



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

(स्वायत्त) (ISO 21001:2018) (ISO/IEC 27001:2022)

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

**Industrial Engineering & Quality
Control
(316362)**

यंत्र अभियांत्रिकी गट

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

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

इंडस्ट्रियल इंजिनियरिंग अँड क्वालिटी कंट्रोल
Industrial Engineering & Quality Control
(316362)

मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यम
(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील सहावे सत्र
पदविका)



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

(स्वायत्त) (ISO 21001:2018) (ISO/IEC 27001:2022)

एम.एस. बी. टी. ई.
मार्गदर्शक

श्री. एस. एस. हरीप

विभागप्रमुख, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

संकलक

श्री. राकेश मोटगी

विभागप्रमुख, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. मिलिंद पाटील

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

कु. कपिला लठ्ठे

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. बिपीन पाटील

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. सुनील यादव

विभागप्रमुख, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

समीक्षक

श्री. वासिम शेख

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

मुख्य समन्वयक

श्री. बी. एस. ताशिलदार

प्राचार्य

संस्था समन्वयक

श्री. एन. एस. पाटील

विभागप्रमुख, यांत्रिकी अभियांत्रिकी



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ.

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

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

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१०० / १५३ / १७०

email : director@msbte.com

web site : www.msbte.ac.in



प्रास्ताविक

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

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

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

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

(डॉ. प्रमोद नाईक)

संचालक

म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

अनुक्रमणिका

अ. क्र	युनिटचे नाव	पान क्र.
1	प्लांट आणि प्रक्रिया अभियांत्रिकी (Plant and Process Engineering)	1
2	कार्य अध्ययन (Work Study)	19
3	गुणवत्ता नियंत्रण (Quality Control)	47
4	सांख्यिकीय गुणवत्ता नियंत्रण (Statistical Quality Control)	60
5	संगणकसहाय्यित प्रक्रिया नियोजन आणि गुणवत्ता नियंत्रण (Computer aided Process Planning and Quality Control)	85

युनिट 1. प्लांट आणि प्रक्रिया अभियांत्रिकी (Plant and Process Engineering)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

(CO1): दिलेल्या परिस्थितीत प्रक्रिया पत्रक (Process Sheet) तयार करणे. (Prepare the process sheet in given situation.)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

TLO 1.1: साइट निवडीचे घटक नमूद करणे. (List site selection factors.)

TLO 1.2: प्लांट लेआउटचे प्रकार रेखाटणे. (Draw types of plant layout.)

TLO 1.3: उत्पादन प्रणालींच्या प्रकारांची तुलना करणे. (Compare types of production systems.)

TLO 1.4: उत्पादकता वाढवण्याच्या पद्धती स्पष्ट करणे. (Explain methods for improving productivity.)

TLO 1.5: दिलेल्या घटकासाठी ऑपरेशन शीट तयार करणे. (Prepare operation sheet for given component)

TLO 1.6: लाइन बॅलन्सिंगची गरज आणि महत्त्व स्पष्ट करणे. (Explain need and importance of line balancing)

1.1 प्लांटचे स्थान आणि लेआउट (Plant location and layout):

उद्योगांमध्ये प्लांटचे स्थान आणि लेआउट यांचे योग्य नियोजन करणे अत्यंत महत्त्वाचे असते, कारण त्यावर संपूर्ण उत्पादन प्रक्रियेचे यशस्वी संचालन अवलंबून असते. प्लांट लोकेशन म्हणजे कारखाना कुठे स्थापन करायचा हे ठरवणे, तर प्लांट लेआउट म्हणजे कारखान्याच्या आत मशीन, उपकरणे आणि सुविधा कशा प्रकारे मांडायच्या हे निश्चित करणे. या दोन्ही गोष्टींमुळे खर्च कमी होतो, उत्पादन वेळ वाचतो आणि एकूण कार्यक्षमता व उत्पादकता वाढते.

1.1.1 साइट निवडीचे महत्त्व:

कोणत्याही प्लांट किंवा उद्योगाची स्थापना करताना योग्य साइटची निवड करणे हा अत्यंत महत्त्वाचा आणि दीर्घकालीन धोरणात्मक निर्णय मानला जातो. एकदा कारखाना एखाद्या ठिकाणी उभारल्यानंतर त्याला दुसरीकडे हलवणे अत्यंत कठीण, खर्चिक आणि वेळखाऊ असते. त्यामुळे चुकीची साइट निवड झाल्यास प्लांटच्या संपूर्ण कार्यकाळात अडचणी निर्माण होऊ शकतात. योग्यरीत्या निवडलेली साइट अनेक फायदे देते. सर्वप्रथम, कच्च्या मालाची सहज उपलब्धता सुनिश्चित होते, ज्यामुळे वाहतूक खर्च कमी होतो आणि कारखान्याला अखंडित पुरवठा मिळतो. उदाहरणार्थ, स्टील उद्योग बहुधा कोळसा आणि लोखंडखनिजाच्या खाणींच्या जवळ स्थापन केले जातात, ज्यामुळे सामग्री हाताळणीचा खर्च कमी राहतो.

याशिवाय, योग्य साइटवर वीज, पाणी आणि इंधन यांसारख्या महत्त्वाच्या संसाधनांचा विश्वसनीय पुरवठा मिळतो, जे मशीनरी आणि उत्पादन प्रक्रियेच्या अखंडित कार्यासाठी आवश्यक असतात. ही साधने कमी प्रमाणात किंवा अविश्वसनीय असतील तर उत्पादनक्षमता घटते आणि खर्च वाढतो. साइट निवडताना कामगारांची उपलब्धता हाही एक महत्त्वाचा घटक आहे. कुशल आणि अकुशल मजूर योग्य वेतनात सहज उपलब्ध असावेत. कामगार मिळणे अवघड असल्यास किंवा त्यांना लांब अंतरावरून यावे लागत असल्यास उत्पादनात विलंब होण्याची शक्यता वाढते आणि मजुरी खर्चही वाढतो.

वाहतूक आणि दळणवळण सुविधा साइट निवडीत महत्त्वाची भूमिका बजावतात. रस्ते, रेल्वे, बंदरे किंवा विमानतळ यांची योग्य उपलब्धता असल्यास कच्च्या मालाची वाहतूक सुलभ होते आणि तयार माल बाजारात लवकर पोहोचतो. बाजाराच्या जवळीकही तितकीच महत्त्वाची आहे. उद्योग ग्राहकांच्या जवळ असल्यास वितरण वेगाने होते, वाहतूक खर्च कमी राहतो आणि ग्राहक समाधान वाढते. पण कारखाना बाजारापासून खूप दूर असल्यास उत्पादन वाहतुकीमुळे महाग पडू शकते आणि स्पर्धा वाढण्याची शक्यता असते.

भविष्यातील विस्ताराची संधी, सरकारी धोरणे, करसवलती, पर्यावरणीय परिस्थिती आणि साइटची सुरक्षितता हे देखील साइट निवड करताना विचारात घेण्यासारखे घटक आहेत. अनेक उद्योग सरकारी विकसित केलेल्या औद्योगिक क्षेत्रात कारखाने उभारणे पसंत करतात, कारण अशा ठिकाणी अनुदाने, तयार सुविधा आणि कमी कायदेशीर अडथळे मिळतात. साइट निवडीचे महत्त्व उत्पादन खर्च, कार्यक्षमता, नफा आणि उद्योगाच्या भविष्यातील वाढ यावर थेट परिणाम करते. योग्यरीत्या निवडलेली साइट सुरळीत कामकाज, जास्त उत्पादकता, कमी खर्च आणि दीर्घकालीन यश सुनिश्चित करते, तर

चुकीची साइट निवड कार्यात अडथळे, आर्थिक नुकसान आणि कधीकधी उद्योग बंद होण्यापर्यंत परिणाम करू शकते. त्यामुळे साइट निवड ही नेहमी सखोल अध्ययन, योग्य नियोजन आणि दीर्घकालीन दृष्टीकोन ठेवूनच केली पाहिजे.

1.1.2 साइट निवडीवर परिणाम करणारे घटक:

1. **कच्च्या मालाची उपलब्धता** – प्लांट कच्च्या मालाच्या स्रोतांच्या जवळ असावा, ज्यामुळे वाहतूक खर्च कमी होतो आणि सतत पुरवठा मिळतो.
2. **ऊर्जा पुरवठा** – यंत्रसामग्री आणि उत्पादन प्रक्रियेच्या सुरळीत कार्यासाठी पुरेसा आणि विश्वासार्ह वीज, इंधन किंवा इतर ऊर्जा स्रोत आवश्यक आहेत.
3. **पाण्याचा पुरवठा** – उत्पादन, शीतकरण, स्वच्छता आणि कामगारांच्या गरजांसाठी उद्योगांना पुरेशा प्रमाणात पाणी आवश्यक असणे.
4. **मजूर उपलब्धता** – कुशल आणि अकुशल मजूर जवळच्या परिसरात वाजवी मजुरीत सहज उपलब्ध असावेत.
5. **वाहतूक आणि दळणवळण सुविधा** – रस्ते, रेल्वे, बंदरे किंवा विमानतळ यांच्याद्वारे चांगली जोडणी असल्यास कच्चा माल आणि तयार मालाची वाहतूक सुलभ होते.
6. **बाजाराच्या जवळीक** – ग्राहकांच्या जवळ असल्यास वितरण जलद होते, वाहतूक खर्च कमी राहतो आणि विक्री सुधारते.
7. **जमीन आणि जागा** – प्लांटसाठी पुरेशी जमीन वाजवी किमतीत उपलब्ध असावी आणि भविष्यातील विस्तारासाठी योग्य जागा असावी.
8. **सरकारी धोरणे** – अनुदाने, करसवलती, सबसिडी आणि औद्योगिक नियम हे साइट निवडीवर महत्त्वाचा प्रभाव टाकतात.
9. **पर्यावरणीय परिस्थिती** – हवामान, प्रदूषण नियंत्रण नियम आणि पूर, भूकंप यांसारख्या नैसर्गिक आपत्तीं पासून सुरक्षा विचारात घेतली पाहिजे.
10. **समुदाय आणि सुविधा** – कर्मचाऱ्यांसाठी निवास, शाळा, रुग्णालये आणि इतर मूलभूत सुविधा उपलब्ध असल्यास त्या ठिकाणाची उपयुक्तता वाढते.

1.1.3 प्लांट लेआउटचे प्रकार

- A. प्रक्रिया लेआउट (Process Layout)
- B. उत्पादन लेआउट (Product Layout)
- C. निश्चित स्थान लेआउट (Fixed Position Layout)
- D. सेल्युलर लेआउट (Cellular Layout)
- E. संयोजित लेआउट (Combination Layout)

A. प्रक्रिया लेआउट (Process Layout):

प्रक्रिया लेआउट, ज्याला फंक्शनल लेआउट असेही म्हणतात, हा असा प्लांट लेआउट आहे ज्यामध्ये समान प्रकारच्या ऑपरेशन्स करणाऱ्या मशीन आणि उपकरणांना त्यांच्या कार्यानुसार विभागांमध्ये गटबद्ध केले जाते. उदाहरणार्थ, सर्व ड्रिलिंग मशीन ड्रिलिंग विभागात, सर्व लेथ मशीन लेथ विभागात आणि इतर मशीन त्यांच्या संबंधित विभागांमध्ये ठेवली जातात. हा लेआउट मुख्यतः जॉब प्रॉडक्शन किंवा बॅच प्रॉडक्शन प्रकारच्या उद्योगांमध्ये वापरला जातो, जिथे उत्पादन कमी प्रमाणात केले जाते आणि प्रत्येक उत्पादनासाठी आवश्यक ऑपरेशन्स वेगवेगळे असतात.

Stores	Inspection	Assembly	
Office	Grinding	Welding	Painting
Shipping	Lathe	Drilling	Milling

Fig. 1.1: प्रक्रिया लेआउट (Process Layout)

फायदे:

- लवचिकता:** प्रक्रिया लेआउट लवचिक असल्यामुळे उत्पादन प्रक्रियेत किंवा उत्पादनाच्या डिझाइनमध्ये बदल झाले तरी मोठ्या प्रमाणात पुनर्रचना (reconfiguration) करण्याची गरज पडत नाही.
- विशेषीकरण:** प्रत्येक विभाग एखाद्या विशिष्ट प्रक्रियेत काम करतो, ज्यामुळे त्याठिकाणी उच्च स्तराचे कौशल्य आणि कार्यक्षमतेची वाढ होते.
- कमी गुंतवणूक:** इतर लेआउटच्या तुलनेत या प्रकारात प्रारंभीची गुंतवणूक कमी असते, कारण मशीन त्याच्या कार्यानुसार गटबद्ध केल्या जातात.

तोटे:

- सामुग्री हाताळणी :** उत्पादनांना एका प्रक्रियेतून दुसऱ्या प्रक्रियेकडे हलवताना वेळ आणि खर्च वाढतो तसेच सामुग्री हाताळण्याची आवश्यकता वाढते.
- जटिल अनुसूची (Scheduling):** विभागांमधील सामुग्रीच्या प्रवाहाचे व्यवस्थापन करणे कठीण असते, ज्यामुळे विलंब होऊ शकतो.
- जास्त जागेची गरज:** प्रक्रियांना स्वतंत्र ठेवण्यासाठी प्रक्रिया लेआउटमध्ये जास्त मजल्यावरील जागेची आवश्यकता असते.

उपयोग:

- मशीन शॉप्स:** ड्रिलिंग, मिलिंग, टर्निंग यांसारख्या मशीन त्यांच्या कार्यानुसार विभागांमध्ये गटबद्ध केल्या जातात, ज्यामुळे विविध प्रकारची कामे हाताळली जातात.
- रुग्णालये:** एक्स-रे, पॅथॉलॉजी, सर्जरी इत्यादी विभाग कार्याच्या प्रकारानुसार मांडलेले असतात, रुग्ण प्रवाहानुसार नव्हे.
- दुरुस्ती व देखभाल कार्यशाळा:** वाहन किंवा उपकरणे त्यांच्या दुरुस्तीसाठी आवश्यक असलेल्या प्रक्रियेनुसार एक विभागातून दुसऱ्या विभागात हलवली जातात.
- जॉब प्रॉडक्शन युनिट्स:** फर्निचर, साधने किंवा कस्टमाइज्ड उत्पादने तयार करताना विविध क्रमाने वेगवेगळ्या प्रक्रियांची आवश्यकता असते.
- प्रिंटिंग प्रेस:** छपाई आणि फिनिशिंगसारख्या विविध प्रक्रिया त्यांच्या प्रकारानुसार विभागांमध्ये गटबद्ध केल्या जातात.

B. उत्पादन लेआउट (Product Layout):

उत्पादन लेआउट, ज्याला लाइन लेआउट किंवा असेंब्ली लाइन लेआउट असेही म्हणतात, हा असा प्लॉट लेआउट आहे ज्यामध्ये मशीन आणि उपकरणे उत्पादन तयार करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या ऑपरेशन्सच्या क्रमाने मांडली जातात. या लेआउटमध्ये प्रक्रिया एका ठराविक अनुक्रमात (sequence) पार पाडली जाते, म्हणजेच उत्पादन एका

स्टेशनवरून पुढील स्टेशनवर सतत पुढे सरकत राहते. हा लेआउट मुख्यतः एखाद्या एकाच उत्पादनाचे किंवा एकमेकासारख्या उत्पादनांचे मोठ्या प्रमाणात (mass production) उत्पादन करण्यासाठी वापरला जातो.

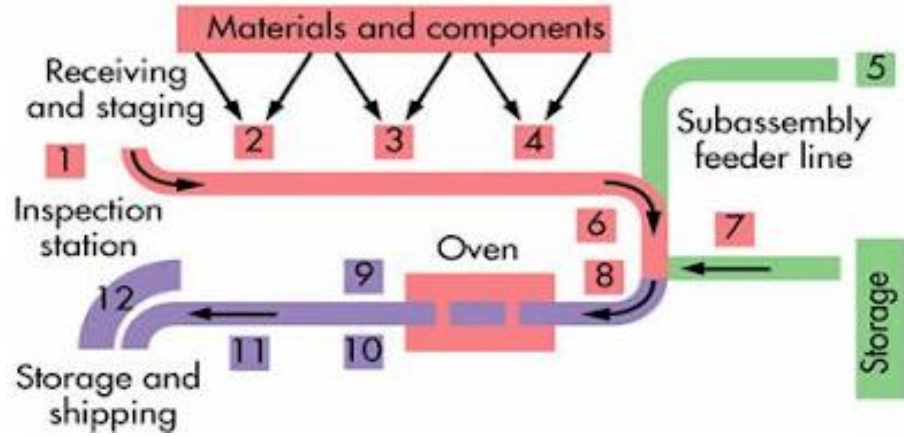


Fig. 1.2: उत्पादन लेआउट (Product Layout)

(Source: <https://solutionbuggy.blogspot.com/2017/03/everything-you-need-to-know-about.html>)

फायदे:

- उच्च उत्पादनक्षमता: उत्पादनाचा लेआउट सलग प्रवाह (continuous flow) साध्य करण्यासाठी तयार केलेला असल्याने उत्पादन वेळ कमी होतो आणि उत्पादनक्षमता वाढते.
- कमी मटेरियल हँडलिंग: उत्पादन असेंब्ली लाईनवर पुढे सरकत असल्याने मटेरियल हँडलिंगची गरज कमी होते.
- मानकीकरण: उत्पादन प्रक्रिया ठराविक आणि पुनरावृत्तीने होत असल्याने प्रशिक्षण व देखरेख करणे सोपे होते.

तोटे:

- लवचिकतेचा अभाव: उत्पादनाच्या डिझाइनमध्ये बदल झाल्यास हा लेआउट सहज बदलता येत नाही.
- प्रारंभिक गुंतवणूक जास्त: विशेष उपकरणे आणि असेंब्ली लाईन बसविण्यासाठी जास्त खर्च येतो.
- मशिनांवर अवलंबित्व: एका मशीनमध्ये बिघाड झाल्यास संपूर्ण उत्पादन लाईन थांबू शकते.

उपयोग:

- ऑटोमोबाइल उद्योग – कार, मोटारसायकल आणि इतर वाहनांच्या असेंब्ली लाईन्स.
- इलेक्ट्रॉनिक्स उत्पादन – मोबाईल, टीव्ही, कॉम्प्युटर आणि इतर उपकरणांचे उत्पादन.
- पेय उद्योग – शीतपेये, ज्यूस, आणि पाण्याच्या बाटलीकरणासाठीच्या लाईन्स.
- कापड उद्योग – कापड, वस्त्रे आणि धाग्याचे मोठ्या प्रमाणावरील उत्पादन.
- अन्न प्रक्रिया उद्योग – पॅकेज्ड फूड, बेकरी उत्पादने आणि स्नॅक्सचे उत्पादन.
- रासायनिक आणि औषधनिर्मिती उद्योग – टॅब्लेट्स, रसायने आणि स्वच्छतेची उत्पादने यांचे सतत उत्पादन.

C. स्थिर पोजिशन लेआउट (Fixed Position Layout):

स्थिर-पोजिशन लेआउट हा असा प्लांट लेआउट आहे ज्यामध्ये उत्पादन एका जागी स्थिर ठेवले जाते आणि त्या उत्पादनाचे असेंब्ली किंवा बांधकाम करण्यासाठी लागणारी सर्व सामग्री, साधने, मशीन आणि कामगार त्या जागी आणले जातात. हा लेआउट मोठ्या, जड किंवा हलविण्यास कठीण अशा उत्पादनांसाठी अत्यंत उपयुक्त ठरतो.

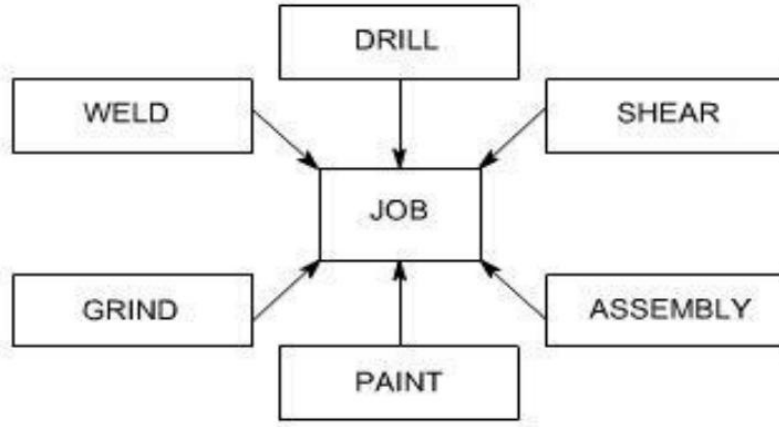


Fig 1.3: फिक्स्ड पोझिशन लेआउट (Fixed Position Layout)

फायदे:

- i. मोठ्या उत्पादनांसाठी योग्य: जहाजे, विमान, इमारती यांसारख्या मोठ्या वस्तूंच्या बांधकामासाठी हा लेआउट सर्वात उपयुक्त ठरतो.
- ii. कमी मटेरियल हँडलिंग: उत्पादन स्थिर राहिल्यामुळे सामग्री हलविण्याची गरज कमी पडते.
- iii. जास्त कस्टमायझेशन: उत्पादन एका ठिकाणी असल्यामुळे बांधकामादरम्यान आवश्यक ते बदल किंवा कस्टमायझेशन सहज करता येते.

तोटे:

- i. जटिल समन्वय: एक मर्यादित जागेत अनेक क्रिया आणि संसाधनांचे समन्वयन करणे अवघड असते.
- ii. जागेची अडचण: जागेअभावी गर्दी निर्माण होऊ शकते आणि कामकाजात अकार्यक्षमता येऊ शकते.
- iii. जास्त खर्च: आवश्यक संसाधने त्या ठिकाणी आणावी लागल्यामुळे खर्च वाढतो.

उपयोग:

1. जहाजबांधणी – जहाजे डॉक किंवा शिपयार्डमध्ये तयार केली जातात.
2. विमाननिर्मिती – विमाने हॅंगरमध्ये एकत्रित केली जातात.
3. इमारतींचे बांधकाम – साहित्य आणि मजूर बांधकामस्थळी आणले जातात.
4. जड यंत्रसामग्री – मोठे टर्बाईन, जनरेटर आणि औद्योगिक यंत्रे.
5. पूल व मोठ्या संरचना – ठराविक जागेवरच संपूर्ण बांधकाम केले जाते.

D. सेलुलर लेआउट (Cellular Layout):

सेलुलर लेआउट हा असा प्लांट लेआउट आहे ज्यामध्ये मशीन त्यांच्या कार्यातील साम्य किंवा उत्पादनांच्या प्रकारानुसार (product families) वेगवेगळ्या सेल्समध्ये गटबद्ध केल्या जातात. प्रत्येक सेल विशिष्ट प्रकारच्या समान उत्पादने किंवा भाग तयार करण्यासाठी डिझाइन केलेला असतो. या लेआउटमध्ये उत्पादन लेआउट आणि प्रक्रिया लेआउट दोहोंची वैशिष्ट्ये एकत्र आढळतात. हा लेआउट लवचिक उत्पादन (flexible manufacturing) आणि बॅच उत्पादनासाठी मोठ्या प्रमाणावर वापरला जातो.

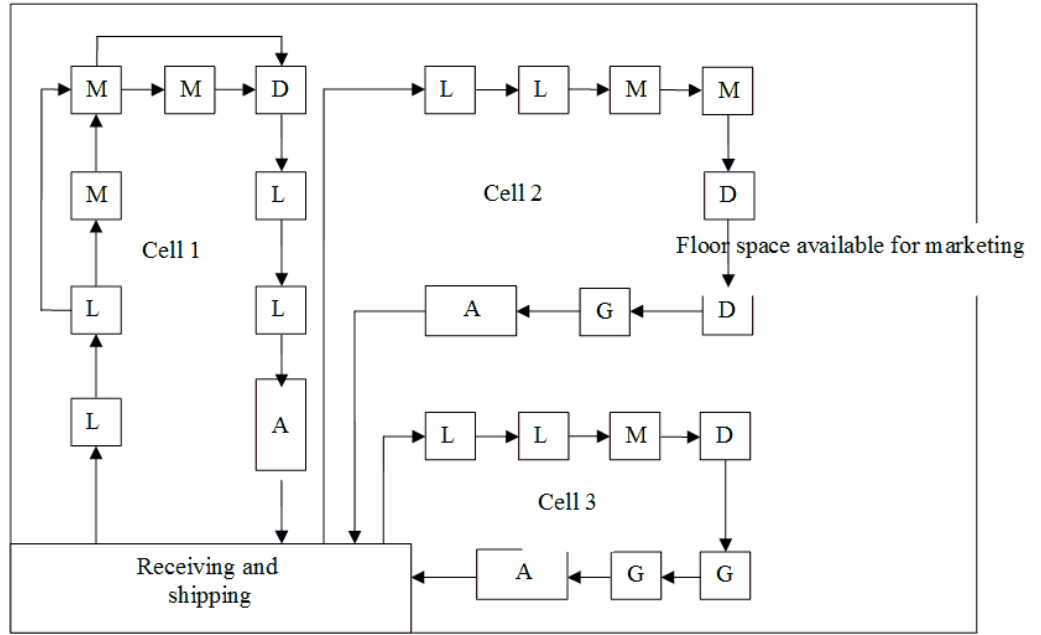


Fig. 1.4: सेलुलर लेआउट (Cellular Layout)

(Source: <https://www.whatissixsigma.net/cellular-manufacturing/>)

फायदे:

सामग्री हाताळणीमध्ये घट: प्रत्येक सेलमध्ये सामग्रीची हालचाल कमी असल्याने मटेरियल हँडलिंगचा खर्च आणि वाया जाणारा वेळ कमी होतो.

अनुकूलता: उत्पादनाच्या गरजेनुसार सेल्स सहजपणे हलवता किंवा पुन्हा मांडता (reconfigure) येतात.

संघभावना: सेलुलर लेआउटमुळे कर्मचारी एक टीम म्हणून काम करतात, ज्यामुळे कामावरील मालकीची भावना वाढते आणि समाधानाची पातळी जास्त राहते.

तोटे:

प्रारंभिक नियोजन: प्रभावी सेलुलर लेआउट तयार करण्यासाठी सुरुवातीला सखोल नियोजन आणि विश्लेषण करावे लागते. दुबारपणा / पुनरावृत्ती: काही मशीन वेगवेगळ्या सेल्समध्ये पुन्हा ठेवावी लागल्यास प्रारंभिक गुंतवणूक वाढते.

उपयोग:

1. ऑटोमोबाईल पार्ट्स उत्पादन – इंजिन पार्ट्स, गिअर पार्ट्स इ. बनवण्यासाठी मशीनांचे गट.
2. इलेक्ट्रॉनिक्स – समान प्रकारच्या सर्किट बोर्ड्स एकत्र असेंबल करणे.
3. टूल आणि डाय मॅन्युफॅक्चरिंग – समान प्रकारच्या साधनांच्या कुटुंबांचे उत्पादन.
4. लहान बॅच उत्पादन युनिट्स – जिथे वेगवेगळी उत्पादने समान प्रक्रिया सामायिक करतात.

E. कॉम्बिनेशन लेआउट (Combination Layout):

कॉम्बिनेशन लेआउट, ज्याला हायब्रिड लेआउट असेही म्हणतात, हा असा प्लांट लेआउट आहे ज्यामध्ये दोन किंवा अधिक लेआउटचे प्रकार (जसे की उत्पादन लेआउट, प्रक्रिया लेआउट, सेलुलर लेआउट किंवा स्थिर-पोझिशन लेआउट) एकत्र वापरले जातात. असे लेआउट त्या उद्योगांमध्ये वापरले जाते जिथे विविध प्रकारची उत्पादने किंवा विविध प्रकारचे ऑपरेशन्स असतात आणि एकाच प्रकारच्या लेआउटने ते कार्यक्षमतेने हाताळणे शक्य नसते.

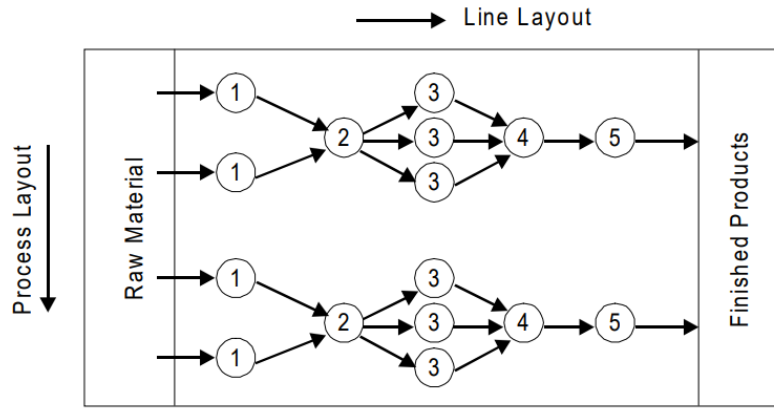


Fig. 1.5: कॉम्बिनेशन लेआउट (Combination Layout)

(Source: <https://www.ques10.com/p/68854/explain-a-typical-combination-layout-and-also-dr-1/>)

फायदे:

- सर्वोत्तम उपयोग / संसाधनांचा उत्तम वापर: विविध प्रकारचे लेआउट एकत्र करून उत्पादकता वाढवता येते आणि संसाधनांचा उत्तम वापर केला जातो.
- लवचिकता: कॉम्बिनेशन लेआउटमध्ये प्रक्रिया लेआउटची लवचिकता आणि उत्पादन लेआउटची कार्यक्षमता यांचा समतोल राखला जातो.
- अनुकूलता: या प्रकारचे लेआउट उत्पादनाच्या गरजांमध्ये व उत्पादनांच्या प्रकारात होणाऱ्या बदलांना सहजपणे जुळवून घेऊ शकतात.

तोटे:

- जटिलता: विविध लेआउट प्रकार एकत्र केल्यामुळे डिझाइन आणि अंमलबजावणी प्रक्रिया जटिल होते.
- तज्ज्ञांची आवश्यकता: प्रभावी कॉम्बिनेशन लेआउट तयार करण्यासाठी योग्य नियोजन आणि तज्ञांची आवश्यकता असते.

उपयोग:

- इलेक्ट्रॉनिक्स उद्योग – स्टँडर्ड उत्पादनांचे मोठ्या प्रमाणावर उत्पादन आणि त्याच वेळी कस्टमाइज्ड उत्पादनांच्या लहान बॅचेस.
- फर्निचर उत्पादन – स्टँडर्ड वस्तूसाठी लाईन लेआउट, तर कस्टम फर्निचरसाठी प्रक्रिया लेआउट विभाग.

1.1.4 प्लांट लेआउटची डिझाईन तत्त्वे

प्लांट लेआउटचे मुख्य उद्दिष्ट म्हणजे मनुष्यबळ, मशीन, साहित्य आणि प्रक्रिया यांची सर्वात योग्य मांडणी करून उत्पादन प्रक्रिया सुरळीत, किफायतशीर आणि सुरक्षित करणे. एक चांगले लेआउट मटेरियल हँडलिंग कमी करते, उत्पादन खर्च घटवतो आणि पर्यवेक्षण सोपे करतो.

योग्य प्लांट लेआउट डिझाईन करण्यासाठी खालील तत्त्वांचे पालन केले जाते:

- सर्व घटकांचे एकत्रीकरण – मनुष्यबळ, मशीन, साहित्य आणि सहाय्यक सुविधा यांचा संतुलित आणि एकत्रित वापर होईल असे लेआउट असावे.
- कामाचा सुरळीत प्रवाह – कच्चा माल, अर्धवट तयार उत्पादने आणि तयार माल यांची हालचाल सरळ व तर्कशुद्ध मार्गाने व्हावी; मागे वळणे टाळावे.
- कमीत कमी मटेरियल हँडलिंग – हाताळणी, प्रवासाचे अंतर आणि अनावश्यक हालचाल कमी करून वेळ व खर्च बचत करावी.
- जागेचा परिणामकारक वापर – आडवी व उभी दोन्ही जागा कार्यक्षमतेने वापरली जावी, गर्दी किंवा जागेचा अपव्यय होऊ नये.

