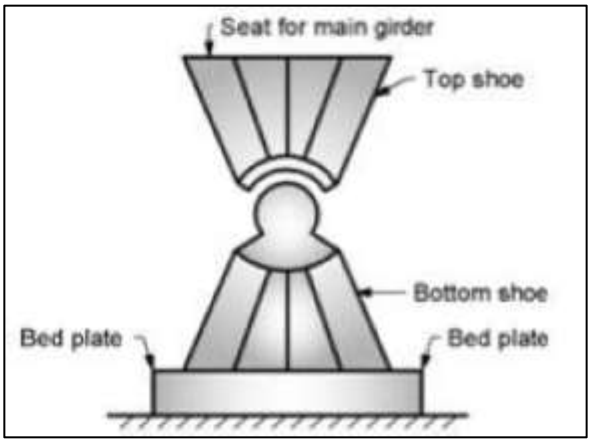


Figure 3. 33 नकल बेअरिंग
(स्रोत: MSBTE मॉडेल आन्सर की समर 2022)

4) **रॉकर आणि रोलर बेअरिंग (Rocker and Roller Bearing):** या प्रकारच्या बेअरिंगमध्ये रॉकर आणि रोलर्सचा संच असतो जो रोटेशनल आणि ट्रान्सलेशनल हालचाली दोन्ही सुलभ करतो. रॉकर आणि रोलर बेअरिंगचा वापर मोठ्या स्पॅन आणि जास्त भार असलेल्या पुलांमध्ये केला जातो, ज्यामुळे संरचनेवर जास्त ताण न पडता विस्तार आणि आकुंचन होऊ शकते.

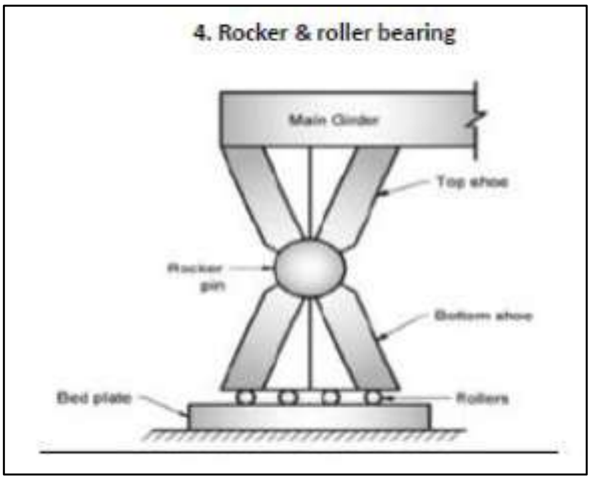


Figure 3. 34 रॉकर आणि रोलर बीयरिंग्ज
(स्रोत: MSBTE मॉडेल उत्तर की उन्हाळी हिवाळी 2019)

5) **रॉकर बेअरिंग (Rocker Bearing):** क्षैतिज विस्थापनाच्या मर्यादित प्रमाणात अनुमती देताना रॉकर बियरिंग्स प्रामुख्याने घूर्णन हालचाली प्रदान करतात. त्यामध्ये एका सपाट प्लेटवर विसावलेला कर्वपृष्ठभाग असतो, ज्यामुळे ब्रिज डेक स्थिरता राखताना लोडच्या फरकांखाली किंचित झुकता येते.

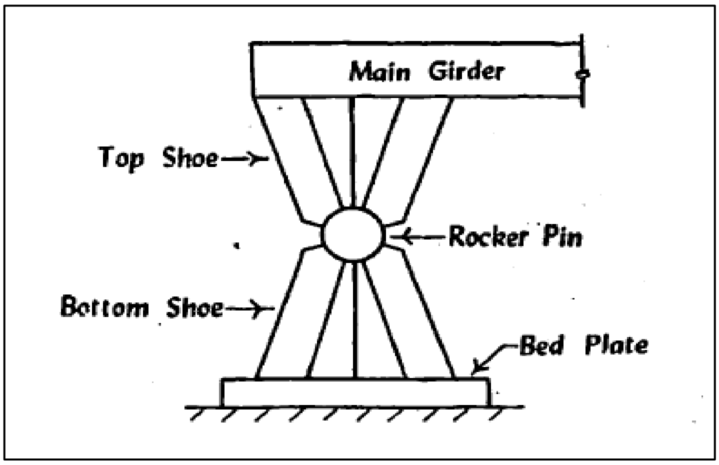


Figure 3. 35 रॉकर बेअरिंग
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

6) **रबर बेअरिंग (Rubber Bearing):** रबरी बियरिंग्ज, ज्याला इलास्टोमेरिक बेअरिंग देखील म्हणतात, स्टील प्लेट्ससह मजबूत केलेल्या रबरच्या थरांपासून बनविलेले असतात. हे बेअरिंग व्हायब्रेशन आणि किरकोळ हालचाली शोषून लवचिकता प्रदान करतात, ज्यामुळे ते वाहनांच्या रहदारीसारख्या गतिमान भार असलेल्या आधुनिक पुलांसाठी योग्य बनतात.

7) **स्लाइडिंग बेअरिंग (Sliding Bearing):** स्लाइडिंग बियरिंग्स दोन पृष्ठभागांमध्ये कमी-घर्षण स्लाइडिंग इंटरफेस अंतर्भूत करून क्षैतिज हालचाली सुलभ करतात. पुलाच्या संरचनेत जास्त शक्ती निर्माण न करता गुळगुळीत अनुदैर्ध्य विस्थापन प्रदान करण्यासाठी ते सहसा इतर प्रकारच्या बीयरिंग्जच्या संयोजनात वापरले जातात.

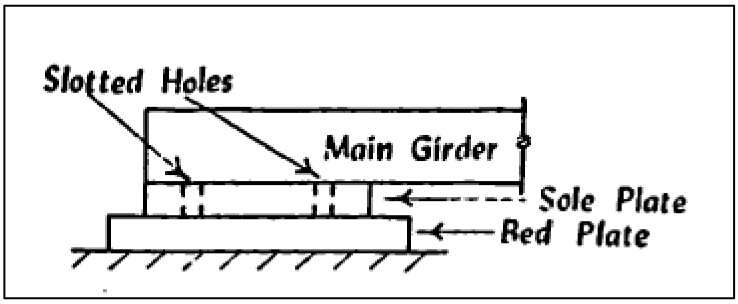


Figure 3. 36 स्लाइडिंग बेअरिंग
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

8) **कर्व बेड प्लेट बेअरिंगवर एकमात्र प्लेट (Sole Plate on Curved Bed Plate Bearing):** या प्रकारच्या बेअरिंगमध्ये कर्वबेडच्या प्लेटवर विसावलेली एकमात्र प्लेट असते, ज्यामुळे रोटेशनल आणि ट्रान्सलेशनल हालचाली दोन्ही होतात. सुपरस्ट्रक्चर आणि सबस्ट्रक्चर दरम्यान स्थिर भार हस्तांतरण राखताना ते बहु-दिशात्मक शक्तींना सामावून घेण्यासाठी डिझाइन केलेले आहे.

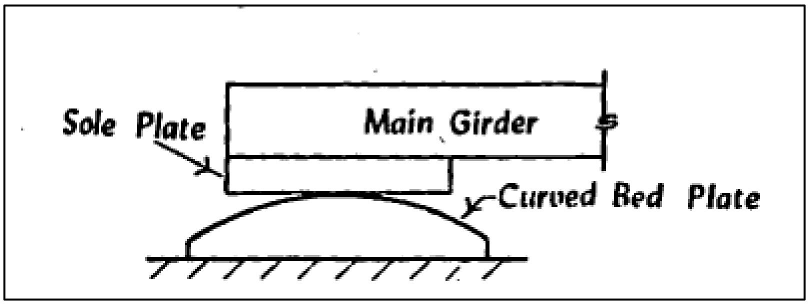


Figure 3. 37 कर्व बेड प्लेट बेअरिंगवर एकमात्र प्लेट
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

9) **टार पेपर बेअरिंग (Tar Paper Bearing):** टार पेपर बेअरिंग हे लहान पूल आणि तात्पुरत्या संरचनेसाठी किफायतशीर उपाय आहेत. त्यामध्ये टार-इंप्रेग्रेटेड पेपरचे थर असतात जे कमीतकमी हालचाल आणि लोड वितरण प्रदान करतात. इतर प्रकारांइतके टिकाऊ नसले तरी, ते हलके ॲप्लिकेशन्ससाठी एक सोपा आणि किफायतशीर पर्याय देतात.

3.6 पुलांचे प्रकार (Types of Bridges):

(A) कॉजवे (Causeway):

कॉजवे हा उंचावलेला रस्ता किंवा कमी किंवा ओल्या जमिनीवरचा ट्रॅक आहे. हे पाणी त्याच्या वर किंवा खाली जाऊ देते. प्रकारांमध्ये हे समाविष्ट आहे:

1) **फ्लश कॉजवे (Flush Causeway)-** प्रवाहाच्या पलंगाच्या समान पातळीवर, त्यावर पाणी मुक्तपणे वाहू देते.
2) **लो-लेव्हल कॉजवे (Low-Level Causeway)** - थोडेसे उंचावलेले, पुराच्या वेळी संरचनेवर मर्यादित पाणी जाण्याची परवानगी देते.

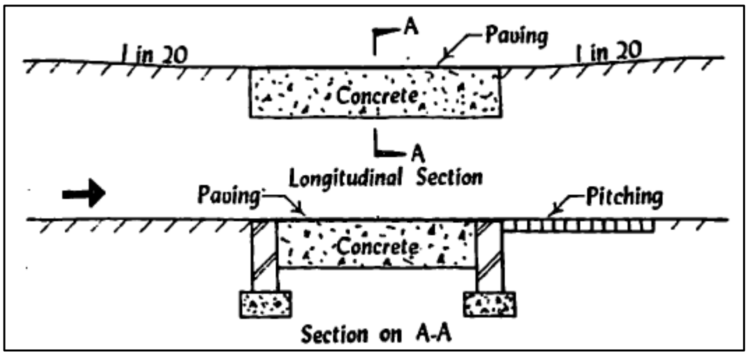


Figure 3. 38 निम्न-स्तरीय कॉजवे
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

3) **उच्च-स्तरीय कॉजवे (High-Level Causeway)** - सर्व-हवामान कनेक्टिव्हिटी सुनिश्चित करून, वारंवार बुडणे टाळण्यासाठी उन्नत.

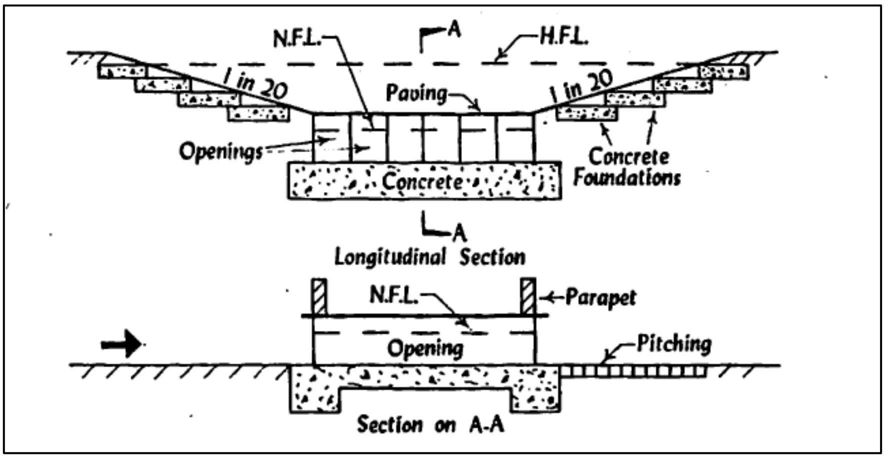


Figure 3. 39 उच्च-स्तरीय कॉजवे
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

(B) आरसीसी पूल (RCC Bridges):

प्रबलित सिमेंट काँक्रीट (RCC) पूल मजबुती आणि टिकाऊपणासाठी काँक्रिटमध्ये स्टील मजबुतीकरण वापरा. त्यांची उच्च शक्ती, टिकाऊपणा आणि कमी देखभाल यामुळे ते मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात.

(C) प्री-स्ट्रेस्ड पूल (pre-stressed bridge):

प्री-स्ट्रेस्ड काँक्रीट ब्रिज लागू करून उच्च भार हाताळण्यासाठी डिझाइन केलेले आहेत **प्री-कॉम्प्रेशन** ठोस करण्यासाठी.

प्री-स्ट्रेस्ड ब्रिजचे फायदे आणि तोटे (Advantages & disadvantages of pre-stressed bridge):

फायदे (Advantages):
1. प्रीस्ट्रेस्ड पुलांची भार वाहून नेण्याची क्षमता जास्त असते.
2. कमी विस्तार सांधे.
3. गर्डरचे विक्षेपण कमी.
4. फिकट बांधकाम.

5. अधिक सौंदर्याचा देखावा.
6. प्रीकास्ट सदस्यांचा अधिक प्रभावी वापर.
7. गंभीर रहदारीच्या भारांखाली त्याच्या सदस्यांच्या क्रॅकिंगचे उच्चाटन झाल्यामुळे थकवाचा चांगला प्रतिकार.
8. देखभाल खर्च कमी.

तोटे (Disadvantages):

1. उच्च-तन्य स्टीलच्या वापरामुळे उच्च किमतीचा परिणाम होतो
2. कौशल्य पर्यवेक्षण आवश्यक आहे.
3. विशेष प्रकारची उपकरणे आवश्यक आहेत.
4. प्रीकास्ट काँक्रीटचे पूल हे विशेषत: शहरी महामार्गावरील पूल लांब स्पॅन्स असलेले उपयुक्त आहेत.

(D) कल्व्हर्ट (Culvert):

कल्व्हर्ट म्हणजे रस्ते किंवा रेल्वेच्या खाली पाणी जाऊ देणारी रचना. प्रकारांमध्ये हे समाविष्ट आहे:

1) **कमान (आर्च) कल्व्हर्ट (Arch Culvert)-** दगडी किंवा काँक्रीटची अर्ध-गोलाकार रचना, मोठ्या पाण्याच्या प्रवाहासाठी योग्य.

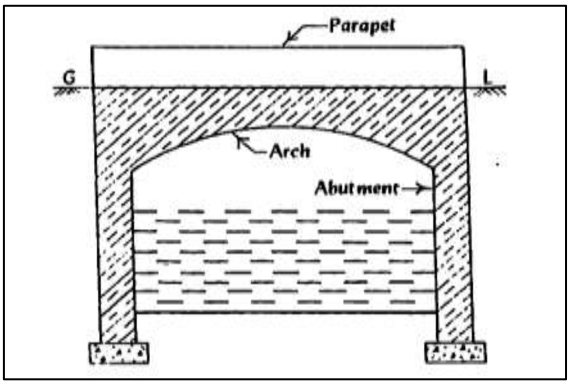


Figure 3. 40 आर्च कल्व्हर्ट
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

2) **उघडा किंवा स्लॅब कल्व्हर्ट (Open or Slab Culvert)** - एक साधा RCC स्लॅब, ज्याचा वापर लहान पाण्याच्या क्रॉसिंगसाठी केला जातो.

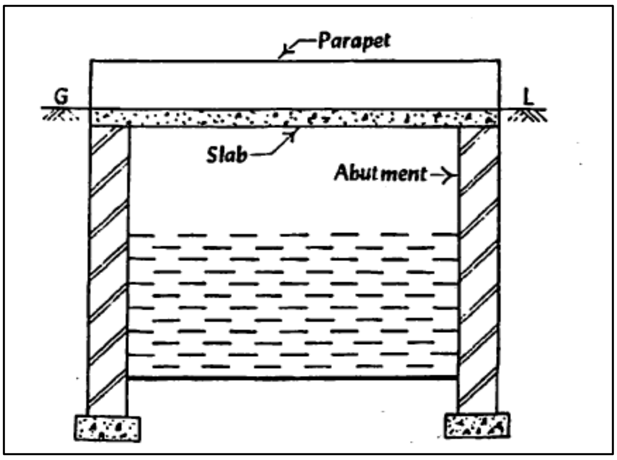


Figure 3. 41 स्लॅब कल्व्हर्ट
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

3) **पाईप कल्व्हर्ट** (**Pipe Culvert**)- लहान नाले आणि कमी पाणी सोडण्यासाठी वापरले जाणारे एक किंवा अनेक पाईप्स असतात.

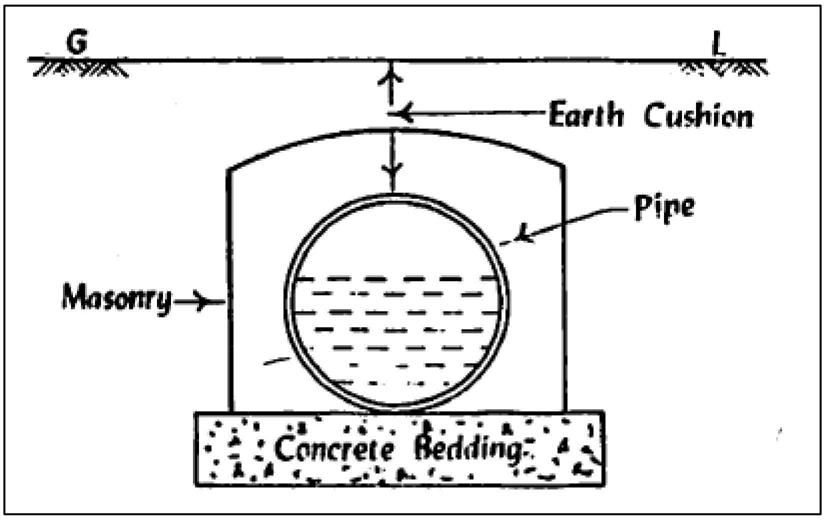


Figure 3. 42 पाईप कल्व्हर्ट
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

4) **बॉक्स कल्व्हर्ट (Box Culvert)** - आयताकृती RCC रचना, उच्च प्रवाह आणि जड भारांसाठी योग्य.

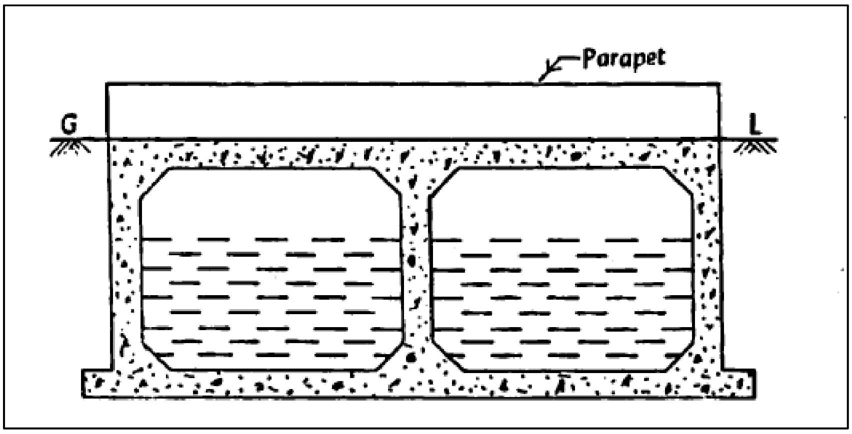


Figure 3. 43 RCC बॉक्स कल्व्हर्ट
(संदर्भ: रंगवाला, चारोतर पब्लिशिंग हाऊसचे ब्रिज इंजिनीअरिंग)

3.7 पुलांची तपासणी (Inspection of bridges):

पुलांची सुरक्षितता, दीर्घायुष्य आणि योग्य कामकाज सुनिश्चित करण्यासाठी त्यांची नियमित तपासणी आवश्यक आहे. तपासणीमुळे संरचनात्मक समस्या लवकर ओळखण्यात आणि वेळेवर देखभाल करण्यास मदत होते.

3.7.1 पुलाच्या तपासणीमध्ये पाळण्यात येणारे सामान्य मुद्दे (General Points to be Observed in Bridge Inspection):

1) **सुपरस्ट्रक्चरची स्थिती (Superstructure Condition)** - क्रॅक, स्पॅलिंग, मजबुतीकरणाची गंज आणि कोणतीही दृश्यमान विकृती तपासा.
2) **बेअरिंग्ज** (**Bearings**)- चुकीचे अलाइनमेंट, गंज तपासा.

3) **डेक आणि रस्ता पृष्ठभाग (Deck and Road Surface)**- खड्डे, पृष्ठभागाची झीज, पाणी साचणे आणि विस्तारित सांध्याचे नुकसान तपासा.
4) **सबस्ट्रक्चर (पियर्स आणि ॲबटमेंट्स) (Substructure (Piers & Abutments))** - क्रॅक, स्कॉरिंग, सेटलमेंट किंवा टिल्टिंग पहा.
5) **पाया (Foundation)-** स्कॉअरिंगमुळे कोणतीही धूप, कमी होणे किंवा एक्सपोजर आहे का ते तपासा.
6) **दृष्टीकोन आणि तटबंध (Approaches & Embankments) -** स्थिरता सुनिश्चित करा आणि इरोशन किंवा सेटलमेंट तपासा.
7) **ड्रेनेज सिस्टम (Drainage System) -** पाणी साचण्यापासून रोखण्यासाठी वीप होल, स्कॅपर्स आणि ड्रेनेज पथ यांच्या कार्याची पडताळणी करा.
8) **ओव्हरलोडिंगची चिन्हे (Signs of Overloading)** - असामान्य विक्षेपण, कंपने किंवा स्ट्रक्चरल स्ट्रेस इंडिकेटर पहा.
9) **संरक्षणात्मक कोटिंग्ज आणि वॉटरप्रूफिंग (Protective Coatings & Waterproofing)** - पेंट, सीलंट आणि कोटिंग्जच्या स्थितीचे मूल्यांकन करा.
10) **वनस्पती वाढ (Vegetation Growth)** - कोणत्याही वनस्पतीची वाढ ओळखा ज्यामुळे संरचना खराब होऊ शकते.

3.7.2 मान्सूनपूर्व आणि पावसाळ्यानंतरची तपासणी (Pre-monsoon and post-monsoon inspection)

(A) मान्सूनपूर्व तपासणी (Pre-Monsoon Inspection)

1) पाणी साचू नये म्हणून ड्रेनेज सिस्टम स्वच्छ असल्याची खात्री करा.
2) डेक, सांधे आणि आधारांमध्ये क्रॅक आणि नुकसान तपासा.
3) पायर्स आणि ऍब्युटमेंट्सची स्थिरता सत्यापित करा.
4) घासणे टाळण्यासाठी जलमार्गाच्या भागातून मलबा काढून टाका.
5) रेलिंग आणि पॅरापेट्सच्या स्ट्रक्चरल अखंडतेची पुष्टी करा.

(B) पावसाळ्यानंतरची तपासणी (Post-Monsoon Inspection)

1) पाया आणि ॲबटमेंट येथे scouring किंवा धूप मूल्यांकन.
2) पाण्याच्या जोरामुळे क्रॅक, सेटलमेंट किंवा विस्थापनाची तपासणी करा.
3) विस्तार सांध्यांमधून पाणी गळती किंवा गळती ओळखा.
4) बियरिंग्ज आणि हालचाल जोड्यांची स्थिती तपासा.
5) अप्रोच रस्त्यामध्ये गाळ साचण्याची किंवा खराब होण्यासाठी पहा.

3.8 पुलांची देखभाल (Maintenance of bridges):

नियमित देखभाल पुलांची सुरक्षितता, टिकाऊपणा आणि कार्यक्षमता सुनिश्चित करते. देखभाल मोठ्या प्रमाणात वर्गीकृत आहे:

(A) नियमित देखभाल (Routine Maintenance)

नियमित देखरेखीमध्ये वेळोवेळी तपासणी आणि बिघाड टाळण्यासाठी किरकोळ दुरुस्तीचा समावेश होतो. यात हे समाविष्ट आहे:

1) **साफसफाई (Cleaning)** - डेक, ड्रेनेज सिस्टीम आणि विस्तार जोड्यांमधून घाण, वनस्पती आणि मोडतोड काढून टाकणे.

2) **पेंटिंग आणि कोटिंग (Painting & Coating)** - गंज टाळण्यासाठी स्टील आणि कॉंक्रीटच्या भागांवर संरक्षणात्मक कोटिंग्ज लावणे.
3) **ड्रेनेज देखभाल** (**Drainage Maintenance**) - नाले, स्कॅपर आणि वीप होलमधून पाण्याचा योग्य प्रवाह सुनिश्चित करणे.
4) **किरकोळ क्रॅक दुरुस्ती** (**Minor Crack Repairs**) - पाणी शिरण्यापासून रोखण्यासाठी कॉंक्रीट आणि डांबरात लहान क्रॅक सील करणे.
5) **बोल्ट आणि फिक्सिंग कडक करणे (Tightening of Bolts & Fixings)** - कनेक्शन आणि बेअरिंगमध्ये बोल्ट तपासणे आणि सुरक्षित करणे.
6) **बियरिंग्जची तपासणी** (**Inspection of Bearings**)- बियरिंग्जची योग्य हालचाल आणि स्नेहन सुनिश्चित करणे.
7) **रस्त्याच्या पृष्ठभागाची दुरुस्ती करणे** (**Repairing Road Surface**)- खड्डे, भेगा आणि खराब झालेले विस्तार सांधे दुरुस्त करणे.

(ब) विशेष देखभाल (Special Maintenance):

जेव्हा पुलाच्या संरचनेला लक्षणीय नुकसान होते किंवा वृद्धत्वाचा प्रभाव पडतो तेव्हा विशेष देखभाल केली जाते. यात हे समाविष्ट आहे:

1) **मुख्य दुरुस्ती** (**Major Repairs**)- खराब झालेले डेक, बीम, पायर्स किंवा पाया पुनर्संचयित करणे.
2) **बळकटीकरण आणि पुनर्वसन** (**Strengthening & Rehabilitation**)- लोड क्षमता सुधारण्यासाठी मजबुतीकरण, जॅकेटिंग किंवा रेट्रोफिटिंग जोडणे.
3) **स्ट्रक्चरल घटक बदलणे** (**Replacement of Structural Components**)- खराब झालेले बियरिंग्ज, सांधे किंवा गर्डर बदलणे.
4) **पाया मजबूत करणे** (**Foundation Strengthening**)- ग्राउटिंग, पाइल विस्तार किंवा अंडरपिनिंग तंत्र वापरणे.
5) **घासणे संरक्षण (Scour Protection)** - पिअर्स आणि अॅब्युटमेंट्सच्या भोवतालची धूप टाळण्यासाठी गॅबियन्स, रिप्रॅप किंवा कॉंक्रीट ऍप्रॉन वापरणे.
6) **आपत्कालीन दुरुस्ती** (**Emergency Repairs**)- पूर, भूकंप किंवा अपघातांमुळे अचानक झालेल्या नुकसानीचे निराकरण करणे.

Questions for Practices

Q 1. Explain the classification of bridges based on span.
Q 2. Discuss the different types of bridges based on materials used for construction.
Q 3. Explain the factors affecting the site selection of a bridge.
Q 4. Explain the different types of foundations used in bridge construction.
Q 5. What are wing walls? Explain their function and types.
Q 6. Describe the different types of bridge piers with neat sketches.
Q 7. Describe different types of scours and the protection methods used.
Q 8. Explain the necessity and types of bridge foundations with sketches.
Q 9. What is a trestle bent? Explain its function and construction details.
Q 10. Discuss the different types of abutments used in bridge construction.

युनिट IV: बोगदा अभियांत्रिकी
Unit IV: Tunnel Engineering

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes)

CO 4 - दिलेल्या थरात बोगदा बांधण्याची संबंधित पद्धत सुचवा..

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes)

TLO 4.1 भारतातील प्रमुख महत्त्वाच्या बोगद्यांची विशिष्ट वैशिष्ट्ये सारांशित करा.

TLO 4.2 दिलेल्या रेखाचित्रावरून बोगद्याचा प्रकार ओळखा.

TLO 4.3 दिलेल्या परिस्थितीसाठी बोगदा निवडण्याचे निकष औचित्यसह स्पष्ट करा.

TLO 4.4 बोगद्याच्या आतील संरेखन शाफ्टमधून हलवण्याच्या प्रक्रियेचे वर्णन करा.

TLO 4.5 दिलेल्या भूभागात बोगदा बांधण्याची संबंधित पद्धत सुचवा.

4.1 परिचय (Introduction)

बोगदा अभियांत्रिकी हा शब्द सिव्हिल इंजिनिअरिंगच्या शाखेला सूचित करतो जो बोगद्याची रचना, बांधकाम आणि देखभालीशी संबंधित आहे. बोगदा खोदणे ही जुनी कला आहे परंतु या क्षेत्रातील प्रगत तंत्रांमुळे ते सध्या बरेच सोपे आणि जलद झाले आहे.

भारतातील बोगद्यातील काही उल्लेखनीय उदाहरणे.

1. जम्मू-काश्मीरमधील पीरपंजाल बोगदा हा भारतातील सर्वात लांब रेल्वेबोगदा आहे ज्याची लांबी 11.43 किमी आहे. तो 2007 मध्ये उघडण्यात आला.
2. जम्मू-काश्मीर रोड बोगद्यामधील बनिहाल काझीगुंड रोड बोगदा, ज्याची लांबी 8.45 किमी आहे.
3. हिमाचल प्रदेशातील अटल बोगदा 9.02 किमी लांबीचा.
4. जम्मू-काश्मीर मधील श्यामाप्रसाद मुखर्जी बोगदा, ज्याची लांबी 9.028 किमी आहे.
5. केरळमधील त्रिवेंद्रम बंदर बोगदा, ज्याची लांबी 9.02 किमी आहे.
6. रत्नागिरीजवळ कोकणरेल्वे वरील महाराष्ट्रातील करबुडे बोगदा 6.5 किमी.

4.1.1 भारतातील बोगद्यांच्या विकासाचा इतिहास (History of development of Tunnels in India (IKS))

पारंपारिक अभियांत्रिकी, स्थापत्यशास्त्रीय तत्त्वे आणि पर्यावरणीय अनुकूलन यांचा समावेश असलेल्या भारतीय ज्ञान प्रणाली (IKS)ने बोगदा बांधकामाच्या सुरुवातीच्या इतिहासात महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावली. नंतर ब्रिटिश राजवटीत आणि स्वातंत्र्यानंतर, भारताने प्रगत बोगद्यात नाट्यमय सुधारणा केली.

भारतातील प्राचीन आणि मध्ययुगीन बोगदे.

प्राचीन भारतात, पाण्याचे बोगदे खोदणे, धार्मिकप्रथा, व्यापारमार्ग आणि संरक्षण अशा विविध उद्देशांसाठी बोगदे बांधले जात होते. बोगद्यांचे नियोजन करताना वास्तुशास्त्र आणि स्थप्त्यवेदयासारख्या ज्ञानप्रणालींचा महत्त्वाचा वापरकेला जातअसे.

पाण्याचे बोगदे:

मोहेंजो-दारोमध्ये अत्याधुनिक ड्रेनेज सिस्टम आहे ज्यामध्ये पाण्याच्या प्रवाहासाठी बोगद्यासारख्या नव्यांचा समावेश आहे.

पायऱ्यांच्या विहिरी आणि पाण्याच्या टाक्या:

आधुनिक अर्थाने बोगदे नसले तरी,भारतात 'बाओली' किंवा 'वाव' म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या 'पायऱ्यांच्या विहिरी' म्हणजे मुळात पाण्याच्या पातळीपर्यंत खाली जाणाऱ्या पायऱ्यांच्या मालिकेसह भूमिगत विहिरी. या रचनांमध्ये, पाणी साठवण्यासाठी मोठे भूमिगत कक्ष बांधण्यात आले होते.