5. लवचिकता – भावी उत्पादन बदल, तंत्रज्ञान सुधारणा किंवा उत्पादन प्रमाणातील बदल यानुसार लेआउटमध्ये बदल करता येणे आवश्यक.
6. सुरक्षा आणि सोयीसुविधा – कामगारांच्या सुरक्षिततेसाठी, योग्य वायुप्रवाह, प्रकाश व्यवस्था आणि आरामदायी कामाचे वातावरण असावे.
7. पर्यवेक्षण आणि नियंत्रण – मशीन आणि कामगारांची मांडणी अशी असावी की निरीक्षण, तपासणी आणि देखभाल सुलभ होईल.
8. गुंतवणुकीत बचत – लेआउटची उभारणी खर्चिक नसावी आणि दीर्घकालीन लाभ देणारी असावी.
9. भावी विस्तारासाठी तयारी – पुढील काळात नवीन मशीन किंवा विभाग जोडण्यासाठी जागा व मांडणीची तरतूद असावी.
10. ग्राहक समाधान – कमी खर्चात, उच्च दर्जाचे उत्पादने वेळेवर तयार करून ग्राहकांच्या अपेक्षा पूर्ण करण्यास लेआउटने मदत करावी.

1.2 उत्पादन प्रणाली (Production Systems)

उत्पादन प्रणाली म्हणजे अशी पद्धत किंवा प्रक्रिया ज्याद्वारे एखादी संस्था मनुष्यबळ, मशीन, साहित्य, पैसा आणि पद्धती यांच्या पुरवठ्याने उपयोगी उत्पादने—जसे की तयार वस्तू किंवा सेवा—मध्ये रूपांतर करते. यात नियोजन, संघटन, मार्गदर्शन आणि उत्पादनाशी संबंधित सर्व क्रियांचे नियंत्रण यांचा समावेश होतो.

1.2.1 उत्पादन प्रणालींचे प्रकार (Types of Production Systems)

- A. जॉब प्रॉडक्शन
- B. बॅच प्रॉडक्शन
- C. मास (किंवा फ्लो) प्रॉडक्शन
- D. कंटिन्युअस प्रॉडक्शन

A. जॉब प्रॉडक्शन:

या उत्पादन प्रणालीमध्ये उत्पादने ग्राहकांच्या विशेष ऑर्डरनुसार स्वतंत्रपणे तयार केली जातात. प्रत्येक जॉब वेगळा आणि अद्वितीय असल्यामुळे तपशीलवार नियोजन, डिझाइन आणि उच्च कौशल्य असलेले कामगार आवश्यक असतात. वापरली जाणारी मशीन्स सामान्यतः साधारण उद्देशाची असतात, ज्यामुळे विविध प्रकारच्या ऑपरेशन्स सहजपणे करता येतात. उत्पादनाचा वेळ जास्त असतो आणि प्रति युनिट खर्चही जास्त असतो कारण उत्पादनाचे प्रमाण कमी असते. जॉब प्रॉडक्शन अत्यंत लवचिक आहे आणि ग्राहकांनी दिलेल्या विशेष आवश्यकतांचे पालन सहज करू शकते.

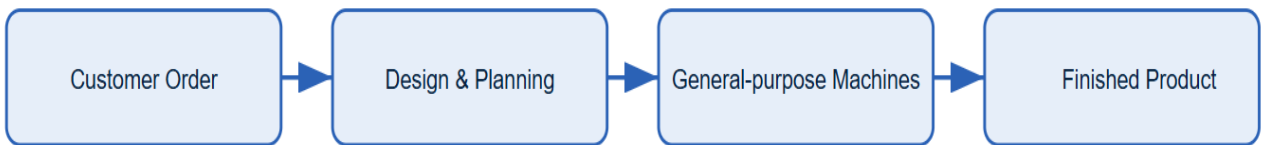


Fig. 1.6: जॉब प्रॉडक्शन

फायदे: ग्राहकांच्या गरजेनुसार उत्पादनाच्या विविधतेची आणि कस्टमायझेशनची सुविधा मिळते. कामगारांना पूर्ण कामात सहभागी होण्यामुळे अधिक संतोष मिळतो. ही प्रणाली लवचिक आहे आणि नवीन किंवा विशेष डिझाईन्सनुसार सुसंगत करता येते.

तोटे: उत्पादनाचा खर्च जास्त असतो कारण प्रमाण कमी असते. पूर्ण करण्यासाठी अधिक वेळ लागतो आणि कामाचे अनुसूचन (scheduling) जटिल होते. उच्च कौशल्य असलेले कामगार आवश्यक असल्यामुळे मजुरी खर्च वाढतो.

उपयोग: जॉब प्रॉडक्शनचे सामान्य उदाहरण म्हणजे जहाजबांधणी, पूल बांधकाम, दुरुस्ती कार्यशाळा, कस्टम फर्निचर आणि टेलर मेड कपडे.

B. बॅच प्रॉडक्शन सिस्टम (Batch Production System)

बॅच प्रॉडक्शनमध्ये एका समूहात किंवा बॅचमध्ये समान प्रकारची उत्पादनांची निश्चित संख्या तयार केली जाते. एका बॅचचे उत्पादन पूर्ण झाल्यावर, मशीन पुन्हा सेट आणि समायोजित करून पुढील बॅच तयार केली जाते. ही प्रणाली मध्यम प्रमाणावरील उत्पादनासाठी योग्य आहे, जिथे मागणी फार मोठी नसते पण एकाच ऑर्डरपेक्षा जास्त असते. मशीन काही प्रमाणात विशेषीकृत (specialized) आणि काही प्रमाणात सामान्य वापराच्या (general-purpose) असतात. बदलाच्या काळात मशीन रिकाम्या राहू नयेत यासाठी योग्य नियोजन आणि अनुसूचना आवश्यक आहे.



Fig. 1.7: बॅच प्रॉडक्शन सिस्टम

फायदे: बॅच प्रॉडक्शनमध्ये जॉब प्रॉडक्शनच्या तुलनेत मशीनचा वापर अधिक प्रभावीपणे होतो. प्रति युनिट खर्च कमी असल्यामुळे ही प्रणाली अधिक किफायतशीर ठरते. ही प्रणाली हंगामी किंवा बदलत्या मागणीसाठी योग्य आहे कारण उत्पादन बॅचनुसार समायोजित केले जाऊ शकते. ग्राहकांना विविधता मिळते तरी काही प्रमाणात मानकीकरण (standardization) राखले जाते.

तोटे: बॅच बदलताना मशीन आणि कामगार रिकामे राहतात. योग्य नियोजन आणि अनुसूचना करणे कठीण आणि वेळखाऊ असते. अर्ध-तयार आणि तयार माल साठवावा लागतो, ज्यामुळे इन्व्हेंटरीचा खर्च वाढतो.

उपयोग: हे सामान्यतः बेकरीज, टॅब्लेट्ससाठी औषधनिर्मिती उद्योग, वस्त्रोद्योग आणि मशीन घटक जसे की गिअर्स, नट्स व बोल्ट्स तयार करण्यासाठी वापरले जाते.

C. मास प्रॉडक्शन सिस्टम (Mass Production System)

मास प्रॉडक्शन वापरली जाते जेव्हा मोठ्या प्रमाणात मानकीकृत (standardized) उत्पादनांची आवश्यकता असते. यात असेंब्ली लाईन उत्पादनाची तत्वे वापरली जातात, ज्यामध्ये उत्पादन चरणानुसार विशिष्ट मशीन आणि ऑपरेशन्समधून पुढे सरकते. कामगार साधारणपणे पुनरावृत्ती करणारी कामे करतात, आणि मशीन विशिष्ट ऑपरेशन्ससाठी डिझाइन केलेली असतात. ही प्रणाली अत्यंत उच्च गतीने समान दर्जाचे उत्पादन तयार करते. मुख्य लक्ष मोठ्या प्रमाणात उत्पादन कमी खर्चात करण्यावर असते.



Fig. 1.8: मास प्रॉडक्शन सिस्टम (Mass Production System)

फायदे: युनिटच्या खर्चात घट होते कारण प्रमाणाच्या अर्थशास्त्राचा (economies of scale) फायदा होतो. उत्पादन खूप वेगाने व कार्यक्षमतेने होते आणि प्रक्रिया मानकीकृत असल्यामुळे गुणवत्ता समान राहते. कामगारांसाठी कौशल्याची गरज कमी असते कारण ते फक्त ठराविक कामे करतात.

तोटे: मशिनरी, साधने आणि असेंब्ली लाईन्समध्ये प्रारंभिक गुंतवणूक खूप जास्त असते. प्रणाली कठीण आहे आणि उत्पादन डिझाइनमध्ये बदल सहज करता येत नाही. सततच्या पुनरावृत्तीमुळे कामगारांना कंटाळा येऊ शकतो. लाईनमध्ये कोणत्याही मशीनचा बिघाड झाल्यास संपूर्ण उत्पादन प्रक्रिया थांबू शकते.

उपयोग: ऑटोमोबाईल उद्योग, टीव्ही आणि मोबाईल फोन उत्पादन, खेळणी, रेफ्रिजरेटर व वॉशिंग मशीनसारखी ग्राहक वस्तू मास प्रॉडक्शन तंत्र वापरून तयार केली जातात.

D. सलग उत्पादन प्रणाली (Continuous Production System)

सलग उत्पादन मास प्रॉडक्शनसारखेच आहे, परंतु अजून मोठ्या प्रमाणावर कार्य करते. या प्रणालीमध्ये उत्पादन अखंड चालते, साधारणतः 24 तास दररोज, आणि उत्पादन अत्यंत स्वयंचलित (highly automated) उपकरणांमधून सतत पुढे सरकते. ही प्रणाली अशा उत्पादनांसाठी वापरली जाते जे खूप मोठ्या प्रमाणात आवश्यक असतात आणि प्रक्रिया स्वतःच सतत चालू राहते. उत्पादन डिझाइन निश्चित असते आणि मशीन अत्यंत विशेषीकृत (highly specialized) असतात.

Raw material feed → Continuous stage 1 → Continuous stage 2 → Storage/dispatch

Figure 1.9: सलग उत्पादन प्रणाली (Continuous Production System)

फायदे: सतत उत्पादन प्रणालीमध्ये प्रति युनिट खर्च सर्वात कमी असतो आणि उपकरणांचा कमाल वापर सुनिश्चित केला जातो. उत्पादन खूप मोठ्या प्रमाणावर होते आणि कार्यक्षमता सर्व प्रणालीपैकी सर्वोत्तम असते. प्रक्रिया स्वयंचलित असल्यामुळे गुणवत्ता सतत समान राहते.

तोटे: मशिनरी आणि प्लांट सेटअपसाठी अत्यंत मोठी भांडवल गुंतवणूक आवश्यक असते. प्रणाली कठीण आहे आणि उत्पादन डिझाइन सहज बदलता येत नाही. प्रक्रियेतील एखाद्या भागात बिघाड झाल्यास संपूर्ण उत्पादन लाइन थांबू शकते, ज्यामुळे मोठे नुकसान होऊ शकते.

उपयोग: हे पेट्रोलियम रिफायनरीज, सिमेंट प्लांट, खत उद्योग, रासायनिक कारखाने, कागद निर्माण उद्योग, साखर कारखाने अशा ठिकाणी वापरले जाते जिथे उत्पादन सतत चालणे आवश्यक आहे.

1.3 उत्पादकता (Productivity)

उत्पादकता म्हणजे उत्पादन प्रक्रियेत वापरलेल्या संसाधनांच्या इनपुट आणि तयार केलेल्या वस्तू व सेवांच्या आउटपुट यांचा गुणोत्तर. उत्पादकता साधारणपणे एकत्रित आउटपुटचे एकल इनपुटशी किंवा एकत्रित इनपुटचे एकत्रित आउटपुटशी कालांतराने तुलना करून मोजली जाते.

उत्पादकता हे मोजण्याचे साधन आहे की एखादी व्यक्ती काम कितपत कार्यक्षमतेने पूर्ण करते. आपण हे अशा दराने परिभाषित करू शकतो ज्या दराने एखादी कंपनी किंवा देश वस्तू व सेवा (आउटपुट) तयार करतो, सहसा वापरलेल्या इनपुट्सच्या (मजूर, भांडवल, ऊर्जा किंवा इतर संसाधने) प्रमाणानुसार त्याचे मूल्यांकन केले जाते.

1.3.1 उत्पादकतेचे मापन (Measurement of Productivity)

A. Labour Productivity (मजुराची उत्पादकता): हे प्रति युनिट मजूर इनपुट (उदा. प्रति कामगार किंवा प्रति तास) उत्पादनाचे प्रमाण दर्शवते. यामुळे कामगारांची कार्यक्षमता कळते आणि व्यवस्थापनाला वेतन, प्रशिक्षण व प्रोत्साहन योजना ठरवण्यास मदत होते.

$$\text{Labour Productivity} = \frac{\text{Output (units or value)}}{\text{Labour input (man hours or no. of workers)}}$$

उदाहरण: जर 5 कामगारांनी 10 तासांत 500 युनिट्स तयार केले, तर

$$\text{Labour Productivity} = \frac{500}{5 \times 10} = 10 \text{ युनिट्स प्रति तास}$$

B. Material Productivity (साहित्य उत्पादकता): हे प्रति युनिट साहित्य वापरून तयार झालेल्या आउटपुटचे प्रमाण दर्शवते. जास्त वाया जाणारे साहित्य उत्पादकता कमी करते.

$$\text{Material Productivity} = \frac{\text{Output (units or value)}}{\text{Material input (quantity or cost)}}$$

उदाहरण: जर 200 किलो कच्च्या मालातून 800 युनिट्स तयार झाले, तर

$$\text{Material Productivity} = \frac{800}{200} = 4 \text{ युनिट्स प्रति किलो साहित्य}$$

C. Capital Productivity (भांडवल उत्पादकता): हे प्रति युनिट भांडवल (मशीनरी, इमारती, पैसा) वापरून तयार झालेले आउटपुट दर्शवते. यामुळे गुंतवणूक केलेले पैसे व मशीनरी चांगली परतफेड देत आहेत की नाही हे कळते.

$$\text{Capital Productivity} = \frac{\text{Output (value)}}{\text{Capital input (Value of investment)}}$$

उदाहरण: जर ₹2,50,000 भांडवल गुंतवणूक ₹5,00,000 किमतीची उत्पादने तयार झाली, तर

$$\text{Capital Productivity} = \frac{500000}{250000} = 2$$

D. Total Productivity (एकूण उत्पादकता): हे सर्व इनपुट्स (मजूर + साहित्य + भांडवल + ऊर्जा + ओव्हरहेड्स) विचारात घेऊन संपूर्ण संस्थेची कार्यक्षमता मोजते.

$$\text{Total Productivity} = \frac{\text{Total Output (value)}}{\text{Total Input (value)}}$$

उदाहरण:

Total Output = ₹10,00,000

Total Input = (मजूर ₹2,00,000 + साहित्य ₹5,00,000 + भांडवल ₹1,00,000 + ओव्हरहेड्स ₹1,00,000) = ₹9,00,000

$$\text{Total Productivity} = \frac{1000000}{900000} = 1.11$$

1.3.2 उत्पादकता सुधारण्याच्या पद्धती (Methods of Improving Productivity)

उत्पादकता औद्योगिक विकास आणि स्पर्धात्मकतेसाठी महत्त्वाची आहे. द्वितीय महायुद्धानंतर विशेषतः जपानने उत्पादकता सुधारण्यासाठी अनेक विशेष पद्धती विकसित केल्या. या तंत्रांचा वापर लहान कार्यशाळा किंवा मोठ्या बहुराष्ट्रीय उद्योग सर्व ठिकाणी केला जाऊ शकतो. खाली प्रत्येक महत्त्वाची उत्पादकता सुधारण्याची पद्धत दिली आहे.

1. जिडोका (Jidoka): जिडोका म्हणजे "मानवी स्पर्शासह ऑटोमेशन." या प्रणालीमध्ये मशीनमध्ये दोष किंवा अपवाद आढळल्यास ते आपोआप थांबतात. कामगारांनाही उत्पादन लाइन थांबवण्याचा अधिकार दिला जातो जर ते काही चूक पाहतात.

यामुळे दोषी उत्पादने पुढे जाण्यापासून रोखली जातात. उदाहरणार्थ, टोयोटाच्या फॅक्टरीजमध्ये कामगाराने दोष पाहिला, तर ते अँडॉन कॉर्ड (Andon cord) खेचून लाइन थांबवू शकतात, जोपर्यंत समस्या सोडवली जात नाही.

जिडोका सुनिश्चित करते की:

- दोष निर्माण होणार नाहीत.
- दोष पुढील टप्प्यावर पोहोचणार नाहीत.
- गुणवत्ता प्रक्रियेतच अंतर्भूत असेल.

2. हेइजुंका (Heijunka): हेइजुंका म्हणजे उत्पादनाचे संतुलन किंवा समतोल करणे. एका उत्पादनाचे मोठ्या प्रमाणात उत्पादन करण्याऐवजी, हेइजुंका उत्पादन लहान, मिश्रित बॅचनुसार पसरवते.

यामुळे उशीर, जास्त स्टॉक आणि कामगारांमध्ये असंतुलन यासारख्या समस्यांचा निराकरण होते. हे उत्पादन प्रकार आणि प्रमाण संतुलित करून खालील गोष्टी साध्य करते:

- मशीन आणि कामगारांमध्ये संतुलित कार्यभार
- लीड टाइम कमी होणे
- ग्राहकांच्या मागणीनुसार जलद प्रतिसाद

3. काईझेन (Kaizen): काईझेन म्हणजे "सतत सुधारणा." हे त्या संकल्पनेवर आधारित आहे की छोट्या, सातत्यपूर्ण सुधारणा संपूर्ण संस्थेत मोठा परिणाम करतात.

महत्त्वाची वैशिष्ट्ये:

- सर्व कर्मचारी, वरच्या व्यवस्थापनापासून ते कामगारांपर्यंत सहभागी होतात.
- सुधारणा लहान, कमी खर्चिक आणि सतत असतात.
- कार्यस्थळ अधिक कार्यक्षम, सुरक्षित आणि सुव्यवस्थित होते.

उदाहरणार्थ, कामगार वेळ वाचवण्यासाठी साधने पुनर्व्यवस्थित करू शकतात किंवा व्यवस्थापन अहवाल प्रणाली सुधारू शकते.

4. 5S हाउसकीपिंग (5S Housekeeping): 5S हे कार्यस्थळ आयोजित करण्याची व्यावहारिक पद्धत आहे, ज्यात पाच जपानी टप्पे आहेत:

1. सेरी (Seiri – Sort): अनावश्यक वस्तू काढा.
2. सेइतोन (Seiton – Set in order): साधने आणि साहित्य योग्य क्रमाने ठेवा.
3. सेईसो (Seiso – Shine): कार्यस्थळ नियमित साफ करा.
4. सेइकेत्सु (Seiketsu – Standardize): साफसफाई आणि आयोजन नियमित करा.
5. शित्सुके (Shitsuke – Sustain): नियमांचे पालन करण्याची शिस्त विकसित करा.

5S सुरक्षित, कार्यक्षम आणि आनंददायी कार्यस्थळ तयार करते, मनोबल वाढवते आणि वाया जाणे कमी करते.

5. मुदा काढणे (Muda Elimination / Waste Reduction): मुदा म्हणजे वाया गेलेले संसाधने. उत्पादनात सात प्रकारचे अपव्यय असतात:

- जास्त उत्पादन (अधिक उत्पादन करणे)
- जास्त इन्व्हेंटरी
- अनावश्यक वाहतूक
- दोष व पुनरावलोकन
- प्रतीक्षा वेळ
- कामगारांची अनावश्यक हालचाल
- अधिक प्रक्रिया (आवश्यकतेपेक्षा जास्त काम)

ही वाया जाणारी गोष्टी काढल्यास उत्पादन प्रक्रिया अधिक कार्यक्षम, खर्च कमी व जलद होते.

6. पोका-योके (Poka-Yoke / Error Proofing): पोका-योके म्हणजे "त्रुटी प्रतिबंधक." उत्पादनात चूक होऊ नये यासाठी तंत्र. उदाहरणार्थ, मशीनमध्ये सेन्सर्स असतात जे चुकीचे भाग ओळखतात किंवा जिम्स अशा प्रकारे डिझाइन केले जातात की भाग फक्त योग्य स्थितीत बसतात. चूक झाली तरी लगेच ओळखली जाते आणि दोष पुढे जात नाहीत. यामुळे उत्पादनाची गुणवत्ता वाढते आणि तपासणी खर्च कमी होतो.

7. एकूण उत्पादक देखभाल (TPM – Total Productive Maintenance): TPM ही उपकरणांच्या उत्पादकतेला जास्तीत जास्त करण्यासाठी देखभाल प्रणाली आहे. मशीन खराब होईपर्यंत थांबण्याऐवजी, नियमित पूर्व-नियोजित देखभाल केली जाते.

महत्त्वाची वैशिष्ट्ये:

- ऑपरेटर स्वतः मशीनची देखभाल शिकतात.
 - बिघाड, लहान थांबे व दोष कमी होतात.
 - उद्दिष्ट: शून्य अपघात, शून्य दोष, शून्य बिघाड.
- TPM मशीनची आयुष्य वाढवते, सुरक्षितता सुधारते, व दुरुस्ती खर्च कमी करते.

8. जस्ट-इन-टाइम (JIT – Just-In-Time): JIT म्हणजे फक्त आवश्यक तेच उत्पादन करणे, ते ही जेव्हा आवश्यक आहे आणि आवश्यक प्रमाणात. मोठ्या स्टॉकऐवजी साहित्य "जस्ट इन टाइम" उपलब्ध होते. तयार उत्पादन फक्त ग्राहकांच्या मागणीनुसार तयार केले जाते.

फायदे:

- कमी इन्व्हेंटरी व साठवण खर्च
- कमी लीड टाइम
- बदलत्या ग्राहक मागण्यांवर जलद प्रतिसाद
- उच्च गुणवत्ता व कार्यक्षमता

9. PDCA सायकल (Plan-Do-Check-Act): PDCA सायकल सतत सुधारणा प्रक्रिया आहे:

- Plan: समस्या ओळखणे व सुधारणा योजना बनवणे
- Do: योजना लहान प्रमाणात अंमलात आणणे
- Check: परिणाम मोजणे व विश्लेषण करणे
- Act: यशस्वी असल्यास सुधारणा मानक बनवणे, अन्यथा नवीन योजना बनवणे ही सायकल सतत पुन्हा सुरू राहते, ज्यामुळे दीर्घकालीन सुधारणा साध्य होते.

10. सांख्यिकीय प्रक्रिया नियंत्रण (SPC – Statistical Process Control): SPC मध्ये कंट्रोल चार्ट, हिस्टोग्राम व प्रक्रिया क्षमता विश्लेषण यांसारखी सांख्यिकीय साधने वापरली जातात. यामुळे:

- प्रक्रियेत बदल शोधणे
- सामान्य बदल आणि त्रुटी यातील फरक ओळखणे

- दोष निर्माण होण्यापूर्वी सुधारात्मक उपाय घेणे
उद्योगांमध्ये उच्च-गुणवत्तेचे उत्पादन सुनिश्चित करण्यासाठी SPC मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.

11. कार्य अध्ययन (Work Study): कार्य अध्ययन हा कमी गुंतवणुकीत उत्पादकता सुधारण्यासाठी वैज्ञानिक पद्धत आहे. आंतरराष्ट्रीय कामगार संघटना (ILO) नुसार, "कार्य करण्याच्या पद्धतीचे शिस्तबद्ध विश्लेषण करून कार्यक्षमतेत सुधारणा करणे."

मुख्य दोन भाग आहेत:

- पद्धत अध्ययन (Method Study): काम कसे केले जाते याचे विश्लेषण व सुधारणा. उदाहरणार्थ, पायऱ्यांचा क्रम बदलणे किंवा साधने बदलणे.
- कार्य मापन (Work Measurement): काम पूर्ण करण्यासाठी प्रमाणित वेळ निश्चित करणे, ज्यामुळे कामाचे प्रमाण व कार्यक्षमता मोजता येते.
कार्य अध्ययन अनावश्यक काम कमी करते, वेळ वाचवते, खर्च कमी करतो आणि आउटपुट वाढवतो.

1.4.1 प्रक्रिया अभियांत्रिकीचे महत्त्व (Importance of Process Engineering)

1. खर्च कमी करणे (Cost Reduction): प्रक्रिया अभियांत्रिकी योग्य आणि आर्थिकदृष्ट्या फायदेशीर प्रक्रिया, योग्य कच्चा माल, आणि कार्यक्षम मशीन निवडून उत्पादन खर्च कमी करते. अनावश्यक टप्पे, पुनःकाम (rework) आणि ऊर्जा वाया जाणे टाळले जाते. उदाहरणार्थ, एखाद्या गुंतागुंतीच्या आकाराचे भाग मशीनिंग करण्याऐवजी कास्टिंगद्वारे तयार केल्यास खर्च आणि वेळ दोन्ही बचत होतात.
2. गुणवत्ता सुनिश्चित करणे (Quality Assurance): मानक प्रक्रिया, योग्य साधने, आणि तपासणी पद्धती वापरून उत्पादने आवश्यक टॉलरन्सेस (tolerances) मध्ये तयार केली जातात. यामुळे उत्पादनाची गुणवत्ता सातत्यपूर्ण राहते, ग्राहक समाधान वाढते, आणि कंपनीची प्रतिमा सुधारते.
3. संसाधनांचा कार्यक्षम वापर (Efficient Utilization of Resources): मशीन, साहित्य, मनुष्यबळ, आणि ऊर्जा या महाग असतात. योग्य नियोजनामुळे मशीनचे जास्त किंवा कमी वापर टाळले जाते, वाया जाणारा साहित्य कमी होतो, आणि साधनांचे आयुष्य वाढते.
4. वेळेची बचत (Time Saving): नियोजित प्रक्रियांमुळे repeated setups कमी होतात, अनावश्यक हालचाली टाळल्या जातात आणि सामग्रीचा प्रवाह सुरळीत होतो. यामुळे उत्पादनाचा वेळ कमी होतो आणि बाजारात उत्पादने जलद पुरवता येतात.
5. मानकीकरण (Standardization): मानक कार्यपद्धती (SOPs) वापरल्यास गुणवत्ता आणि फिनिशमध्ये एकसारखेपणा येतो. कामकाजाचे टप्पे दस्तऐवजीकरण केलेले असल्यामुळे कामगार प्रशिक्षण सोपे होते.
6. उत्पादकता वाढ (Improved Productivity): कार्यक्षम नियोजनामुळे मशीनचा आणि कामगारांचा निष्क्रिय वेळ कमी होतो. योग्य क्रमाने प्रक्रिया, जिग्स आणि फिक्सचर्स वापरल्याने सेटअप वेळ आणि हाताळणी वेळ कमी होते आणि उत्पादन वाढते.
7. लवचिकता (Flexibility): उद्योगांमध्ये डिझाइन किंवा मागणीतील बदल अनेकदा येतात. लवचिक प्रक्रिया योजना असल्यास संपूर्ण प्रणाली पुन्हा डिझाइन न करता लहान बदल करणे शक्य होते, ज्यामुळे वेळ वाचतो आणि खर्चही कमी होतो.

1.4.2 प्रक्रिया नियोजनाची पद्धत (Procedure of Process Planning)

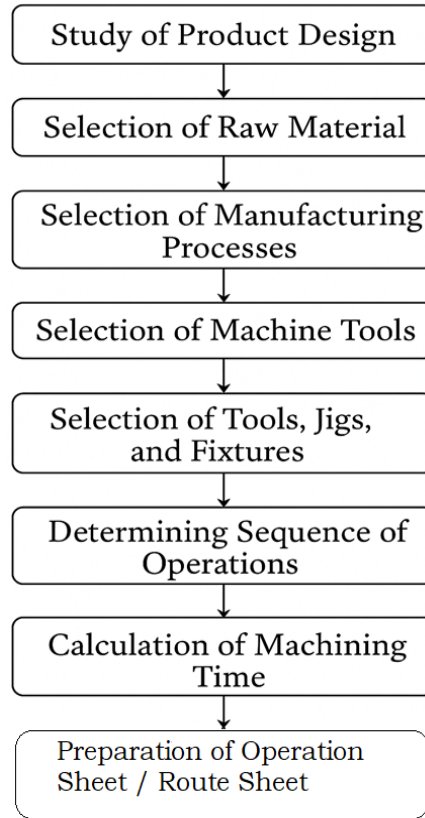


Fig. 1.10: प्रक्रिया नियोजनाची पद्धत (Procedure of Process Planning)

1. प्रक्रिया रचनेचा अभ्यास (Study of Product Design): उत्पादनाची रचना, रेखाचित्रे, मोजमापे, टॉलरन्सेस (tolerances), पृष्ठभाग समाप्ती आणि वापरलेले साहित्य यांचा सखोल अभ्यास केला जातो. रचना समजल्याने महत्त्वाच्या वैशिष्ट्यांची, कार्यात्मक गरजांची माहिती मिळते आणि उत्पादन प्रक्रिया व साधनांची निवड प्रभावित होते.
2. कच्चा माल निवड (Selection of Raw Material): योग्य साहित्य प्रकार (स्टील, अॅल्युमिनियम, प्लास्टिक), स्वरूप (रॉड, शीट, बिलेट) आणि आकार निवडला जातो. निवड ही ताकद, प्रक्रिया-क्षमता, खर्च, उपलब्धता आणि कामगिरी यावर आधारित असते, ज्यामुळे गुणवत्ता आणि अर्थकारण दोन्ही साध्य होते.
3. उत्पादन प्रक्रियेची निवड (Selection of Manufacturing Processes): कच्च्या मालाला अंतिम उत्पादनात रूपांतरित करण्यासाठी कास्टिंग, फोर्जिंग, मशीनिंग, वेल्डिंग, हीट ट्रीटमेंट यांसारख्या प्रक्रिया निवडल्या जातात. निवड उत्पादनाची गुंतागुंत, प्रमाण, अचूकता, पृष्ठभाग समाप्ती आणि खर्च यावर अवलंबून असते.
4. मशीन टूल्सची निवड (Selection of Machine Tools): प्रत्येक ऑपरेशनसाठी कोणती मशीन वापरली जाणार (पारंपरिक किंवा CNC) हे ठरविले जाते. अचूकता, क्षमता, गती आणि उपलब्धता ध्यानात घेऊन योग्य मशीन निवडल्यास उत्पादन वेळ कमी होतो आणि कार्यप्रवाह सुधारतो.
5. टूल्स, जिग्ज आणि फिक्स्चर्सची निवड (Selection of Tools, Jigs and Fixtures): कटिंग टूल्स, जिग्ज, फिक्स्चर्स आणि मोजमाप साधने अचूकता आणि पुनरावृत्तीक्षम (repeatability) कामासाठी निवडली जातात. योग्य निवडीमुळे चुका कमी होतात, उत्पादकता वाढते आणि सुरक्षितता सुधारते.
6. ऑपरेशन्सचा क्रम ठरविणे (Determining Sequence of Operations): हँडलिंग, टूल बदल आणि सेटअप वेळ कमी करण्यासाठी ऑपरेशन्सचा तार्किक क्रम ठरविला जातो. योग्य क्रमाने आवश्यक टॉलरन्सेस आणि पृष्ठभाग गुणवत्ता मिळून कार्यक्षमता वाढते आणि रिवर्क कमी होते.

7. मशीनिंग वेळेची गणना (Calculation of Machining Time): कटिंग स्पीड, फीड, डेपथ ऑफ कट, मशीन कार्यक्षमता आणि सेटअप वेळ यांच्या आधारे मशीनिंग वेळ मोजली जाते. अचूक अंदाजामुळे शेड्युलिंग, खर्च मोजणी आणि बॉटलनेक्स (bottlenecks) ओळखण्यास मदत होते.
8. ऑपरेशन/रूट शीटची तयारी (Preparation of Operation / Route Sheet): मशीन, टूल्स, फिक्स्चर्स, मशीनिंग वेळ, तपासणी पद्धती इत्यादी सर्व माहिती ऑपरेशन शीटमध्ये नोंदविली जाते. यामुळे उत्पादनात सातत्य येते, चुका कमी होतात आणि ऑपरेटरसाठी स्पष्ट मार्गदर्शक मिळतो.