प्राचीनकाळी, विशेषतः डोंगराळ संरक्षण आणि लष्करी संरचनांमध्ये, बचावात्मक बोगदे देखील बांधले जात होते. आक्रमणाच्या बाबतीत हालचाली बदलण्यासाठी आणि सुटकेचे मार्ग शोधण्यासाठी या बोगद्यांचा वापर केला जात असे.

4.1.2 बोगदा (Tunnel)

व्याख्या:-

बोगदे हे जमिनीला त्रास न देता माणसांच्या वाहतुकीसाठी, पाणी, सांडपाणी, वायू इत्यादींसाठी कृत्रिमरित्या बांधलेले भूमिगतमार्ग आहेत.

4.1.3 बोगद्यांची आवश्यकता

1. जेव्हा डोंगराने वेगळे केलेले दोन टर्मिनल स्टेशन सर्वात लहान मार्गाने जोडले जातात.
2. रेल्वे किंवा रस्ते प्रकल्पासाठी मौल्यवान जमीन संपादित करणे टाळणे.
3. जेव्हा ओपन कटची खोली 20 मीटरपेक्षा जास्तअसते आणिते बांधणे बोगद्यापेक्षा महाग असते.
4. जेव्हा नदीवर पूल बांधणे बोगद्यापेक्षा अधिक गैरसोयीचे आणि महागडे असते.
5. बर्फवृष्टी, भूस्खलनामुळे होणाऱ्या अडथळ्यांपासून उंचावरील रेल्वेट्रॅक किंवा रस्त्याचे संरक्षण करण्यासाठी.

4.1.4 बोगद्याचे फायदे आणि तोटे (Merits and Demerits of Tunnel)

फायदे

1. ते दोन टर्मिनल स्टेशन्सना सर्वात लहान मार्गाने जोडतात.
2. विशिष्ट खोलीच्या पलीकडे असलेल्या ओपन कट पेक्षा बोगदे अधिक किफायतशीर असतात.
3. ते नदी ओलांडून रेल्वेमार्ग, रस्तेआणि पाणी, तेलवायू सारख्या सार्वजनिक सुविधा वाहून नेतात.
4. बोगद्याच्या बांधकामामुळे ओपन कटच्या देखभालीचा जास्त खर्च टाळता येतो.
5. रस्ते किंवा रेल्वे प्रकल्पासाठी महागड्या जमिनीचे संपादन टाळले जाते.
6. ते हिमवर्षाव आणि भूस्खलन दरम्यान वाहतुकीची मुक्त हालचाल प्रदान करतात.

तोटे

1. त्यांच्या बांधकामासाठी विशेष प्रकारची उपकरणे आणि पद्धती आवश्यक असतात.
2. बांधकामासाठी लागणारा वेळजास्त आहे.
3. त्यांच्या बांधकामात कुशल कामगारआणि देखरेख आवश्यक आहे.
4. योग्य वायुवीजन न दिल्यास ते गुदमरण्यास कारणीभूत ठरू शकतात.

4.1.5 बोगद्याचे उपयोग (Uses of Tunnel)

1. ते माणसे, साहित्य आणि वस्तूंच्या वाहतुकीसाठी उपयुक्त आहेत.
2. त्यांचा वापरवीजनिर्मितीसाठी ,पाण्याच्या वहनासाठी केला जातो.
3. ते गॅस, तेल आणि सांडपाणी वाहून नेण्यासाठी देखील वापरले जातात.

4.2 बोगद्यांचे वर्गीकरण (Classification of Tunnels)

बोगद्यांचे वर्गीकरण खालीलप्रमाणे केले आहे.

1. उद्देशानुसार
2. साहित्याच्या प्रकारानुसार

3. स्थिती किंवा संरेखनानुसार

1. उद्देशानुसार वर्गीकरण (according to Purpose)

a) वाहतूक बोगदे (कन्व्हेयन्स बोगदा)

या प्रकारच्या बोगद्यांमध्ये हे समाविष्ट आहे,

1. गटार बोगदे
2. पाणीपुरवठा बोगदे
3. जलविद्युत उर्जा बोगदे
4. औद्योगिक कारखान्यांमध्ये वापरला जाणारा वाहतूक बोगदा

b) वाहतूक बोगदे (Traffic Tunnel)

या प्रकारच्या बोगद्यांमध्ये,

1. महामार्ग बोगदेयांचा समावेश आहे.
2. रेल्वे बोगदे
3. पादचाऱ्यांसाठी बोगदे
4. नेव्हिगेशन बोगदे
5. सबवे बोगदे

2. बांधकामात वापरल्या जाणाऱ्या साहित्याच्या प्रकारांनुसार वर्गीकरण

या प्रकारच्या बोगद्यांमध्ये हे समाविष्टआहे,

1. कठीण खडकातील बोगदे.
2. मऊ खडकातील बोगदे.
3. नदीच्या पात्राखाली किंवा पाणी वाहून नेणाऱ्या मातीत बोगदे.

3. स्थिती किंवा संरेखनानुसार वर्गीकरण (According to Position or alignment)

a) ऑफस्पर बोगदा

परवानगी असलेल्या वक्रांसह अनुसरण करता येत नाही अशा किरकोळ स्थानिक अडथळ्यांना तोंड देण्यासाठी लहान लांबीचे बोगदे.

b) सॅडल किंवा बेस बोगदा

हे नैसर्गिक उताराच्या बाजूने असलेल्या दऱ्याखोऱ्यांमध्ये बांधले जातात. ते प्रामुख्याने वाहतुकीच्या उद्देशाने बांधले जातात.

c) स्लोप टनेल

यामध्ये पायऱ्यांच्या टेकड्यांमध्ये बांधलेले बोगदे समाविष्ट आहेत. याप्रकारचे बोगदे वाहतुकीसाठी देखील वापरले जातात.

d) स्पायरल बोगदे (Spiral Tunnel)

यामध्ये डोंगराच्या आतील भागात अरुंद दरीत वळणांच्या स्वरूपात असलेले बोगदे समाविष्ट आहेत. यामुळे बोगद्याची लांबी वाढते आणि तीव्र उतार टाळता येतात.

4.3 बोगद्यांचा आकार आणि माप

4.3.1 बोगद्यांचा आकार

1. बोगद्याचा आकार त्याच्या विभागीय प्रोफाइलद्वारे दर्शविला जातो.
2. बोगद्याचा आकार यावर अवलंबून असतो:
   a. ज्या जमिनीतून बोगदा बांधायचा आहे त्याचा प्रकारआणि स्वरूप.
   b. ते ज्या उद्देशासाठी वापरायचे आहे.
   c. उघडण्याचा आकार आवश्यक आहे.
3. बोगद्याच्या आकाराने खालील आवश्यकता पूर्ण केल्या पाहिजेत:
   a. ज्या उद्देशासाठी तेबांधले जाणार आहे ते पूर्ण करण्यास ते सक्षम असले पाहिजे.
   b. बोगद्याच्या भिंती आणि छताने त्यांना येणाऱ्या बाह्य आणि अंतर्गत दाबांना तोंड द्यावे.
   c. निवडलेल्या आकारात भिंती आणि छतासाठी गुंतागुंतीची आधार व्यवस्था टाळली पाहिजे.

सामान्यतः वापरले जाणारे आकार खालील प्रमाणे आहेत:

A) आयताकृती किंवा बॉक्स आकाराचा बोगदा (Rectangular Tunnel)

1. ते खोलीत लहान आहेत.
2. हे बोगदे कठीण खडकांसाठी योग्यआहेत.
3. हे बोगदे क्वचितच वापरले जातात कारण तेबांधणे कठीण आणि महागडे आहे.
4. अशा बोगद्यांच्या छतावर वाकण्याचा ताण येतो म्हणून छताचे अस्तर आवश्यकआहे.
5. ते पादचाऱ्यांसाठी वापरले जातात.

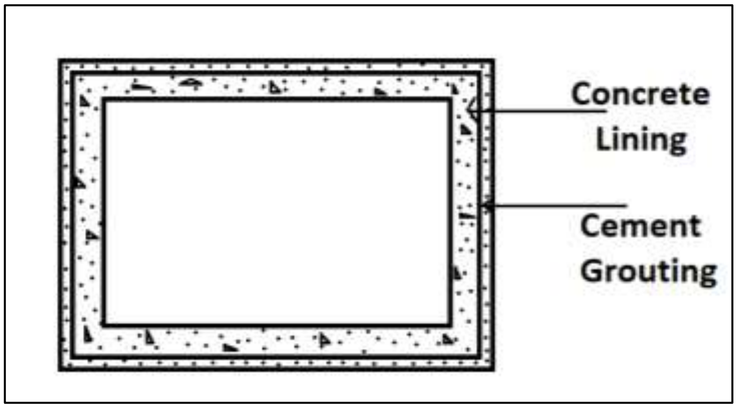


Figure 4.3 (a) आयताकृती आकाराचा बोगदा
(स्रोत- https://civilnoteppt.com/shapes-of-tunnels)

B) वर्तुळाकार आकाराचा बोगदा (Circular Tunnel)

1. या आकाराच्या बोगद्यांमुळे बाह्यआणिअंतर्गत दाबांना जोरदार प्रतिकार मिळतो.
2. ते सामान्यतः पाणी वाहून नेण्यासाठी वापरले जातात.

3. त्यांचे अस्तर कठीण आहे.
4. ते मऊ खडकात सहजपणे बांधता येतात.
5. ते सर्वात मोठे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र प्रदान करतात.
6. रेल्वे आणि रस्त्यांसाठी योग्य नाही.

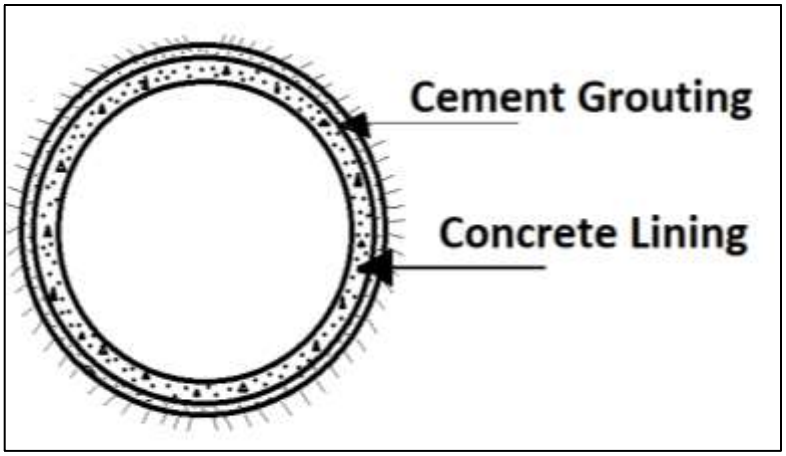


Figure 4.3 (b) वर्तुळाकार आकाराचा बोगदा
(स्रोत- https://civilnoteppt.com/shapes-of-tunnels)

C) सेगमेंटल किंवा 'D' आकाराचा बोगदा (Segmenttal or D shaped tunnel)

1. अशा प्रकारच्या बोगद्यांमध्ये उभ्या बाजूंसह छतांचा आकार खंडित असतो.
2. मऊ खडकात बांधणे कठीण
3. अस्तराची जाडी जास्त असते.
4. हे वाहतूक बोगदा म्हणून योग्य आहेत.
5. ते सामान्यतः सबवे मध्ये किंवा नेव्हिगेशन बोगद्यांमध्ये वापरले जातात.

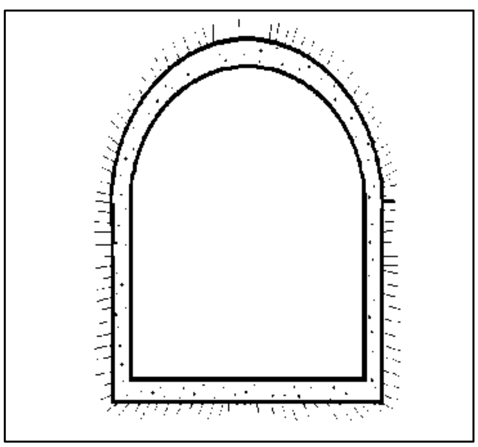


Figure 4.3.(c) डी आकाराचा बोगदा
(स्रोत- https://civilnoteppt.com/shapes-of-tunnels)

D) घोड्याच्या नालाच्या आकाराचा बोगदा (Horseshoe Shaped Tunnel)

1. कमानीच्या बाजू असलेले अर्धवर्तुळाकार छप्पर असणे
2. रेल्वे आणि रस्तेमार्गांमध्ये सामान्यतः वापरले जातात.
3. डी आकाराच्या आणि वर्तुळाकार बोगद्याचे फायदे एकत्र करते
4. बांधणे कठीण.
5. पाण्याच्या बोगद्यासाठी योग्य नाही.
6. मऊ खडकात योग्य.

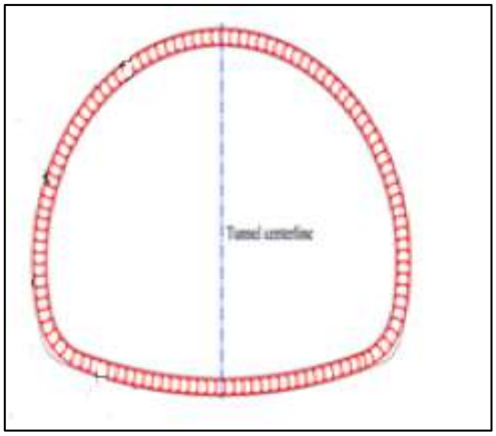


Figure 4.3 (d) *घोड्याच्या नालाच्या आकाराचा बोगदा*
(स्रोत- https://www.mdpi.com/)

E) अंड्याच्या आकाराचा बोगदा (Egged shaped Tunnel)

1. हे बोगदे बांधणे कठीण आहे.
2. ते वाहतूक बोगदे म्हणून योग्य नाहीत.
3. अशाप्रकारच्या बोगद्यांमध्ये तळाशी लहान क्रॉस-सेक्शन असते.
4. कोरड्या आणि पावसाळ्यात सांडपाण्याच्या प्रवाहासाठी त्यांच्याकडे स्वयं-स्वच्छतावेग आहे.
5. असे बोगदे त्यांच्या कमानीच्या क्रियेमुळेअंतर्गत तसेच बाह्य दाबांना प्रतिकार करतात.

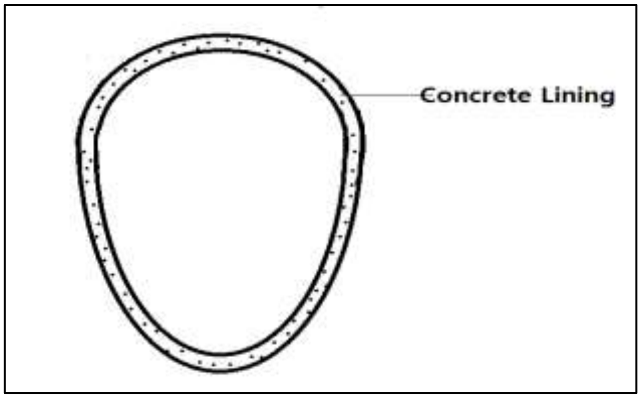


Figure 4.3 (e) अंड्याच्या आकाराचा बोगदा
(स्रोत- https://civilnoteppt.com/shapes-of-tunnels)

F) लंबवर्तुळाकार आकाराचा बोगदा (Elliptical Tunnel)

1. हे सॉफ्ट रॉक मध्ये दिलेले आहेत.
2. या बोगद्यांसाठी अस्तर बांधणे कठीणआहे.
3. पाणी वाहून नेण्यासाठी योग्य.
4. वाहतुकीसाठी योग्य नाही..
5. चांगल्या दाब प्रतिकारासाठी मेजरला उभे ठेवले आहे.

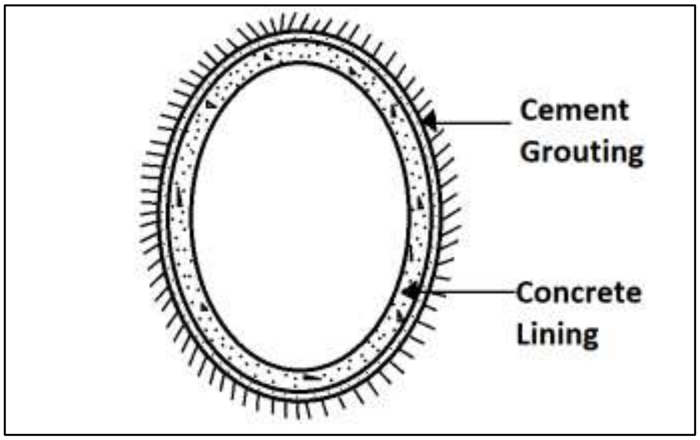


Figure 4.3 (f) लंबवर्तुळाकार बोगदा
(स्रोत- https://civilnoteppt.com/shapes-of-tunnels)

G) पॉली-सेंट्रिक बोगदा (Polycentric Tunnel)

1. अस्तर कठीण आहे.
2. अंतर्गत तसेच बाह्य दबावाचा प्रतिकार करू शकते.
3. याचे बोगदे अनेक केंद्रांमधून बांधले जातात.
4. बांधणे कठीण.

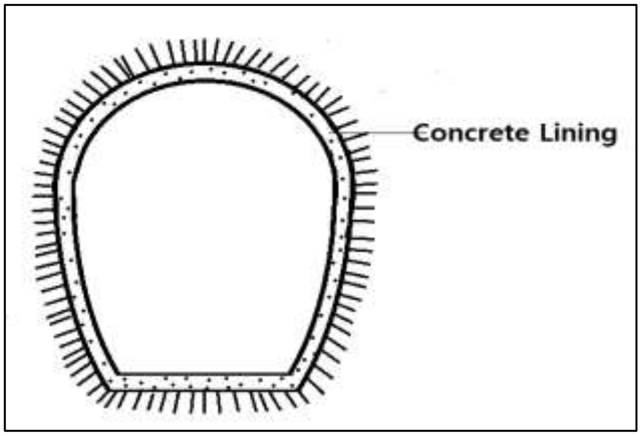


Figure 4.3 (g) पॉली-सेंट्रिक बोगदा
(स्रोत- https://civilnoteppt.com/shapes-of-tunnels)

4.3.2 बोगद्याचा आकार (Size of Tunnel)

हे खालील घटकांवर अवलंबून असते

1. **वाहतुकीचे प्रमाण आणि प्रकार**: वाहनाचा आकार आणि वेग यासह एकूण रहदारीचे प्रमाण आणि प्रकार बोगद्याच्या आकारावर परिणाम होईल.
2. **आवश्यक असलेल्या पारदर्शक उघडण्याच्या आकाराचे**: ते सिंगल किंवा ट्रॅकवर अवलंबून असते.
3. **अस्तराची जाडी आणि परवानगी**: अस्तराची जाडी आत टाकायच्या साहित्यानुसार बदलते.
4. **ड्रेनेज सुविधा आवश्यक**: योग्य ड्रेनेज सिस्टीमचा बोगद्याच्या आकारावर देखील परिणाम होतो.

4.4 बोगद्याची तपासणी आणि सर्वेक्षण (Tunnel Investigation and survey)

4.4.1 बोगद्याची तपासणी:

बोगद्याच्या सुरक्षित आणि किफायतशीर डिझाइन आणि लेआउटसाठी आवश्यक भूपृष्ठ आणि सामान्य डेटा मिळविण्यासाठी क्षेत्राच्या क्षेत्रीय आणि प्रयोगशाळेच्या तपासणीला बोगदा तपासणी म्हणतात.

बोगद्याच्या तपासणीमध्ये हे समाविष्ट आहे:

1. भूगर्भीय सर्वेक्षण
2. बोगदा आणि संबंधित बाबींचे संरेखन
3. बोगद्याचा आकार आणि माप निवडणे

1. भूगर्भीय सर्वेक्षण: (Geological survey)

भूगर्भीय संशोधनाचे विषय खालीलप्रमाणे आहेत:

1. बोगदा खोदताना उद्भवणाऱ्या समस्यांवरमात करण्यासाठी, पाण्याचे भूगर्भातील अस्तित्व, फॉल्टप्लेन इत्यादी शोधणे.
2. बोगदा कोणत्या थरातून बांधयचा आहे त्याचे प्रकारआणि स्वरूप जाणून घेणे जेणेकरून बोगदा खोदण्याची योग्य पद्धत ठरवता येईल.

2. बोगद्याचे संरेखन आणि त्याच्याशी संबंधित बाबी: (Alignment of Tunnel and Alied considerations)

योजनेतील बोगद्याच्या मध्यरेषेने व्यापलेल्या स्थानाला बोगदा संरेखन म्हणतात.

बोगद्याचे संरेखन निवडताना, खालील मुद्दे विचारात घेतले पाहिजेत:

1. बोगदा कठीण खडकांमधून गेला पाहिजे, कारण अपघातांची शक्यता सॉफ्टरॉकच्या तुलनेत खूपच कमी असते.
2. संरेखन असे असावेकी उत्खननाचे काम कमीतकमी होईल.
3. संरेखन जलवाहिनीजवळ नसावे.
4. बोगद्याचे प्रवेशद्वार डंपिंग यार्डजवळअसावे जेणेकरून कचरा कमीवेळेत बाहेर काढता येईल.
5. संरेखन शक्य तितके सरळअसावे.
6. बोगद्यात किमान शक्यग्रेड प्रदान केला पाहिजे.

3. बोगद्याचा आकार आणि माप निवडणे: (decision of Shape and size of tunnel)

वरील दोन मुद्द्यांचा विचार केल्यानंतर, जमिनीचे स्वरूपआणि वापरण्याचा उद्देशयावर अवलंबून, त्याचा आकारआणि माप ठरवता येईल.

4.4.2 बोगद्याचे सर्वेक्षण: (Tunnel Surveying)

बोगद्याच्या सर्वेक्षणाच्या कामात खालीलऑपरेशन्स समाविष्ट असतात:

1) जमिनीवर बोगद्याची मध्यरेषा शोधणे

1. बोगद्याचा मार्गनिश्चित केल्यानंतर, त्याची मध्यवर्ती रेषा (संरेखन) टेकड्या किंवा जमिनीवरूनअचूकपणे निश्चित केली जाते.
2. जेव्हा बोगद्याची लांबी कमी असते तेव्हा मध्यरेषा थियोडोलाइटच्या साहाय्याने शोधता येते.
3. जेव्हा बोगदा लांब असतो आणि उंचपर्वताखाली विचारात घ्यायचा असेल, तेव्हा मध्यरेषा शक्यतो मायक्रोमीटर ट्रान्झिटथियोडोलाइटच्या मदतीने त्रिकोणीकरणाद्वारे निश्चित केली जाते.
4. जमिनीत, खुंटेनियमित अंतराने चालवले जातात आणि मध्यरेषा चिन्हांकित केलीजाते.
5. जर शक्य नसेल तर जमिनीत खुंट्याठोका, दगडाच्या पृष्ठभागावरपांढरा टोकदार आणि मध्यभागी असलेली रेषा काळ्या रंगाने चिन्हांकित करा.
6. त्यानंतर संरेखन शेवटी दगड किंवा काँक्रीटच्या कायमस्वरूपी स्मारकांसाठीनिश्चित केले जाते.

2) मध्यरेषेवर शाफ्ट बांधणे (Constructing the shaft over the center line)

मध्यरेषा शोधल्यानंतर, नियमित अंतराने शाफ्ट तयार केले जातात.

3) बोगद्याच्या आतील बाजूस संरेखन स्थानांतरित करणे (Transferring the center line inside the tunnel)

1. शाफ्ट बांधल्यानंतर, बोगद्याचे संरेखन शाफ्टमधून खाली हलवावे लागेल.
2. यासाठी, बोगद्याच्या मध्यरेषेसह शाफ्टच्या विरुद्धकडांवर दोन खांब बांधले जातात.
3. या खांबांच्या वरच्या बाजूला, मध्यरेषेशी संबंधित बिंदू योग्यरित्या चिन्हांकित केले जातात आणि नंतर त्यांच्यामध्ये तार ताणली जाते.
4. Figure 4.4.1(a) मध्ये दाखवल्याप्रमाणे शाफ्टच्या आत दोन प्लंबबॉब्स लटकवलेले आहेत.
5. दोन्ही शाफ्टच्या तळाशी खाली केल्याने, दोन बिंदू चिन्हांकितकेले जातात.
6. बिंदूंना जोडणारी रेषा बोगद्याची मध्यरेषा दर्शवते.
7. काम जसजसे पुढे सरकते तसतसेशाफ्टमध्ये थियोडोलाइट ठेवून ही रेषाबोगद्यापर्यंत वाढवली जाते.

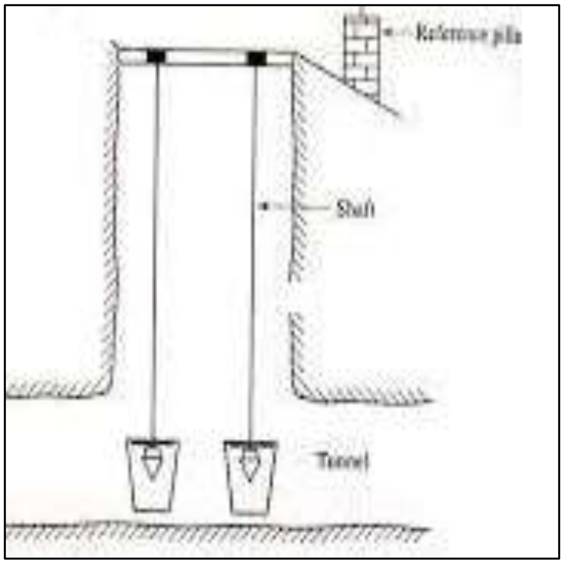


Fig 4.4.2 (a) संरेखन (मध्यभागी) शाफ्ट बोगद्याच्या तळाशी हस्तांतरितकरणे

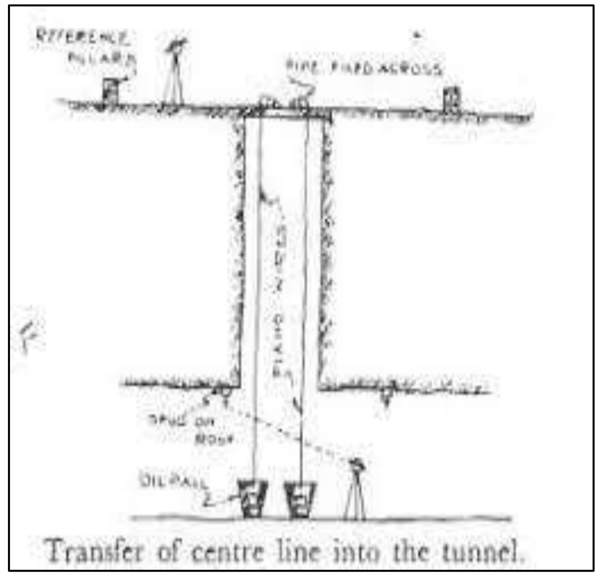


fig.4.4.2(b) संरेखन आतील बाजूस स्थानांतरित करणे

स्रोत- https://pdfyar.com

4.5 महामार्ग आणि रेल्वेसाठी बोगदा क्रॉस-सेक्शन (Cross section of tunnel for a national highway)

1. बोगद्याच्या बांधकामाचा खर्च जास्त असल्याने, आवश्यकअसलेले किमान परिमाणच स्वीकारले पाहिजेत.
2. वाहतुकीच्या प्रत्यक्ष हालचालीसाठी आणि पाण्याचे पाईप, वायुवीजनपाईप, ड्रेनेजसिस्टम, सिग्नल वायर इत्यादी दळणवळणमार्गांच्या देखभालीच्या कामासाठी परिमाणे सोयीस्करअसावीत.
3. अपघात टाळण्यासाठी दरवाजा उघडताना मोकळी जागा असणे आवश्यक आहे.
4. दोन पदरी महामार्ग (NH) साठी परिमाणे दर्शविणारा बोगद्याचा क्रॉससेक्शन Figure 4.5.1 मध्ये खाली दिला आहे.

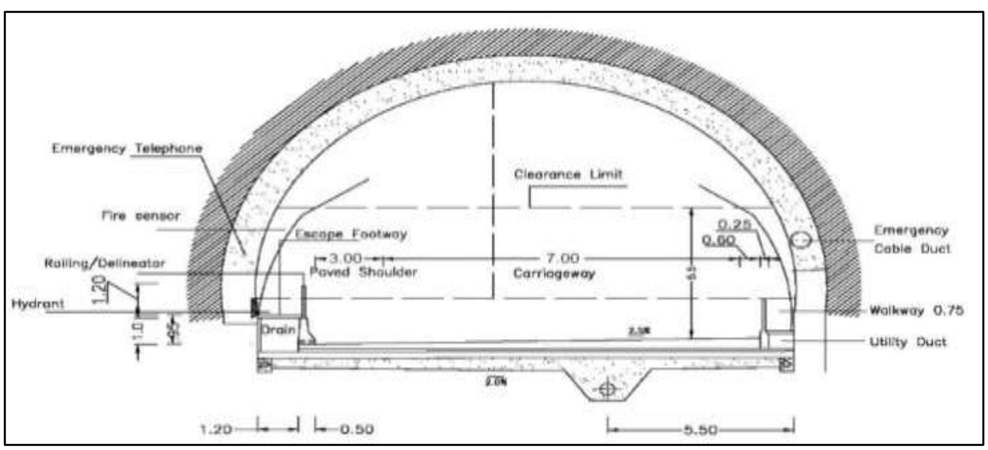


Figure 4.5.1 राष्ट्रीय महामार्गाचा क्रॉस सेक्शन
(स्रोत- https://www.linkedin.com/)

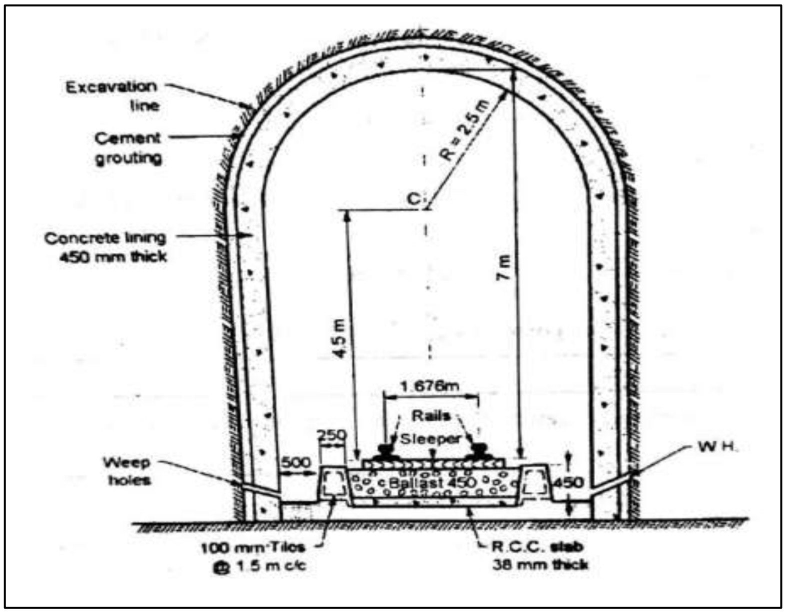


Figure 4.5.2 ब्रॉडगेज रेल्वेट्रॅकसाठी क्रॉस सेक्शन (एकलमार्ग)
(स्रोत- gpp7.org.in)

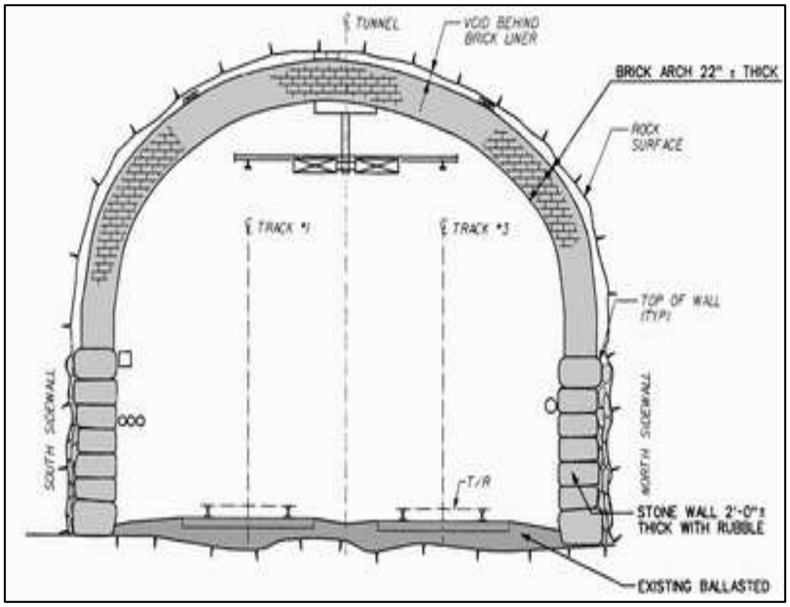


Figure 4.5.3 ब्रॉडगेज रेल्वेट्रॅकसाठी क्रॉस सेक्शन (दुहेरीमार्ग)
(स्रोत- http://projects.dr-sauer.com)

4.6 शाफ्ट (Shaft)

4.6.1 बोगद्याचे शाफ्ट

शाफ्ट म्हणजे उभ्या बोगद्या किंवा विहिरी किंवा मार्गअ सतात, जे जमिनीच्या पृष्ठभागापासून खाली बोगद्याच्या उलट्यामार्गापर्यंत पोहोचतात.