1.4.3 प्रक्रिया नियोजनावर परिणाम करणारे घटक (Factors Affecting Process Planning)

- a. भागाचा आकार आणि आकृती (Size and Shape of Part): भागाची रचना आणि आकार मूलभूत प्रक्रिया व क्रम ठरवितात. उदाहरणार्थ, शाफ्ट तयार करताना कच्च्या मालाचा प्रकार, आकार आणि ऑपरेशन क्रम ठरविण्यास प्रभाव पडतो.
- b. ताकद आवश्यकता (Strength Characteristics): भागावर येणारे लोड (इम्पॅक्ट, टेन्साइल, शॉक) कोणती प्रक्रिया वापरावी हे ठरवितात, जेणेकरून आवश्यक ताकद मिळू शकेल.
- c. आवश्यक प्रमाण (Quantity Required): उत्पादनाचे प्रमाण planning वर मोठा प्रभाव टाकते. मोठ्या प्रमाणासाठी सर्वसाधारण मशीन तर कमी प्रमाणात किंवा मोठ्या भागांसाठी खास मशीन आवश्यक असू शकतात.
- d. अचूकता आणि पृष्ठभाग गुणवत्ता (Accuracy and Surface Quality): आवश्यक अचूकता व समाप्तीच्या आधारे मशीन व प्रक्रिया निवडली जाते.
- e. विद्यमान उपकरणांचा उपयोग (Utilization of Existing Equipment): उपलब्ध मशीन व साधनांचा जास्तीत जास्त वापर केल्यास रिक्त क्षमता कमी होते आणि नवीन गुंतवणूक कमी लागते.
- f. मनुष्यबळ कौशल्य (Skill of Manpower): कामगारांच्या कौशल्यावर प्रक्रिया निवड अवलंबून असते, जेणेकरून कामातील दोष कमी होतील.
- g. वितरण वेळ (Delivery Date): कमी वेळेमध्ये उपलब्ध साधने-मशीन वापरावी लागतात, तर जास्त वेळेमुळे आर्थिक आणि तपशीलवार planning करता येते.

1.4.4 प्रक्रिया नियोजनातील ऑपरेशन शीट आणि रूट शीट

ऑपरेशन शीट हे प्रक्रिया नियोजनामधील एक अत्यंत महत्त्वाचे दस्तऐवज आहे. या शीटमध्ये एखादा घटक तयार करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या सर्व उत्पादन प्रक्रियांची सविस्तर माहिती दिलेली असते. त्यात ऑपरेशन्सचा क्रम, कोणत्या मशीनवर काम होणार आहे, कोणती कटिंग टूल्स, जिग्स आणि फिक्स्चर्स वापरायचे आहेत, स्पीड आणि फीड किती ठेवायचा, डेपथ ऑफ कट किती असावा, तसेच प्रत्येक ऑपरेशन पूर्ण करण्यासाठी लागणारा मानक वेळ यासारख्या तांत्रिक गोष्टी नमूद केलेल्या असतात. हे शीट ऑपरेटरसाठी मार्गदर्शक म्हणून काम करते आणि त्याला काम अचूक, जलद आणि कार्यक्षम पद्धतीने करण्यास मदत करते. ऑपरेशन शीटचे पालन केल्याने उत्पादनात एकसारखेपणा आणि सातत्य राखता येते. उदाहरणार्थ, शाफ्ट तयार करताना टर्निंग, फेसींग, ड्रिलिंग आणि ग्राइंडिंग यांसारख्या ऑपरेशन्सची क्रमवार माहिती या शीटमध्ये दिलेली असते.

रूट शीट एखाद्या घटकाने उत्पादन करताना कोणकोणत्या विभागांतून किंवा मशीनमधून प्रवास करायचा आहे, याची मार्गक्रमणा दाखवते. ऑपरेशन शीटप्रमाणे ती तांत्रिक पॅरामीटर्स किंवा कटिंग तपशील देत नाही; परंतु भागाने कोणत्या विभागातून पुढे कोणत्या विभागाकडे जायचे, कोणत्या मशीनवर प्रक्रिया होणार आहे, आणि प्रत्येक टप्प्यावर किती वेळ लागण्याची अपेक्षा आहे, याची माहिती देते. तिचा मुख्य उद्देश उत्पादन विभागांमधील कामाचा प्रवाह सुरळीत ठेवणे आणि योग्य शेड्युलिंग करणे हा आहे. उदाहरणार्थ, एखादा घटक कच्चा माल विभागातून टर्निंग विभागाकडे, तिथून हीट ट्रीटमेंट विभागाकडे, पुढे ग्राइंडिंग विभागात, त्यानंतर तपासणीमध्ये आणि शेवटी असेंब्ली विभागात जातो—याची साखळी रूट शीटमध्ये दर्शवलेली असते.

OPERATION SHEET				ROUTE SHEET		
Op. No.	Operation	Machine	Speeds and Feeds	Op. No.	Department / Machine	Time
1	Turning	Lathe	1000 RPM 0.2 mm/rev	1	Raw Material Store	2 mins
2	Drilling	Drilling	600 RPM 0.1 mm/rev	2	Turning	5 mins
3	Grinding	Grinding wheel	30 m/s 0.01 mdoc	3	Heat Treatment	30 mins
4	Inspection	Inspection		4	Grinding	10 mins
				5	Inspection	5 mins
				6	Assembly	10 mins

Fig. 1.11: प्रक्रिया नियोजनावर परिणाम करणारे घटक

1.5 लाइन बॅलन्सिंग

लाइन बॅलन्सिंग म्हणजे असेंब्ली लाईनमधील सर्व वर्कस्टेशन्समध्ये कामाचे वाटप अशा पद्धतीने करणे की प्रत्येक स्टेशनवर जवळजवळ समान प्रमाणात काम असावे. याचा मुख्य उद्देश म्हणजे उत्पादन प्रक्रियेत कुठेही अडथळे निर्माण होऊ नयेत, कामगार किंवा मशीन रिकामे बसू नयेत आणि साहित्य व उत्पादने सतत व सुरळीत पुढे सरकत राहावीत. प्रत्यक्षात लाइन बॅलन्सिंगमध्ये उत्पादनासाठी लागणाऱ्या सर्व ऑपरेशन्सचा क्रम तपासणे, प्रत्येक कामासाठी लागणारा वेळ अंदाजणे आणि नंतर ती कामे विविध वर्कस्टेशन्सना असे वाटणे की सर्व स्टेशनवरील एकूण कामाचा वेळ शक्य तितका समान राहिल. यामुळे काही कामगारांकडे खूप काम आणि काहींकडे काहीच काम नसणे अशा परिस्थिती टळतात, जी एकूण उत्पादन गती कमी करते आणि मजुरी खर्च वाढवते.

लाइन बॅलन्सिंग साध्य झाल्यावर उत्पादन लाईनमधील अडथळे (बॉटलनेक्स) दूर होतात, रिकामा वेळ कमी होतो आणि साहित्य व उत्पादने एका स्टेशनवरून पुढच्या स्टेशनपर्यंत सातत्याने प्रवाहित राहतात. सोप्या भाषेत सांगायचे तर, लाइन बॅलन्सिंग म्हणजे "कामाचे न्याय्य व कार्यक्षम विभाजन", ज्यामुळे प्रत्येक कामगार किंवा मशीनचा पुरेपूर उपयोग होतो, उत्पादन स्थिर गतीने चालते आणि असेंब्ली लाईनची एकूण कार्यक्षमता व आउटपुट वाढते. ही संकल्पना विशेषतः त्या उद्योगात महत्त्वाची आहे जिथे मोठ्या प्रमाणात उत्पादन केले जाते—उदाहरणार्थ, मोटारगाड्या, इलेक्ट्रॉनिक्स किंवा घरगुती उपकरणे तयार करण्याच्या उद्योगात—कारण एखाद्या एका स्टेशनवरील छोटासा विलंबही संपूर्ण लाईनच्या उत्पादकतेवर परिणाम करू शकतो.

1.5.1 लाइन बॅलन्सिंगचे महत्त्व

लाइन बॅलन्सिंगमुळे उद्योगांना अनेक फायदे होतात, जे उत्पादनाची गती, गुणवत्ता आणि कार्यक्षमता राखण्यासाठी अत्यंत आवश्यक आहेत. योग्य रीतीने लाइन बॅलन्सिंग केले असता कोणतेही वर्कस्टेशन संपूर्ण लाईनसाठी अडथळा ठरत नाही आणि सर्व कामगार-मशीनना सतत व समतोल काम मिळते. त्यामुळे निष्क्रिय वेळ कमी होतो आणि उत्पादन जलद गतीने पूर्ण होते. सुव्यवस्थित व संतुलित काम प्रवाहामुळे मजुरीचा अनावश्यक खर्च टळतो, अतिरिक्त कामगारांची आवश्यकता राहत नाही आणि सर्व साधनसामग्रीचा सर्वोत्तम उपयोग होतो. उत्पादन प्रक्रियेत घाई किंवा दुर्लक्ष न झाल्यामुळे उत्पादित वस्तूंची गुणवत्ता देखील सातत्याने चांगली राहते. एकूणच, लाइन बॅलन्सिंग हे उत्पादनाचे लक्ष्य वेळेत आणि कार्यक्षमतेने साध्य करण्यासाठी अत्यंत महत्त्वाचे साधन आहे.

Exercise:**TLO 1.1 – List site selection factors**

1. List six important factors influencing site selection.
2. Explain the importance of locating a plant near raw material sources.
3. Identify the most suitable site for a cement plant: (a) near coal mines, (b) near a large city, (c) near iron ore deposits. Justify your choice.

TLO 1.2 – Draw types of plant layout

1. List the five common types of plant layouts.
2. State two features of a product layout.
3. Summarize the applications of process layout.
4. Identify which layout is most suitable for an automobile assembly line and justify.
5. Choose the correct layout for a hospital and justify your choice.
6. State the advantages and disadvantages of cellular layout.
7. Construct a neat diagram showing the process layout for a machine shop.

TLO 1.3 – Compare types of production systems

1. List four types of production systems.
2. State two applications of batch production.
3. Summarize the characteristics of job production.
4. Illustrate mass production with one industry example.
5. Classify the following industries into job, batch, mass, or continuous production and justify your answer: Shipbuilding, Bakery, Automobile, and Petroleum refinery.
6. Select the suitable production system for mobile phone manufacturing and justify.
7. Differentiate between job production and batch production.
8. Compare mass production and continuous production systems in terms of cost, flexibility, and investment.

TLO 1.4 – Explain methods for improving productivity

1. List any four Japanese techniques for improving productivity.
2. Explain the importance of Kaizen in productivity improvement.
3. Illustrate the 5S steps with examples.
4. Design a productivity improvement plan for a small workshop using 5S and Kaizen.
5. Propose a poka-yoke mechanism for avoiding assembly mistakes in an automobile plant.

TLO 1.5 – Prepare operation sheet for given component

1. List the typical contents included in an operation sheet.
2. State two differences between an operation sheet and a route sheet.
3. Illustrate with a diagram how an operation sheet guides operators.
4. Construct a simple operation sheet for a shaft involving facing, turning, and grinding operations.

TLO 1.6 – Explain need and importance of line balancing

1. List the key objectives of line balancing in assembly operations.
2. Summarize the effect of bottlenecks on an unbalanced production line.
3. Explain the importance of line balancing for industries.

युनिट 2 कार्य अध्ययन (Work Study)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

CO2- उत्पादन प्रक्रियांचे कार्यक्षमतेसाठी कार्य अध्ययन तंत्रांचा वापर करणे. (Apply work study techniques for optimizing manufacturing processes.)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

TLO 2.1: औद्योगिक अभियांत्रिकीचे महत्त्व स्पष्ट करणे. (Explain importance of industrial engineering)

TLO 2.2: कार्य अध्ययन, कार्यपद्धती अध्ययन आणि वेळ अध्ययन यांची व्याख्या करणे. (Define work study, method study, time study.)

TLO 2.3: कार्य अध्ययन, कार्यपद्धती अध्ययन आणि वेळ अध्ययन याचे उद्दिष्टे नमूद करणे. (State the objectives of work study, method study, time study.)

TLO 2.4: थरब्लिग चिन्हांचा अर्थ नमूद करणे. (State meaning of therblig symbols.)

TLO 2.5: दिलेल्या प्रक्रियेसाठी नोंदणी तंत्रांचा वापर करून संबंधित प्रकारचा आकृती तयार करणे. (Prepare a relevant type of chart for given process using recording techniques.)

TLO 2.6: दिलेल्या कार्यासाठी प्रमाणित वेळेची गणना करणे. (Calculate standard time for a given activity.)

2.1 इंडस्ट्रियल इंजिनियरिंग- (Industrial Engineering)

यांत्रिकी उद्योग हे उत्पादन चालवण्यासाठी आणि मूल्य निर्माण करण्यासाठी चार मूलभूत संसाधनांवर अवलंबून असतात— मानवी श्रम, यंत्रसामग्री, भांडवल आणि कच्चा माल. या संसाधनांचे व्यवस्थापन ज्या पद्धतीने केले जाते, त्याचा थेट परिणाम अंतिम उत्पादनाच्या किंमतीवर, गुणवत्तेवर आणि कार्यक्षमतेवर होतो. याच ठिकाणी इंडस्ट्रियल इंजिनियरिंग महत्त्वाची भूमिका बजावते: हे शास्त्रीय आणि गणितीय तत्वांचा वापर करून कार्यप्रवाहांचे विश्लेषण करते, संसाधनांचा कार्यक्षम वापर सुनिश्चित करते आणि उत्पादन व सेवा प्रक्रियांमधील अपव्यय कमी करते. वेळ-चालना अभ्यास (time-motion study), प्रक्रिया नकाशे (process mapping) आणि लीन पद्धती (lean methods) यांसारखी साधने एकत्रित करून, औद्योगिक अभियंते उत्पादकता वाढवण्याचा, कार्य खर्च कमी करण्याचा आणि स्पर्धात्मक बाजारपेठेत टिकाऊ कार्यप्रदर्शन सुनिश्चित करण्याचा प्रयत्न करतात.

2.1.1 व्याख्या:

औद्योगिक अभियांत्रिकी ही अशी अभियांत्रिकी शाखा आहे जी लोक, सामग्री, उपकरणे आणि ऊर्जा यांचे एकत्रित प्रणालींचे संकल्पन, सुधारणा आणि प्रतिष्ठापन यांच्याशी संबंधित आहे. या प्रणालींमधून मिळणारे परिणाम विशिष्ट करणे, भाकीत करणे आणि मूल्यांकन करणे यासाठी औद्योगिक अभियंते गणितीय, भौतिक आणि सामाजिक विज्ञानातील विशेष ज्ञान व कौशल्य, तसेच अभियांत्रिकी विश्लेषण आणि संकल्पन तत्वांचा वापर करतात.

2.1.2 इंडस्ट्रियल इंजिनियरिंगची गरज:

– **संसाधनांचे कार्यक्षम एकत्रीकरण:** इंडस्ट्रियल इंजिनियरिंग मानव संसाधने, तंत्रज्ञान, उपकरणे, माहिती आणि वित्त यांचे योग्य संयोजन सुनिश्चित करते, जे ऑपरेशन्समध्ये जास्तीत जास्त कार्यक्षमता आणि परिणामकारकता साध्य करण्यास मदत करते.

– **विविध क्षेत्रांतील समस्यांचे निराकरण:** उत्पादन, वाहतूक, सेवा उद्योग आणि पर्यावरणीय प्रणालींमधील गुंतागुंतीच्या समस्यांवर विश्लेषणात्मक आणि प्रणाली-आधारित दृष्टिकोन वापरून व्यावहारिक उपाय प्रदान करते.

– **कार्यक्षमता निर्देशांक सुधारणा:** लीन मॅन्युफॅक्चरिंग (lean manufacturing), सिक्स सिग्मा (six sigma) आणि प्रक्रिया पुनर्रचना (process reengineering) यांसारख्या तंत्रांचा वापर करून उत्पादनाची गुणवत्ता, कार्यस्थळ सुरक्षा आणि एकूण उत्पादकता सुधारते.

– **शाश्वतता आणि खर्च कमी करणे:** इंडस्ट्रियल इंजिनियरिंग उद्योगांना अपव्यय कमी करण्यात, कार्य खर्च घटवण्यात आणि उत्पादन किंवा कार्यप्रदर्शन यावर परिणाम न करता शाश्वत पद्धती स्वीकारण्यात मदत करते.

– **स्पर्धात्मक बाजारपेठेतील अनुकूलता:** औद्योगिक अभियंते बदलत्या बाजार मागण्या, तांत्रिक प्रगती आणि जागतिक स्पर्धेला प्रतिसाद देण्यासाठी संस्थांना अनुकूल होण्यास महत्त्वाची भूमिका बजावतात.

2.1.3 इंडस्ट्रियल इंजिनियरिंगची उद्दिष्टे:**इंडस्ट्रियल इंजिनियरिंगची मूलभूत उद्दिष्टे पुढीलप्रमाणे आहेत:**

- (a) कार्यपद्धती सुधारण्यासाठी आणि उत्पादन खर्च नियंत्रित करण्यासाठी योग्य पद्धती स्थापन करणे.
 (b) त्या खर्चात घट करण्यासाठी योग्य पद्धती विकसित करणे

2.1.4 इंडस्ट्रियल इंजिनियरिंगचे कार्यक्षेत्र:

इंडस्ट्रियल इंजिनियरिंग हे कार्यक्षमता, सुरक्षितता आणि उत्पादकता वाढवण्यासाठी विविध औद्योगिक क्रियाकलापांमध्ये वापरले जाते. याचे मुख्य कार्यक्षेत्र खालीलप्रमाणे आहे:

- **प्रक्रिया आणि असेंब्ली अनुकूलन:** उत्पादन व असेंब्लीसाठी सर्वात कार्यक्षम पद्धती निवडून कार्यप्रवाह सुलभ करणे आणि अपव्यय कमी करणे.
- **साधने आणि उपकरणांची रचना:** उत्पादन गरजांनुसार आणि तांत्रिक प्रगतीनुसार योग्य साधने व यंत्रसामग्रीची रचना व निवड करणे.
- **सुविधा आराखडा नियोजन:** कार्यप्रवाह सुरळीत राहावा आणि सामग्री हाताळणी कमी व्हावी यासाठी यंत्रे व उपकरणे कार्यक्षेत्रात योग्य ठिकाणी ठेवणे.
- **सुरक्षिततेसाठी उत्पादन रचना:** कामगारांचे संरक्षण आणि व्यावसायिक आरोग्य मानकांचे पालन यासाठी सुरक्षितता वैशिष्ट्यांसह उत्पादने अभियांत्रिकीदृष्ट्या विकसित करणे.
- **खर्च नियंत्रण प्रणाली:** उत्पादन खर्चाचे निरीक्षण व व्यवस्थापन करण्यासाठी प्रणाली विकसित करणे, जे संस्थेला आर्थिकदृष्ट्या कार्यक्षम ठेवते.
- **वेळ आणि कार्यप्रदर्शनाचे प्रमाणितीकरण:** कार्य कालावधी, खर्च आणि कर्मचारी कार्यप्रदर्शनासाठी बेंचमार्क्स (benchmarks) स्थापन करून सातत्य आणि उत्तरदायित्व सुधारणे.
- **नोकरी मूल्यांकन फ्रेमवर्क:** संस्थेमधील नोकरीच्या भूमिका, जबाबदाऱ्या आणि मूल्य यांचे मूल्यांकन करण्यासाठी प्रणाली तयार करणे व अंमलात आणणे.
- **वेतन प्रोत्साहन योजना:** कर्मचारी कार्यप्रदर्शनाला प्रोत्साहन देणाऱ्या आणि उत्पादकता वाढवणाऱ्या प्रोत्साहन योजनांची रचना करणे.

2.2 कार्य अध्ययन (Work Study)

परिभाषा: "कार्य अध्ययन हा एक सर्वसाधारण संज्ञा आहे, जी विशेषतः 'पद्धत अध्ययन' (Method Study) आणि 'कार्य मापन' (Work Measurement) या तंत्रांचा समावेश करते, ज्यामध्ये मानवाच्या कार्याचे सर्व पैलूंमध्ये परीक्षण केले जाते आणि कार्यक्षमतेवर परिणाम करणाऱ्या सर्व घटकांची शिस्तबद्ध तपासणी करण्यास मदत होते, ज्यामुळे कार्यात सुधारणा शोधता व करता येतात.

2.2.1 कार्य अध्ययनाची गरज (Need for Work Study)

कार्य अध्ययन हे कोणत्याही संस्थेसाठी अत्यावश्यक आहे, कारण यामुळे कार्यक्षमतेत वाढ, निर्णय प्रक्रियेत सुधारणा आणि खर्च नियंत्रण साधता येते. याची शिस्तबद्ध पद्धत प्रक्रियांचे सुलभीकरण करते आणि संसाधनांचा कार्यक्षम वापर सुनिश्चित करते. यामागील मुख्य कारणे पुढीलप्रमाणे आहेत:

1. एकूण उत्पादकतेत वाढ (Enhances Overall Productivity)

- कार्य अध्ययन कार्यप्रवाहातील अकार्यक्षमतेची ओळख करून सुधारणा सुचवते.
- अनावश्यक हालचाली आणि विलंब दूर करून कार्य अधिक जलद व सुरळीत बनवते.
- मनुष्यबळ, यंत्रसामग्री आणि साहित्याचा कार्यक्षम वापर करून इनपुट वाढवण्याची गरज न पडता उत्पादन वाढवते.

2. माहितीपूर्ण आणि तर्कसंगत निर्णय घेण्यास मदत (Facilitates Informed and Rational Decision-Making)

- कार्य अध्ययनाची शिस्तबद्ध आणि तथ्याधारित पद्धत तर्कसंगत निर्णयांना आधार देते.
- हे स्पष्ट डेटा आणि विश्लेषण प्रदान करते, ज्यामुळे अंदाज आणि वैयक्तिक पूर्वग्रह कमी होतात.
- व्यवस्थापक पर्यायांचे मूल्यांकन करण्यासाठी सुसंगत प्रक्रियांवर विश्वास ठेवू शकतात आणि सर्वोत्तम मार्ग निवडू शकतात.

3. विश्वासार्ह कार्यप्रदर्शन मानकांची स्थापना (Establishes Reliable Performance Standards)

- कार्य अध्ययन वेळ, श्रम आणि उत्पादनासाठी अचूक मानके प्रदान करते.
- ही मानके उत्पादन नियोजन, वेळापत्रक तयार करणे आणि मनुष्यबळाचे वाटप यासाठी अत्यावश्यक असतात.
- हे कामाचे योग्य वाटप सुनिश्चित करते आणि कर्मचारी कार्यप्रदर्शनाचे वस्तुनिष्ठ मूल्यांकन करण्यास मदत करते.

4. त्वरित आणि ठोस खर्च बचतीकडे वाटचाल (Leads to Immediate and Tangible Cost Savings)

- अपव्यय कमी करून आणि कार्यक्षमता सुधारून संस्था कार्य खर्च कमी करू शकतात.
- हे अनेकदा लपलेले नुकसान आणि जास्त वापराचे क्षेत्र उघड करते, ज्यामुळे त्वरित सुधारात्मक उपाय करता येतात.
- ही बचत श्रम खर्च, साहित्य वापर आणि ऊर्जा वापर यामध्ये दिसून येते.

5. कार्यपद्धती आणि एर्गोनॉमिक्समध्ये सुधारणा (Improves Work Methods and Ergonomics)

- कार्य अध्ययन कार्याची पुनर्रचना करून कार्य अधिक आरामदायक, सुरक्षित आणि कार्यक्षम बनवते.
- हे थकवा आणि दुखापत कमी करणाऱ्या एर्गोनॉमिक पद्धतींचा प्रचार करते, ज्यामुळे कामगारांचे समाधान आणि उत्पादनक्षमता वाढते.

6. सतत सुधारणा आणि नवकल्पनांना पाठिंबा (Supports Continuous Improvement and Innovation)

- हे सतत मूल्यांकन आणि सुधारणा करण्याची संस्कृती प्रोत्साहित करते.
- संस्था तंत्रज्ञान, बाजारातील मागणी किंवा उत्पादन उद्दिष्टांमधील बदलांना लवकर अनुकूल होऊ शकतात.

7. विभागांमधील समन्वय मजबूत करते (Strengthens Coordination Between Departments)

- प्रमाणित प्रक्रियांनी आणि स्पष्ट संवाद मार्गांनी टीमवर्क सुधारतो.
- हे विभागांमधील उद्दिष्टे एकत्रित करते, तसेच संघर्ष आणि कामाची पुनरावृत्ती कमी करते.

2.2.2 कार्य अध्ययन प्रक्रिया (Work Study Procedure)

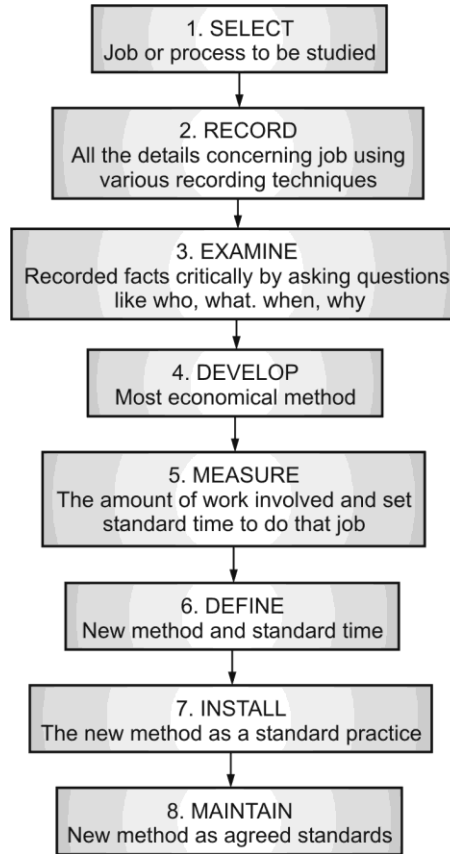


Fig.2.1 कार्य अध्ययन प्रक्रिया

2.3 पद्धत अध्ययन (Method Study)

2.3.1 परिभाषा: "पद्धत अध्ययन म्हणजे कार्य करण्याच्या विद्यमान आणि प्रस्तावित पद्धतींचे शिस्तबद्ध रेखन आणि गंभीर परीक्षण, ज्याद्वारे अधिक सोप्या, कार्यक्षम आणि खर्च कमी करणाऱ्या पद्धती विकसित व लागू करता येतात."

2.3.2 पद्धत अध्ययनाची उद्दिष्टे:

पद्धत अध्ययन हे कार्य अध्ययनाचा एक महत्त्वाचा घटक आहे, जे कार्य कसे केले जाते याचे विश्लेषण आणि सुधारणा यावर लक्ष केंद्रित करते. याचे मुख्य उद्दिष्ट म्हणजे कार्य अधिक कार्यक्षम, सुरक्षित आणि उत्पादक बनवणे. प्रमुख उद्दिष्टे पुढीलप्रमाणे आहेत:

1. कार्यप्रक्रिया आणि कार्यपद्धती सुलभ करणे (Streamline Work Processes and Procedures)

- पद्धत अध्ययन अनावश्यक टप्प्यांची ओळख करून कार्य अधिक सुलभपणे पार पाडण्यासाठी कार्याची पुनर्रचना करते.
 - हे गुंतागुंतीच्या क्रियांची सोपी मांडणी करून त्यांना समजणे आणि अंमलात आणणे सुलभ बनवते.
 - यामुळे कार्याचा वेळ कमी होतो आणि दैनंदिन कामांमध्ये चुका कमी होतात.
- 2. कार्यस्थळ आणि यंत्रसामग्रीचे मांडणी सुधारणे (Optimize Workplace and Facility Layout)**
- हे साधने, उपकरणे आणि कार्यस्थानांची भौतिक रचना यांचे मूल्यांकन करते.
 - चांगल्या रचनेमुळे हालचाल कमी होते, वेळ वाचतो आणि कार्यप्रवाह सुधारतो.
 - यामुळे कार्यशाळा किंवा कारखान्यात सुरक्षितता आणि प्रवेशयोग्यता वाढते.
- 3. साहित्य हाताळणी आणि कामगार थकवा कमी करणे (Minimize Material Handling and Operator Fatigue)**
- कार्याच्या क्रमवारीत सुधारणा करून आणि कार्यस्थानाची रचना सुधारून उचलणे, वाहून नेणे किंवा चालणे यांची गरज कमी केली जाते.
 - यामुळे कामगारांवरील शारीरिक ताण कमी होतो आणि कार्यक्षमता वाढते.
 - हे चांगल्या एर्गोनॉमिक्सला प्रोत्साहन देते आणि पुनरावृत्तीमुळे होणाऱ्या दुखापतींचा धोका कमी करते.
- 4. संसाधनांचा जास्तीत जास्त वापर सुनिश्चित करणे (Maximize Utilization of Resources)**
- पद्धत अध्ययन साहित्य, यंत्रसामग्री आणि मनुष्यबळाचा प्रभावी वापर सुनिश्चित करते.
 - हे संसाधनांचा अपुरा वापर किंवा अति वापर टाळते, ज्यामुळे संतुलित कार्यप्रवाह निर्माण होतो.
 - यामुळे खर्चात बचत होते आणि उत्पादनक्षमता वाढते.
- 5. उत्पादनाची गुणवत्ता आणि सातत्य सुधारणे (Enhance Product Quality and Consistency)**
- प्रमाणित कार्यपद्धती उत्पादनातील बदल कमी करतात आणि एकसारखी गुणवत्ता सुनिश्चित करतात.
 - हे उत्पादन प्रक्रियेत अचूकता आणि विश्वासाहर्ता टिकवून ठेवते.
 - सुधारित पद्धतींमुळे दोष आणि पुन्हा काम करण्याची गरज कमी होते.
- 6. आरोग्यविषयक धोके कमी करणे आणि सुरक्षितता सुधारणे (Reduce Health Hazards and Improve Safety)**
- पद्धत अध्ययन धोकादायक किंवा असुरक्षित पद्धती ओळखते आणि त्याऐवजी सुरक्षित पर्याय सुचवते.
 - हे हानिकारक परिस्थितींचा संपर्क कमी करून अधिक आरोग्यदायी कार्य वातावरण निर्माण करते.
 - यामुळे अपघात कमी होतात आणि सुरक्षा नियमांचे पालन सुधारते.
- 7. सतत सुधारणा आणि नवकल्पनांना प्रोत्साहन देणे (Support Continuous Improvement and Innovation)**
- हे कार्यपद्धतींचे नियमित पुनरावलोकन आणि सुधारणा करण्यास प्रोत्साहित करते.
 - संस्था नवीन तंत्रज्ञान किंवा बदलत्या उत्पादन गरजांशी लवकर जुळवून घेऊ शकतात.
 - हे नवकल्पना आणि सक्रिय समस्यासोडवणूक यांची मानसिकता विकसित करते.