बोगद्याच्या मध्यवर्तीरेषेवरयोग्य ठिकाणी शाफ्ट बांधले जातात. प्रत्येक शाफ्ट काम करण्यासाठी अतिरिक्त बाजू पुरवत असल्याने, काम त्यावेळीअनेकठिकाणी सुरू करता येते आणि कमीवेळात पूर्ण करता येते.

4.6.2 शाफ्टचा उद्देश (Purpose of shaft)

1. गाडी चालवण्यासाठी प्रत्येक शाफ्टमध्ये दोनबाजू जोडून काम जलद करणे.
2. उत्खनन केलेल्या साहित्यासाठी आउटलेट उपलब्ध करून देणे
3. मोठ्या प्रमाणात पाण्याचा प्रवाह झाल्यास पंपिंग शाफ्टची व्यवस्था करणे.
4. संरेखन दुरुस्त करण्यासाठी
5. लांब बोगद्यांमध्ये, वायुवीजन परवडण्यासाठी आणि धूरआणि दुर्गंधीयुक्त हवा बाहेर काढण्यासाठी उपयुक्त आहेत.

4.6.3 खडकात शाफ्टचे बांधकाम (Construction of shaft in rocks)

ऑपरेशन मध्ये हे समाविष्ट आहे,

1. ड्रिलिंग आणि ब्लास्टिंग
2. मकिंग
3. टिंबरीग
4. पंपिंग

1. ड्रिलिंग आणि ब्लास्टिंग (Drilling and blasting):

1. ड्रिल होलचा सेंटर कट किंवा पिरॅमिड कट पॅटर्न स्वीकारला जातो.
2. मोठ्या शाफ्टच्या बाबतीत, मकिंग आणि ड्रिलिंग एकाच वेळी सुरूठेवण्यासाठी स्टेपिंग पुनर्संचयित केले जाते.

2. मकिंग (Mucking):

1. हे सहसा हाताने केले जाते आणि बादलीत भरले जाते आणि वरउचलले जाते.
2. जुळ्या बादल्या वापरता येतील जेणे करून एक वर चढत असताना दुसरी खाली उतरेल
3. स्फोटकांचा भार इतका नियंत्रित असावा की स्फोटांच्या तुकड्याचे वजन 90 N ते 900 N दरम्यान असेल जेणे करून ते हाताळणे सोपे होईल.

3. टिंबरीग (Timbering):

1. जरी खडकांच्या खांबांमध्ये सामान्यतः क्षैतिजदाब नसला तरी, पिंजऱ्यांसाठी मार्गदर्शक वाहून नेण्यासाठी आणि लॅगिंगला आधार देण्यासाठी लाकूड काम आवश्यक असल्याचे आढळले.
2. दगडाचे छोटे तुकडे तुटून कामगारांवर पडू नयेत आणित्यांना दुखापतहोऊ नये म्हणून लॅगिंगचा वापर केला जातो.
3. लाकडी संच म्हणजे दोन बाजूच्या लाकडाच्या लाकडाच्या सदस्यांपासून आणि शेवटच्या सदस्यांच्या जोडीपासून बनवलेले हेड फ्रेम्स असतात.
4. फ्रेम दोन कप्प्यांमध्ये विभागलीआहे, शिडीचा मार्गआणिउचलण्याचा मार्ग.

4. पंपिंग (Pumping):

1. पंपिंगसाठी शाफ्ट सहसा ओले असतात.
2. ओल्या शिवणांना सिमेंट ग्राउटिंगने सील केले जाते.
3. जेव्हा पंपिंग पुन्हा बुडणाऱ्या स्थितीत आणायचे असते तेव्हा सर्वात कमी लाकडाच्या सेटवर टांगलेला पंप वापरला जातो.
4. ब्लास्टिंग सुरूकरण्यापूर्वी पंप डिस्कनेक्ट करून वर उचलावा.

4.7 सॉफ्ट रॉकमध्ये बोगदे बांधणे (Tunnelling in Soft Rock)

1. मऊ खडकात बोगदे खोदणे तुलनेने स्वस्तआहे.
2. उत्खननाचे काम करताना कमी काळजी घ्यावी लागते.
3. उत्खनन सुरू झाल्यानंतर लगेचच लाकूडतोड केली जाते.
4. हे तात्पुरते आधार नंतर कायमस्वरूपी अस्तराने बदलले जातात.
5. मऊ खडकात बोगदे खोदण्यासाठी सहसा खालील ऑपरेशन्स केल्या जातात:
   A. स्थापना आणि उत्खनन
   B. लाकूडतोड
   C. उपहासकरणे
   D. अस्तर

4.7.1 मऊ खडकांमध्ये बोगदे काढण्याच्या पद्धती (Methods of Tunnelling in Soft Rocks)

सॉफ्ट रॉक मध्ये बोगदे टाकण्यासाठी खालील पद्धतींचा अवलंब केला जातो.

A. नीडल बीम पद्धत
B. फोर-पोलिंग पद्धत
C. लाईनप्लेट पद्धत
D. शिल्ड पद्धत

A) नीडल बीम पद्धत (Needle Beam Method)

1. त्यात मुख्य तात्पुरत्या आधारापासून बनवलेला एक मजबूत लाकडी तुळईचा समावेश आहे.
2. जेव्हा मातीचे छप्पर काही मिनिटे उभे राहू शकते तेव्हा ते वापरले जाते.

ऑपरेशनचा क्रम (Sequence of operation):

1. कार्यरत पृष्ठभागावर सुमारे 1 मीटरचा प्रवाह चालवला जातो.
2. या ड्रिफ्टचे छतचा दरीने झाकलेले आहे.
3. त्यावर ट्रेंच जॅक लावा.
4. 4 ते 6 मीटर लांबीचा सुईचा तुळईचा (Needle Beam) तुळई घातला जातो आणि त्याचे एक टोक फळीवर आणि दुसरे टोक मजबूत खांबावर ठेवले जाते.
5. जॅकच्या मदतीने, बाजूचे मार्ग रुंद केले जातात.

नीडल बीम पद्धतीचे फायदे (Advantages of needle beam method)

1. ही पद्धत किफायतशीरआहे.
2. या पद्धतीने विटांचे अस्तर सहजपणे करता येते.

नीडल बीम पद्धतीचे तोटे (Disadvantages of needle beam method)

A. यांत्रिक पद्धतीने काँक्रीटचेअस्तर करणे कठीण आहे.

B. त्यासाठी मोठ्या प्रमाणात फ्रेंचजॅक आणि कामगार टोळीच्या कार्यक्षमतेत अडथळा आवश्यक आहे.

C. या पद्धतीने बीम ढकलणे.

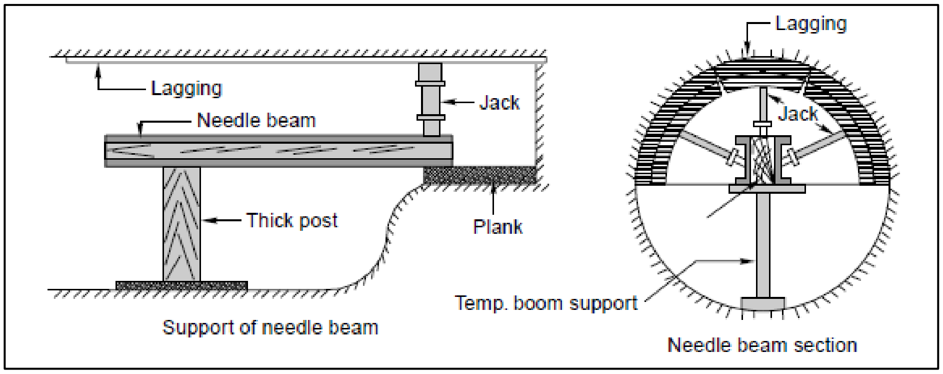


Figure 4.7.1 (a) नीडल बीम पद्धत (needle beam method)
स्रोत: https://vcetcivil.weebly.com

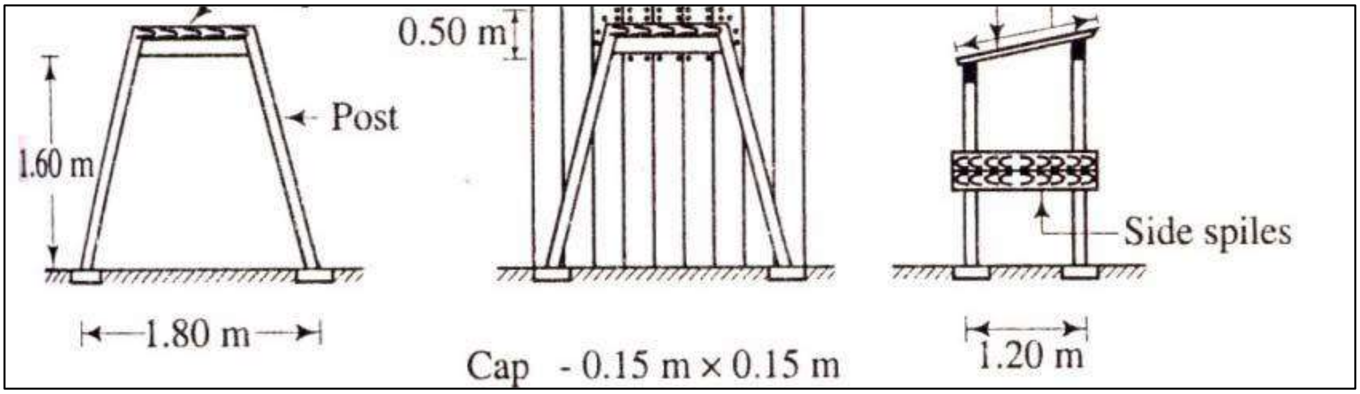
B) फोर-पोलिंग पद्धत

1. ही बोगदा खोदण्याची एक प्राचीन पद्धतआहे, परंतु आता ती कॉम्प्रेस्ड एअर पद्धतीने बदलली आहे.
2. या पद्धतीने बोगदा खोदण्यासाठी कुशल कामगार आणि देखरेखीची आवश्यकता असते.
3. हे सामान्यतः गटार, गॅस पाईप इत्यादींसाठी आवश्यकअसलेल्या लहान आकाराच्या बोगद्यांसाठी वापरले जाते.
4. जमिनीला आधार देण्यासाठी मोठ्या प्रमाणात लाकडाची आवश्यकता असते.
5. ते हळू आणि कंटाळवाणे आहे.

बांधकामाचे टप्पे (Steps in construction)

फोर-पोलिंग ही मऊ जमिनीतून बोगदा खोदण्याची जुनी पद्धत आहे. यापद्धतीत, एक फ्रेम तयार केली जाते बोगद्याच्या समोरील बाजूस ठेवलेलेआणि योग्य फळ्यांनी झाकलेले, अक्षर 'A' चाआकार.

1. त्यानंतर फ्रेमच्या वरच्या बाजूला योग्य खोलीपर्यंत खांब घातले जातात. या खांबांच्या खाली उत्खनन केले जाते, जे उभ्या खांबांनी आधारलेले असतात.
2. उत्खननदोन्ही बाजूंनी केले जाते आणि उत्खनन केलेल्या भागाला लाकडाचा आधार दिला जातो. अशाप्रकारे बोगद्याचा संपूर्ण भाग झाकलेला असतो. काम जसजसे पुढेजाते तसतसे ही प्रक्रिया पुन्हा केली जाते.



स्रोत: https://vcetcivil.weebly.com

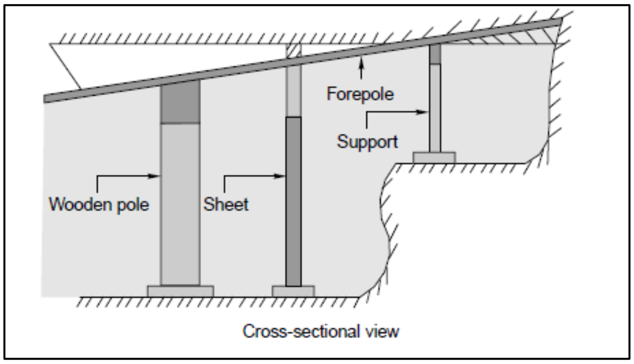


Figure 4.7.1 (b) फोर पोलिंग पद्धत (fore poling method)

स्रोत: https://vcetcivil.weebly.com

C) रेषीय प्लेट पद्धत (Linear plate Method)

1. रेषीय प्लेट पद्धतीमध्ये लाकडाची जागा मानक आकाराच्या दाबलेल्या स्टीलप्लेट्सने घेतली जाते.
2. दाबलेल्या स्टीलप्लेट्सचा वापरअलिकडच्या काळात झाला आहे.

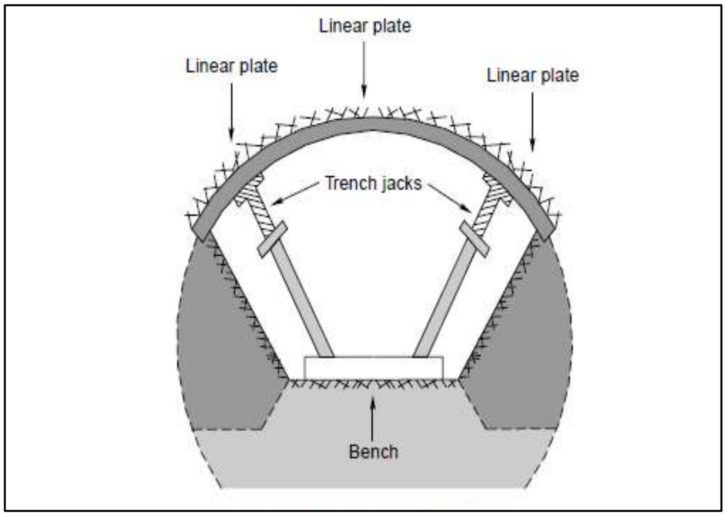


Figure 4.7.1 (c) रेषीय प्लेट पद्धत (Linear plate Method)

स्रोत: https://vcetcivil.weebly.com

D) शिल्ड पद्धत (Shield Method)

1. या पद्धतीमध्ये6 जमिनीखालील बोगदे चालविण्यासाठी शील्ड मशीनचा वापर केला जातो.
2. कामपूर्ण झाल्यानंतर,शील्ड मशीन शाफ्टमध्ये खाली आणली जाते आणि सुमारे 1.2 मीटर रुंदीच्या प्रीकास्ट काँक्रीट अस्तर विभागांचा वापर करून बोगद्यांचे उत्खनन आणि बांधकाम करण्यापूर्वी तेथे एकत्र केले जाते.
3. या बांधकाम पद्धतीमुळे वाहतुकीला आणि पर्यावरणाला कमीतकमी अडथळा येतो कारण सर्व काम जमिनीखाली होतेआणि जमिनीच्या पातळीच्या वातावरणावर त्याचा परिणाम होत नाही.

Questions for Practices

Q 1. Define Tunnel.
Q 2. State any four types of tunnels according to shape.
Q 3. State merits and demerits of the tunnel.
Q 4. Classify tunnels according to their function.
Q 5. State the factors affecting the alignment of the tunnel.
Q 6. State any four purposes of providing a shaft in the tunnel.
Q 7. Explain the needle beam method with a neat sketch.
Q 8. Describe the construction process of the shaft.
Q 9. Draw a cross-section of the tunnel for a single-line broad gauge railway track.
Q 10. Explain methods of tunnelling in soft rocks.

युनिट – V सुरुंगांचे बांधकाम आणि देखभाल
Unit - V CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF TUNNELS

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcomes)

CO 5: रेल्वे, पूल आणि सुरुंगांचे बांधकाम आणि देखभाल योग्यरित्या पार पाडणे.

सिद्धांत शिक्षण परिणाम (Theory Learning Outcomes)

TLO 5.1: उपलब्ध जमिनीच्या स्तरात सुरुंग बांधकामासाठी योग्य पद्धतीचा सल्ला देणे.
TLO 5.2: दिलेल्या जमिनीच्या स्तरासाठी योग्य ड्रिलिंग मशीनची निवड करणे.
TLO 5.3: दिलेल्या परिस्थितीत सुरुंगात लायनिंग करण्याची प्रक्रिया आणि त्याचे समर्थन स्पष्ट करणे.
TLO 5.4: सुरुंगात वेंटिलेशन आणि ड्रेनेजची तरतूद करण्याची आवश्यकता स्पष्ट करणे.
TLO 5.5: दिलेल्या सुरुंगाच्या देखभालीची प्रक्रिया स्पष्ट करणे.

सुरुंगांचे बांधकाम आणि देखभाल

5.1 परिचय (Introduction)

कठीण खडकात सुरुंग बांधकाम करताना स्थिरता, कार्यक्षमता आणि सुरक्षितता सुनिश्चित करण्यासाठी विशेष पद्धतींचा वापर केला जातो. खाली कठीण खडकात वापरल्या जाणाऱ्या चार प्रमुख सुरुंग बांधकाम पद्धतींचे तपशीलवार स्पष्टीकरण आहे.

5.1.1 फुल-फेस पद्धत

1. या पद्धतीत, संपूर्ण सुरुंग क्रॉस-सेक्शन एकाच वेळी खोदले जाते.
2. यासाठी शक्तिशाली खोदण्याची उपकरणे आवश्यक असतात, जसे की टनेल बोरिंग मशीन (TBM) किंवा ड्रिल आणि स्फोट तंत्रज्ञान.
3. खडक मजबूत आणि स्वयं-आधारीत असावा जेणेकरून कोसळणे टळेल.
4. खोदकामानंतर लगेचच आधार प्रणाली (जसे की शॉटक्रीट आणि रॉक बोल्ट) वापरली जाते.

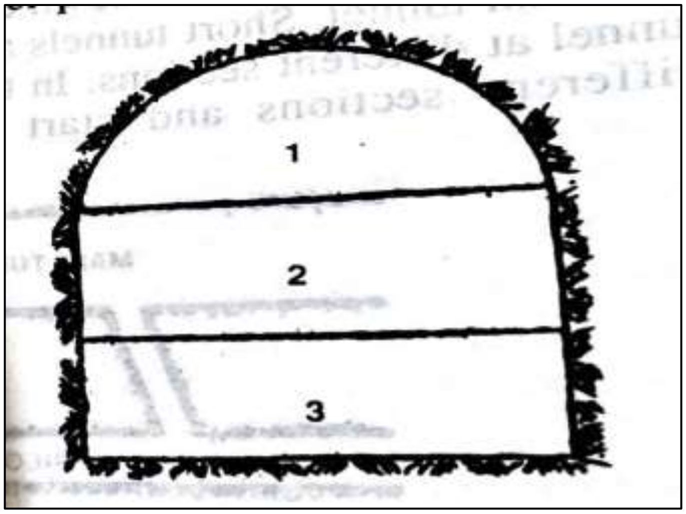


Figure 5.1 फुल-फेस पद्धत
(स्रोत: - रोड रेल्वे ब्रिजेस आणि बोगदे अभियांत्रिकी: अहुजा आणि बिर्डी, राजसन्स पब्लिकेशन)

5.1.1 फुल-फेस पद्धत

a. फायदे:

✔ खोदकामाचा दर वेगवान.
✔ मजबूत खडकात विकृतीचा धोका कमी.
✔ यंत्रीकृत सुरुंग बांधकामासाठी (उदा., टनेल बोरिंग मशीन - TBM) योग्य.

b. तोटे:

✘ मजबूत खडकाची अट आवश्यक.
✘ उपकरणांचा खर्च जास्त.
✘ कमकुवत किंवा तुटलेल्या खडकासाठी अधिक आव्हानात्मक.

5.1.2 हेडिंग आणि बेंच पद्धत

1. सुरुंगाचे खोदकाम दोन भागांत केले जाते:
   A. **हेडिंग** – प्रथम वरचा भाग खोदला जातो.
   B. **बेंच** – नंतर खालचा भाग काढला जातो.
2. यामुळे मोठ्या सुरुंगांचे खोदकाम करताना स्थिरता राखता येते.
3. हेडिंग खोदल्यानंतर तात्पुरते आधार (सपोर्ट्स) लावून कोसळणे टाळता येते.
4. मध्यम सामर्थ्याच्या खडकातील सुरुंगांसाठी योग्य

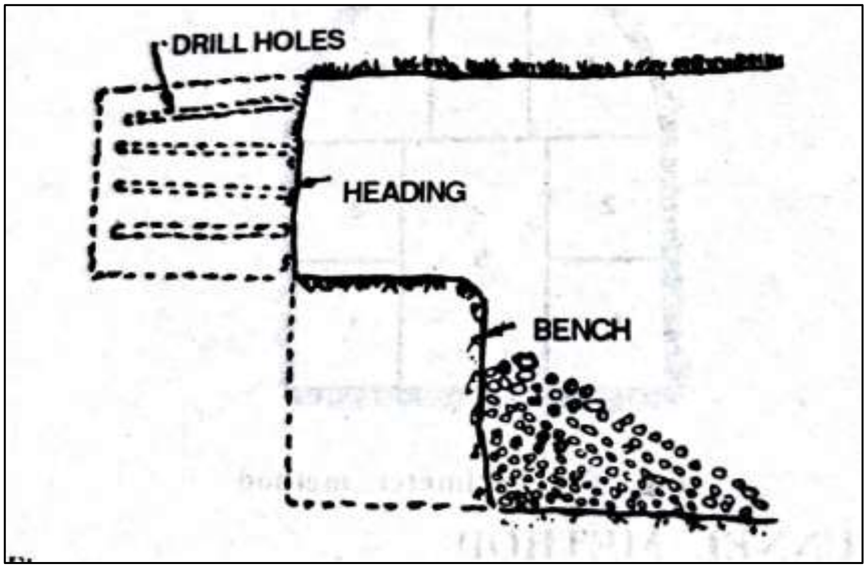


Figure.5.2 हेडिंग आणि बेंच पद्धत
(स्रोत: - रोड रेल्वे ब्रिजेस आणि बोगदे अभियांत्रिकी: अहुजा आणि बिर्डी, राजसन्स पब्लिकेशन)

5.1.2 हेडिंग आणि बेंच पद्धत

a. फायदे:

✔ विविध खडक सामर्थ्यासाठी लवचिकता प्रदान करते.
✔ हाताने किंवा यंत्रीकृत खोदकामासाठी अनुकूल.
✔ सुरुंग स्थिरतेवर चांगले नियंत्रण.

b. तोटे:

✘ फुल-फेस पद्धतीपेक्षा हळू.
✘ आधार संरचनांच्या नियोजनासाठी अधिक तयारी आवश्यक.
✘ श्रम आणि सामग्रीचा खर्च जास्त.

5.1.3 ड्रिफ्ट पद्धत

1. प्रथम, प्रस्तावित सुरुंग विभागाच्या मध्यभागी किंवा बाजूला एक लहान पायलट सुरुंग (ड्रिफ्ट) खोदला जातो.
2. हा ड्रिफ्ट खडकाची स्थिरता तपासण्यासाठी मार्गदर्शक म्हणून काम करतो.
3. ड्रिफ्ट स्थिर झाल्यानंतर, उर्वरित सुरुंग विभाग हळूहळू विस्तारित केले जातात.
4. कमकुवत, तुटलेले किंवा अत्यंत बदलत्या खडक परिस्थितीसाठी योग्य.

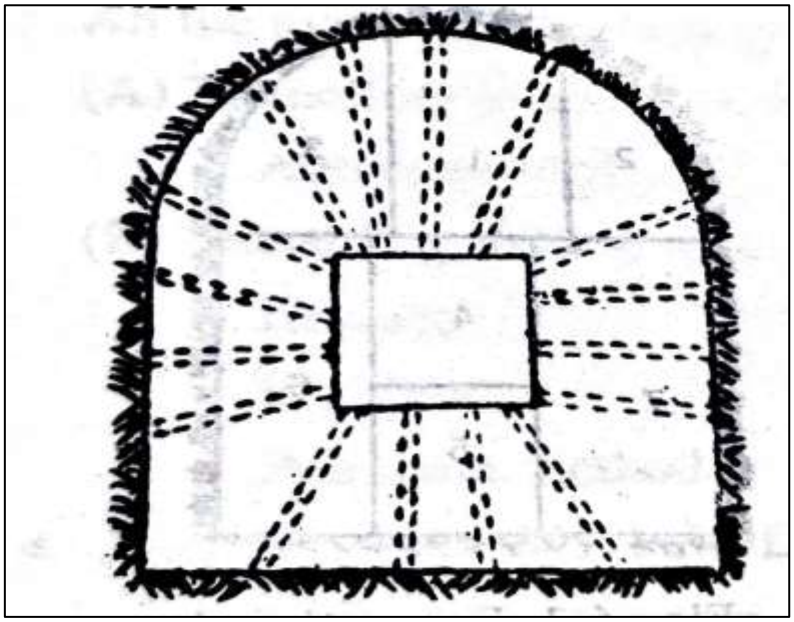


Figure.5.3 ड्रिफ्ट पद्धत
(स्रोत: - रोड रेल्वे ब्रिजेस आणि बोगदे अभियांत्रिकी: अहुजा आणि बिर्डी, राजसन्स पब्लिकेशन)

5.1.3 ड्रिफ्ट पद्धत

a. फायदे:

✔ खडक परिस्थितीचे वास्तविक वेळेत मूल्यांकन करण्यास अनुमती देते.
✔ सुरुंगाच्या आकार आणि डिझाइनमध्ये लवचिकता प्रदान करते.
✔ कठीण भूविज्ञानासाठी योग्य.

b. तोटे:

✘ इतर पद्धतींपेक्षा हळू.
✘ अधिक तात्पुरते आधार आवश्यक.
✘ खोदकाम आणि सामग्री हाताळण्याचे प्रयत्न वाढतात.

5.1.4 न्यू ऑस्ट्रियन टनेलिंग पद्धत (NATM)

1. NATM पद्धतीत सभोवतालचा खडक हा नैसर्गिक आधार संरचना म्हणून वापरला जातो.
2. वास्तविक वेळेत निरीक्षण करून आवश्यक आधार ठरवला जातो, जसे की:
   ✔ शॉटक्रीट (फवारलेला काँक्रिट)
   ✔ रॉक बोल्ट
   ✔ स्टील रिब्स
3. खोदकाम लहान पावलांमध्ये केले जाते, ज्यामुळे खडक परिस्थितीनुसार समायोजन करता येते.
4. आधुनिक सुरुंग प्रकल्पांमध्ये त्याच्या लवचिकतेमुळे सामान्यतः वापरली जाते.

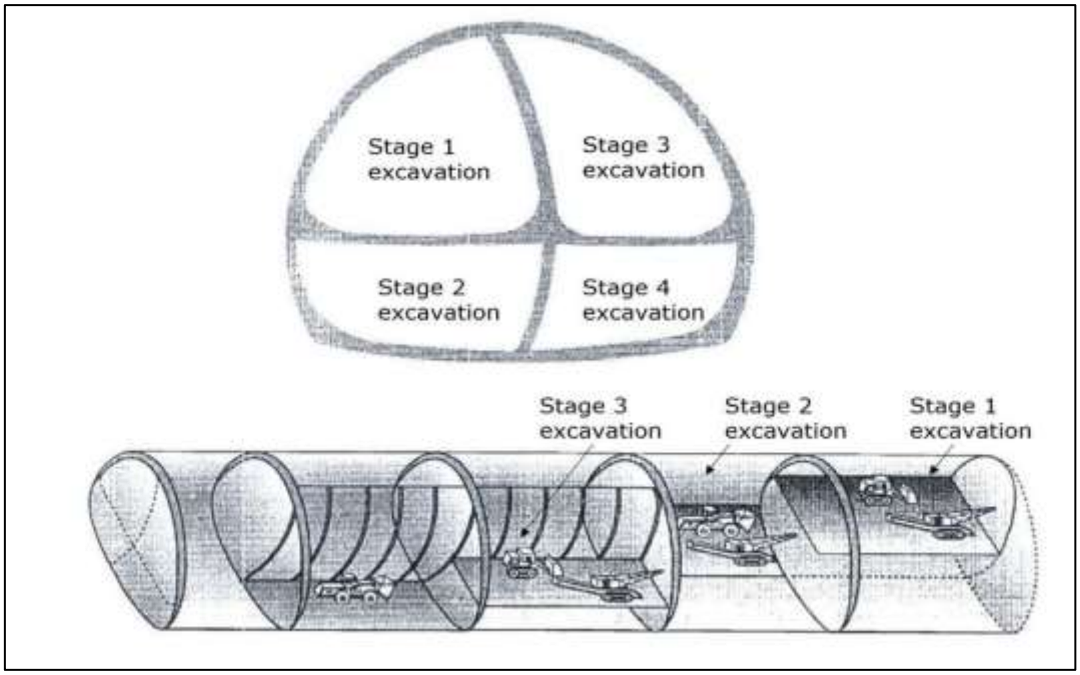


Figure 5.4 न्यू ऑस्ट्रियन बोगदा पद्धत (NATM)
(स्रोत: - रिसर्च पेपर, सायन्स डायरेक्ट: वासिलीकी जी. टेर्जी, जॉर्ज डी. मॅनोलिस, इन सॉइल डायनॅमिक्स अँड अर्थक्विक इंजिनिअरिंग, 2023)

5.1.4 न्यू ऑस्ट्रियन टनेलिंग पद्धत (NATM)

a. फायदे:

✓ विविध प्रकारच्या खडकांसाठी अनुकूल.
✓ जड बळकटीकरणाची आवश्यकता कमी करते.
✓ सामग्रीचा वापर ऑप्टिमाइझ करण्यास अनुमती देते.

b. तोटे:

✘ सतत निरीक्षण आणि कुशल कामगार आवश्यक.
✘ फुल-फेस किंवा TBM पद्धतींपेक्षा हळू.
✘ अत्यंत अस्थिर परिस्थितीसाठी बदल न केल्यास योग्य नाही.