2.3.3 पद्धत अध्ययनाची प्रक्रिया:

पद्धत अध्ययन कार्यपद्धतीचे विश्लेषण व सुधारणा करण्यासाठी सहा टप्प्यांची संरचित प्रक्रिया वापरते. प्रत्येक टप्पा कार्यातील अकार्यक्षमता ओळखण्यासाठी आणि सुधारित पद्धती अंमलात आणण्यासाठी महत्त्वाचा असतो.

i. निवड व परिभाषा (Select and Define)

या टप्प्यात अभ्यासासाठी योग्य अशी कार्ये, प्रक्रिया किंवा क्रिया निवडली जाते. निवड करताना आर्थिक महत्त्व, तांत्रिक गुंतागुंत आणि मानवी घटक (जसे की कामगारांचा थकवा किंवा असमाधान) विचारात घेतले जातात. एकदा काम निवडले की, अभ्यासाचे उद्दिष्ट स्पष्टपणे ठरवले पाहिजे—उदा. वेळ कमी करणे, गुणवत्ता सुधारणे, सुरक्षितता वाढवणे किंवा संसाधनांचा कार्यक्षम वापर करणे. स्पष्ट परिभाषित उद्दिष्ट अभ्यासाला केंद्रित आणि उपयुक्त ठेवते.

ii. नोंद (Record)

काम निवडल्यानंतर, सध्याच्या कार्यपद्धतीची सविस्तर माहिती गोळा केली जाते. यात कार्याची अनुक्रमणिका, वापरलेली साधने व उपकरणे, लागणारा वेळ, हालचालीचे अंतर, आणि कामगारांनी केलेली क्रिया यांचा समावेश असतो. ही माहिती चार्ट, आकृती व निरीक्षण पत्रकांच्या माध्यमातून नोंदवली जाते. ही नोंद पुढील विश्लेषणासाठी आधारभूत माहिती म्हणून वापरली जाते.

iii. गंभीर परीक्षण (Critically Examine)

या टप्प्यात सध्याच्या पद्धतीचे सखोल विश्लेषण केले जाते. 5W1H पद्धतीचा वापर करून प्रत्येक घटकावर प्रश्न विचारले जातात: Why – हे कार्य का केले जाते? What – काय केले जाते? Where – कुठे केले जाते? When – केव्हा केले जाते? Who – कोण करते? How – कसे केले जाते. हे गंभीर परीक्षण कार्यातील अकार्यक्षमता, अनावश्यक क्रिया आणि कालबाह्य

पद्धती उघड करण्यास मदत करते. प्रत्येक तपशीलावर प्रश्न विचारल्यामुळे अभ्यास अधिक सोप्या, सुरक्षित आणि कार्यक्षम पर्याय विकसित करण्याच्या शक्यता निर्माण करतो.

iv. विकास (Develop)

सुधारणा शक्य असलेल्या बाबी ओळखल्यानंतर, त्या तांत्रिकदृष्ट्या शक्य आहेत का, आर्थिकदृष्ट्या फायदेशीर आहेत का, आणि मानवी दृष्टिकोनातून स्वीकारार्ह आहेत का हे तपासले जाते. प्रस्तावित कल्पना प्रत्यक्षात अंमलात आणता येतील का हे चाचणी करून पाहिले जाते. योग्य पद्धती निवडून व्यवस्थापनासमोर सादर केली जाते. यामध्ये प्रस्ताव तयार करणे किंवा पायलट चाचणी घेणे यांचा समावेश असतो.

v. अंमलबजावणी (Install)

नवीन पद्धतीला मंजुरी मिळाल्यानंतर ती प्रत्यक्ष कार्यस्थळी लागू केली जाते. यामध्ये अंमलबजावणीसाठी तपशीलवार योजना तयार करणे, व्यवस्थापनास मदत करणे, आणि कामगारांसाठी प्रशिक्षण आयोजित करणे यांचा समावेश असतो. दस्तऐवजीकरण अद्ययावत करणे आणि वेळेचे पुनर्मापन करणेही आवश्यक असते. यामुळे नवीन पद्धती योग्य प्रकारे कार्यप्रवाहात समाविष्ट होते.

vi. नियमितीकरण (Maintain)

शेवटचा टप्पा म्हणजे नवीन पद्धती दीर्घकालीन कार्यक्षमतेने चालू राहिल याची खात्री करणे. यामध्ये नियमित निरीक्षण, वेळोवेळी तपासणी, आणि कामगारांकडून अभिप्राय गोळा करणे यांचा समावेश असतो. आवश्यकतेनुसार लहान सुधारणा करणे आणि पद्धतीचे पालन सुनिश्चित करणेही महत्त्वाचे असते. यामुळे कार्यक्षमता टिकून राहते आणि सातत्यपूर्ण सुधारणा करण्याची संस्कृती निर्माण होते.

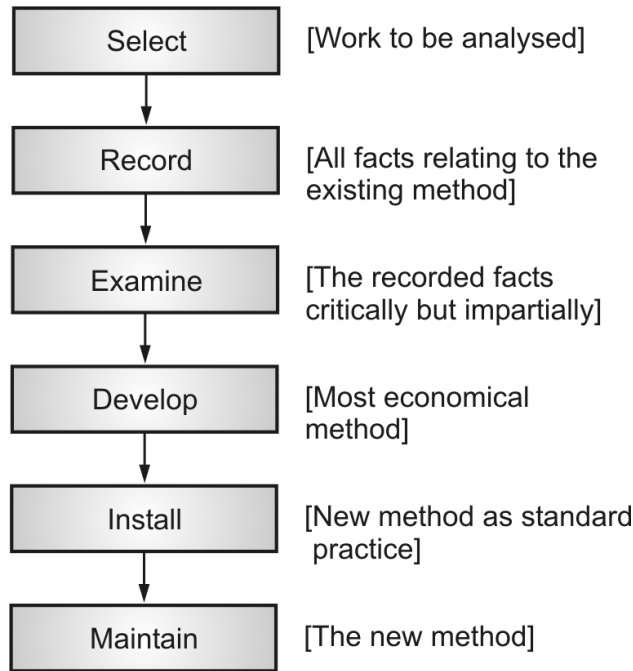


Fig 2.2 पद्धत अध्ययनाच्या प्रक्रियेचा ब्लॉक आकृतीचित्र

2.3.4 पद्धत अध्ययनासाठी काम निवडताना विचारात घेतले जाणारे घटक:

पद्धत सुधारण्यासाठी नोकरी किंवा प्रक्रिया निवडताना अनेक घटक विचारात घेणे आवश्यक असते. हे घटक अभ्यासाची परिणामकारकता आणि उपयुक्तता ठरवतात. योग्य काम निवडल्यामुळे विश्लेषण आणि सुधारणा दोन्ही अर्थपूर्ण व व्यवहार्य ठरतात.

(i) आर्थिक विचार

पद्धत अध्ययनाच्या प्रत्येक टप्प्यावर आर्थिक घटक महत्त्वाची भूमिका बजावतात. अध्ययन करण्याचा खर्च संभाव्य बचतीच्या तुलनेत योग्य आहे याची खात्री करणे हे मुख्य उद्दिष्ट असते. ज्या कार्यामध्ये जास्त ओव्हरटाइम, वारंवार विलंब किंवा उच्च कार्य खर्च असतो त्या सुधारण्यासाठी योग्य कारण ठरतात. उदाहरणार्थ, नियमित वेळेपेक्षा जास्त वेळ चालणाऱ्या मशीन किंवा प्लांटमध्ये अकार्यक्षमता असू शकते. त्याचप्रमाणे, संपूर्ण उत्पादन प्रक्रियेला मंद करणाऱ्या अडथळा निर्माण करणाऱ्या प्रक्रिया, वेळ आणि श्रम जास्त लागणाऱ्या पुनरावृत्ती क्रिया, आणि जास्त मनुष्यबळ लागणाऱ्या प्रक्रिया आर्थिक दृष्टिकोनातून महत्त्वाच्या असतात. इतर बाबींमध्ये जास्त प्रमाणात स्कॅप किंवा दोषयुक्त वस्तू निर्माण करणाऱ्या प्रक्रिया, आणि कामगार व साहित्याची विस्कळीत हालचाल असलेली विभागे यांचा समावेश होतो. या क्षेत्रांवर लक्ष केंद्रित केल्यास मोठ्या प्रमाणात खर्च बचत आणि उत्पादकतेत वाढ होऊ शकते.

(ii) तांत्रिक विचार

पद्धत अध्ययनासाठी कार्य निवडताना तांत्रिक कौशल्य अत्यावश्यक असते. अध्ययन करणाऱ्या व्यक्तीला प्रक्रियेचे आणि तिच्या तांत्रिक गरजांचे सखोल ज्ञान असणे आवश्यक असते, जेणेकरून अचूक विश्लेषण आणि अर्थपूर्ण शिफारसी देता येतील. आपल्या तांत्रिक कौशल्याच्या क्षेत्रातील कार्य निवडल्यास अधिक सखोल अंतर्दृष्टी आणि चांगले समस्यांचे निराकरण करता येते. ज्या कार्यांमध्ये सातत्याने गुणवत्तेतील बदल, जास्त प्रमाणात स्कॅप निर्माण होणे, किंवा अवास्तव कार्य मानकांमुळे कामगारांकडून वारंवार तक्रारी येतात त्या तांत्रिक पुनरावलोकनासाठी योग्य कारण ठरतात. या समस्यांमुळे विद्यमान पद्धतीतील त्रुटी स्पष्ट होतात, ज्या माहितीपूर्ण आणि तांत्रिकदृष्ट्या योग्य सुधारणा करून दूर करता येतात.

(iii) मानवी विचार

पद्धत अध्ययनात मानवी घटक तितकेच महत्त्वाचे असतात, कारण कार्यपद्धतीतील कोणताही बदल काम करणाऱ्या व्यक्तींवर थेट परिणाम करतो. कामगार अपरिचिततेची भीती, नवीन प्रक्रियेतील अस्वस्थता किंवा नोकरीच्या सुरक्षिततेबाबत चिंता यामुळे बदलांना विरोध करू शकतात. त्यामुळे सुधारणा करण्यासाठी कार्य निवडताना मानवी परिणाम विचारात घेणे आवश्यक असते. ज्या कामांमुळे जास्त शारीरिक ताण किंवा थकवा निर्माण होतो, अपघाताचा धोका जास्त असतो, आणि कामगारांचे उत्पन्न अस्थिर होते अशा कामांना प्राधान्य दिले पाहिजे. या समस्यांवर लक्ष केंद्रित केल्यास कार्यक्षमता सुधारते, तसेच कामगारांचे समाधान, सुरक्षितता आणि मनोबल वाढते—जे नवीन पद्धतीच्या यशस्वी अंमलबजावणीसाठी आवश्यक आहे.

2.4 पद्धत अध्ययनातील नोंद करण्याची तंत्रे:**2.4.1 परिचय:**

पद्धत अध्ययनामध्ये विद्यमान कार्यपद्धतीबाबत सर्व संबंधित तथ्ये स्पष्ट आणि प्रमाणित स्वरूपात नोंदवणे आवश्यक असते. ही नोंद विश्लेषणासाठी आधारभूत ठरते आणि प्रस्तावित सुधारणा यशस्वी ठरल्या आहेत का हे पूर्व व नंतरच्या तुलनेत स्पष्टपणे दाखवता येते. नोंद करण्याची तंत्रे कामाच्या स्वरूपावर आणि अभ्यासाच्या उद्दिष्टावर अवलंबून असतात. खाली नोंद करण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या प्रमुख तंत्रांचे प्रकार दिले आहेत:

1. चार्ट्स (Charts)

चार्ट्सचा उपयोग प्रक्रियेमधील क्रियांची अनुक्रमणा, वेळ आणि परस्पर क्रिया दर्शवण्यासाठी केला जातो. हे जटिल प्रक्रिया सोप्या करतात आणि सुधारणा करण्याच्या क्षेत्रांची ओळख करून देतात. याचे सामान्य प्रकार आहेत:

(a) ऑपरेशन प्रोसेस चार्ट (Operation Process Chart):

उत्पादन तयार करताना किंवा सेवा पूर्ण करताना होणाऱ्या ऑपरेशन्स आणि तपासण्या दर्शवतो. कार्यप्रवाहाचे उच्चस्तरीय चित्र प्रदान करतो.

(b) फ्लो प्रोसेस चार्ट (Flow Process Chart):

पाच क्रिया—ऑपरेशन, तपासणी, वाहतूक, विलंब आणि साठवण—यांचा समावेश करून अधिक तपशीलवार दृश्य प्रदान करतो. संपूर्ण प्रक्रियेमधील अकार्यक्षमता ओळखण्यास मदत करतो.

(c) टू-हँडेड प्रोसेस चार्ट (Two-Handed Process):

हस्तचालित कामांसाठी वापरला जातो, दोन्ही हातांच्या हालचाली स्वतंत्रपणे नोंदवतो. पुनरावृत्ती हालचालींचे विश्लेषण आणि एर्गोनॉमिक सुधारणा करण्यास मदत करतो.

(d) मल्टिपल ॲक्टिव्हिटी चार्ट (Multiple Activity Chart):

अनेक कामगार किंवा यंत्रांच्या क्रियांचा एकत्र अभ्यास करताना उपयुक्त. बहु-व्यक्ती किंवा बहु-यंत्र प्रणालीतील निष्क्रिय वेळ आणि समन्वय समस्यांवर प्रकाश टाकतो.

2. आकृतीचित्रे (Diagrams)

आकृतीचित्रे ही दृश्य साधने आहेत जी कार्यक्षेत्रातील भौतिक हालचाल आणि आराखडा दर्शवतात. जागेचा कार्यक्षम वापर आणि हालचालींचे नमुने विश्लेषित करण्यास मदत करतात.

(a) फ्लो डायग्राम (Flow Diagram):

साहित्य किंवा कामगारांनी आराखड्यावर अनुसरलेला प्रत्यक्ष मार्ग दर्शवतो. अनावश्यक प्रवास आणि आराखड्यातील अकार्यक्षमता ओळखण्यास मदत करतो.

(b) स्ट्रिंग डायग्राम (String Diagram):

हा फ्लो डायग्रामचा अधिक अचूक प्रकार आहे, ज्यामध्ये स्केल आराखड्यावर हालचाली ट्रेस करण्यासाठी दोरा वापरला जातो. यात अंतर मोजता येते आणि अत्यधिक हालचाली अधोरेखित करता येतात.

3. टेम्पलेट्स आणि मॉडेल्स (Templets and Models)

टेम्पलेट्स आणि मॉडेल्स हे घटक, साधने किंवा कार्यक्षेत्राचे भौतिक किंवा स्केलवर आधारित प्रतिकृती असतात. प्रत्यक्ष अंमलबजावणीपूर्वी नवीन आराखडे किंवा पद्धतींचे अनुकरण करण्यासाठी वापरले जातात. या साधनांमुळे जागेची मांडणी दृश्य स्वरूपात समजते आणि नियंत्रित वातावरणात व्यवहार्यता तपासता येते.

4. छायाचित्रात्मक साधने (Photographic Aids) (मायक्रोमोशन स्टडी)

मायक्रोमोशन स्टडीसारख्या छायाचित्रात्मक तंत्रांमध्ये कार्याचे उच्च गतीचे चित्रण किंवा व्हिडिओ घेतले जातात. हे चित्रण फ्रेम-बाय-फ्रेम (frame-by-frame) विश्लेषित केले जाते, ज्यामुळे सूक्ष्म आणि अकार्यक्षम हालचाली ओळखता येतात, ज्या प्रत्यक्ष निरीक्षणात दिसत नाहीत. हे तंत्र विशेषतः अचूकता आवश्यक असलेल्या कामांसाठी आणि ऑपरेटरचा थकवा कमी करण्यासाठी उपयुक्त ठरते.

5. ग्राफिक तंत्रे (Graphic Techniques)

ग्राफिक पद्धतींचा उपयोग हालचालींचे मार्ग आणि वेळ अभ्यासण्यासाठी केला जातो, विशेषतः हस्तचालित कामांमध्ये.

(a) सायकल ग्राफ (Cycle Graph):

हलणाऱ्या भागावर (जसे की हात किंवा साधन) प्रकाश स्रोत जोडला जातो, आणि कार्य दरम्यान त्याचा मार्ग ट्रेस केला जातो. हालचालीचा आकार आणि कार्यक्षमता दर्शवतो.

(b) क्रोनो सायकल ग्राफ (Chrono Cycle Graph):

सायकल ग्राफसारखाच, पण मधून मधून चालणाऱ्या प्रकाश स्रोतासह, जो वेळेची माहिती जोडतो. हालचालीतील गती, लय आणि थांबे विश्लेषित करण्यास मदत करतो, जे पुनरावृत्ती कामे सुधारण्यासाठी उपयुक्त ठरते.

2.4.2 प्रक्रिया चार्ट्स:

प्रक्रिया चार्ट्स हे पद्धत अध्ययनामध्ये वापरले जाणारे प्रभावी दृश्य साधन आहेत, जे प्रक्रियेमधील क्रियांची अनुक्रमणा आणि रचना दर्शवतात. हे चार्ट्स आकृती, ग्राफ किंवा प्रतीकात्मक चित्रांच्या स्वरूपात असू शकतात, जे कार्य किंवा कार्यप्रवाह कसा चालतो याचे सविस्तर चित्रण करतात. प्रक्रिया संरचित दृश्य स्वरूपात सादर केल्यामुळे अकार्यक्षमता, पुनरावृत्ती आणि सुधारणा करण्याच्या संधी सहजपणे ओळखता येतात.

ज्या चार्टमध्ये प्रक्रियेमधील टप्पे विशिष्टपणे दर्शवले जातात त्याला प्रक्रिया चार्ट म्हणतात. हा चार्ट प्रत्येक क्रिया—जसे की ऑपरेशन (operation), तपासणी (inspection), वाहतूक (transport), विलंब (delay) आणि साठवण (storage) —ज्या क्रमाने घडतात त्या क्रमाने प्रमाणित चिन्हांचा वापर करून नोंदवतो. हे ग्राफिकल चित्रण विश्लेषक आणि अभियंत्यांना कार्यप्रवाह एकाच नजरेत समजण्यास मदत करते, ज्यामुळे प्रत्येक टप्प्याचे गंभीर परीक्षण करणे सोपे होते.

प्रक्रिया चार्ट्सचा वापर जटिल प्रक्रियांचे सुलभीकरण करतो आणि प्रणालीबद्ध विश्लेषणास मदत करतो. संपूर्ण प्रक्रिया दृश्य स्वरूपात दाखवल्यामुळे अडथळे, अनावश्यक हालचाली किंवा चुकीच्या क्रमाने असलेल्या क्रिया सहजपणे ओळखता येतात. ही स्पष्टता कार्यप्रवाह पुन्हा रचना करण्यासाठी आवश्यक असते, ज्यामुळे उत्पादकता वाढवता येते, अपव्यय कमी करता येतो आणि एकूण कार्यक्षमता सुधारता येते. याशिवाय, प्रक्रिया चार्ट्स हे विभागांमधील मूल्यवान संवाद साधन म्हणून कार्य करतात, जे कार्यपद्धतीबाबत चांगला समन्वय आणि सामायिक समज निर्माण करतात.

2.4.3 प्रक्रिया चार्ट चिन्हे:

चार्ट्स सामान्यतः प्रमाणित चिन्हांचा वापर करून दर्शवले जातात, जे माहिती अधिक स्पष्ट आणि कार्यक्षमतेने व्यक्त करण्यास मदत करतात. ही चिन्हे दृश्य संकेत म्हणून कार्य करतात, ज्यामुळे समज अधिक सुलभ होते आणि प्रक्रियेतील तपशीलांचे वेगाने विश्लेषण करता येते. प्रक्रिया चार्ट्समध्ये सामान्यतः वापरली जाणारी चिन्हे खालीलप्रमाणे आहेत:

a. प्रक्रिया: ऑपरेशन (operation)

चिन्ह: ○ (वर्तुळ)

ऑपरेशन म्हणजे अशी कोणतीही क्रिया जी वस्तूच्या रूपात स्पष्ट बदल किंवा सुधारणा घडवून आणते. या बदलामध्ये भौतिक किंवा रासायनिक गुणधर्म बदलणे, साहित्य जोडणे किंवा काढून टाकणे, शारीरिक श्रम लागू करणे किंवा माहितीची देवाणघेवाण करणे यांचा समावेश असतो. ऑपरेशन ही प्रक्रिया मधील मुख्य क्रिया असते जी कार्याच्या प्रगतीस किंवा पूर्णत्वास थेट योगदान देते.

उदाहरणे: फिरवणे, ड्रिलिंग, मिलिंग यासारखी यांत्रिक कामे; रासायनिक प्रतिक्रिया व प्रक्रिया; वेल्डिंग, ब्रेझिंग, सोल्डरिंग यासारखी जोडणी पद्धती; आणि साहित्य हाताळणीसंबंधी उचलणे, लोड करणे, स्थिती निश्चित करणे.

b. प्रक्रिया: तपासणी (inspection)

चिन्ह: □ (चौरस)

तपासणी म्हणजे एखाद्या वस्तू किंवा क्रियेचे मूल्यांकन करणे, जेणेकरून ती पूर्वनिर्धारित गुणवत्ता, प्रमाण किंवा दोन्ही मानकांनुसार आहे का हे निश्चित करता येईल. यात उत्पादन आवश्यक तपशीलांशी सुसंगत आहे का हे तपासणे आणि

कोणतीही विचलने किंवा दोष ओळखणे यांचा समावेश असतो. तपासणी सातत्य राखण्यासाठी, ग्राहक समाधान सुनिश्चित करण्यासाठी आणि दोषयुक्त उत्पादने पुढील उत्पादन प्रक्रियेत जाण्यापासून रोखण्यासाठी आवश्यक असते.

उदाहरणे: घटकाच्या पृष्ठभागाची दृश्य तपासणी, येणाऱ्या साहित्याचे प्रमाण तपासणे, आणि मोजमाप करून आवश्यक तपशीलांशी सुसंगतता निश्चित करणे.

c. प्रक्रिया: वाहतूक (transport)

चिन्ह:  (बाण)

वाहतूक म्हणजे उत्पादन किंवा कार्यस्थळामध्ये वस्तू, साहित्य किंवा साधनांची एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणी हालचाल. ही क्रिया कार्यप्रवाह चालू ठेवण्यासाठी आणि आवश्यक संसाधने योग्य ठिकाणी उपलब्ध करण्यासाठी आवश्यक असते.

उदाहरणे: साहित्य कटिंग विभागातून असेंब्ली विभागात हलवणे, साधने स्टोरेज रूममधून वर्कबेंचवर नेणे, तयार भाग तपासणी विभागात गुणवत्ता तपासणीसाठी हलवणे.


d. प्रक्रिया: विलंब (delay)

चिन्ह:  (D आकार)

विलंब म्हणजे एखादी वस्तू, कार्य किंवा व्यक्ती थांबवली गेली असता, ज्यामुळे अपेक्षित कार्य अनुक्रमात व्यत्यय किंवा थांबा निर्माण होतो. हे संसाधन, निर्णय किंवा पूर्वीच्या क्रियेच्या पूर्णतेची वाट पाहण्यामुळे होऊ शकते.

उदाहरणे: मशीनिंग किंवा असेंब्लीच्या सलग क्रियांच्या दरम्यान वर्कपीस थांबलेली असणे, पर्यवेक्षकांकडून सूचना मिळेपर्यंत ऑपरेटर निष्क्रिय असणे, साहित्य मिळेपर्यंत यंत्रे वापरात नसणे.

e. प्रक्रिया: साठवण (storage)

चिन्ह:  (उलट त्रिकोण)

साठवण म्हणजे एखादी वस्तू, साहित्य किंवा उत्पादन अधिकृत ठिकाणी ठेवणे, जिथे ती सुरक्षितपणे ठेवली जाते आणि अनधिकृत प्रवेश किंवा काढून टाकण्यापासून संरक्षित असते. यामुळे सुरक्षितता, ट्रेसिबिलिटी (traceability) आणि भविष्यातील वापर किंवा पाठवणीसाठी तयारी सुनिश्चित होते.

उदाहरणे: माल गोदामात सुरक्षित ठेवणे, प्रक्रिया पूर्वी कच्चा माल निर्दिष्ट बिन्समध्ये साठवणे, किंवा तयार उत्पादने गोदामात पाठवणीसाठी ठेवणे.

f. प्रक्रिया: ऑपरेशन सह वाहतूक (Operation cum Transportation)

चिन्ह:  (वर्तुळात बाण)

ऑपरेशन सह वाहतूक म्हणजे एखादी वस्तू एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणी हलवली जात असताना त्यावर प्रक्रिया किंवा क्रिया केली जाते. ही एकत्रित क्रिया कार्यप्रवाह सुलभ करते आणि हाताळणीचा वेळ कमी करते.

उदाहरणे: चेन कन्वेयरवर हलवताना वस्तूंना रंग देणे, बेल्टवर प्रवास करताना घटकांची दृश्य तपासणी करणे, किंवा स्वयंचलित फिलिंग लाइनवर पुढे जात असताना बाटल्यांना झाकण बसवणे.

g. प्रक्रिया: तपासणी सह ऑपरेशन (Inspection cum Operation)

चिन्ह:  (चौरसात वर्तुळ)

तपासणी सह ऑपरेशन म्हणजे एखादी वस्तू प्रक्रिया करत असताना त्याच वेळी गुणवत्ता, प्रमाण किंवा अचूकतेसाठी तपासली जाते. ही एकत्रित पद्धत कार्यप्रवाह सुलभ करते आणि ऑपरेशन दरम्यानच त्वरित पडताळणी सुनिश्चित करते.

उदाहरणे: पावडरयुक्त दूध भरताना त्याचे वजन तपासणे, बाटल्या सील करताना झाकणाची स्थिती तपासणे, किंवा घटक एकत्र करताना दृश्य दोष तपासणे.

2.4.4 प्रक्रिया चार्टचे प्रकार

1. आउटलाइन प्रक्रिया चार्ट किंवा ऑपरेशन प्रक्रिया चार्ट (Outline Process Chart or Operation Process Chart)

- आउटलाइन प्रक्रिया चार्ट संपूर्ण प्रक्रियेचे साधे चित्रण प्रदान करतो, ज्यामध्ये केवळ मुख्य क्रिया आणि तपासण्या नोंदवलेल्या असतात. प्रत्येक लहान टप्प्याचा तपशील न देता एकूण प्रवाह समजण्यास मदत होते.
- या चार्टमध्ये फक्त दोन प्रमाणित चिन्हांचा वापर केला जातो: एक ऑपरेशनसाठी आणि एक तपासणीसाठी. ही चिन्हे प्रक्रिया दृश्य स्वरूपात आणि सुसंगतपणे दर्शवणे सोपे करतात.
- संपूर्ण प्रक्रिया दृश्य स्वरूपात दाखवण्यासाठी, एकूण रचना सर्वेक्षण व दस्तऐवजीकरण करण्यासाठी, आणि विविध क्रियांच्या परस्पर संबंध स्पष्ट व सुसंगतपणे दाखवण्यासाठी हा चार्ट उपयुक्त ठरतो.
- कोणत्याही प्रक्रियेचे सविस्तर विश्लेषण करण्यासाठी हा चार्ट सामान्यतः पहिला टप्पा असतो. तो अधिक सखोल चार्ट्स आणि अभ्यासासाठी पाया तयार करतो.

- एखाद्या एकाच भाग किंवा घटकासाठी, चार्ट एकाच प्रवाह रेषेत काढला जातो. आडवा भाग प्रक्रिया होणाऱ्या साहित्याचे प्रतिनिधित्व करतो, आणि उभ्या रेषा त्यावर केलेल्या ऑपरेशन आणि तपासणीची अनुक्रमणिका दर्शवतात.
- प्रत्येक क्रियेचे संक्षिप्त वर्णन त्या क्रियेचे प्रतिनिधित्व करणाऱ्या चिन्हाच्या उजव्या बाजूला लिहिले जाते. यामुळे प्रत्येक टप्प्यावर काय चालले आहे हे लवकर ओळखता येते.

E.g. Changing refill of a ball point pen

Q. Prepare an outline process chart to change refill of a ball point pen

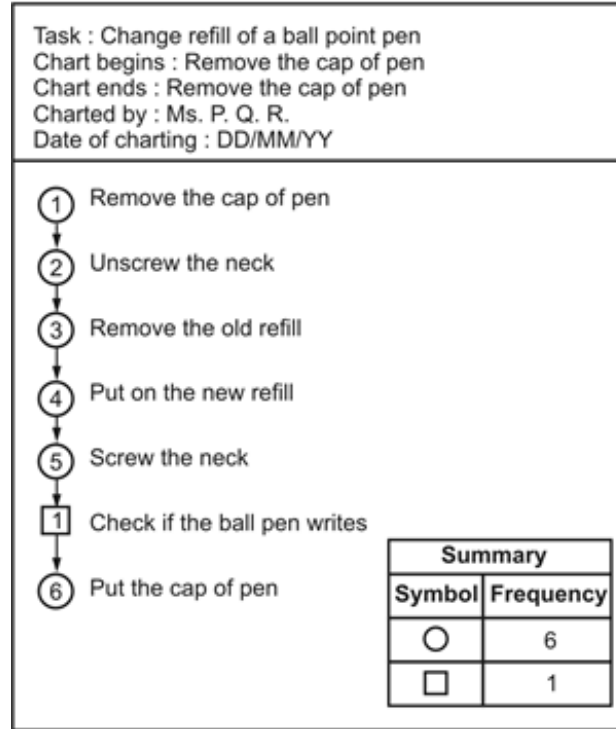


Fig. 2.3 बॉलपॉइंट पेनचा रिफिल बदलण्यासाठी आउटलाइन प्रक्रिया चार्ट

2. फ्लो प्रोसेस चार्ट (Flow Process Chart)

- फ्लो प्रोसेस चार्ट हे एक ग्राफिकल साधन आहे जे उत्पादन किंवा त्याच्या भागाच्या कार्य अनुक्रमणिकेचे चित्रण करते, जे विभाग, विभागप्रमुख किंवा संपूर्ण कारखान्यातून जात असते. हे चार्ट प्रमाणित चिन्हांचा वापर करून प्रक्रियेमधील प्रत्येक घटक नोंदवतो.
- हे चार्ट प्रवाहाचा अचूक क्रम दर्शवण्यासाठी, सर्व घटना क्रमाने नोंदवण्यासाठी आणि प्रक्रियेशी संबंधित इतर महत्त्वाच्या निरीक्षणांची नोंद घेण्यासाठी मदत करतो.
- हा चार्ट आउटलाइन प्रोसेस चार्टचा विस्तारित प्रकार आहे. आउटलाइन चार्टमध्ये केवळ ऑपरेशन आणि तपासणीची चिन्हे वापरली जातात, तर फ्लो प्रोसेस चार्टमध्ये पाच प्रकारच्या क्रियांचा समावेश असतो: ऑपरेशन, तपासणी, साठवण, विलंब आणि वाहतूक.
- चार्ट तयार करताना संबंधित चिन्हे एकमेकांच्या खाली त्या क्रमाने ठेवली जातात ज्या क्रमाने क्रिया घडतात. ही चिन्हे उभी रेषा वापरून जोडली जातात, जी प्रक्रियेचा प्रवाह दर्शवते.
- फ्लो प्रोसेस चार्ट्स निरीक्षणाच्या केंद्रबिंदूवर आधारित तीन प्रकारांमध्ये वर्गीकृत केले जातात:
 - (a) साहित्य प्रकार (Material Type)– साहित्याच्या हालचाली व हाताळणीशी संबंधित घटना नोंदवतो.
 - (b) मनुष्य प्रकार (Man Type) – कामगाराने केलेल्या क्रियांची नोंद घेतो.
 - (c) उपकरण प्रकार (Equipment Type)– प्रक्रिया दरम्यान यंत्रे किंवा उपकरणांचा वापर कसा केला जातो हे नोंदवतो.

a. साहित्य प्रकार फ्लो प्रोसेस चार्ट

साहित्याशी संबंधित जे घटक घडतात, त्यांची नोंद साहित्य प्रकार फ्लो प्रोसेस चार्टवर केली जाते.

E.g. Machining of the component

Q. Prepare a flow process chart (material type) for machining of a component.

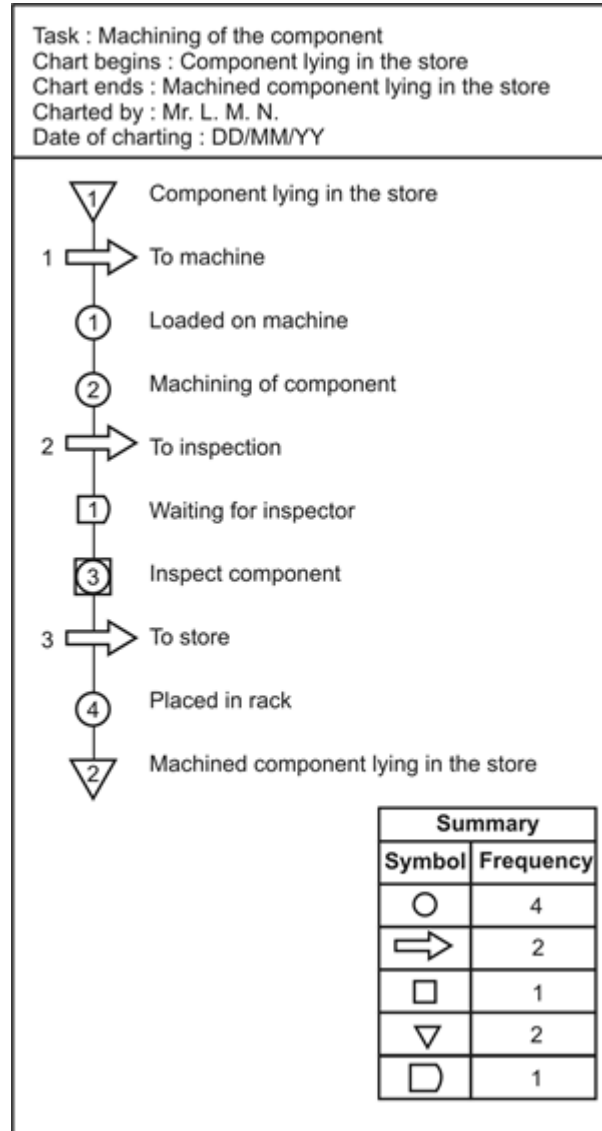


Fig. 2.4 घटकाच्या यांत्रिक प्रक्रिया (मशिनिंग) साठी साहित्य प्रकार फ्लो प्रोसेस चार्ट

b. मनुष्य प्रकार फ्लो प्रोसेस चार्ट

मनुष्याने केलेल्या क्रियांची नोंद मनुष्य प्रकार फ्लो प्रोसेस चार्टवर केली जाते

E.g. Writing a letter.