5.2 सुरुंग बांधकामातील ड्रिलिंग उपकरणे

5.2.1 टनेल बोरिंग मशीन (TBM)

टनेल बोरिंग मशीन (TBM) हे वर्तुळाकार क्रॉस-सेक्शन असलेले सुरुंग खोदण्यासाठी वापरले जाणारे एक विशेष मशीन आहे. TBM ची कार्यक्षमता आणि पृष्ठभागावरील व्यत्यय कमी करण्याची क्षमता यामुळे ते शहरी सुरुंग प्रकल्प, रेल्वे सुरुंग आणि मेट्रो बांधकामात मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.

TBM चे प्रकार:

1. **अर्थ प्रेशर बॅलन्स (EPB) TBM:** खोदलेल्या सामग्रीचा वापर करून फेस सपोर्ट प्रदान करते.
2. **स्लरी शील्ड TBM:** फेस स्थिरता राखण्यासाठी प्रेशराइज्ड स्लरीचा वापर करते.
3. **ओपन-फेस TBM:** अतिरिक्त आधाराशिवाय कठीण खडक परिस्थितीसाठी योग्य.
4. **ग्रिपर TBM:** सुरुंग भिंतींवर हायड्रॉलिक ग्रिपर्सचा वापर करून आधार प्रदान करते.
5. **सिंगल शील्ड आणि डबल शील्ड TBM:** विविध खडक परिस्थितींमध्ये सेगमेंटल लायनिंगसह स्थिरता प्रदान करते.

TBM चे घटक:

1. **कटर हेड:** खडक तोडण्यासाठी कटिंग साधनांसह फिरणारा पुढचा भाग.
2. **मेन बीम:** TBM संरचनेला आधार देते.
3. **कन्वेयर सिस्टम:** खोदलेली सामग्री बाहेर काढते.
4. **शील्ड:** सुरुंग फेसला आधार प्रदान करते.
5. **बॅकअप सिस्टम:** नियंत्रण खोल्या आणि वेंटिलेशन सिस्टम सारखी सपोर्ट उपकरणे ठेवते.

5.2.2 ड्रिल्स:

सुरुंग बांधकामात खोदकाम, आधार आणि बळकटीकरणासाठी ड्रिलिंग महत्त्वाची भूमिका बजावते. भूवैज्ञानिक परिस्थिती आणि सुरुंगाच्या आवश्यकतांनुसार विविध ड्रिल्स आणि ड्रिल-वाहक उपकरणे वापरली जातात.

ड्रिल्सचे प्रकार:

1. **जंबो ड्रिल्स:** कठीण खडकात मोठ्या प्रमाणात ड्रिलिंगसाठी वापरले जाणारे मल्टी-बूम ड्रिल्स.
2. **रोटरी ड्रिल्स:** फिरत्या कटिंग बिट्ससह खोल बोअरहोल ड्रिलिंगसाठी वापरले जाते.
3. **पर्कशन ड्रिल्स:** खडक तोडण्यासाठी हातोड्याच्या क्रियेचा वापर करते.

4. **DTH (डाऊन-द-होल) ड्रिल्स:** स्फोट आणि अँकरिंगसाठी उच्च-अचूक ड्रिलिंग.
5. **ऑगर ड्रिल्स:** मऊ माती किंवा सैल खडक परिस्थितीसाठी वापरले जाते.

ड्रिल-वाहक उपकरणे:

1. सुरुंग साइटवर सहज हलविण्यासाठी क्रॉलर-माउंटेड ड्रिल्स.
2. खोल ड्रिलिंग ॲप्लिकेशन्ससाठी ट्रक-माउंटेड ड्रिल्स.
3. मेट्रो आणि रेल्वे सुरुंग प्रकल्पांसाठी रेल-माउंटेड ड्रिल्स.

5.2.4 सुरुंग बांधकामात वापरलेल्या स्फोटकांचे प्रकार

सुरुंग बांधकामात यांत्रिक खोदकाम शक्य नसल्यास खडक खंड तोडण्यासाठी स्फोटक महत्त्वाची भूमिका बजावतात. स्फोटकाची निवड खडक प्रकार, सुरुंग आकार आणि सुरक्षा विचारांवर अवलंबून असते.

सामान्य स्फोटक:

1. **डायनामाईट:** कठीण खडक परिस्थितींमध्ये नियंत्रित स्फोटासाठी अत्यंत प्रभावी.
2. **ANFO (अमोनियम नायट्रेट फ्यूल ऑइल):** कमी खर्चातील आणि मोठ्या प्रमाणात स्फोटासाठी वापरले जाते.
3. **स्लरी स्फोटक:** ओल्या परिस्थितींमध्ये वापरलेले पाण्यापासून संरक्षित स्फोटक.
4. **इमल्शन स्फोटक:** सुरक्षित आणि स्थिर, उच्च-ऊर्जा स्फोटासाठी वापरले जाते.
5. **जेल्स आणि कास्ट बूस्टर्स:** अचूक ॲप्लिकेशन्ससाठी उच्च-ऊर्जा स्फोटक.

5.2.5 सुरुंग बांधकामातील स्फोटक तंत्र:

1. **ड्रिल आणि ब्लास्ट पद्धत:** कठीण खडक सुरुंगांसाठी सर्वात सामान्य पद्धत.
2. **नियंत्रित स्फोट:** कंपन आणि खडक खंड कमी करण्यासाठी वापरले जाते.
3. **स्मूथ ब्लास्टिंग:** कमीत कमी ओव्हर ब्रेक आणि नियंत्रित सुरुंग प्रोफाइल सुनिश्चित करते.

5.3 बोगद्याचे अस्तरीकरण (Tunnel Lining)

बोगद्याचे अस्तरीकरण म्हणजे बोगद्याच्या आत बसवलेली संरक्षक स्तर होय, जी उत्खननाला आधार देते, कोसळण्यापासून प्रतिबंध करते आणि टिकाऊपणा वाढवते. हे संरचनात्मक स्थिरता, जलरोधक क्षमता आणि सुरक्षितता सुनिश्चित करते, तसेच बोगद्याच्या सेवा आयुष्यात सुधारणा करते. भूवैज्ञानिक स्थिती, उद्देश आणि रचनेनुसार बोगद्याचे अस्तरीकरण तात्पुरते किंवा कायमस्वरूपी असू शकते.

5.3.1 बोगद्याच्या अस्तरीकरणाचा उद्देश

बोगद्याच्या अस्तरीकरणाचे मुख्य उद्देश खालीलप्रमाणे आहेत:

1. **संरचनात्मक आधार:** बोगद्याच्या भिंतींना मजबुती देऊन कोसळण्यापासून संरक्षण.
2. **जलरोधक क्षमता:** पाणी झिरपणे कमी करून बोगद्याचे संरक्षण.
3. **भार वितरण:** जडत्व आणि जिवंत भार सुरक्षितपणे भूस्तरावर वितरीत करणे.
4. **अपक्षय व रासायनिक संरक्षण:** हवामान आणि रासायनिक घातक पदार्थांपासून संरक्षण.

5. **गुळगुळीत पृष्ठभाग:** रस्ते व रेल्वे बोगद्यांसाठी गुळगुळीत मार्ग उपलब्ध करणे.
6. **सौंदर्य व सुरक्षितता सुधारणा:** दृश्यमानता वाढवणे आणि कामाच्या परिस्थिती सुधारणे.

5.3.2 अस्तरीकरणाच्या प्रकारावर परिणाम करणारे घटक

बोगद्याच्या अस्तरीकरणाचा प्रकार ठरवताना खालील घटक विचारात घेतले जातात:

1. भूवैज्ञानिक स्थिती

1. **मऊ माती किंवा सैल खडक:** मजबूत व प्रबळ अस्तरीकरण आवश्यक (जसे की शॉटक्रीट, स्टीलचे आधाररचना).
2. **कठीण खडक:** तुलनेने कमी अस्तरीकरण आवश्यक, फक्त कमकुवत भागात मजबुतीकरण पुरेसे.
3. **पाण्याने परिपूर्ण स्तर:** जलरोधक अस्तरीकरण आवश्यक (जसे की काँक्रीट किंवा पॉलिमर कोटिंग).

2. बोगद्याचा उद्देश

1. **रस्ता व रेल्वे बोगदे:** गुळगुळीत आणि टिकाऊ काँक्रीट किंवा पूर्वनिर्मित अस्तरीकरण आवश्यक.
2. **जलवाहतूक बोगदे:** जलरोधक आणि गंजरोधक अस्तरीकरण आवश्यक.
3. **मेट्रो व भूमिगत संरचना:** जलद बांधकामासाठी पूर्वनिर्मित सेगमेंटल अस्तरीकरण प्राधान्य दिले जाते.

3. बांधकाम पद्धती

1. **ड्रिल आणि ब्लास्ट पद्धत:** शॉटक्रीट, रॉक बोल्ट आणि कास्ट-इन-सिटू अस्तरीकरणाचा वापर.
2. **टीबीएम (टनल बोरिंग मशीन) पद्धत:** पूर्वनिर्मित सेगमेंटल अस्तरीकरणाचा वापर.
3. **कट-अँड-कव्हर पद्धत:** प्रबलित काँक्रीट किंवा स्टील अस्तरीकरणाचा वापर.

4. भार आणि तणाव परिस्थिती

1. **खोल बोगदे आणि जड माती दाब:** मजबूत अस्तरीकरण आवश्यक.
2. **भूकंपप्रवण क्षेत्र:** लवचिक अस्तरीकरण जसे की फायबर-रेइन्फोर्स्ड काँक्रीट प्राधान्य दिले जाते.

5. पर्यावरणीय आणि आर्थिक घटक

1. **खर्च:** बांधकाम साहित्य आणि मजुरीचा प्रभाव.
2. **टिकाऊपणा व देखभाल:** दीर्घकाळ टिकणारे आणि कमी देखभाल लागणारे साहित्य प्राधान्याने निवडले जाते.
3. **हवामान व भूजल स्थिती:** गंजरोधक अस्तरीकरण आवश्यक.

5.3.3 बोगद्याच्या अस्तरीकरणाच्या पद्धती

1. शॉटक्रीट अस्तरीकरण

1. स्प्रे केलेले काँक्रीट (शॉटक्रीट) भिंतींवर लावले जाते.

2. स्टील जाळी किंवा फायबरने मजबुतीकरण केले जाते.
3. NATM (नवीन ऑस्ट्रियन बोगदा पद्धती) आणि खडकाच्या बोगद्यांमध्ये वापरले जाते.

2. कास्ट-इन-सिटू काँक्रीट अस्तरीकरण

1. बोगद्याच्या आत साच्याच्या सहाय्याने ठिकाणीच काँक्रीट ओतले जाते.
2. टिकाऊ आणि गुळगुळीत पृष्ठभाग प्रदान करतो.
3. मोठ्या बोगद्यांसाठी आणि मेट्रो प्रकल्पांमध्ये वापरले जाते.

3. पूर्वनिर्मित सेगमेंटल अस्तरीकरण

1. पूर्वनिर्मित काँक्रीटचे तुकडे बोगद्यात एकत्र केले जातात.
2. टीबीएम पद्धतीद्वारे जलद बांधकामासाठी वापरले जाते.
3. समतोल आणि मजबूत संरचना सुनिश्चित करते.

4. स्टील आणि रिब सपोर्ट अस्तरीकरण

1. अस्थिर भूस्तरात त्वरित आधार देण्यासाठी वापरले जाते.
2. तात्पुरते किंवा कायमस्वरूपी अस्तरीकरण म्हणून वापरले जाऊ शकते.
3. काँक्रीटसोबत एकत्रित करून मजबूतपणा वाढवला जातो.

5. विटा किंवा दगडी अस्तरीकरण

1. लहान बोगद्यांसाठी पारंपरिक पद्धत.
2. कमी दाब असलेल्या बोगद्यांसाठी योग्य.

6. पॉलिमर आणि जलरोधक झिल्ली अस्तरीकरण

1. जलरोधकता आवश्यक असलेल्या बोगद्यांमध्ये वापरले जाते.
2. काँक्रीट किंवा शॉटक्रीटच्या वर संरक्षक स्तर म्हणून बसवले जाते.

5.4 बोगद्याचे वायुवीजन आणि जलनिकासी

बोगद्याचे वायुवीजन आणि जलनिकासी प्रणाली या महत्त्वाच्या पायाभूत सुविधा आहेत ज्या हवेच्या गुणवत्तेची देखभाल, संरचनात्मक स्थिरता आणि कार्यरत सुरक्षितता सुनिश्चित करतात. वायुवीजन प्रणाली हवेचे योग्य प्रमाणात आदान-प्रदान करते, प्रदूषक काढून टाकते आणि सुरक्षित वातावरण निर्माण करते, तर जलनिकासी प्रणाली पाणी साचण्यापासून प्रतिबंध करते, जे बोगद्याच्या संरचनेला कमकुवत करू शकते आणि धोकादायक परिस्थिती निर्माण करू शकते.

5.4.1 बोगद्याच्या वायुवीजनाचा उद्देश

बोगद्याच्या वायुवीजन प्रणालीचे मुख्य उद्देश खालीलप्रमाणे आहेत:

1. **हवेच्या गुणवत्तेचे नियमन:** हानिकारक वायू (उदा. CO_2, NO_2, CO) काढून टाकणे आणि ताजी हवा पुरवणे.
2. **धूर आणि आगीचे नियंत्रण:** आपत्कालीन परिस्थितीत धूर बाहेर टाकण्यास मदत करणे.

3. **तापमान नियंत्रण:** लांब बोगद्यांमध्ये, विशेषतः रेल्वे आणि मेट्रोसाठी, उष्णता वाढू न देणे.
4. **कामगारांची सुरक्षितता:** बांधकाम आणि देखभाल दरम्यान पुरेसा ऑक्सिजन पुरविणे.

5.4.2 बोगद्याच्या वायुवीजनाच्या पद्धती

वायुवीजनाची पद्धत बोगद्याची लांबी, वाहतुकीची तीव्रता आणि पर्यावरणीय परिस्थितींवर अवलंबून असते.

(a) नैसर्गिक वायुवीजन

1. हवेच्या दाबातील फरकामुळे नैसर्गिक हवेच्या प्रवाहाचा उपयोग केला जातो.
2. लहान बोगद्यांसाठी आणि कमी वाहतूक असलेल्या बोगद्यांसाठी उपयुक्त.
3. लांब किंवा अधिक वाहतूक असलेल्या बोगद्यांसाठी प्रभावी नाही.

(b) लांबीसमान वायुवीजन (Longitudinal Ventilation)

1. मोठ्या पंख्यांचा वापर करून बोगद्याच्या संपूर्ण लांबीरुंदीमध्ये हवा ढकलली जाते.
2. महामार्ग आणि मेट्रो बोगद्यांमध्ये सर्वसामान्यतः वापरले जाते.
3. बोगद्याच्या रचनेनुसार एकमार्गी किंवा द्विमार्गी प्रणाली असते.

(c) आडवे वायुवीजन (Transverse Ventilation)

1. ताजी हवा भिंती किंवा छतामधून वायुनलिकेद्वारे पुरवली जाते.
2. वापरलेली हवा वेगळ्या निकासी प्रणालीद्वारे बाहेर टाकली जाते.
3. लांब बोगद्यांसाठी उपयुक्त, जिथे नैसर्गिक वायुवीजन अपुरे पडते.