Q. Prepare a flow process chart (man type) for writing a letter.

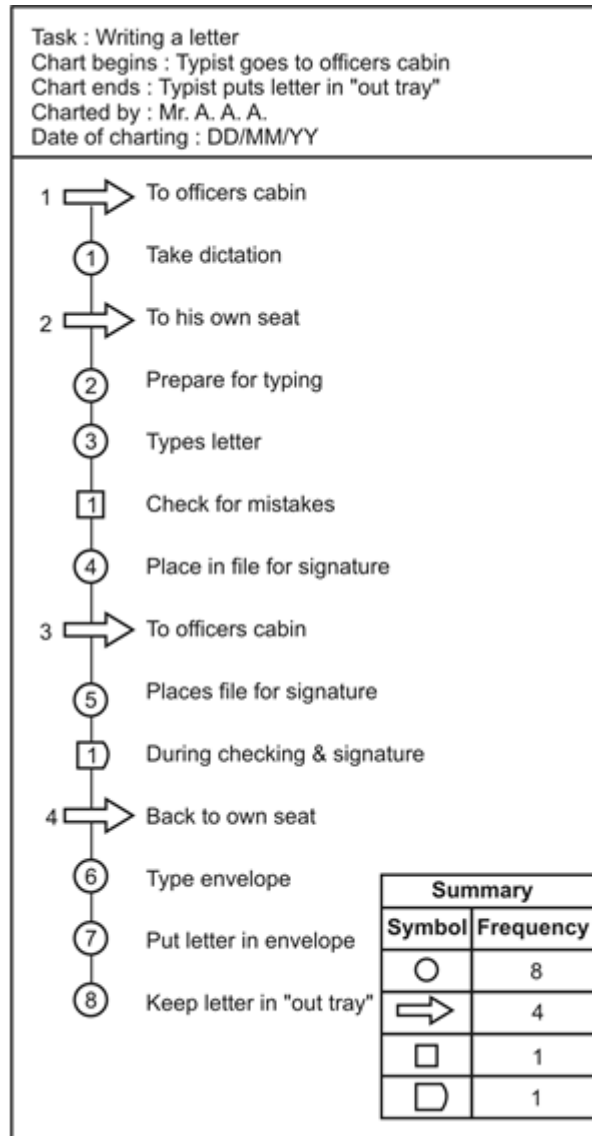


Fig.2.4 पत्र लिहिण्यासाठी मनुष्य प्रकार फ्लो प्रोसेस चार्ट

c. उपकरण प्रकार फ्लो प्रोसेस चार्ट

या प्रकारच्या फ्लो प्रोसेस चार्टमध्ये उपकरणांच्या क्रियांची नोंद केली जाते

E.g. Machining of a Component

Q. Prepare a flow process chart (equipment type) for machining of component.

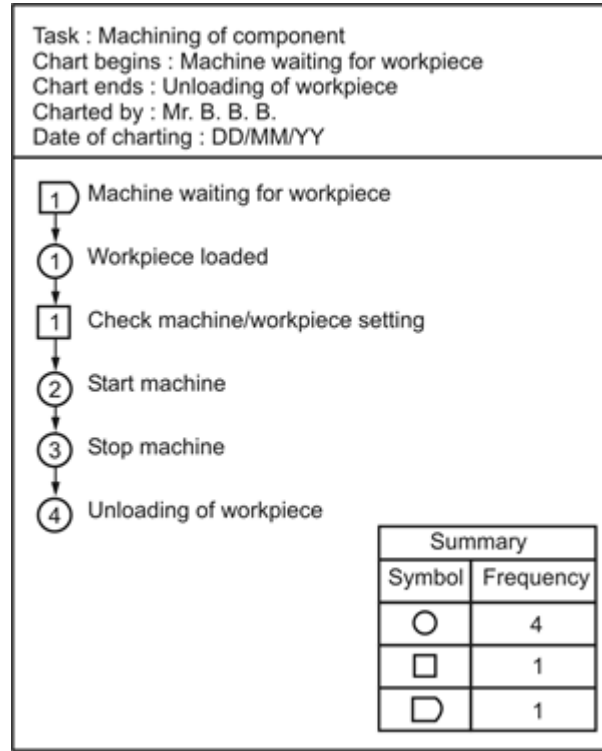


Fig.2.5 घटकाच्या यांत्रिक प्रक्रियेसाठी उपकरण प्रकार फ्लो प्रोसेस चार्ट

3. टू-हँडेड प्रोसेस चार्ट (Two- Handed Process Chart)

- टू-हँडेड प्रोसेस चार्ट हे एक विशेष हालचाल अध्ययन साधन आहे, जे ऑपरेटरच्या दोन्ही हातांच्या—किंवा अंगांच्या—क्रियांची नोंद घेऊन हस्तचालित कामांचे विश्लेषण करण्यासाठी वापरले जाते.
- हे चार्ट अल्पकालीन, पुनरावृत्ती होणाऱ्या कार्यांसाठी विशेषतः उपयुक्त ठरते, जसे की असेंब्ली, तपासणी किंवा पॅकेजिंग, जिथे कार्यक्षमता आणि समन्वय महत्त्वाचे असतात.
- चार्ट दोन उभ्या स्तंभांमध्ये रचलेले असते: एक डाव्या हातासाठी आणि एक उजव्या हातासाठी.
- हातांनी केलेली प्रत्येक क्रिया क्रमाने नोंदवली जाते, आणि एकाच वेळी होणाऱ्या क्रिया समोरासमोर ठेवल्या जातात.
- ही रचना हातांच्या हालचालींची स्पष्ट दृश्य तुलना करण्यास मदत करते, ज्यामुळे निष्क्रिय वेळ, अनावश्यक हालचाली किंवा कामाच्या असंतुलनाची ओळख करता येते.
- विविध प्रकारच्या क्रियांचे प्रतिनिधित्व करण्यासाठी प्रमाणित चिन्हांचा वापर केला जातो, जसे की ऑपरेशन, वाहतूक, विलंब आणि धरून ठेवणे.
- या चार्टचा अभ्यास करून अभियंते आणि शिक्षक कार्यस्थळाची रचना सुधारू शकतात, एर्गोनॉमिक्स सुधारू शकतात, आणि कामगारांना अधिक कार्यक्षम पद्धतीने प्रशिक्षण देऊ शकतात.
- हे कार्यामध्ये लय आणि सममिती वाढवणाऱ्या रचनेला समर्थन देते, ज्यामुळे थकवा कमी होतो आणि उत्पादकता वाढते.
- एकूणच, टू-हँडेड प्रोसेस चार्ट हे हस्तचालित काम सुधारण्यासाठी सविस्तर निरीक्षण आणि विचारपूर्वक पुनर्रचना यासाठी एक प्रभावी साधन आहे.

E.g. Sharpening the pencil

Q. Prepare a two handed process chart for a task of sharpening the pencil with appropriate process chart symbols.

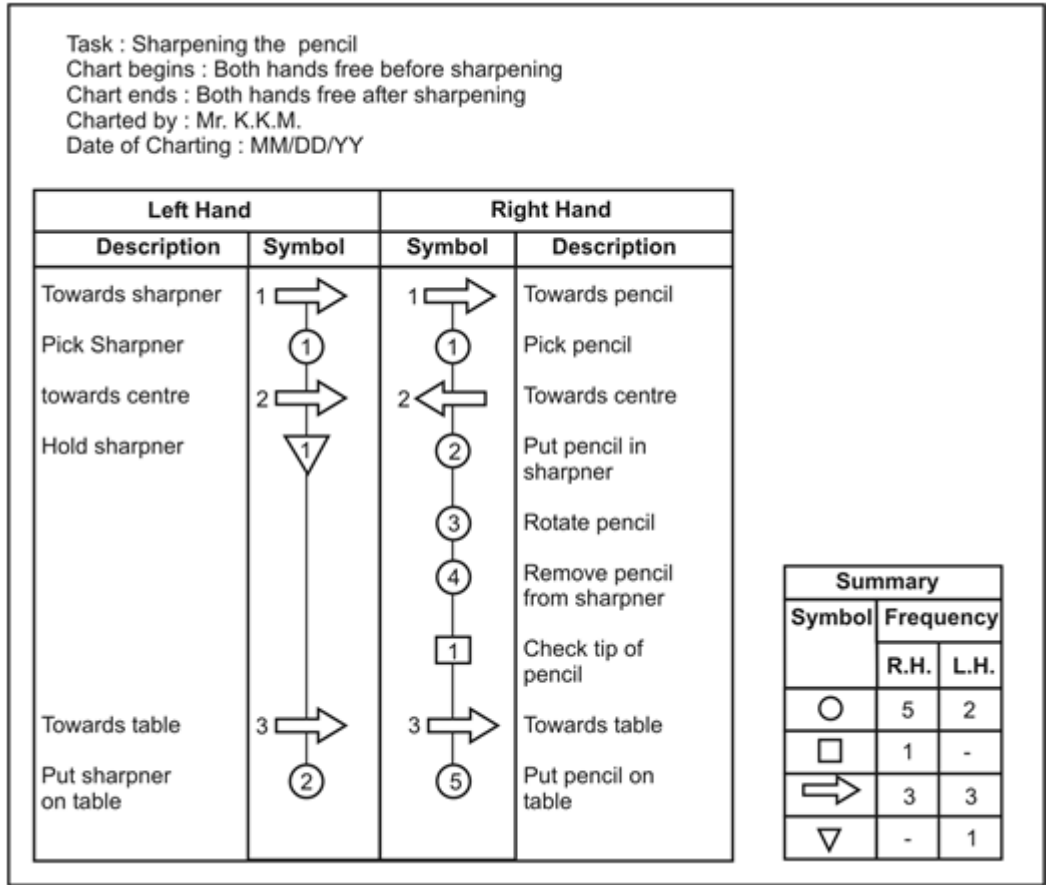


Fig. 2.6 पेन्सिलला धार करण्यासाठी टू-हँडेड प्रोसेस चार्ट

4. मल्टिपल अॅक्टिव्हिटी चार्ट (Multiple Activity Chart)

- मल्टिपल अॅक्टिव्हिटी चार्ट हे एक हालचाल अध्ययन साधन आहे, जे कार्य चक्रात सहभागी असलेल्या विविध घटकांमधील समन्वयाचे विश्लेषण आणि सुधारणा करण्यासाठी वापरले जाते—सामान्यतः कामगार आणि यंत्रे.
- या चार्टमध्ये एकाच वेळेच्या पटावर एकापेक्षा अधिक घटकांच्या क्रियांची नोंद केली जाते, ज्यामुळे त्यांच्या क्रिया संपूर्ण कामाच्या दरम्यान कशा परस्पर संबंधित आहेत हे दृश्य स्वरूपात समजते.
- हा चार्ट कामगार आणि यंत्रांच्या निष्क्रिय वेळेची ओळख पटवण्यासाठी, एखादा ऑपरेटर कार्यक्षमतेने किती यंत्रे हाताळू शकतो हे ठरवण्यासाठी, आणि टीमवर्क असलेल्या कार्यासाठी किती कामगार आवश्यक आहेत हे ठरवण्यासाठी विशेषतः उपयुक्त ठरतो.
- चार्टमध्ये अनेक आडव्या पट्ट्या असतात, ज्यापैकी प्रत्येक विशिष्ट घटकासाठी (जसे की कामगार किंवा उपकरण) नियुक्त केलेली असते.
- कार्याचे छोटे घटकांमध्ये विभाजन केले जाते, आणि प्रत्येक घटकासाठी लागणारा वेळ स्टॉपवॉचच्या सहाय्याने मोजला जातो.
- नंतर या क्रिया वेळेच्या पटावर प्लॉट केल्या जातात, जे शून्य पासून सुरू होऊन संपूर्ण कार्य चक्राच्या वेळेपर्यंत असते.
- या चार्टमध्ये फक्त दोन चिन्हे वापरली जातात—एक कार्य चालू असल्याचे दर्शवण्यासाठी आणि दुसरे निष्क्रियतेसाठी—जे उत्पादकतेचे विश्लेषण करण्यासाठी हे साधन सोपे पण प्रभावी बनवतात.
- या चार्टचा अभ्यास करून अभियंते कार्यप्रवाह पुन्हा रचना करू शकतात, कामाचे भार संतुलित करू शकतात, आणि अनेक सहभागी असलेल्या कार्यांमध्ये एकूण कार्यक्षमता सुधारू शकतात.

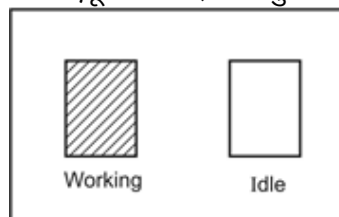


Fig 2.7 मल्टिपल अॅक्टिव्हिटी चार्टमध्ये वापरली जाणारी चिन्हे

E.g. Machining of the component**Q. Prepare a multiple activity chart for machining of a component.**

- Task : Machining of a component
- Chart begins : Component lying near machine
- Chart ends : Machined part lying in tray
- Charted by : Mr. A. A. A.
- Charting date : MM/DD/YY

Cycle time	Operator			Machine		
	Description	T	S	Description	T	S
0						
0.15	Load the component	0.15		Idle	0.15	
0.20	Check the component	0.05		Idle	0.05	
0.25	Switch ON	0.05		Idle	0.05	
1.85	Idle	1.60		Machining of component 'autocycle'	1.60	
1.90	Idle	0.05		Idle	0.05	
1.95	Collect the component	0.05		Idle	0.05	
2.00	Put component in tray	0.05			0.05	

Summary

Subject	Cycle time (mins)	Time worked per cycle (min)	% utilization
Operator	2.00	0.35	17.5%
Machine		1.60	80%

2.4.5 फ्लो डायग्राम (Flow Diagram)

- फ्लो डायग्राम हे स्केलनुसार तयार केलेले दृश्य चित्रण आहे, जे कार्यक्षेत्रामधील वस्तूंची—मुख्यतः कामगार आणि साहित्य—हालचाल ट्रेस करण्यासाठी वापरले जाते.
- हे कार्यशाळा किंवा कारखान्याच्या मजल्यावर लोक आणि वस्तू कशा प्रकारे फिरतात हे समजण्यास मदत करते.
- या डायग्राममध्ये यंत्रसाधनांची, वर्क बेंचेसची, स्टोरेज रॅक्सची, तपासणी केंद्रांची आणि इतर महत्त्वाच्या घटकांची सापेक्ष स्थिती स्केलनुसार दर्शविलेली असते.
- या आराखड्यावर कामगार आणि साहित्याच्या हालचाली रेषांद्वारे दर्शविल्या जातात, आणि वेगवेगळ्या प्रकारच्या हालचाली ओळखण्यासाठी रंग कोडिंग वापरले जाऊ शकते—उदाहरणार्थ, साहित्य प्रवाहासाठी एक रंग आणि कामगार हालचालीसाठी दुसरा रंग.
- हे दृश्य साधन अनावश्यक प्रवास, गर्दीचे बिंदू आणि लेआउट कार्यक्षमतेत सुधारणा करण्याच्या संधी ओळखण्यासाठी अत्यंत उपयुक्त ठरते.

- फ्लो डायग्राम तयार करण्यासाठी प्रथम कार्यशाळेचा स्केलनुसार आराखडा काढावा लागतो, त्यानंतर सर्व संबंधित उपकरणे आणि केंद्रांची स्थिती दर्शवावी लागते. पुढे, हालचालीच्या रेषा ट्रेस कराव्यात, ज्यामध्ये दिशा दर्शवण्यासाठी बाण आणि क्रम दर्शवण्यासाठी क्रमांक वापरले जातात. प्रत्येक प्रकारच्या हालचालीसाठी वेगवेगळे रंग वापरल्यास डायग्राम समजणे आणि विश्लेषण करणे सोपे होते.
- एकूणच, फ्लो डायग्राम कार्यप्रवाह सुधारण्यासाठी, प्रवासाचा वेळ कमी करण्यासाठी आणि औद्योगिक जागेच्या एर्गोनॉमिक रचनेत सुधारणा करण्यासाठी अत्यावश्यक आहे.

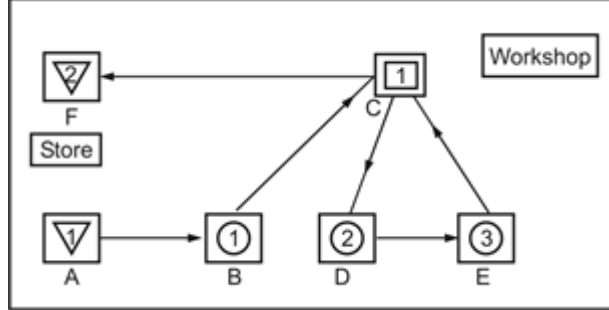


Fig. 2.8 सोपे फ्लो डायग्राम

2.4.6 स्ट्रिंग डायग्राम (String Diagram)

- स्ट्रिंग डायग्राम हे एक गती अभ्यासाचे साधन आहे, जे प्रमाणित आराखड्यावर कामगार किंवा वस्तूच्या विविध कार्यस्थानांमधील हालचालीचा मागोवा घेण्यासाठी वापरले जाते.
- फ्लो डायग्रामच्या तुलनेत, जे वारंवार किंवा गुंतागुंतीच्या हालचाली दर्शवण्यात कमी पडतात, स्ट्रिंग डायग्राम कार्यस्थानांमधील पुनरावृत्ती होणारे मार्ग दाखवण्यात विशेषतः प्रभावी ठरतात.
- हे चित्र मऊ लाकडी फळकावर कार्यस्थळाचा प्रमाणित आराखडा काढून तयार केले जाते.
- त्यानंतर, यंत्रे, बाक, साठवण क्षेत्र यांसारख्या विविध कार्यस्थानांवर पिन्स लावल्या जातात.
- कामगार किंवा वस्तूने घेतलेला प्रत्यक्ष मार्ग दाखवण्यासाठी मोजलेली दोरी (सुताचा तुकडा) वापरली जाते.
- ही दोरी पहिल्या स्थानापासून शेवटच्या स्थानापर्यंत गुंडाळली जाते, कामाच्या चक्रात घेतलेल्या अचूक मार्गानुसार.
- मार्ग पूर्ण झाल्यावर, मूळ मोजलेल्या लांबीमधून उरलेल्या दोरीची लांबी वजा करून एकूण प्रवासाचे अंतर मोजले जाते.
- ही पद्धत हालचालीचे दृश्य आणि संख्यात्मक विश्लेषण प्रदान करते, ज्यामुळे अनावश्यक प्रवास, अकार्यक्षम आराखडे किंवा कार्यप्रवाह सुलभ करण्याच्या संधी ओळखता येतात.
- स्ट्रिंग डायग्राम हे आराखडा नियोजन, कार्यप्रवाह सुधारणा आणि मानवी कार्यशास्त्र अभ्यासामध्ये विशेषतः उपयुक्त ठरतात, जिथे हालचालीचे नमुने उत्पादकतेसाठी महत्त्वाचे असतात.

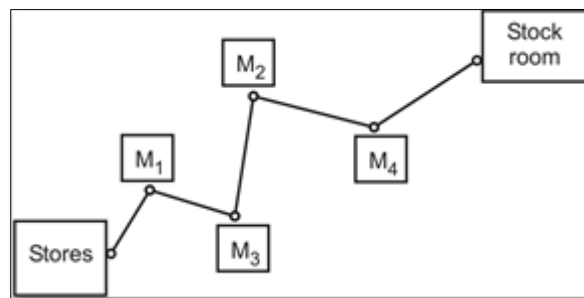


Fig 2.9 सोपे स्ट्रिंग डायग्राम

2.4.7 ट्रॅव्हल चार्ट (Travel Chart)

- ट्रॅव्हल चार्ट ही एक तक्त्याच्या स्वरूपातील पद्धत आहे, जी विशिष्ट कालावधीत कामगार, सामग्री किंवा उपकरणांची विविध कार्यस्थानांमधील हालचाल नोंदवण्यासाठी आणि विश्लेषण करण्यासाठी वापरली जाते.
- हालचालीचे नमुने गुंतागुंतीचे किंवा पुनरावृत्तीचे असतील, अशा परिस्थितीत स्ट्रिंग डायग्रामच्या तुलनेत ट्रॅव्हल चार्ट अधिक उपयुक्त ठरतो.

- हा चार्ट सामान्यतः चौकोनी ग्रीडच्या स्वरूपात सादर केला जातो, जिथे प्रत्येक ओळ आणि स्तंभ विशिष्ट कार्यस्थानाशी संबंधित असतो.
- चार्टमध्ये वरच्या डाव्या कोपऱ्यातून खालच्या उजव्या कोपऱ्यापर्यंत एक तिरकी रेषा काढली जाते, जी चार्टला दोन त्रिकोणी भागांमध्ये विभागते—कारण एका कार्यस्थानावरून त्याच कार्यस्थानावर हालचाल होत नाही, म्हणून ती नोंदवली जात नाही.
- ग्रीडमधील प्रत्येक कप्पा एका कार्यस्थानावरून दुसऱ्या कार्यस्थानावर होणाऱ्या हालचालीचे प्रतिनिधित्व करतो, आणि या हालचालींच्या वारंवारतेसाठी टॅली मार्क्स वापरले जातात.
- उदाहरणार्थ, जर एखादा कामगार स्टेशन 6 वरून स्टेशन 3 वर पाच वेळा गेला असेल, तर स्तंभ 6 आणि ओळ 3 जिथे छेदतात त्या कप्प्यात पाच टॅली मार्क्स टाकले जातात.
- हे दृश्य आणि संख्यात्मक स्वरूप वारंवार होणाऱ्या प्रवासाच्या मार्गाची ओळख करून देते, अकार्यक्षम लेआउट दर्शवते आणि अनावश्यक हालचाल कमी करण्याच्या संधी शोधते.
- यामुळे लेआउट नियोजन, मनुष्यबळाचे वाटप आणि कार्यप्रवाह सुधारणा यामध्ये मदत होते.
- उदाहरणार्थ, जर सहा कार्यस्थानांची रचना असेल, तर तयार होणारा ट्रॅव्हल चार्ट हा 6×6 ग्रीड असेल, ज्यामध्ये प्रत्येक कार्यस्थान जोडीत हालचालींची नोंद केली जाते.

		Movement from ↓						
		1	2	3	4	5	6	
Movement to ←	1				I		1	
	2	I		I		II	4	
	3		III				III	8
	4					IIII	4	
	5	I			II		3	
	6			II			2	
		2	3	3	3	6	5	Total

Fig 2.10 सोपा ट्रॅव्हल चार्ट

2.4.8 थर्ब्लिग्स (Therbligs)

- थर्ब्लिग्स ही एक प्रणाली आहे जी एखादे कार्य करताना होणाऱ्या मूलभूत हालचालींचे विश्लेषण करण्यासाठी विकसित करण्यात आली आहे, विशेषतः औद्योगिक आणि कार्यस्थळाच्या संदर्भात.
- “थर्ब्लिग” हा शब्द “Gilbreth” या नावाचा उलटा क्रम आहे, जो मोशन स्टडीचे अग्रदूत फ्रँक आणि लिलियन गिलब्रेथ यांच्याशी संबंधित आहे.
- एकूण 18 वेगवेगळे थर्ब्लिग्स असतात, जे प्रत्येक मूलभूत हालचालीचे प्रतिनिधित्व करतात—जसे की पोहोचणे, पकडणे, हलवणे किंवा सोडणे.
- या मूलभूत हालचाली मोशन इकॉनॉमीचा अभ्यास करण्यासाठी वापरल्या जातात, ज्याचा उद्देश अनावश्यक हालचाली कमी करून कार्यक्षमता वाढवणे असतो.
- प्रत्येक थर्ब्लिगला विशिष्ट चिन्ह, रंग आणि अक्षर कोड दिला जातो, ज्यामुळे मोशन विश्लेषण करताना नोंद घेणे आणि समजून घेणे सोपे होते.
- एखाद्या कार्याला या मूलभूत घटकांमध्ये विभागून पाहिल्यास अभियंते आणि विश्लेषक कार्यातील अकार्यक्षमता ओळखू शकतात, थकवा कमी करू शकतात आणि कार्यप्रवाह पुनर्रचना करून उत्पादकता वाढवू शकतात.
- थर्ब्लिग्स हे वेळ व हालचाल अभ्यास, मानवी कार्यशास्त्र मूल्यांकन, आणि प्रशिक्षण प्रक्रियेमध्ये विशेषतः उपयुक्त

ठरतात, जिथे अचूकता आणि कार्यक्षमता अत्यंत महत्त्वाची असते.

Therblig	Color	Symbol/Icon	Therblig	Color	Symbol/Icon
Search	Black		Use	Purple	
Find	Gray		Disassemble	Violet Light	
Select	Light Gray		Inspect	Burnt Orange	
Grasp	Lake red		Pre-Position	Sky Blue	
Hold	Gold Ocher		Release Load	Carmin Red	
Transport Loaded	Green		Unavoidable Delay	Yellow Ocher	
Transport Empty	Olive Green		Avoidable Delay	Lemon Yellow	
Position	Blue		Plan	Brown	
Assemble	Violet Heavy		Rest for overcoming fatigue	Orange	

Fig. 2.11 थर्ब्लिग्स

2.4.9 SIMO चार्ट

- SIMO चार्ट (Simultaneous Motion Cycle Chart) ही मायक्रो मोशन स्टडीमध्ये वापरली जाणारी एक विशेष नोंद पद्धत आहे.
- ही पद्धत एखाद्या कार्यादरम्यान शरीराच्या विविध भागांनी केलेल्या अतिशय लहान आणि जलद हालचालींचे विश्लेषण करण्यासाठी तयार केली जाते.
- SIMO चार्ट चित्रफीत विश्लेषणावर आधारित असतो, जिथे एक किंवा अधिक ऑपरेटरच्या हालचाली रेकॉर्ड करून त्यांचे थर्ब्लिग्समध्ये (म्हणजेच हालचालींचे मूलभूत घटक) विघटन केले जाते.
- हे थर्ब्लिग्स नंतर एकाच वेळापत्रकावर मांडले जातात, ज्यामुळे एकाच वेळी होणाऱ्या क्रियांची सविस्तर अभ्यास करता येतो.
- प्रत्येक शरीराच्या भागाला (जसे की हात, पाय, डोळे, डोके) स्वतंत्र स्तंभ दिला जातो, आणि चार्टमध्ये हे भाग कार्यचक्रात एकत्र किंवा स्वतंत्रपणे कसे हालचाल करतात हे दर्शवले जाते.
- ही तंत्रज्ञान मनुष्य प्रकार फ्लो प्रोसेस चार्ट चे मायक्रो-स्तरीय रूप आहे, जे कार्यक्षमता, समन्वय आणि कार्यशास्त्राचे विश्लेषण करण्यासाठी अधिक सूक्ष्म तपशील प्रदान करते.
- SIMO चार्ट्स अचूकता आणि वेग आवश्यक असलेल्या कार्यासाठी विशेषतः उपयुक्त ठरतात—जसे की असेंब्ली ऑपरेशन्स, प्रयोगशाळेतील कामे किंवा उच्च कार्यक्षमतेची औद्योगिक कामे.
- हे चार्ट अभ्यासून अभियंते कार्यपद्धती पुन्हा रचना करू शकतात, थकवा कमी करू शकतात, अनावश्यक हालचाली दूर करू शकतात आणि एकूण उत्पादकता सुधारू शकतात.

Operation :		Film No. :					
Part drawing No. :		Chart No. :					
Method :		Date :					
Operation No. :		Charted by :					
Wink counter reading	Left hand description	Therblings	Time	Time in 200/m	Time	Therblings	Right hand description

Fig. 2.12 नमुना SIMO चार्ट

2.5 कार्य मापन (Work Measurement)

कार्य मापन ही एक तंत्र आहे जी पात्र कामगाराने, ठराविक प्रमाणित गतीने आणि प्रमाणित कार्यपद्धतीनुसार काम करताना एखादे काम पूर्ण करण्यासाठी लागणारा वेळ निश्चित करण्यासाठी वापरली जाते

2.5.1 कार्य मापनाची उद्दिष्टे:

- कार्यपद्धतीचे विश्लेषण करून विद्यमान पद्धती सुधारून मानवी श्रम कमी करणे**
यामध्ये सध्याच्या कार्यप्रवाहाचे सविस्तर परीक्षण करून कार्यातील अकार्यक्षमता, अनावश्यक हालचाली आणि कार्यशास्त्रीय त्रुटी शोधल्या जातात. कार्य आणि कार्यस्थानांची पुनर्रचना करून शारीरिक ताण कमी करणे, क्रिया सुलभ करणे आणि ऊर्जा वाचवणाऱ्या नैसर्गिक हालचालींना प्रोत्साहन देणे हे उद्दिष्ट असते.
- कार्यक्षम कार्यासाठी आवश्यक परिस्थिती निश्चित करणे आणि प्रमाणित करणे**
प्रमाणितीकरणामुळे कार्ये सातत्यपूर्ण आणि योग्य परिस्थितीमध्ये पार पडतात. यामध्ये सर्वोत्तम कार्यपद्धती निश्चित करणे, साधने आणि उपकरणे योग्य ठिकाणी ठेवणे, आणि सर्व कामगारांसाठी समान कार्यगती राखणे यांचा समावेश होतो. यामुळे बदल कमी होतो आणि उच्च दर्जाचे उत्पादन सातत्याने मिळते.
- मनुष्यबळ, यंत्रसामग्री आणि श्रम यांचा वापर नियंत्रित करणे**
वेळ आणि हालचाल अभ्यासाद्वारे संस्थेला त्यांच्या संसाधनांचा वापर किती प्रभावीपणे होत आहे हे समजते. यामुळे कामाचे नियोजन चांगले करता येते, यंत्रे व कामगार यांचा अपवापर किंवा अतिवापर टाळता येतो, आणि उत्पादन क्षमतेचा अचूक अंदाज घेता येतो.
- कार्यक्षमतेचा एक प्रमाणित स्तर निश्चित करणे आणि राखणे**
कार्यप्रदर्शनाचे मापदंड निश्चित केल्यामुळे कामगारांची कार्यक्षमता आणि कार्य पूर्णतेचे योग्य मूल्यांकन करता येते. हे मापदंड पात्र कामगारांच्या सामान्य गतीने केलेल्या निरीक्षणावर आधारित असतात आणि प्रशिक्षण, देखरेख व कार्यमूल्यांकनासाठी संदर्भ बिंदू म्हणून वापरले जातात.
- योग्य मनुष्य-यंत्र नियुक्ती निश्चित करणे**
कार्य मापनाद्वारे एखादा कामगार कार्यक्षमतेत बाधा न आणता किती यंत्रे हाताळू शकतो हे ठरवता येते. यामध्ये यंत्राचा कार्यचक्र वेळ (cycle time), कामगाराची कौशल्य पातळी आणि कार्याची गुंतागुंत यांचा विचार केला जातो, जेणेकरून कामाचे संतुलन राखता येईल आणि मनुष्य व यंत्र दोघांचेही निष्क्रिय वेळ कमी करता येईल.

f. उत्पादनाचे योग्य नियोजन आणि वेळापत्रक ठरवणे

अचूक वेळेची माहिती कार्याचे अचूक वेळापत्रक ठरवण्यासाठी, मनुष्यबळाचे वाटप करण्यासाठी आणि कार्याची क्रमवारी निश्चित करण्यासाठी मदत करते. यामुळे विलंब, अडथळे आणि संसाधन संघर्ष टाळता येतो, आणि उत्पादन सुरळीतपणे चालते व वेळेत पूर्ण होते.

g. योग्य प्रोत्साहन योजना तयार करणे

प्रमाणित कार्यप्रदर्शनावर आधारित प्रोत्साहन योजना कामगारांना अपेक्षित उत्पादकता राखण्यासाठी किंवा त्याहून अधिक काम करण्यासाठी प्रेरित करते. एक चांगली रचना प्रयत्न आणि बक्षीस यामध्ये पारदर्शक संबंध निर्माण करते, कामगारांना प्रेरणा देते आणि उद्दिष्टे सामान्य कार्यस्थितीत साध्य करता येतील याची खात्री देते.

h. श्रम खर्चाचे कार्यक्षम नियंत्रण ठेवणे

प्रत्येक कार्यासाठी किती वेळ लागतो हे समजून घेतल्यामुळे संस्थेला अपव्ययाचे क्षेत्र ओळखता येते आणि सुधारात्मक उपाय करता येतात. यामुळे चांगले अंदाजपत्रक तयार करता येते, खर्चाचे मूल्यांकन करता येते आणि एकूण आर्थिक नियंत्रण राखता येते, जेणेकरून श्रम खर्च उत्पादन व कार्य उद्दिष्टांशी सुसंगत राहतो.

2.5.2 काल अध्ययन (Time Study)

व्याख्या: “काल अध्ययन हे कार्य मापनाची एक तंत्र आहे, जे विशिष्ट परिस्थितींमध्ये पार पडणाऱ्या विशिष्ट कार्याच्या घटकांसाठी लागणारा वेळ आणि कार्यगती नोंदवण्यासाठी वापरली जाते, आणि त्या माहितीचे विश्लेषण करून कार्य निश्चित कार्यक्षमतेच्या स्तरावर पूर्ण करण्यासाठी आवश्यक वेळ ठरवण्यासाठी वापरली जाते.”

2.5.3 काल अध्ययनाची प्रक्रिया**(i) वेळ मोजण्यासाठी कार्य निवडणे**

असे कार्य निवडा ज्यावर अद्याप काल अध्ययन केलेला नाही. निवड करताना उत्पादनात अडथळा निर्माण करणाऱ्या प्रक्रिया, वारंवार होणाऱ्या कामे, जास्त प्रमाणात हाताने केले जाणारे कार्य, जास्त कार्यचक्र वेळ असलेली कामे, किंवा ज्या विभागात वेळेवर काम पूर्ण करण्यासाठी ओव्हरटाईम लागतो अशा घटकांचा विचार करावा. हे निकष वेळ अभ्यासातून अधिक परिणामकारक सुधारणा मिळवण्यासाठी मदत करतात.

(ii) कार्यपद्धती प्रमाणित करणे

वेळ मोजण्यापूर्वी, कार्य योग्य आणि प्रमाणित पद्धतीने केले जात आहे याची खात्री करणे आवश्यक आहे. कार्यप्रदर्शनाच्या मानकांची अचूकता ही वापरल्या जाणाऱ्या पद्धतीच्या सातत्यावर अवलंबून असते. कामगारांना कार्य करण्याची सर्वात सोपी आणि कार्यक्षम पद्धत शिकवली पाहिजे, जेणेकरून अभ्यासादरम्यान विश्वासाई परिणाम मिळू शकतील.

(iii) कामगार निवडणे

काल अध्ययनासाठी निवडलेला कामगार कुशल, अनुभवी आणि स्थिर कार्यक्षमतेचा असावा. यामुळे नोंदवलेला वेळ हा वास्तववादी आणि साध्य गतीचे प्रतिनिधित्व करतो, जो सामान्य परीक्षेमध्ये कार्य करणाऱ्या पात्र कामगाराच्या कार्यगतीशी सुसंगत असतो.

(iv) तपशील नोंदवणे

कार्यस्थानाचे सर्व संबंधित तपशील नीट नोंदवले पाहिजेत. यामध्ये कामगाराची माहिती, वापरलेली यंत्रसामग्री, हाताळलेली सामग्री आणि एकूण कार्यपरिस्थिती यांचा समावेश असतो. या घटकांची अचूक नोंद वेळ अभ्यासासाठी संदर्भ प्रदान करते आणि भविष्यातील विश्लेषण व सुधारणा यासाठी उपयुक्त ठरते.

(v) कार्य घटकांमध्ये विभागणे

संपूर्ण कार्य लहान आणि हाताळता येतील अशा घटकांमध्ये विभागले पाहिजे. प्रत्येक घटक कार्याचा एक स्वतंत्र भाग दर्शवतो,

जो स्वतंत्रपणे निरीक्षण करून वेळ मोजता येतो. हे विभाजन अचूक मोजमाप आणि अकार्यक्षमता किंवा विलंब ओळखण्यास मदत करते.

(vi) कालावधी मोजणे

स्टॉपवॉच वापरून प्रत्येक घटकाचा वेळ काळजीपूर्वक मोजा. हे करताना कामगाराची कार्यगती देखील मूल्यांकन करा आणि निरीक्षण पत्रकावर रेटिंग स्वरूपात नोंदवा. हे रेटिंग निरीक्षण केलेल्या वेळेत सुधारणा करून मानक गती दर्शवण्यासाठी मदत करते.

(vii) निरीक्षण वेळेचे रूपांतर सामान्य वेळेत करणे

कामगार नेहमी प्रमाणित गतीने कार्य करत नाही, म्हणून निरीक्षण केलेला वेळ सामान्य वेळेत (Normal Time) रूपांतरित करणे आवश्यक असते. सामान्य वेळ म्हणजे पात्र कामगाराने अपेक्षित गतीने कार्य पूर्ण करण्यासाठी लागणारा कालावधी. हे रूपांतर वेळ मानकांमध्ये न्याय आणि सातत्य सुनिश्चित करते.

(viii) विश्रांती व इतर भत्यांचा विचार करणे.

फक्त सामान्य वेळ मानक वेळ ठरवण्यासाठी पुरेसा नसतो. विश्रांती, थकवा, वैयक्तिक गरजा आणि अनिवार्य विलंब यासाठी अतिरिक्त अलाऊन्स (allowance) जोडणे आवश्यक असते. हे अलाऊन्स कामगार सतत कार्य करू शकत नाही याची जाणीव करून देतात आणि वास्तववादी अपेक्षा ठरवण्यास मदत करतात.

(ix) कार्याची मानक वेळ गणना करणे

शेवटी, प्रत्येक घटकासाठी सामान्य वेळ आणि लागू अलाऊन्स एकत्र करून कार्याची मानक वेळ (standard time) गणना करा. ही एकूण वेळ कार्य प्रमाणित अटींमध्ये पूर्ण करण्यासाठी अनुमत असते आणि नियोजन, वेळापत्रक ठरवणे आणि कार्यप्रदर्शन मूल्यांकनासाठी एक मापदंड म्हणून वापरली जाते.

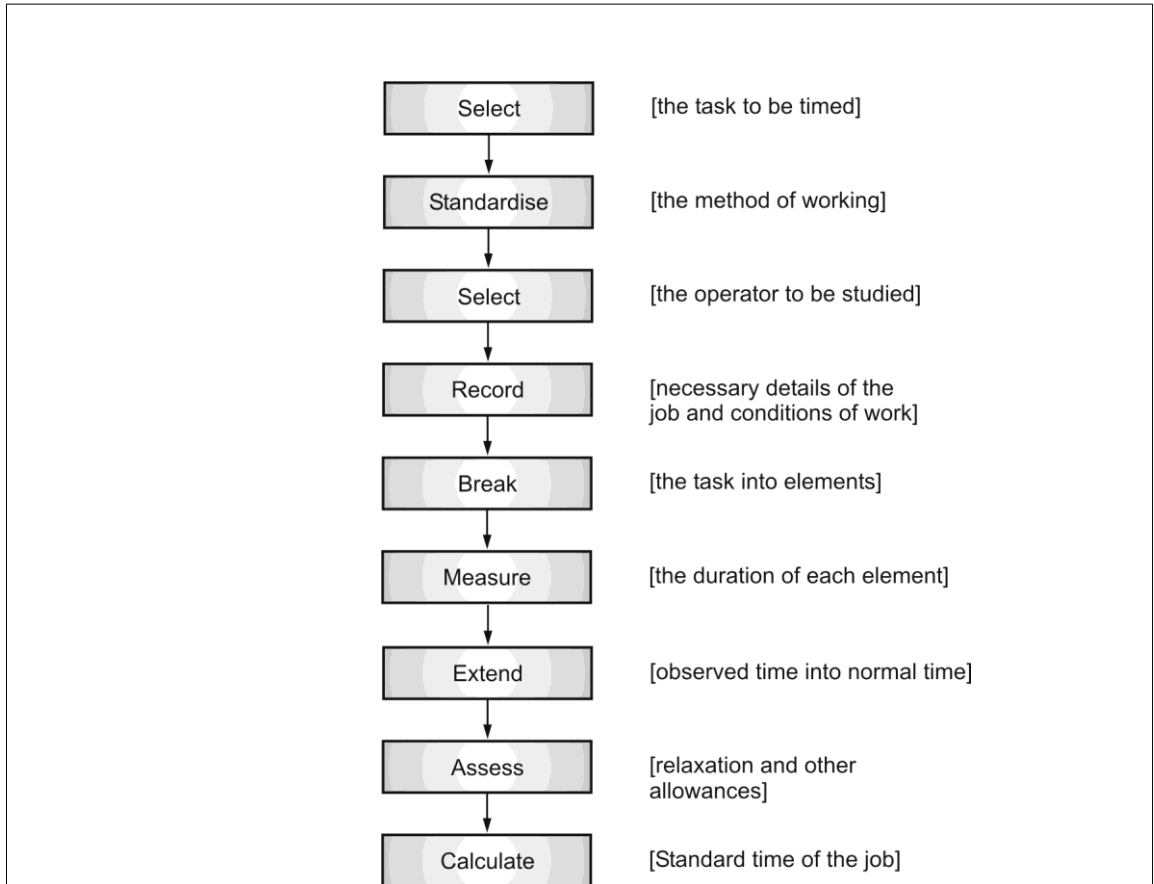


Fig. 2.13 काल अध्ययनाची प्रक्रिया

2.5.4 काल अध्ययननाची गरज

(i) अडथळा निर्माण करणाऱ्या प्रक्रिया

काल अध्ययन उत्पादन प्रक्रियेमधील अशा टप्प्यांची ओळख पटवण्यासाठी आणि सुधारण्यासाठी विशेषतः उपयुक्त ठरतो, जिथे कार्यप्रवाह मर्यादित क्षमता किंवा अकार्यक्षमता यामुळे मंदावतो. कार्याच्या प्रत्येक घटकासाठी लागणारा वेळ विश्लेषित करून अभियंते विलंब ओळखू शकतात, कामाचे वाटप पुन्हा करू शकतात आणि थ्रुपुट (throughput) सुधारण्यासाठी कार्यपद्धती पुनर्रचना करू शकतात. यामुळे उत्पादन रेषेचे संतुलन राखले जाते आणि सर्व प्रक्रियांमध्ये कार्यप्रवाह सुरळीत होतो.

(ii) जास्त प्रमाणात हाताने केले जाणारे कार्य

ज्या कामांमध्ये मानवी श्रम मोठ्या प्रमाणात लागतो, अशा ठिकाणी काल अध्ययन अनावश्यक हालचाली दूर करून आणि कार्यशास्त्रीय सुधारणा करून मानवी प्रयत्नांचे रूपांतर कार्यक्षमतेत करतो. यामुळे थकवा कमी करणाऱ्या, सातत्य राखणाऱ्या आणि उत्पादकता वाढवणाऱ्या प्रमाणित कार्यपद्धती विकसित करता येतात. हे श्रमप्रधान उद्योगांमध्ये विशेषतः महत्त्वाचे असते, जिथे मानवी कार्यक्षमता थेट उत्पादनाच्या गुणवत्तेवर आणि गतीवर परिणाम करते.

(iii) जास्त कार्यचक्र वेळ असलेली कार्यस्थाने

ज्या प्रक्रियांमध्ये कार्यचक्राचा कालावधी मोठा असतो, अशा ठिकाणी वेळ अभ्यास कार्याच्या विविध घटकांमध्ये वेळ कसा वितरित होतो याची माहिती प्रदान करतो. यामुळे निष्क्रिय कालावधी, अकार्यक्षम क्रम आणि समांतर प्रक्रिया करण्याच्या संधी ओळखता येतात. अशा दीर्घ कार्यचक्र असलेल्या कामांची पुनर्रचना करून एकूण उत्पादन वेळ कमी करता येतो आणि वेळापत्रकाची अचूकता सुधारता येते.

(iv) ज्या विभागांमध्ये ओव्हरटाईमवर अवलंबून राहावे लागते

ज्या विभागांमध्ये उत्पादन उद्दिष्टे पूर्ण करण्यासाठी वारंवार ओव्हरटाईमचा वापर केला जातो, अशा ठिकाणी वेळ अभ्यास अकार्यक्षमतेच्या मूळ कारणांची ओळख पटवण्यासाठी महत्त्वाची भूमिका बजावतो. यामुळे व्यवस्थापकांना सध्याच्या कार्यपद्धती, मनुष्यबळाचे वाटप किंवा यंत्रसामग्रीचा वापर योग्य आहे का हे मूल्यांकन करता येते. अचूक वेळ माहितीच्या आधारे कार्यप्रवाह पुनर्रचना करता येतो, ओव्हरटाईमवरील अवलंबन कमी करता येते आणि नियमित कामकाजाच्या वेळेतच उत्पादन पातळी राखता येते—यामुळे श्रम खर्चाचे नियंत्रण आणि कामगारांचे कल्याण सुधारते.

2.5.5 काल अध्ययन उपकरणे

(i) काल अध्ययन बोर्ड (Time Study Board)

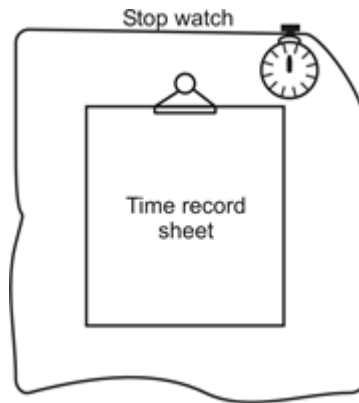


Fig. 2.14 काल अध्ययन बोर्ड

काल अध्ययन बोर्ड हे कार्यशाळेतील निरीक्षणे अचूक आणि कार्यक्षम पद्धतीने नोंदवण्यासाठी वापरले जाणारे एक उपयुक्त साधन आहे. हे सामान्यतः प्लायवूडच्या पृष्ठावर तयार केले जाते आणि त्यामध्ये स्टॉपवॉच व काल अध्ययन फॉर्म्स सुरक्षितपणे धरून ठेवण्यासाठी आवश्यक फिटिंग्ज असतात. हे बोर्ड निरीक्षकाला एका हाताने स्टॉपवॉच चालवता येईल आणि दुसऱ्या

हाताने निरीक्षणे लिहिता येतील अशा प्रकारे स्थिर पृष्ठभाग प्रदान करते. हे उपकरण गतिशील कार्य वातावरणात निरीक्षकाला विविध कार्यस्थानांमध्ये सहजपणे फिरता येईल अशी सोय करते. याच्या रचनेमुळे निरीक्षकाला टेबल किंवा इतर आधाराची गरज न पडता लक्ष आणि अचूकता राखता येते.

(ii) काल अध्ययन फॉर्म (Time Study Forms)

Time study form										
Date :			Description :							
Time Study Engineer :			No. of Cycles :							
Product :			Standard Time :							
Operation :			Found :							
Description	Observe Time (Stop watch Recording)					Average time	Rating time	Normal Time	Allowance	Standard time
	1	2	3	4	5					

Fig. 2.15 नमुना काल अध्ययन फॉर्म

काल अध्ययन फॉर्म हे निरीक्षणे नोंदवण्यासाठी वापरले जाणारे प्रमाणित छापिल पत्रक असते. या फॉर्ममध्ये सामान्यतः भागाचे नाव, भाग क्रमांक, कार्यचे वर्णन, निरीक्षकाचे नाव आणि इतर संबंधित तपशील असतात. यांचा एकसंध स्वरूप डेटा संकलनात सुसंगतता राखतो आणि कार्यशाळेतील निरीक्षणे भरताना प्रक्रिया सुलभ करतो. हे फॉर्म वेळ, रेटिंग्स आणि टिप्पण्या जलदपणे नोंदवता येतील अशा पद्धतीने डिझाइन केलेले असतात, त्यामुळे भविष्यातील संदर्भ व विश्लेषणासाठी उपयुक्त ठरतात. पूर्व-रचित रचनेमुळे अचूकता आणि स्पष्टता राखली जाते, जी कार्यप्रदर्शन मानके निश्चित करण्यासाठी आणि कार्यपद्धती सुधारण्यासाठी अत्यंत महत्त्वाची असते.

(iii) पेन्सिली (Pencils)

काल अध्ययनात निरीक्षणे नोंदवण्यासाठी पेन्सिल वापरणे पसंत केले जाते कारण त्या सहजपणे दुरुस्त करता येतात. कार्यशाळेतील प्रत्यक्ष निरीक्षणांदरम्यान वेळेच्या नोंदी कधी कधी सुधारणा लागतात किंवा स्पष्ट कराव्या लागतात. पेन्सिल वापरल्यामुळे नोंदी मिटवून पुन्हा लिहिता येतात आणि फॉर्म खराब होत नाही. सामान्यतः H किंवा 2H ग्रेडच्या पेन्सिली वापरल्या जातात, कारण त्या बारीक, स्पष्ट रेषा तयार करतात, ज्या वाचायला सोप्या असतात आणि सहज मिटत नाहीत. या ग्रेड्स वाचनीयता आणि मिटवण्याची सोय यामध्ये संतुलन राखतात, त्यामुळे हालचाल आणि काल विश्लेषणासाठी अत्यंत उपयुक्त ठरतात.

(iv) स्टॉपवॉच (Stop Watch)

स्टॉपवॉच हे काल अध्ययनातील सर्वात महत्त्वाचे उपकरण आहे, जे विशिष्ट कार्य घटकांची कालावधी अचूकपणे मोजण्यासाठी वापरले जाते. विविध प्रकारांपैकी, औद्योगिक काल अध्ययनासाठी विशेषतः डिझाइन केलेले डेसिमल मिनिट स्टॉपवॉच सर्वाधिक वापरले जाते. या घड्याळात दोन काटे असतात—लहान काटा 30 मिनिटांत एक फेरी पूर्ण करतो आणि मोठा काटा एका मिनिटात एक फेरी पूर्ण करतो, ज्यामध्ये प्रत्येक विभाग 0.01 मिनिट इतका असतो. ही सूक्ष्म विभागणी लहान कालावधीच्या हालचाली अचूकपणे नोंदवण्यास मदत करते. प्रचलित दोन प्रकार म्हणजे:

- **क्युमुलेटिव्ह स्टॉपवॉच (Cumulative Stopwatch):** जो प्रत्येक घटकासाठी वेळ सतत जमा करत जातो.

- **फ्लाय-बॅक स्टॉपवॉच (Fly-back Stopwatch):** जो प्रत्येक वाचनानंतर त्वरित शून्यावर रीसेट होतो, त्यामुळे पुनरावृत्ती होणाऱ्या घटकांसाठी उपयुक्त ठरतो.

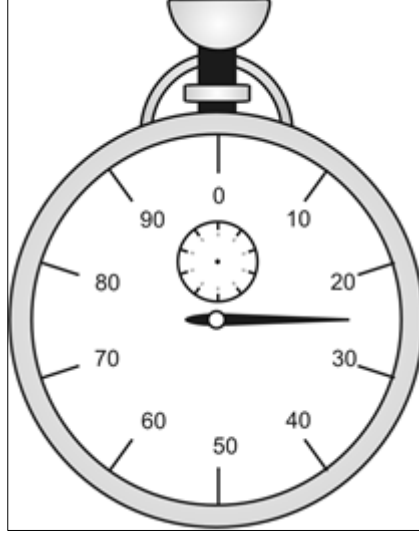


Fig. 2.16 एक सामान्य स्टॉपवॉच

हे उपकरणे कार्यशाळेतील कार्यक्षमतेचे विश्लेषण करण्यासाठी आणि विश्वासार्ह काल मानके निश्चित करण्यासाठी अत्यावश्यक आहेत.

2.5.6 कार्यप्रदर्शन मूल्यांकन (Performance Rating)

व्याख्या: कार्यप्रदर्शन मूल्यांकन म्हणजे एखाद्या ऑपरेटरच्या प्रत्यक्ष कार्यगतीची तुलना सामान्य गतीने कार्य करणाऱ्या ऑपरेटरच्या मानसिक प्रतिमेशी करून ती समायोजित करण्याची प्रक्रिया होय.

कार्यप्रदर्शन मूल्यांकनावर परिणाम करणारे घटक:

(a) वापरलेल्या साहित्याच्या गुणवत्तेमध्ये बदल

कच्च्या मालाची सुसंगतता आणि गुणवत्ता कार्यगती व कार्यसुलभतेवर थेट परिणाम करते. कमी दर्जाचे साहित्य हाताळण्यासाठी अधिक वेळ, दुरुस्ती किंवा समायोजन लागते, ज्यामुळे ऑपरेटरची गती कमी होते आणि मूल्यांकनाची अचूकता कमी होते. उच्च दर्जाचे साहित्य कार्यप्रवाह सुलभ करते आणि प्रयत्न कमी करतो, ज्यामुळे कार्यप्रदर्शन सुधारते.

(b) साधने व उपकरणांची कार्यक्षमता बदलणे

साधने व यंत्रांची स्थिती आणि कार्यक्षमतेचा कार्याच्या अंमलबजावणीवर महत्त्वाचा प्रभाव असतो. जीर्ण किंवा नीट न देखभाल केलेली उपकरणे विलंब निर्माण करतात, शारीरिक ताण वाढवतात आणि उत्पादनाच्या गुणवत्तेत घट करतात. याउलट, नीट देखभाल केलेली, धारदार आणि कार्यक्षम साधने कार्य सुलभ करतात आणि ऑपरेटरला स्थिर व उत्पादक गती राखता येते.

(c) कार्यपद्धतीत बदल

कार्य करण्याच्या पद्धतीत कोणताही बदल—प्रक्रिया पुनर्रचना, नवीन तंत्र, किंवा अद्ययावत कार्यसूचना—ऑपरेटरच्या गती व लयवर परिणाम करू शकतो. अधिक कार्यक्षम पद्धतीमुळे सायकल वेळ कमी होतो आणि मूल्यांकन सुधारते, तर चुकीच्या पद्धतीमुळे गोंधळ किंवा कार्यक्षमतेत घट होऊन कार्यप्रदर्शन कमी होते.

(d) कार्यस्थितीत बदल

प्रकाश, वायुवीजन, आवाजाची पातळी, तापमान आणि कार्यक्षेत्राची रचना हे पर्यावरणीय घटक ऑपरेटरच्या आराम व एकाग्रतेवर परिणाम करतात. खराब कार्यस्थितीमुळे थकवा, मंद हालचाली आणि अचूकतेत घट होऊ शकते, तर नीट रचलेले व एर्गोनॉमिक कार्यक्षेत्र कार्यप्रदर्शन व सातत्य सुधारते.

(e) ऑपरेटरच्या क्षमतेतील फरक

कौशल्य, अनुभव, शारीरिक तंदुरुस्ती आणि कार्याची ओळख यामधील वैयक्तिक फरक कार्यप्रदर्शनात बदल घडवू शकतात. अत्यंत कुशल ऑपरेटर कार्य जलद व अचूकपणे करतो, तर कमी अनुभवी कामगाराला अधिक वेळ व प्रयत्न लागतो. वैयक्तिक प्रेरणा, लक्ष आणि परिस्थितीनुसार जुळवून घेण्याची क्षमता देखील कार्यक्षमता ठरवते.

2.5.7 अलाऊन्स (Allowances)

औद्योगिक कार्यमापनामध्ये, जरी सर्वात कार्यक्षम आणि प्रमाणित कार्यपद्धती वापरल्या गेल्या तरी एखाद्या कामगाराने संपूर्ण दिवस सातत्याने कार्य करणे प्रत्यक्षात अशक्य असते. सर्वोत्तम पद्धतीचे पालन केल्यावरही मानवी शरीराला नैसर्गिक थकवा जाणवतो आणि त्याला विश्रांती व वैयक्तिक गरजांसाठी वेळ लागतो.

कार्यप्रदर्शन मानके निश्चित करताना न्याय आणि वास्तवता राखण्यासाठी मूलभूत किंवा सामान्य वेळेमध्ये अलाऊन्स जोडणे आवश्यक असते. हे अलाऊन्स शारीरिक, पर्यावरणीय आणि कार्यपद्धतीशी संबंधित घटकांचा विचार करतात आणि कोणत्याही कामासाठी मानक वेळ ठरवताना अत्यावश्यक ठरतात.

(a) विश्रांती अलाऊन्स (Relaxation Allowance)

- विश्रांती अलाऊन्स कामगारांना शारीरिक व मानसिक थकवा भरून काढण्यासाठी दिला जातो, जो त्यांच्या कार्यचक्रादरम्यान आवश्यक असतो.
- हा अलाऊन्स मूलभूत वेळेमध्ये जोडला जातो, जेणेकरून कामगारांना थोड्या विश्रांतीच्या वेळा, वैयक्तिक गरजा आणि सतत कामामुळे होणाऱ्या शारीरिक व मानसिक परिणामांपासून सावरण्यासाठी वेळ मिळेल.
- विश्रांती अलाऊन्सचे प्रमाण कामाच्या स्वरूपावर अवलंबून असते—जसे की कामाची तीव्रता, शरीराची स्थिती (posture), आणि कार्यपरिस्थिती.
- विश्रांती अलाऊन्स दोन प्रकारात वर्गीकृत केला जातो: **स्थिर (Fixed)** आणि **चल (Variable)**.
- **स्थिर अलाऊन्समध्ये समाविष्ट आहेत: वैयक्तिक गरज अलाऊन्स:** पाणी पिणे, शौचालय वापरणे इत्यादीसाठी लागणारा वेळ. सामान्यतः पुरुषांसाठी मूलभूत वेळेच्या 5% आणि महिलांसाठी 7% प्रमाणात दिला जातो. **मूलभूत थकवा अलाऊन्स:** सामान्य कामादरम्यान खर्च होणाऱ्या ऊर्जा भरपाईसाठी दिला जातो, जो सामान्यतः मूलभूत वेळेच्या 4% असतो.
- **चल अलाऊन्स** त्या परिस्थितीत विचारात घेतला जातो जेव्हा कार्यस्थिती आदर्श नसते—जसे की अपुरा प्रकाश, जास्त आवाज, किंवा अत्यधिक तापमान. हे अलाऊन्स कार्यपरिस्थितीच्या तीव्रतेनुसार समायोजित केले जातात.

(b) व्यत्यय अलाऊन्स (Interference Allowance)

- व्यत्यय अलाऊन्स त्या परिस्थितीत लागू होतो जेव्हा एखादा कामगार एकापेक्षा अधिक मशीन किंवा प्रक्रिया-नियंत्रित कामे हाताळतो.
- जेव्हा दोन किंवा अधिक मशीन एकाच वेळी लक्ष मागतात, तेव्हा होणाऱ्या विलंब किंवा निष्क्रियतेमुळे उत्पादक वेळेचा जो अनिवार्य तोटा होतो त्याची भरपाई हा अलाऊन्स करतो.
- हा अलाऊन्स ऑपरेटरला त्यांच्या नियंत्रणाबाहेरील परिस्थितीसाठी दोषी ठरवले जाऊ नये याची खात्री करतो आणि बहु-मशीन व्यवस्थांमध्ये वास्तववादी अपेक्षा राखण्यास मदत करतो.

(c) अनिश्चितता अलाऊन्स (Contingency Allowance)

- अनिश्चितता अलाऊन्स कामादरम्यान उद्भवणाऱ्या अनपेक्षित विलंबांची भरपाई करतो.
- यामध्ये टूल बदल, फिक्स्चर समायोजन, किंवा इन्स्ट्रुमेंट री-कॅलिब्रेशन यासारख्या लहान व्यत्ययांचा समावेश होतो, जे नियमित कार्यचक्राचा भाग नसले तरी अधूनमधून घडतात.

- हे घटक अचूकपणे पूर्वानुमान करता येत नाहीत, म्हणून अशा अनियमिततेसाठी सामान्यतः मूलभूत वेळेच्या ५% पर्यंत अनिश्चितता अलाऊन्स जोडला जातो, जेणेकरून कार्यप्रवाह सतत चालू राहिल.

(d) धोरणात्मक अलाऊन्स (Policy Allowance)

- धोरणात्मक अलाऊन्स हा एक विशेष प्रकारचा वाढीव अलाऊन्स आहे, जो नियमितपणे लागू केला जात नाही.
- हा अलाऊन्स मानक वेळा संस्थेच्या धोरणांशी जुळवण्यासाठी दिला जातो—जसे की वेतन करार किंवा कामगार संघटनांशी झालेली चर्चा.
- हा अलाऊन्स कामगिरीच्या विशिष्ट स्तरासाठी समाधानकारक उत्पन्न मिळावे याची खात्री करतो, विशेषतः अपवादात्मक परिस्थितीत.
- हा बोनस प्रोत्साहनापेक्षा वेगळा असतो आणि व्यापक मानव संसाधन किंवा औद्योगिक संबंध उद्दिष्टे साध्य करण्यासाठी रणनीतिक पद्धतीने वापरला जातो.

2.6 मानक वेळेची गणना (Calculation of Standard Time)

मानक वेळेची गणना करण्यासाठी खालील सूत्रे वापरली जातात -

$$1. \text{ Standard time} = \text{Normal time} + \text{Allowance}$$

$$2. \text{ Rating} = \frac{\text{Normal time}}{\text{observed time}} \times 100$$

$$3. \text{ Normal time} = \frac{\text{Observed time} \times \text{Rating}}{100}$$

$$4. \text{ Allowance} = \frac{\% \text{ Allowance}}{100} \times \text{Normal Time}$$

Simple Numericals

1. If a worker takes 15 minutes as a standard time for a job in which total allowance is 20% of normal time. If the rating of worker is 100%, find the actual time required by worker.

Ans:

Given: Standard time = 15 mins

Total allowance = 20%

Rating = 100%

To find: Observed time

Solⁿ : We have,

$$\text{Normal time} = \frac{\text{Observed time} \times \text{Rating}}{100}$$

$$\therefore \text{ Normal time} = \frac{\text{Observed time}}{100} \times 100$$

$$\therefore \text{ Normal time} = \text{Observed time} \quad \dots(1)$$

Again we have,

$$\text{Allowance} = \frac{\% \text{ Allowance}}{100} \times \text{Normal time}$$

$$\therefore \text{ Here, Allowance} = \frac{20}{100} \times \text{observed time} \quad \dots(\text{From Equation (1)})$$

$$\therefore \text{Allowance} = 0.2 \times (\text{observed time}) \quad \dots(2)$$

We know that,

Standard time = Normal time + Allowance

$$\therefore 15 = \text{observed time} + 0.2 (\text{observed time}) \quad \dots\dots\dots(\text{From Equation (1) and (2)})$$

$$\therefore 15 = 1.2 \times (\text{observed time})$$

$$\therefore \text{observed time} = \frac{15}{1.2}$$

$$\therefore \text{observed time} = 12.5 \text{ mins}$$

2. A shop floor activity consists of three elements calculate the standard time for the activity. The various allowances are given as percentage of normal time.

Elements	A	B	C
Observed time (min)	1.25	1.2	2.85
Rating factor (%)	90	115	85
Relaxation allowances (%)	12	13	8
Delay allowance (%)	3	6	5
Personal allowances (%)	8	6	4

Given: As in table

To find: Standard time

Solⁿ :

For element A,

$$\text{Normal time} = \frac{\text{Observed time} \times \text{Rating}}{100}$$

$$\therefore \text{Normal time} = \frac{1.25 \times 0.90}{100}$$

$$\therefore \text{Normal time} = 1.125 \text{ mins}$$

Total % allowance = Sum of all allowances

$$= 12 + 3 + 8$$

Total % allowance = 23%

$$\text{Total allowance} = \frac{\% \text{ Allowance} \times \text{Normal time}}{100}$$

$$= \frac{23 \times 1.125}{100}$$

Total allowance = 0.258 mins

Standard time of element A = Normal time + Allowance

$$= 1.125 + 0.258$$

\therefore Standard time of element A = **1.383 mins**

For element B

$$\text{Normal time} = \frac{\text{Observed time} \times \text{Rating}}{100}$$

$$\therefore \text{Normal time} = \frac{1.2 \times 115}{100}$$

$$\therefore \text{Normal time} = 1.38 \text{ mins}$$

Total % allowance = sum of all allowances

$$=13 + 6 + 6$$

Total % allowance =25%

$$\begin{aligned} \text{Total \% allowance} &= \frac{\% \text{ Allowance} \times \text{Normal time}}{100} \\ &= \frac{25 \times 1.38}{100} \end{aligned}$$

∴ Total allowance =0.345 mins

$$\begin{aligned} \text{Standard time of element B} &= \text{Normal time} + \text{Allowance} \\ &= 1.38 + 0.345 \end{aligned}$$

∴ Standard time of element B = **1.725 mins**

For element C

$$\text{Normal time} = \frac{\text{Observed time} \times \text{Rating}}{100}$$

$$\therefore \text{Normal time} = \frac{2.85 \times 85}{100}$$

∴ Normal time = 2.422 mins

$$\begin{aligned} \text{Total \% allowance} &= \text{Sum of all allowances} \\ &= 8 + 5 + 4 \end{aligned}$$

Total % allowance =17%

$$\begin{aligned} \text{Total allowance} &= \frac{\% \text{ Allowance}}{100} \times \text{Normal time} \\ &= \frac{17 \times 2.422}{100} \end{aligned}$$

∴ Total allowance = 0.411 mins

$$\begin{aligned} \text{Standard time of element C} &= \text{Normal time} + \text{Allowance} \\ &= 2.422 + 0.411 \end{aligned}$$

∴ Standard time of element C = **2.833 mins**

∴ **Total standard time = Standard time of element A + Standard time of element B + Standard time of element C**

$$= 1.383 + 1.725 + 2.833$$

∴ **Total Standard Time = 5.941 mins.**

Exercise:**TLO 2.1** Explain importance of industrial engineering.