(d) अर्ध-आडवे वायुवीजन (Semi-Transverse Ventilation)

1. लांबीसमान आणि आडवे वायुवीजन यांच्या संयोगाने कार्य करते.
2. ठराविक अंतरावर ताजी हवा दिली जाते, तर वापरलेली हवा पंख्यांच्या साहाय्याने बाहेर टाकली जाते.
3. प्रदूषण आणि हवेचा प्रवाह नियंत्रित करण्यासाठी प्रभावी.

(e) साकार्दो जेट प्रणाली (Saccardo Jet System)

1. बोगद्याच्या प्रवेशद्वाराजवळ जेट पंखे बसवले जातात, जे हवेच्या प्रवाहाला दिशा देतात.
2. महामार्ग बोगद्यांमध्ये प्रभावी, जिथे वेगवान हवेच्या प्रवाहाची आवश्यकता असते.

(f) यांत्रिक वायुवीजन (Forced Ventilation)

1. मोठ्या क्षमतेचे पंखे, वायुनलिका आणि हवेच्या नळ्या यांचा समावेश असतो.
2. उच्च वाहतूक असलेल्या बोगद्यांमध्ये आवश्यक (उदा. मेट्रो बोगदे, खाण बोगदे).

3. यामध्ये जेट फॅन, ॲक्सियल फॅन आणि सेंट्रीफ्यूगल फॅन यांचा समावेश होतो.

5.4.3 बोगद्याच्या जलनिकासीचा उद्देश

प्रभावी जलनिकासी प्रणालीमुळे खालील गोष्टी रोखता येतात:

1. **संरचनात्मक हानी:** भूजल झिरपल्यामुळे बोगद्याच्या अस्तरीकरणाला धोका निर्माण होतो.
2. **पाणी साठणे:** पूर आणि वाहतूक धोक्यांचा धोका कमी करतो.
3. **गंज आणि अपक्षय:** बोगद्याच्या भिंतींना रासायनिक आणि जैविक नुकसानापासून संरक्षण मिळते.
4. **आगीच्या सुरक्षिततेवरील धोका:** पाणी झिरपल्यामुळे विद्‌युत यंत्रणा बिघडण्याची शक्यता कमी होते.

5.4.4 बोगद्याच्या जलनिकासीच्या पद्धती

जलनिकासी प्रणालीला पाण्याचा स्रोत आणि प्रवाहाच्या प्रकारानुसार वर्गीकृत केले जाते.

(a) पृष्ठीय जलनिकासी प्रणाली (Surface Drainage System)

1. बोगद्याच्या भिंती आणि रस्त्यावरील पाणी गोळा करते.
2. बाजूचे नाले, गटारे आणि आडवे निचरा प्रणालीचा समावेश असतो.
3. महामार्ग आणि रेल्वे बोगद्यांसाठी महत्त्वाची आहे, जिथे वाहनांच्या हालचालीमुळे ओलावा वाढतो.

(b) अधोमृदा जलनिकासी प्रणाली (Subsurface Drainage System)

1. भूजल झिरपणे व्यवस्थापित करण्यासाठी वापरली जाते.
2. छिद्रयुक्त पाईप्स, भूस्तर कपडे (Geotextile Filters) आणि ड्रेनेज विहिरी यांचा समावेश असतो.
3. उच्च जलस्तर असलेल्या क्षेत्रांमधील बोगद्यांसाठी वापरले जाते.

(c) लांबीसमान जलनिकासी प्रणाली (Longitudinal Drainage System)

1. बोगद्याच्या लांबीसमान वाहणारे पाणी गोळा करून संकलन कुपीत (Sump Pit) जमा करते.
2. पाण्याच्या उपशासाठी पंपिंग स्टेशनसह एकत्र वापरले जाते.

(d) आडवी जलनिकासी प्रणाली (Transverse Drainage System)

1. पाणी वाहून नेण्यासाठी आडवे नाले बसवले जातात.
2. डोंगराळ भाग आणि कट-अँड-कव्हर बोगद्यांसाठी उपयुक्त.

(e) पंपिंग प्रणाली (Pumping Systems)

1. ज्या बोगद्यांमध्ये गुरुत्वाकर्षणाने पाणी बाहेर काढता येत नाही, तिथे वापरली जाते.
2. संकलन कुपी आणि पंपांचा समावेश असतो, जे पाणी बाहेर काढून वाहिन्यांमध्ये सोडतात.

(f) जलरोधक आणि सीलिंग प्रणाली (Waterproofing and Sealing)

1. झिरपणारे पाणी रोखण्यासाठी अस्तरीकरण, झिल्ली आणि रासायनिक ग्राउटिंगचा वापर केला जातो.
2. अतिशय सच्छिद्र किंवा विदीर्ण खडकातून जाणाऱ्या बोगद्यांसाठी अत्यावश्यक.

5.5 बोगद्याची देखभाल

5.5.1 बोगद्याच्या देखभालीचा उद्देश

बोगद्याच्या देखभालीमागील प्रमुख उद्देश खालीलप्रमाणे आहेत:

1. **संरचनात्मक स्थिरता:** बोगद्याच्या अस्तरीकरणाच्या, सांध्यांच्या आणि आधाराच्या ऱ्हासास प्रतिबंध करणे.
2. **सुरक्षितता सुनिश्चित करणे:** गळती, आगी किंवा ढासळण्यामुळे होणाऱ्या अपघातांचा धोका कमी करणे.
3. **वायुवीजन आणि जलनिकासी कार्यक्षम ठेवणे:** संभाव्य धोकादायक परिस्थिती टाळण्यासाठी वायुवीजन आणि जलनिकासी प्रणाली सुस्थितीत ठेवणे.
4. **वाहतूक आणि सेवा अखंडता:** वाहने, रेल्वे किंवा उपयुक्त सुविधांची अखंडित वाहतूक सुनिश्चित करणे.
5. **खर्च कमी करणे:** नियमित देखभाल करून आपत्कालीन दुरुस्तीचा मोठा खर्च टाळणे.
6. **नियम व सुरक्षा मानकांचे पालन:** सरकारी आणि अभियांत्रिकी सुरक्षा मानकांचे पालन करणे.

5.5.2 बोगद्याच्या देखभालीच्या पद्धती

बोगद्याची देखभाल वारंवारता आणि आवश्यक कामाच्या स्वरूपावर आधारित खालील तीन प्रकारांमध्ये विभागली जाऊ शकते:

1. **नियमित देखभाल (Routine Maintenance)**
2. **प्रतिबंधात्मक देखभाल (Preventive Maintenance)**
3. **सुधारात्मक देखभाल (Corrective Maintenance)**

1. नियमित देखभाल (Routine Maintenance)

यामध्ये वेळोवेळी तपासणी व लहान दुरुस्ती समाविष्ट असते.

(a) संरचनात्मक तपासणी (Structural Inspections)

1. बोगद्याच्या अस्तरीकरणाच्या, सांध्यांच्या आणि भेगांच्या दृश्य निरीक्षणाद्वारे तपासणी.
2. स्फोट, गळती किंवा गंज शोधण्यासाठी विश्लेषण.
3. जमिनीत दडलेले दोष शोधण्यासाठी ग्राउंड-पेनेट्रेटिंग रडार (GPR) आणि इन्फ्रारेड थर्मोग्राफीचा वापर.

(b) स्वच्छता आणि कचरा व्यवस्थापन (Cleaning and Debris Removal)

1. रस्ते आणि फूटपाथांची नियमित स्वच्छता.
2. वायुवीजन व प्रकाश प्रणालींवर साठलेला धूळ व कचरा काढून टाकणे.
3. उच्च दाबाच्या पाण्याच्या जेटद्वारे बोगद्याच्या भिंती स्वच्छ करणे.

(c) जलनिकासी प्रणालीची देखभाल (Drainage System Maintenance)

1. नाले, संकलन कुपी आणि पंपिंग स्टेशनची स्वच्छता करणे.
2. गाळ साचण्याची किंवा नळ्या तुंबण्याची तपासणी करणे.
3. पाणी उपसा पंप आणि फिल्टरची कार्यक्षम स्थिती तपासणे.

(d) विद्युत आणि यांत्रिक प्रणाली देखभाल (Electrical and Mechanical System Maintenance)

1. प्रकाशयोजना, संप्रेषण आणि नियंत्रण प्रणालींची तपासणी.
2. वायुवीजन पंखे, आपत्कालीन गजर आणि अग्निशमन प्रणालींची तपासणी.
3. वीज पुरवठा आणि बॅकअप जनरेटरची चाचणी करणे.

2. प्रतिबंधात्मक देखभाल (Preventive Maintenance)

बोगद्याच्या घटकांच्या ऱ्हासास प्रतिबंध घालण्यासाठी आणि आयुष्यमान वाढवण्यासाठी प्रगत उपाययोजना केल्या जातात.

(a) संरचनात्मक मजबुतीकरण आणि दुरुस्ती (Structural Strengthening and Repair)

1. शॉटक्रिट, इपॉक्सी इंजेक्शन किंवा फायबर-रिइन्फोर्स्ड पॉलिमर (FRP) वापरून भिंतींचे मजबुतीकरण.
2. पाण्याचा प्रवेश रोखण्यासाठी भेगा आणि सांधे बंद करणे.
3. झिजलेले विस्तार सांधे बदलणे.

(b) गंज संरक्षण (Corrosion Protection)

1. पोलाद आणि काँक्रीटच्या पृष्ठभागांवर संरक्षक कोटिंग लावणे.
2. धातू गंजू नये म्हणून कॅथोडिक संरक्षण प्रणाली बसवणे.
3. पाण्यातील रासायनिक गुणधर्मांचा आढावा घेऊन गंज होण्याचा धोका कमी करणे.

(c) वायुवीजन प्रणालीची देखभाल (Ventilation System Upkeep)

1. वायुवीजन नलिकांमधील गाळ काढून टाकणे आणि एअर फिल्टर बदलणे.
2. हवेच्या गुणवत्तेच्या निरीक्षणासाठी सेन्सरची अंशशुद्धता करणे.
3. अक्षीय आणि जेट पंख्यांची ग्रीसिंग आणि चाचणी करणे.

(d) अग्निसुरक्षा प्रणालीची देखभाल (Fire Safety System Maintenance)

1. आग गजर, धूर शोधक आणि आपत्कालीन प्रकाशयोजनेची तपासणी.
2. अग्निशामक यंत्रणेची तपासणी आणि रिफिल करणे.
3. स्वयंचलित पाणी फवारणी प्रणाली आणि अग्निशमन जलवाहिन्यांची तपासणी.

(e) भूकंप व स्थिरता निरीक्षण (Seismic and Stability Monitoring)

1. संरचनात्मक आरोग्य निरीक्षणासाठी स्ट्रेन गेज आणि विस्थापन सेन्सर बसवणे.
2. कमकुवत भागांचे मजबुतीकरण करण्यासाठी रॉक बोल्ट, पोलादाच्या कमानी किंवा ग्राउटिंग वापरणे.
3. भूकंपीय हालचालींचे डेटा विश्लेषण करून धोके ओळखणे.

3. सुधारात्मक देखभाल (Corrective Maintenance)

जेव्हा संरचनात्मक किंवा कार्यक्षमतेतील गंभीर दोष उद्भवतात, तेव्हा आपत्कालीन दुरुस्ती किंवा मोठे पुनर्वसन आवश्यक असते.

(a) संरचनात्मक नुकसानीची दुरुस्ती (Repairing Structural Damage)

1. पडलेल्या किंवा कमकुवत भागांचे काँक्रीट अस्तरीकरण, पोलादाच्या कमानी किंवा फायबर कापडाने मजबुतीकरण.
2. पोकळी आणि रिकाम्या जागा भरण्यासाठी ग्राउटिंग.
3. प्री-कास्ट सेगमेंटल बोगद्यांमध्ये खराब झालेले भाग बदलणे.

(b) विद्युत आणि यांत्रिक दोष दुरुस्ती (Electrical and Mechanical Failures)

1. खराब झालेली प्रकाशव्यवस्था, वीजवाहिन्या किंवा वायुवीजन पंखे बदलणे.
2. आपत्कालीन संप्रेषण आणि सिग्नलिंग प्रणाली सुधारणे.
3. अग्निशमन प्रणालीचे दुरुस्ती व सुधारणा.

(c) पूर आणि पाणी गळती व्यवस्थापन (Flood and Water Ingress Management)

1. आपत्कालीन पंपिंगद्वारे साचलेले पाणी बाहेर काढणे.
2. केमिकल ग्राउट्स आणि जलरोधक झिल्लीद्वारे गळती बंद करणे.
3. खराब झालेल्या जलनिकासी नळ्या आणि पंप बदलणे.

Questions for Practices

Q 1. Enlist the method of tunnelling in hard rock

Q 2. List the commonly used drilling machines in tunnelling

Q 3. Define Tunnel lining with its two purposes.

Q 4. State the precautions to be taken during the construction of tunnels

Q 5. Explain the drift method of tunnelling in hard rock with the sketch.

Q 6. Explain the reinforced tunnel lining with a neat sketch.

Q 7. Explain the drill-carrying equipment used in hard rock tunnelling.

Q 8. Describe in brief the types of explosives used in the tunnelling

Q 9. State the types of tunnel maintenance and explain any one in detail.

Q 10. State the purpose of tunnel maintenance

संदर्भ (REFERENCES)

सुचवलेले शिक्षण साहित्य / पुस्तके (Suggested Learning Materials / Books)

[1] S. C. Saxena, S. P. Arora, "A Textbook of Railway Engineering", Dhanpat Rai Publications (p) Ltd.-New Delhi

[2] Bindra S. P., "Elements of Bridge, Tunnel & Railway Engineering", Dhanpat Rai Publications (p) Ltd.-New Delhi

[3] Ahuja & Birdi, Roads, Railways, "Bridges and Tunnels Engineering", Standard Book House

[4] Raji A K, K K Babu, "Transportation Engineering (Theory and Practice)", AICTE New Delhi

[5] N L Arora, "Transportation Engineering", New India Publishing House, New Delhi

[6] R. Srinivasan, "Harbour, Dock, and Tunnel Engineering", Charotar Publishing House Pvt. Ltd.

[7] S.C. Rangwala, "Principles of Railway Engineering", Charotar Publishing House Pvt. Ltd.

[8] Satish Chandra and M.M. Agarwal, "Railway Engineering", Oxford University Press

[9] MSBTE Model Answer key Winter 2019, Summer 2022 Winter 2019 (22301)

[10] Kautilya's Arthashastra Translated into English by R. Shamasastry

[11] Vishvas Kumar Tyagi Sr Professor/Bridge-II IRICEN

[12] S. Ponnuswamy, Bridge Engineering, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi

[13] S.C. Rangwala, "Bridge Engineering", Charotar Publishing House Pvt. Ltd.

[14] Ahuja & Birdi, "Road Railway bridges & Tunnels Engineering", Rajsons Publication

[15] Terzi, Vasiliki G., and George D. Manolis. "Basic numerical modelling issues in dynamic soil-tunnel interaction." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 172 (2023): 108060.

लर्निंग वेबसाइट्स आणि पोर्टल्स (Learning Websites & Portals)

[1] https://indianrailways.gov.in/

[2] https://iricen.gov.in/iricen/BooksList.jsp

[3] https://nhsrcl.in/en/home

[4] https://msrdc.in/Site/Common/ProjectListDetails.aspx?ID=56&MainId=18

[5] https://marvels.bro.gov.in/AtalTunnel

[6] https://archive.nptel.ac.in/courses/105/105/105105216/

[7] https://nptel.ac.in/courses/105107123

[8] https://mmrda.maharashtra.gov.in/projects/transport/metro-line-1/overview

[9] Google Earth

[10] Google Earth Pro