1. Define Industrial Engineering.
2. Explain importance/ need of industrial engineering
3. State the objectives of industrial engineering

TLO 2.2 Define work study, method study, time study.

1. Define work study.
2. Define method study.
3. Define work measurement.
4. Define time study.

TLO 2.3 State the objectives of work study, method study, time study.

1. State the objectives of work study.
2. Explain the procedure of method study.
3. Enlist the objectives of method study.
4. Explain the factors considered for selection of work for method study.
5. State the objectives of time study.

TLO 2.4 State meaning of therblig symbols.

1. Explain 'therbligs' in context of work study.
2. Sketch the symbol of following therbligs (i) Transport loaded (ii) Search (iii) Rest (iv) Assemble.

TLO 2.5 Prepare a relevant type of chart for given process using recording techniques.

1. Explain outline process chart.
2. Explain the symbols used in process chart.
3. Draw an outline process chart to change the SIM CARD of a mobile phone.
4. Outline flow process chart for checking diameter of 50 mm of shaft.
5. Construct a two handed process chart for an activity of replacing old refill from ball pen with summary.

TLO 2.6 Calculate standard time for a given activity.

1. Enlist the equipment used in time study with their relevance.
2. Define performance rating.
3. Enlist the factors affecting performance rating.
4. Explain in brief the allowances to be considered while estimating the standard time.
5. A shop floor activity consists of three elements. Find the standard time for the activity. The allowances are given as percentage of basic time

Elements	Observed time (min)	Rating	Allowance
I	1	100%	20%
II	2	110%	15%
III	3	120%	10%

युनिट 3 गुणवत्ता नियंत्रण (Quality Control)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

CO3- उद्योगातील प्रक्रियांमध्ये उत्पादनाची गुणवत्ता तपासण्यासाठी गुणवत्ता नियंत्रण साधनांचा वापर करणे. (Apply quality control tools for monitoring product quality in industrial processes.)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

TLO 3.1: विविध गुणवत्ता संकल्पनांचे स्पष्टीकरण देणे. (Explain different quality concepts)

TLO 3.2: गुणवत्तेच्या खर्चाची आणि गुणवत्तेच्या मूल्याची व्याख्या करणे. (Define cost of quality and value of quality.)

TLO 3.3: दिलेल्या समस्येसाठी गुणवत्ता नियंत्रण साधनांचा वापर करून गुणवत्ता समस्यांचे निराकरण करणे. (Solve quality problems using quality control tools for a given problem.)

TLO 3.4: गुणवत्ता नियंत्रण आणि तपासणी यामधील फरक स्पष्ट करणे. (Differentiate between quality control and inspection.)

TLO 3.5: तपासणीच्या प्रकारांमध्ये फरक स्पष्ट करणे. (Differentiate between types of inspection.)

3.1 उत्पादन आणि सेवांची गुणवत्ता- (Quality of Product and Services)

गुणवत्ता ही स्थिर किंवा सार्वत्रिक संकल्पना नसून, ती एक गतिशील आणि सापेक्ष संकल्पना आहे जी काळानुसार, तांत्रिक प्रगतीनुसार, बाजारातील प्रवृत्तीनुसार आणि ग्राहकांच्या बदलत्या अपेक्षांनुसार विकसित होत जाते. आज जे "उच्च गुणवत्ता" मानले जाते, ते उद्या कालबाह्य किंवा अपूर्ण ठरू शकते, कारण मानके आणि तुलनात्मक निकष सतत सुधारत असतात. सामान्यतः, "गुणवत्ता म्हणजे एखाद्या उत्पादन किंवा सेवेमध्ये ग्राहकाच्या अपेक्षा, गरजा किंवा इच्छांशी किती प्रमाणात सुसंगती आहे हे दर्शवणारा निकष". म्हणजेच, वापरकर्त्यांच्या दृष्टिकोनातून दिलेले उत्पादन किंवा सेवा त्याच्या उद्दिष्टाची किती प्रभावीपणे पूर्तता करते, हे गुणवत्ता दर्शवते.

3.1.1 गुणवत्ता वैशिष्ट्ये (Quality Characteristics)

व्याख्या: "गुणवत्ता वैशिष्ट्य म्हणजे उत्पादन किंवा सेवेमधील अंतर्निहित गुणधर्म, जो त्या उत्पादन किंवा सेवेच्या गुणवत्तेच्या एखाद्या पैलूबद्दल माहिती देतो."

उत्पादन किंवा सेवेच्या गुणवत्ता वैशिष्ट्यांवर परिणाम करणारे घटक:

1. योग्यता (Suitability): निवडलेले उत्पादन किंवा सेवा ही त्याच्या अपेक्षित वापरासाठी योग्य असावी.
2. विश्वसनीयता (Reliability): उत्पादनाने कार्यक्षम आणि सातत्यपूर्ण कार्यप्रदर्शन द्यावे, तर सेवेमध्ये विश्वासार्हता असावी.
3. टिकाऊपणा (Durability): उत्पादनाचे आयुष्य समाधानकारक असावे, जे वापराच्या अपेक्षा पूर्ण करू शकेल.
4. आर्थिकदृष्ट्या फायदेशीर (Economical): उत्पादन व सेवा यांची किंमत वाजवी असावी आणि त्यामध्ये पैशाचे योग्य मूल्य मिळाले पाहिजे.
5. ग्राहक समाधान (Customer Satisfaction): ग्राहकांच्या गरजा व अपेक्षा प्रभावीपणे पूर्ण झाल्या पाहिजेत.
6. सौंदर्यात्मक आकर्षण (Aesthetic Appeal): उत्पादनाचे स्वरूप आकर्षक व देखणे असावे.
7. बहुपर्यायी उपयोगिता (Versatility): उत्पादन किंवा सेवा ही अनेक कार्ये किंवा उपयोगांसाठी सक्षम असावी.
8. प्रतिक्रिया वेळ (Responsiveness): सेवा वेळेवर आणि विलंब न करता दिली गेली पाहिजे.

3.1.2 रचनात्मक गुणवत्ता (Quality of Design)

व्याख्या: रचनात्मक गुणवत्ता म्हणजे उत्पादकाने ग्राहकाच्या गरजा व अपेक्षा लक्षात घेऊन ठरवलेली उत्कृष्टतेची पातळी.

(i) रचनात्मक गुणवत्तेचा व्याप (Scope of Design Quality)

यामध्ये खालील महत्त्वाचे घटक समाविष्ट होतात:

- अपेक्षित वापरासाठी योग्य उत्पादनाची निवड
- अंतिम उपयोगासाठी आवश्यक वैशिष्ट्यांची निवड—जसे की कार्यक्षमता, वापरण्याची व देखभाल करण्याची सोय, टिकाऊपणा, आयुष्यकाल, विश्वासार्हता, मजबुती आणि देखणेपणा
- तपशीलवार तांत्रिक वैशिष्ट्यांची रचना—जसे की धातूविज्ञान गुणधर्म, कार्यप्रदर्शन मानके, आणि परिमाणात्मक अचूकता

– उत्कृष्ट कार्यप्रदर्शनाची हमी—उत्पादनाने ग्राहकाला विश्वासाह सेवा वाजवी खर्चात मिळाली पाहिजे

(ii) रचना आणि खर्च यांचे नाते (Design and Cost Relationship)

रचना थेट उत्पादन खर्चावर परिणाम करते. म्हणूनच प्रत्येक रचनात्मक घटक—जसे की परिमाण, टॉलरन्स (tolerance), पृष्ठभागाचे फिनिश झिलई (surface finish), आणि धातूविज्ञान वैशिष्ट्ये—हे कार्यक्षमतेसह आर्थिक गरजा पूर्ण करण्यासाठी अचूकपणे ठरवले पाहिजे.

(iii) ग्राहक-केंद्रित दृष्टिकोन (Customer-Centric Approach)

उत्पादन रचनेचा केंद्रबिंदू ग्राहकाचे समाधान असले पाहिजे. संकल्पनेपासून प्रत्यक्ष निर्मितीपर्यंत प्रत्येक निर्णय ग्राहकाच्या गरजांवर आधारित असावा.

(iv) चांगल्या रचनात्मक गुणवत्तेचे संकेत (Indicators of Good Design Quality)

उत्पादन चांगले डिझाइन केलेले मानले जाते जेव्हा ते:

- सर्व कार्यात्मक गरजा प्रभावीपणे पूर्ण करते
- योग्य सुरक्षितता उपाय समाविष्ट करते
- संपूर्ण आयुष्यकाळात विश्वासाहपणे कार्य करते
- दुरुस्ती व देखभाल सुलभपणे करता येते
- त्याच्या गुणवत्तेमुळे आणि मालकी अनुभवामुळे वापरकर्त्याला अभिमान व समाधान देते

3.1.2 रचनात्मक गुणवत्तेवर परिणाम करणारे घटक (Factors Affecting Quality of Design)

रचनात्मक गुणवत्तेवर परिणाम करणारे मुख्य घटक खालीलप्रमाणे आहेत:

(i) बाजारातील ग्राहकांचे प्रकार (Customer Types in the Market)

सखोल बाजार सर्वेक्षण केल्याने ग्राहकांचे वर्तन, खरेदीची प्रवृत्ती, आणि विशिष्ट उत्पादन किंवा सेवेसाठी पैसे देण्याची तयारी समजून घेता येते.

(ii) नफा विचार (Profit Considerations)

व्यावसायिक दृष्टिकोनातून नफा अत्यंत महत्त्वाचा असतो. विविध ग्राहक गटांसाठी उत्पादनाचे अनेक दर्जे किंवा प्रकार उपलब्ध करून नफा वाढवता येतो.

(iii) पर्यावरणीय परिस्थिती (Environmental Conditions)

उत्पादन ज्या प्रदेशात वापरले जाणार आहे त्या ठिकाणच्या पर्यावरणीय व हवामानाच्या परिस्थितीचा विचार करणे आवश्यक असते, कारण हे घटक साहित्य निवड व रचनात्मक वैशिष्ट्यांवर प्रभाव टाकतात.

(iv) विशेष उत्पादन गरजा (Special Product Requirements)

ज्या उत्पादनांना अधिक मजबुती, थकवा प्रतिकार (fatigue resistance), दीर्घ आयुष्य आणि विश्वासाहता आवश्यक असते, ती उत्पादने अधिक काटेकोर सहिष्णुतेसह (tight tolerances) डिझाइन केली पाहिजेत, जेणेकरून कार्यक्षमता व टिकाऊपणा सुनिश्चित होईल.

3.1.3 अनुरूपतेची गुणवत्ता (Quality of Conformance)

व्याख्या: "अनुरूपतेची गुणवत्ता म्हणजे तयार केलेले उत्पादन पूर्वनिश्चित रचना वैशिष्ट्ये आणि टॉलरन्स (tolerances) यांचे किती प्रमाणात पालन करते हे दर्शवते."

– अनुरूपता प्राप्त करणे (Achieving Conformance)

उच्च अनुरूपतेची गुणवत्ता फक्त प्रणालीबद्ध आणि नियंत्रित उत्पादन प्रक्रियेमुळेच प्राप्त होऊ शकते. उत्पादनाच्या प्रत्येक टप्प्यावर सातत्य आणि अचूकता सुनिश्चित करण्यासाठी देखरेख व व्यवस्थापन आवश्यक आहे.

– विभागीय जबाबदारी (Departmental Responsibility)

उत्पादन नियोजन विभाग आणि उत्पादन विभाग यांची प्रमुख जबाबदारी असते की उत्कृष्ट अनुरूपतेची गुणवत्ता राखली जावी आणि प्राप्त केली जावी

3.1.4 अनुरूपतेच्या गुणवत्तेवर परिणाम करणारे घटक

उत्पादन रचना मानकांनुसार तयार होण्यासाठी खालील घटक अत्यंत महत्त्वाचे ठरतात:

(i) येणाऱ्या कच्च्या मालाची गुणवत्ता (Quality of Incoming Raw Materials)

कच्चा माल ठरवलेल्या मानकांनुसार असणे आवश्यक आहे, जेणेकरून अंतिम उत्पादन अपेक्षित कार्यप्रदर्शन देऊ शकेल.

(ii) यंत्रसामग्री व मापन उपकरणांची अचूकता (Precision of Machine Tools and Measuring Instruments)

अचूक आणि चांगल्या स्थितीत असलेली उपकरणे सातत्यपूर्ण उत्पादन गुणवत्तेसाठी आवश्यक असतात.

(iii) योग्य प्रक्रिया निवड व नियंत्रण (Appropriate Process Selection and Control)

योग्य उत्पादन प्रक्रिया निवडणे आणि संपूर्ण प्रक्रियेत कठोर नियंत्रण ठेवणे हे एकसंधता व विश्वासाहता सुनिश्चित करते.

(iv) ऑपरेटरचे कौशल्य व प्रेरणा (Operator Expertise and Motivation)

कुशल, प्रशिक्षित आणि गुणवत्ता-जागरूक ऑपरेटर उत्पादन मानके राखण्यात महत्त्वाची भूमिका बजावतात.

(v) योग्य हाताळणी व साठवण (Proper Handling and Storage)

अर्धवट तयार व पूर्ण तयार मालाची योग्य हाताळणी व साठवण आवश्यक आहे, जेणेकरून नुकसान व गुणवत्तेतील घट टाळता येईल.

(vi) प्रभावी अभिप्राय यंत्रणा (Effective Feedback Mechanisms)

अंतर्गत निरीक्षणे व ग्राहक अभिप्राय यावरून समस्यांची ओळख करून त्वरित सुधारात्मक उपाययोजना करणे आवश्यक आहे.

3.1.5 कार्यप्रदर्शनाची गुणवत्ता (Quality of Performance)

व्याख्या: "कार्यप्रदर्शनाची गुणवत्ता म्हणजे उत्पादन प्रत्यक्ष वापरात अपेक्षित परिस्थितीत किती प्रभावीपणे कार्य करते किंवा सेवा किती कार्यक्षमतेने दिली जाते हे दर्शवते."

i) ग्राहक समाधान हे मापनाचे प्रमाण (Customer Satisfaction as a Measure)

उत्पादन किंवा सेवा कार्यक्षमता, विश्वासाहता आणि एकूण अनुभवाच्या दृष्टीने ग्राहकांच्या अपेक्षा किती प्रमाणात पूर्ण किंवा अधिक चांगल्या प्रकारे पूर्ण करते हे मूल्यांकन केले जाते.

ii) अपेक्षा पूर्ण करण्यावर लक्ष केंद्रित (Focus on Meeting Expectations)

कार्यप्रदर्शन गुणवत्तेचा मुख्य उद्देश म्हणजे अंतिम वापरकर्त्याला मूल्य आणि समाधान प्रदान करणे.

iii) सुधारणा करण्याची गरज (Need for Corrective Action)

जर उत्पादन किंवा सेवा ग्राहकांच्या अपेक्षा पूर्ण करण्यात अपयशी ठरली, तर सुधारणा करण्याची गरज निर्माण होते, जी खालीलपैकी कोणत्याही टप्प्यावर असू शकते:

(a) **रचना टप्पा** – वैशिष्ट्ये आणि तपशील पुन्हा परिभाषित करणे

(b) **अनुरूपता टप्पा** – उत्पादन अचूकता आणि प्रक्रिया नियंत्रण सुधारणे

iv) रचना आणि अनुरूपतेतील परस्परसंबंध (Interdependence of Design and Conformance)

कार्यप्रदर्शनाची गुणवत्ता खालील घटकांवर थेट अवलंबून असते:

(a) **रचनेची गुणवत्ता** – जी उत्पादनाची अपेक्षित कार्यक्षमता, देखणेपणा आणि तपशील ठरवते

(b) **अनुरूपतेची गुणवत्ता** – जी उत्पादन किंवा सेवा परिभाषित रचना मानकांनुसार तयार केली गेली आहे याची खात्री देते

v) कार्यप्रदर्शन गुणवत्ता हे ग्राहक समाधान आणि उत्पादन यशाचे महत्त्वाचे संकेतक आहे

हे रचना आणि अनुरूपता या दोन्ही प्रयत्नांच्या एकत्रित परिणामकारकतेचे प्रतिबिंब असते.

3.1.6 गुणवत्ता हमी (Quality Assurance)

– **गुणवत्ता हमीचा अर्थ (Meaning of Quality Assurance):** "गुणवत्ता हमी (QA) म्हणजे गुणवत्ता प्रणाली अंतर्गत नियोजित आणि प्रणालीबद्ध क्रियाकलापांचा एक व्यापक संच, ज्यामुळे उत्पादन किंवा सेवा सतत निर्दिष्ट गरजा पूर्ण करते आणि ग्राहकांच्या अपेक्षा पूर्ण करते."

– **गुणवत्ता हमीमध्ये काय समाविष्ट असते:** गुणवत्ता, विश्वासाहता आणि कार्यप्रदर्शन यांचे निरीक्षण, मूल्यांकन आणि सुधारणा करण्यासाठी वैज्ञानिक पद्धती आणि अभियांत्रिकी तत्वांचा वापर केला जातो. QA ग्राहक आणि व्यवस्थापनामध्ये विश्वास निर्माण करते, कारण हे सिद्ध करते की संस्थेच्या प्रक्रिया उच्च गुणवत्ता देण्यास सक्षम आहेत.

– **गुणवत्ता हमीची तीन मुख्य टप्प्यांमध्ये अंमलबजावणी केली जाते:**

(a) **रचना टप्पा (Design Stage):**

उत्पादनाची रचना ग्राहक गरजा, कार्यात्मक आवश्यकता आणि औद्योगिक मानकांशी सुसंगत आहे याची खात्री केली जाते.

(b) **उत्पादन टप्पा (Manufacturing Stage):**

उत्पादन प्रक्रिया मंजूर रचना वैशिष्ट्यांशी अचूक अनुरूप आहे का हे पडताळले जाते.

(c) **क्षेत्र निरीक्षण टप्पा (Field Observation Stage):**

उत्पादन प्रत्यक्ष वापराच्या परिस्थितीत कसे कार्य करते हे निरीक्षण करून त्याची विश्वासाहता आणि कार्यक्षमता पडताळली जाते.

– गुणवत्ता हमीचे एकत्रित सूत्र:

गुणवत्ता हमी = रचनेची गुणवत्ता + अनुरूपतेची गुणवत्ता + कार्यप्रदर्शनाची गुणवत्ता

3.1.7 गुणवत्ता हमीचे महत्त्व (Importance of Quality Assurance)

गुणवत्ता हमी उत्पादन व सेवा प्रक्रियेच्या यशस्वी आणि टिकाऊ कार्यप्रदर्शनासाठी अत्यंत महत्त्वाची भूमिका बजावते. तिचे महत्त्व खालील मुद्द्यांद्वारे स्पष्ट करता येते:

- **ग्राहकांचा विश्वास (Customer Confidence):** गुणवत्ता हमी ग्राहकांना खात्री देते की उत्पादन किंवा सेवा त्यांच्या अपेक्षा पूर्ण करेल, ज्यामुळे समाधान आणि निष्ठा वाढते.
- **प्रक्रियेची विश्वासार्हता (Process Reliability):** ही अंतर्गत प्रक्रिया स्थिर, पुनरावृत्तीय आणि सातत्यपूर्ण परिणाम देण्यास सक्षम असल्याची खात्री देते.
- **दोष प्रतिबंध (Defect Prevention):** प्रक्रिया नियंत्रण आणि सुरुवातीच्या टप्प्यावर दोष ओळखण्यावर लक्ष केंद्रित करून, गुणवत्ता हमी उत्पादनानंतर दोष शोधण्याऐवजी त्यांना टाळण्यास मदत करते.
- **खर्च कार्यक्षमता (Cost Efficiency):** वाया जाणारा माल, पुन्हा काम करणे आणि वॉरंटी दावे कमी करून एकूण उत्पादन व कार्य खर्च कमी करते.
- **पालन व प्रमाणपत्र (Compliance and Certification):** राष्ट्रीय व आंतरराष्ट्रीय गुणवत्ता मानकांचे पालन सुलभ करते, ज्यामुळे प्रमाणपत्र मिळवणे आणि बाजारपेठेत प्रवेश शक्य होतो.
- **संस्थेची प्रतिमा (Organizational Reputation):** मजबूत गुणवत्ता हमी प्रणाली कंपनीची प्रतिमा आणि बाजारातील स्पर्धात्मकता वाढवते.

3.1.8 गुणवत्ता हमी अंतर्गतचे कार्य (Activities Under Quality Assurance)

संपूर्ण गुणवत्ता हमी कार्यक्रमांतर्गत खालील क्रियाकलाप सामान्यतः राबवले जातात:

- **निरीक्षण व चाचणी (Inspection and Testing):** उत्पादन रचना वैशिष्ट्ये (design specification) आणि गुणवत्ता मानकांनुसार आहे की नाही हे प्रणालीबद्ध तपासणीद्वारे पडताळणे.
- **कार्यप्रदर्शन चाचणी (Performance Testing):** उत्पादन अपेक्षित कार्य परिस्थितीत किती प्रभावीपणे कार्य करते हे मूल्यांकन करणे.
- **प्रक्रिया नियंत्रण (Process Control):** उत्पादन प्रक्रियेचे निरीक्षण व नियंत्रण ठेवून सातत्य आणि विचलन टाळणे.
- **आयुष्य व विश्वासार्हता चाचणी (Life and Reliability Testing):** उत्पादनाची टिकाऊपणा आणि विश्वासार्हता कालांतराने तपासणे.
- **शॉप प्रॅक्टिसचे ऑडिट (Audits of Shop Practices):** उत्पादन प्रक्रियांचे पुनरावलोकन करून ठरवलेल्या कार्यपद्धती व मानकांचे पालन होत आहे की नाही हे तपासणे.
- **मापन उपकरणांचे नियंत्रण (Control of Gauges, Tools, and Measuring Instruments):** मापन व निरीक्षणासाठी वापरली जाणारी सर्व उपकरणे योग्यरीत्या कॅलिब्रेट (calibrate) व देखभाल केलेली आहेत याची खात्री करणे.
- **नकार व पुनःकाम विश्लेषण (Rejection and Rework Analysis):** उत्पादन नाकारण्याची कारणे शोधून सुधारात्मक उपाययोजना राबवणे, जेणेकरून पुनःकाम कमी करता येईल.
- **ग्राहक तक्रारीचे विश्लेषण (Analysis of Customer Complaints):** अभिप्राय व तक्रारींचा अभ्यास करून गुणवत्ता समस्यांची ओळख करणे आणि भविष्यातील कार्यप्रदर्शन सुधारणे.
- **गुणवत्तेच्या खर्चाचे विश्लेषण (Analysis of Cost of Quality):** गुणवत्ता संबंधित क्रियाकलापांचा आर्थिक परिणाम मूल्यांकन करणे—यामध्ये प्रतिबंध, मूल्यांकन आणि अपयश खर्च समाविष्ट असतो.

3.2 गुणवत्ता अर्थशास्त्र (Quality Economics)

गुणवत्ता अर्थशास्त्र म्हणजे संस्थेमधील गुणवत्ता-संबंधित क्रियाकलापांचे आर्थिक विश्लेषण. यामध्ये गुणवत्ता प्रणाली, प्रक्रिया आणि सुधारणा अंमलात आणताना होणारा खर्च आणि त्यातून मिळणारे फायदे यांचे मूल्यांकन केले जाते.

याचा मुख्य उद्देश म्हणजे संसाधनांचा कार्यक्षम वापर करताना ग्राहकांचे समाधान आणि उत्पादनाची विश्वासार्हता सुनिश्चित करणे

3.2.1 गुणवत्तेचा खर्च (Cost of Quality)

गुणवत्तेचा खर्च (CoQ) म्हणजे उत्पादन किंवा सेवा गुणवत्ता मानकांनुसार तयार करण्यासाठी लागणाऱ्या एकूण खर्चाचे प्रतिनिधित्व करतो. यामध्ये दोष टाळणे, गुणवत्ता मूल्यांकन करणे आणि उत्पादन ग्राहकांपर्यंत पोहोचण्यापूर्वी व नंतरच्या अपयशांशी संबंधित सर्व खर्च समाविष्ट असतो.

गुणवत्तेचा खर्च ही एक धोरणात्मक पद्धत आहे जी संस्थेला खालील बाबींचे मूल्यांकन करण्यात मदत करते: कमी गुणवत्तेचा प्रतिबंध, उत्पादन व सेवांची गुणवत्ता तपासणे, अंतर्गत व बाह्य अपयश सुधारणे.

गुणवत्तेचा एकूण खर्च चार मुख्य प्रकारांमध्ये वर्गीकृत केला जातो:

(a) प्रतिबंध खर्च (Cost of Prevention): हे खर्च गुणवत्ता समस्या होण्यापूर्वी टाळण्यासाठी किंवा दूर करण्यासाठी केले जातात. हे खर्च सक्रिय स्वरूपाचे असतात आणि सामान्यतः गुणवत्ता व्यवस्थापन प्रणालीच्या रचना, अंमलबजावणी आणि देखभाल यांच्याशी संबंधित असतात.

याचे मुख्य घटक आहेत:

- **गुणवत्ता नियोजन खर्च:** गुणवत्ता योजना तयार करणे, बाजार संशोधन, उत्पादन विकास, निरीक्षण धोरणे, आणि विश्वासाहता नियोजन यासाठीचा खर्च
- **दस्तऐवजीकरण खर्च:** मॅन्युअल्स, कार्यपद्धती, आणि गुणवत्ता मार्गदर्शक तयार करण्याचा खर्च
- **प्रक्रिया नियंत्रण खर्च:** गुणवत्ता नियंत्रण प्रक्रिया अंमलात आणण्यासाठी आणि देखभाल करण्यासाठी केलेली गुंतवणूक
- **प्रशिक्षण खर्च:** कर्मचारी शिक्षण व कौशल्यवृद्धीसाठीचा खर्च, जेणेकरून गुणवत्ता जागरूकता व कार्यक्षमता वाढेल
- **दोष प्रतिबंध खर्च:** पुनरावृत्ती होणारे दोष दूर करण्यासाठी मूळ कारण विश्लेषण व सुधारात्मक उपाययोजना यासाठीचा खर्च

(b) मूल्यांकन खर्च (Cost of Appraisal)

हे खर्च उत्पादन व सेवा वितरणाच्या विविध टप्प्यांवर गुणवत्ता मोजण्यासाठी, तपासण्यासाठी आणि निरीक्षण करण्यासाठी केले जातात. यामुळे उत्पादन व प्रक्रिया ठरवलेल्या मानकांनुसार आहेत याची खात्री होते.

याचे मुख्य घटक आहेत:

- **पडताळणी खर्च:** येणाऱ्या साहित्याची, प्रक्रिया सेटअप्सची आणि तयार उत्पादनांची तपासणी
- **गुणवत्ता ऑडिट खर्च:** अंतर्गत व बाह्य ऑडिटद्वारे गुणवत्ता प्रणालीचे पालन तपासणे
- **कॅलिब्रेशन व देखभाल खर्च:** निरीक्षण व चाचणी उपकरणे अचूक परिणाम देण्यासाठी योग्यरीत्या देखभाल व कॅलिब्रेट करणे

(c) अंतर्गत अपयश खर्च (Cost of Internal Failures)

हे खर्च उत्पादन किंवा सेवा ग्राहकांपर्यंत पोहोचण्यापूर्वी दोष आढळल्यावर होतात. हे खर्च उत्पादन किंवा सेवा प्रक्रियेमधील कार्यक्षमतेच्या कमतरतेचे प्रतिबिंब असतात.

याचे मुख्य घटक आहेत:

- **स्क्रॅप खर्च:** वापरण्यायोग्य नसलेल्या किंवा नाकारलेल्या साहित्यामुळे होणारे नुकसान
- **पुनःकाम व दुरुस्ती खर्च:** उत्पादन प्रक्रियेदरम्यान दोषयुक्त घटक दुरुस्त करण्यासाठीचा खर्च
- **पुनःतपासणी व पुनःचाचणी खर्च:** दुरुस्ती नंतर गुणवत्ता मानकांची पूर्तता तपासण्यासाठी लागणारी अतिरिक्त चाचणी
- **कार्यात्मक अकार्यक्षमता खर्च:** अनावश्यक काम, जादा साठा, किंवा खराब समन्वयामुळे होणारा खर्च

(d) बाह्य अपयश खर्च (Cost of External Failures)

हे खर्च उत्पादन किंवा सेवा ग्राहकांपर्यंत पोहोचल्यावर दोष आढळल्यावर होतात. हे खर्च ग्राहक समाधान व ब्रँड प्रतिमेवर मोठा परिणाम करू शकतात.

याचे मुख्य घटक आहेत:

- **दुरुस्ती व सेवा खर्च:** परत आलेली उत्पादने दुरुस्त करणे किंवा क्षेत्रात सेवा देण्यासाठीचा खर्च
- **वॉरंटी दावा खर्च:** वॉरंटी अंतर्गत अपयशी उत्पादने बदलणे किंवा सेवा पुन्हा देण्यासाठीचा खर्च
- **परतावा व रिकॉल खर्च:** नाकारलेल्या किंवा परत मागवलेल्या उत्पादनांचे हाताळणी, तपासणी व वाहतूक खर्च

3.2.2 गुणवत्तेचे मूल्य (Value of Quality)

- गुणवत्तेचे मूल्य म्हणजे संस्था सातत्याने उच्च दर्जाची उत्पादने किंवा सेवा पुरवून मिळवणारे मूर्त (tangible) आणि अमूर्त (intangible) फायदे. उच्च गुणवत्ता केवळ ग्राहक समाधान वाढवतेच असे नाही, तर व्यवसाय वाढ, नफा आणि दीर्घकालीन टिकाव यामध्येही महत्त्वपूर्ण योगदान देते.
- याची व्याख्या अशी करता येते: "उत्पादकाने प्रभावी गुणवत्ता नियंत्रण उपाययोजना अंमलात आणल्यामुळे मिळणारा थेट किंवा अप्रत्यक्ष परतावा."
- हे मूल्य विविध स्वरूपात प्रकट होते—जसे की बाजारातील हिस्सा वाढणे, प्रीमियम किंमत मिळवणे, कार्य खर्च कमी होणे, आणि ब्रँड प्रतिमा सुधारणे.

(a) गुणवत्तेच्या मूल्याचे घटक (Components of Quality Value)

गुणवत्तेचे मूल्य दोन मूलभूत पैलूंमधून प्राप्त होते:

(i) रचनेतील अंतर्निहित मूल्य (Value Inherent in Design)

उत्पादनामध्ये अंतर्भूत असलेल्या गुणवत्ता वैशिष्ट्यांना "ग्रेड" असेही म्हणतात. यामध्ये खालील गुणधर्मांचा समावेश होतो:

- उत्पादनाचा आयुष्यकाल

- विश्वासाहता आणि कार्यप्रदर्शनातील सातत्य
- सौंदर्यात्मक आकर्षण
- अदलाबदल व सुसंगततेची सोय
- सुरक्षितता आणि वापरण्याची सुलभता

(ii) अनुरूपतेतील अंतर्निहित मूल्य (Value Inherent in Conformance)

उत्पादन रचना वैशिष्ट्यांशी किती प्रमाणात अनुरूप आहे हे दर्शवते. उच्च अनुरूपता हे सुनिश्चित करते की उत्पादन अपेक्षेप्रमाणे कार्य करते, दोष कमी होतात आणि ग्राहकांचा विश्वास वाढतो.

(b) गुणवत्तेच्या मूल्याचे मूल्यांकन (Assessment of Quality Value)

गुणवत्तेचे एकूण मूल्य खालील प्रमुख संकेतांद्वारे मूल्यांकन करता येते:

- **उत्पादकता वाढ (Increased Productivity):** कार्यक्षम प्रक्रिया आणि कमी डाउनटाइममुळे उत्पादन वाढते आणि संसाधनांचा चांगला वापर होतो.
- **स्कॅप व पुनःकाम खर्चात घट (Reduction in Scrap and Rework Costs):** कमी दोषांमुळे वाया जाणारा माल आणि दुरुस्तीचा खर्च कमी होतो.
- **विक्रीत वाढ (Growth in Sales Volume):** उच्च गुणवत्ता अधिक ग्राहक आकर्षित करते, ज्यामुळे मागणी आणि बाजार विस्तार होतो.
- **ब्रँड प्रतिमा व ग्राहक विश्वास (Enhanced Brand Reputation and Customer Goodwill):** सातत्यपूर्ण गुणवत्ता विश्वास निर्माण करते, ब्रँड मजबूत करते आणि दीर्घकालीन ग्राहक संबंध निर्माण करते.
- **संस्थेची स्थिरता व कर्मचारी आत्मविश्वास (Organizational Stability and Employee Confidence):** गुणवत्ता-केंद्रित कार्यसंस्कृती मानसिक सुरक्षितता, नोकरी समाधान आणि प्रेरणा वाढवते.

3.2.3 रचनेच्या गुणवत्तेचे अर्थशास्त्र (Economics of Quality of Design)

- **इष्टतम रचना गुणवत्ता (Optimum Quality of Design)** म्हणजे गुणवत्ता खर्च आणि त्यातून मिळणारे मूल्य यामधील संतुलन साधून प्राप्त होते.
- हे इष्टतम स्तर ठरवण्यासाठी सखोल बाजार सर्वेक्षण आवश्यक असते.
- सर्वेक्षणादरम्यान, विशिष्ट गुणवत्ता स्तरासाठी अपेक्षित विक्री, संभाव्य नफा मर्यादा, आणि बाजारातील स्पर्धा यासारख्या घटकांचे विश्लेषण केले जाते.
- रचनेची गुणवत्ता ग्राहकांच्या गरजा व अपेक्षा पूर्ण करणारी असावी, आणि उत्पादन खर्च कमी ठेवून नफा वाढवण्यास मदत करणारी असावी.
- उद्दिष्ट म्हणजे गुणवत्ता सुधारणे, पण खर्चात लक्षणीय वाढ न करता.
- Fig 3.1 मध्ये रचना गुणवत्तेच्या खर्च व मूल्य यामधील संबंध दर्शवले आहे.

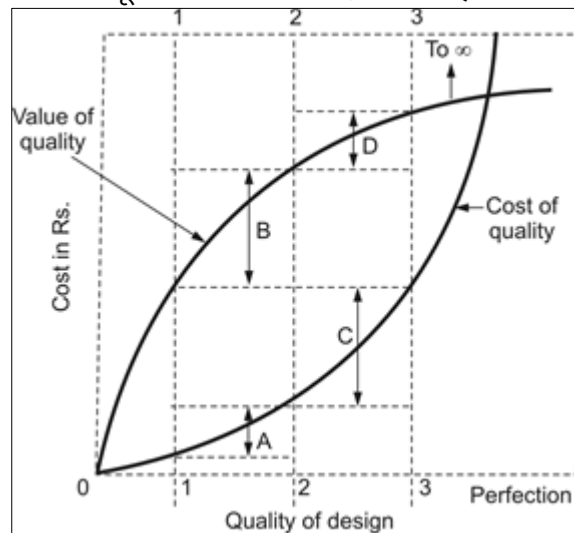


Fig 3.1 रचनेच्या गुणवत्तेचे अर्थशास्त्र

- जेव्हा रचना गुणवत्ता बिंदू 1 वरून बिंदू 2 पर्यंत सुधारली जाते, तेव्हा खर्च A ने वाढतो आणि मूल्य B ने वाढते.
- कारण $B > A$, त्यामुळे ही सुधारणा निव्वळ लाभ देते आणि आर्थिकदृष्ट्या फायदेशीर ठरते.
- मात्र, बिंदू 2 वरून बिंदू 3 पर्यंत सुधारणा करताना मूल्यवाढ (D) ही खर्चवाढ (C) पेक्षा कमी असते, म्हणजेच $D < C$.
- म्हणून, बिंदू 3 हे रचनेसाठी इष्टतम गुणवत्ता स्तर दर्शवते.

- या स्तराखाली संभाव्य नफा पूर्णपणे मिळत नाही; आणि या स्तराच्या वर गुणवत्ता सुधारणा आर्थिकदृष्ट्या अकार्यक्षम ठरते.

3.3 गुणवत्ता नियंत्रण साधने (Quality Control Tools)

गुणवत्ता नियंत्रण साधने म्हणजे उत्पादने व प्रक्रिया यांची गुणवत्ता प्रणालीबद्ध पद्धतीने निरीक्षण, विश्लेषण आणि सुधारण्यासाठी वापरली जाणारी अत्यावश्यक तंत्रे होत. ही साधने संस्थांना दोष ओळखण्यास, मूळ कारण समजून घेण्यास आणि उत्पादनातील सातत्य टिकवण्यास मदत करतात. डेटा आणि प्रवृत्ती (trends) दृश्य स्वरूपात सादर करून ही साधने निर्णयप्रक्रिया सुधारतात, वाया जाणारा माल कमी करतात आणि ग्राहक समाधान वाढवतात. विश्वासाह, किफायतशीर आणि स्पर्धात्मक उत्पादने तयार करण्याच्या वाढत्या गरजेमुळे गुणवत्ता नियंत्रण साधनांची आवश्यकता वाढली आहे. त्यामुळे ही साधने सातत्यपूर्ण सुधारणा आणि प्रभावी गुणवत्ता व्यवस्थापनासाठी अत्यंत महत्त्वाची ठरतात.

(i) चेक शीट (Check Sheets)

चेक शीट ही डेटा प्रणालीबद्धपणे नोंदवण्यासाठी तयार केलेली संरचित फॉर्म असतात. ही विशिष्ट घटनांची वारंवारता ठराविक कालावधीत नोंदवण्यासाठी उपयुक्त ठरतात. ही पद्धत गुणवत्ता हमीचे ऑडिट, प्रक्रिया पुनरावलोकन आणि कार्यपद्धतीचे ट्रॅकिंग यासाठी एक सुसंगत, किफायतशीर आणि व्यावहारिक उपाय देते. त्यांची रचना सोपी असल्यामुळे ती वापरणे आणि समजणे सोपे असते. ही पत्रके पुनरावृत्ती होणाऱ्या समस्यांची ओळख करण्यात प्रभावी असली तरी, खोलवर गुणवत्ता समस्यांचे विश्लेषण करण्यात मर्यादित असतात. Fig 3.2 मध्ये घटक तपासणीसाठी वापरले जाणारे एक सामान्य टॅली चेक शीट दर्शवले आहे.

Name of the operator -		Date -				
Location -		Section -				
Defect Types	No of occurrences					Total
	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	
Bottles broken	II				III	5
Cap loose		II		I		3
Missing label	III		II		I	6
Dirt	I		II	II		5
Wrong order		III	I	II		6
Damage while packaging	II		II		II	6
Total	8	5	7	5	6	31

Fig 3.2 सामान्य टॅली चेक शीट

(सौजन्य: [7 Quality Tools - The Check Sheet - QC Training Services, Inc](#))

(ii) हिस्टोग्राम (Histogram)

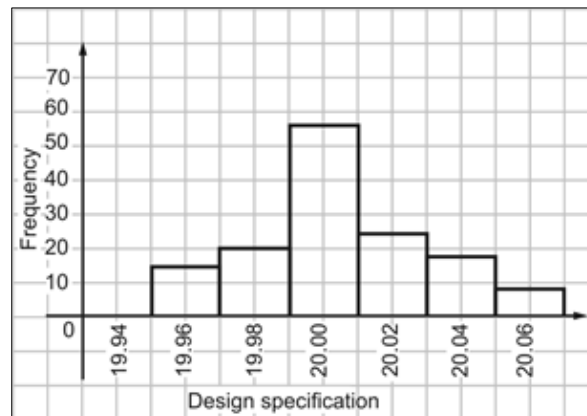


Fig 3.3 सामान्य हिस्टोग्राम

हिस्टोग्राम म्हणजे बार चार्ट (स्तंभ आकृती) जो उत्पादन किंवा प्रक्रियेमधील डेटा वितरण आणि बदल यांचे दृश्य स्वरूपात प्रतिनिधित्व करतो. योग्य प्रकारे डिझाइन केलेला हिस्टोग्राम प्रक्रिया ऑपरेटरसाठी डेटा समजून घेण्यास आणि प्रभावीपणे वापरण्यास उपयुक्त दृश्य साधन ठरतो. Fig 3.3 मध्ये मोजलेल्या वैशिष्ट्यांवर आधारित हिस्टोग्राम दर्शवले आहे.

(iii) परेटो विश्लेषण (Pareto Analysis)

परेटो चार्ट म्हणजे बार्स आणि लाईन ग्राफ यांचे संयोजन असते, ज्यामध्ये बार्स घटकांचे स्वतंत्र मूल्य कमीतेच्या क्रमाने दर्शवतात आणि लाईन एकूण संचयी मूल्य (cumulative total) दर्शवते. याचे मुख्य कार्य म्हणजे सर्वात महत्त्वाचे घटक अधोरेखित करणे. गुणवत्ता नियंत्रणामध्ये, परेटो विश्लेषण सामान्यतः सर्वाधिक वारंवार आढळणारे दोष प्रकार किंवा ग्राहकांच्या सामान्य तक्रारी स्पष्टपणे दर्शवते. Fig 3.4 मध्ये दोषांचे एक नमुनेदार परेटो चार्ट दर्शवले आहे

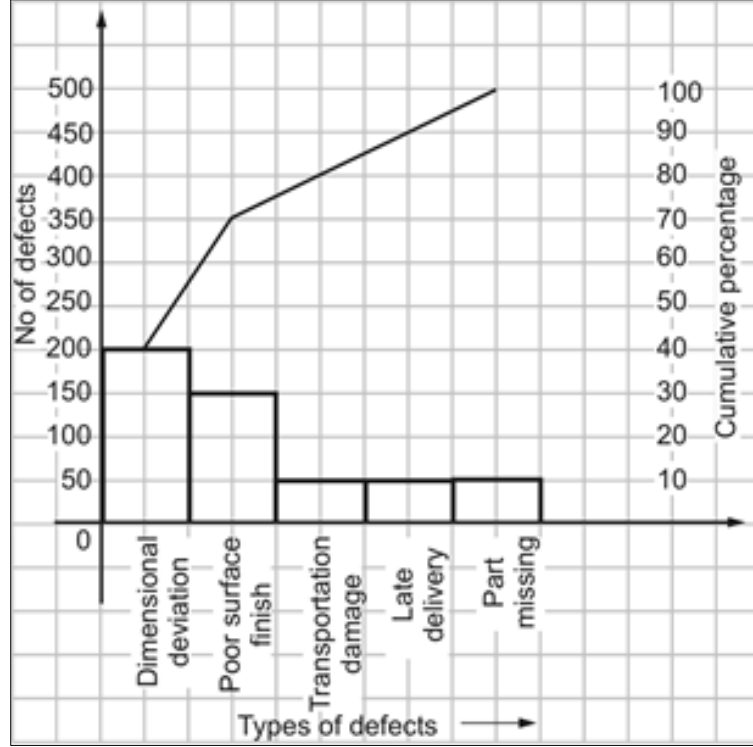


Fig 3.4 परेटो विश्लेषण

(iv) कारण व परिणाम आकृती (Cause-and-Effect Diagram)

इशिकावा आकृती (Ishikawa Diagram) / फिशबोन आकृती (Fishbone Diagram) विशिष्ट घटनेच्या कारणांचे नकाशीकरण करते, ज्यामुळे विविध योगदान करणाऱ्या घटकांमधील परस्परसंबंध व्यवस्थितपणे सादर करता येतो. प्रत्येक कारण हे बदलाचे एक स्रोत दर्शवते, आणि सहसा चांगल्या वर्गीकरणासाठी प्रमुख श्रेणींमध्ये गटबद्ध केले जाते

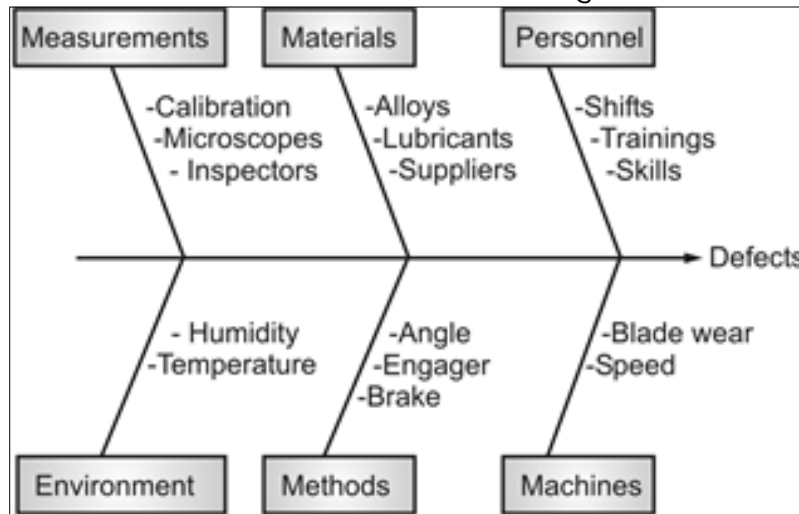


Fig 3.5 सामान्य कारण व परिणाम आकृती

(v) स्कॅटर आकृती (Scatter Diagram)

स्कॅटर आकृती ही दोन परिमाणांमध्ये (two dimensions) डेटा दर्शवते, ज्यामुळे दोन चलांमधील (variables) नमुने किंवा संबंध स्पष्ट होतात.

ही आकृती संबंध सकारात्मक, नकारात्मक, किंवा शून्य (null) आहे का हे ओळखण्यास मदत करते.

- सकारात्मक सहसंबंध (Positive Correlation): डेटा प्रवृत्ती खालच्या डावीकडून वरच्या उजवीकडे जाते.
- नकारात्मक सहसंबंध (Negative Correlation): डेटा प्रवृत्ती वरच्या डावीकडून खालच्या उजवीकडे जाते.
- शून्य सहसंबंध (Null Correlation): डेटा बिंदू अनियमितपणे विखुरलेले असतात, ज्यामुळे कोणताही स्पष्ट संबंध दिसत नाही.

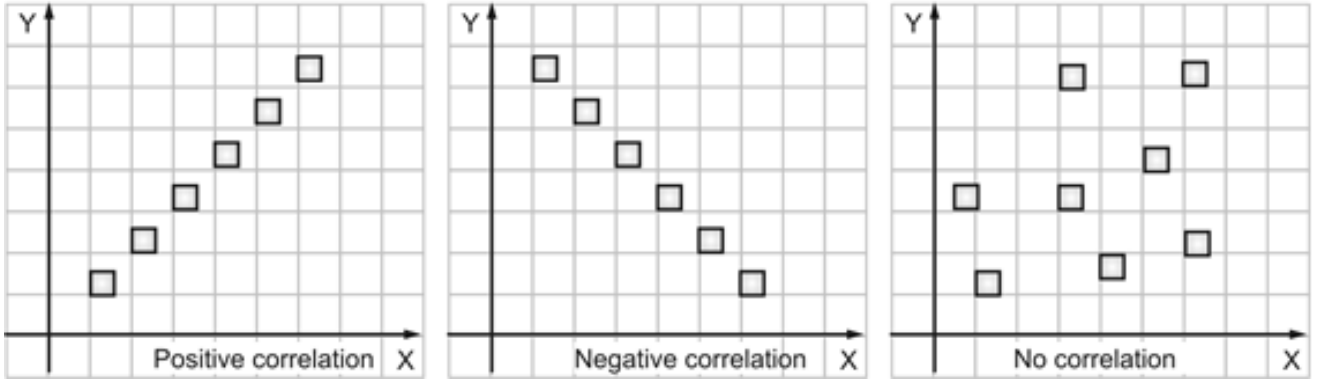


Fig. 3.6 नमुना स्कॅटर आकृती

(vi) प्रवाह आकृती (Flow Chart)

प्रवाह आकृती ही प्रक्रियेचे दृश्य स्वरूप दर्शवते, ज्यामध्ये चिन्हांचा वापर करून टप्पे, इनपुट्स, निर्णय आणि आउटपुट्स दाखवले जातात. ही आकृती संपूर्ण प्रक्रिया समजून घेण्यास आणि समस्या उद्भवण्याची शक्यता असलेल्या भागांची ओळख करण्यास मदत करते. Fig 3.7 मध्ये एक नमुनेदार प्रवाह आकृती दर्शवली आहे

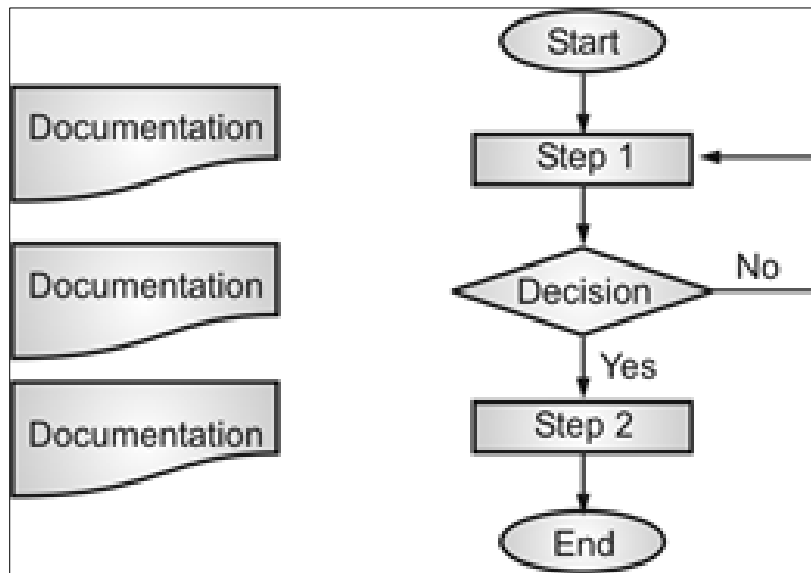


Fig. 3.7 नमुना प्रवाह आकृती

(vii) नियंत्रण आकृती (Control Charts)

नियंत्रण आकृती या वेळेवर आधारित ग्राफ असतात, ज्यांचा उपयोग प्रक्रिया स्थिरता (process stability) निरीक्षण करण्यासाठी केला जातो. यामध्ये सरासरीसाठी मध्यरेषा (central line) तसेच वरची व खालची नियंत्रण मर्यादा (upper and lower control limits) दाखवली जाते. सध्याचा डेटा या मर्यादांशी तुलना करून प्रक्रिया नियंत्रणाखाली आहे की सुधारात्मक उपाययोजना आवश्यक आहेत हे ठरवता येते. Fig 3.8 मध्ये एक नमुनेदार नियंत्रण आकृती दर्शवली आहे

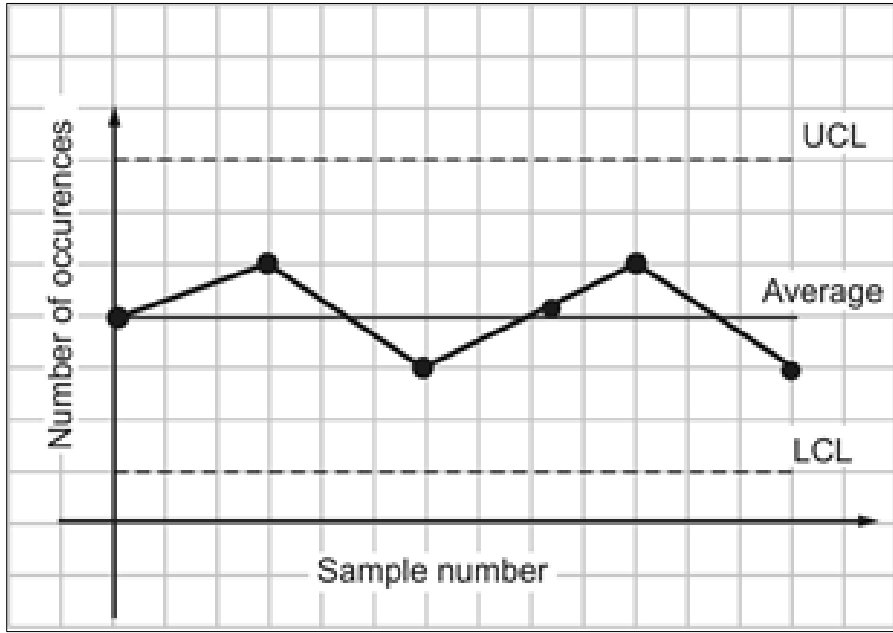


Fig. 3.8 नमुना नियंत्रण आकृती

3.4 तपासणी (Inspection)

व्याख्या: "तपासणी म्हणजे पूर्वनिश्चित मानक निकषांवर आधारित उत्पादन प्रक्रियेच्या विविध टप्प्यांवर साहित्य, उत्पादने किंवा त्यांचे घटक तपासण्याची प्रक्रिया, ज्याद्वारे दोषयुक्त किंवा निकृष्ट घटक ओळखून वेगळे केले जातात."

3.4.1 गुणवत्ता नियंत्रणाचा भाग म्हणून तपासणी (Inspection as a Part of Quality Control)

- गुणवत्ता नियंत्रण ही एक व्यापक आणि सक्रिय पद्धत आहे, ज्याचा उद्देश उत्पादन व प्रक्रिया पूर्वनिश्चित कार्यक्षमता आणि विश्वासार्हता मानकांशी सुसंगत ठेवणे हा आहे.
- यामध्ये उत्पादनाच्या सर्व टप्प्यांवर सातत्यपूर्ण निरीक्षण, मूल्यांकन आणि सुधारात्मक उपाययोजना यांचा समावेश असतो.
- या व्यापक चौकटीत, तपासणी ही एक केंद्रित क्रिया असून साहित्य, घटक किंवा तयार उत्पादने तपासून दोष किंवा मानकांपासून झालेली विचलने ओळखली जातात.
- गुणवत्ता नियंत्रण हे वर्तमान व भविष्यातील उत्पादन गुणवत्तेशी संबंधित असते, तर तपासणी मुख्यतः वर्तमान किंवा भूतकाळातील उत्पादनाच्या आउटपुटचे मूल्यांकन करते.
- तपासणी ही एक चेकपॉइंट म्हणून कार्य करते, ज्याद्वारे उत्पादन पुढील प्रक्रियेत जाण्यापूर्वी किंवा ग्राहकांपर्यंत पोहोचण्यापूर्वी अनुरूपता पडताळली जाते.
- दोषयुक्त घटक लवकर ओळखल्यामुळे तपासणी बाजारात निकृष्ट उत्पादने जाण्यापासून प्रतिबंध करते, ज्यामुळे ग्राहक समाधान आणि ब्रँड प्रतिमा सुरक्षित राहते.
- तपासणी प्रक्रियेतील सुधारणा करण्यासाठी मौल्यवान अभिप्राय देते आणि गुणवत्ता हमीतील निर्णयप्रक्रियेला आधार देते.
- त्यामुळे तपासणी ही स्वतंत्र क्रिया नसून संपूर्ण गुणवत्ता नियंत्रण प्रणालीचा अविभाज्य आणि अत्यावश्यक भाग आहे, जी सातत्यपूर्ण, विश्वासार्ह आणि उच्च दर्जाची उत्पादने पुरवण्याच्या उद्दिष्टाला हातभार लावते.

3.4.2 तपासणी आणि गुणवत्ता नियंत्रण यांतील फरक

अ. क्र.	परिमाण (Parameters)	तपासणी (Inspection)	गुणवत्ता नियंत्रण (Quality Control)
1	व्याप्ती (Scope)	तपासणी ही गुणवत्ता नियंत्रणाचा एक भाग आहे	गुणवत्ता नियंत्रण हा व्यापक संकल्पना असून तपासणी त्यातील एक टप्पा आहे
2	कार्य (Function)	तपासणी ही दिलेल्या मानकांनुसार उत्पादने तपासणे व वर्गीकरण करणे याशी संबंधित आहे	गुणवत्ता नियंत्रण हे प्रत्यक्ष कार्यप्रदर्शन निरीक्षण करून त्यात विचलन आढळल्यास सुधारणा करण्याशी संबंधित आहे
3	उद्दिष्ट (Objective)	तपासणी चांगल्या गुणवत्तेचे उत्पादन निकृष्ट उत्पादनापासून वेगळे करते	गुणवत्ता नियंत्रण हे निकृष्ट उत्पादन तयार होऊ नये याची खात्री करते
4	वेळ (Timing)	उत्पादनानंतर सुरू होते	उत्पादनापूर्वी व उत्पादनासोबत सुरू होते
5	वापरलेली तंत्रे (Techniques Used)	विविध मापन उपकरणे, गेजेस आणि कंपॅरेटर्स वापरून केली जाते	सांख्यिकी, नियंत्रण आकृती, गुणवत्ता ऑडिट, प्रक्रिया क्षमता अभ्यास इत्यादी वापरले जातात
6	जबाबदारी (Responsibility)	मुख्यतः निरीक्षकाची जबाबदारी असते	संस्थेत काम करणाऱ्या प्रत्येकाची जबाबदारी असते

3.4.3 तपासणीचे वर्गीकरण (Classification of Inspection)

तपासणी ही गुणवत्ता हमीतील (Quality Assurance) एक महत्त्वाची क्रिया आहे जी उत्पादन प्रक्रियेच्या विविध टप्प्यांवर केली जाते, जेणेकरून उत्पादने ठरवलेल्या मानकांशी सुसंगत राहतील.

तपासणीचे मुख्य टप्पे खालीलप्रमाणे आहेत:

- कच्चा माल तपासणी (Raw Material Inspection)
- प्रक्रिया तपासणी (Process Inspection)
- अंतिम तपासणी (Final Inspection)
- साधने व गेज तपासणी (Tool and Gauge Inspection)

प्रत्येक टप्प्याचा स्वतंत्र उद्देश असतो आणि तो एकूण उत्पादन गुणवत्तेचे पालन करण्यास हातभार लावतो.

(i) कच्चा माल तपासणी (Raw Material Inspection)

याला Incoming Inspection असेही म्हणतात. या टप्प्यात अपूर्ण, अर्धवट पूर्ण किंवा पूर्ण झालेले कच्चा माल उत्पादन रेषेत जाण्यापूर्वी तपासला जातो.

ही तपासणी पुरवठादाराच्या ठिकाणी किंवा प्राप्त करणाऱ्या कारखान्यात केली जाऊ शकते.

मुख्य उद्देश म्हणजे साहित्य दोषमुक्त आहे आणि आवश्यक वैशिष्ट्यांशी अनुरूप आहे याची खात्री करणे.

दोषयुक्त इनपुट्स लवकर ओळखून नाकारल्यामुळे दोषयुक्त घटक उत्पादन प्रक्रियेत प्रवेश करत नाहीत, ज्यामुळे पुढील टप्प्यांमध्ये वेळ, खर्च आणि श्रम वाचतात.

(ii) प्रक्रिया तपासणी (Process Inspection)

याला In-Process Inspection असे म्हणतात. ही तपासणी प्रत्यक्ष उत्पादन प्रक्रियेदरम्यान केली जाते, विशेषतः जेव्हा एखादा घटक एका ऑपरेशनमधून दुसऱ्याकडे जातो.

ही तपासणी मशीन ऑपरेटर किंवा स्वतंत्र गुणवत्ता निरीक्षकांकडून केली जाऊ शकते.

उद्देश म्हणजे दोष शक्य तितक्या लवकर ओळखणे, जेणेकरून ते पुढील ऑपरेशन्समध्ये जाऊ नयेत.

पद्धती:

- फ्लोर तपासणी (Floor Inspection): उत्पादन स्थळावर थेट केली जाते.
- केंद्रीकृत तपासणी (Centralized Inspection): घटक वेगळ्या ठिकाणी गोळा करून तपासले जातात.
- प्रथम घटक तपासणी (First Piece Inspection): उत्पादन शिफ्टच्या सुरुवातीला केलेली तपासणी.
- शेवटचा घटक तपासणी (Last Piece Inspection): उत्पादन शिफ्टच्या शेवटी केलेली तपासणी.

यामुळे संपूर्ण बॅचमध्ये सातत्य आणि विश्वासार्हता सुनिश्चित होते.

(iii) अंतिम तपासणी (Final Inspection)

अंतिम तपासणी ही तयार उत्पादन ग्राहकांकडे पाठवण्यापूर्वी केली जाते.

ही तपासणी पॅकेजिंग किंवा डिस्पॅच विभागाजवळ केली जाते, ज्यामुळे फक्त दोषमुक्त उत्पादनेच ग्राहकांपर्यंत पोहोचतात. ही तपासणी जलद असते आणि उत्पादन वेळापत्रकात अडथळा आणत नाही.

अंतिम तपासणी ही उत्पादन गुणवत्ता आणि ग्राहक समाधान टिकवण्यासाठी शेवटची चेकपॉइंट म्हणून कार्य करते.

(iv) साधने व गेज तपासणी (Tool and Gauge Inspection)

ही तपासणी उत्पादनात वापरल्या जाणाऱ्या साधने, जिम्स, फिक्स्चर्स आणि गेजेस यांच्या अचूकता व स्थितीवर केंद्रित असते. ही तपासणी सहसा मानक तपासणी कक्षात केली जाते, जिथे अचूक मोजमापासाठी आवश्यक उपकरणे उपलब्ध असतात. उद्देश म्हणजे सर्व मापन साधने व उत्पादन सहाय्यक साधने ठरवलेल्या सहनशीलता मर्यादित आहेत याची खात्री करणे. इतर तपासण्यांची विश्वासाहता या साधनांच्या अचूकतेवर अवलंबून असल्यामुळे, साधने व गेज तपासणी ही एकूण गुणवत्ता मानके टिकवण्यासाठी मूलभूत भूमिका बजावते.

3.5 गुणवत्ता नियंत्रण निरीक्षक / पर्यवेक्षक यांची भूमिका (Role of Quality Control Inspector / Supervisor)

- गुणवत्ता नियंत्रण निरीक्षक उत्पादन मानके टिकवण्यासाठी आणि ग्राहक समाधान सुनिश्चित करण्यासाठी महत्त्वाची भूमिका बजावतो.
- त्यांची जबाबदारी पुरवठादारांकडून येणाऱ्या कच्च्या मालाची आणि ग्राहकांकडे पाठवण्यासाठी तयार असलेल्या तयार उत्पादनांची नियमित तपासणी करण्यापासून सुरू होते.
- ते ठरवलेल्या गुणवत्ता निकषांशी अनुरूप नसलेल्या साहित्य किंवा उत्पादनांना ओळखून नाकारतात.
- उत्पादनाच्या गरजा पूर्णपणे समजून घेण्यासाठी निरीक्षक तांत्रिक रेखाचित्रे, ब्लूप्रिंट्स आणि वैशिष्ट्यांचा अभ्यास करतात.
- ते उत्पादनाचे परिमाण, कार्यक्षमता आणि रचना मानकांशी अनुरूपता तपासतात.
- तपासणीपलीकडे जाऊन, ते प्रक्रियेत सुधारणा करण्यासाठी सूचना देतात, ज्यामुळे गुणवत्ता परिणाम सुधारतात.
- तपासणीचे निकाल अचूकपणे नोंदवणे, अहवाल तयार करणे आणि कार्यप्रदर्शन नोंदी ठेवणे ही त्यांची जबाबदारी असते.
- ते उत्पादन टीमला गुणवत्ता-संबंधित मुद्द्यांवर मार्गदर्शन करतात, ज्यामुळे उत्कृष्टता आणि जागरूकतेची संस्कृती निर्माण होते.
- शेवटी, उत्पादनादरम्यान उद्भवणाऱ्या कोणत्याही गुणवत्ता समस्यांचे त्वरित निराकरण करणे ही त्यांची जबाबदारी असते, ज्यामुळे उत्पादन प्रक्रिया सुरळीत राहते आणि सातत्यपूर्ण आउटपुट मिळते.

Exercise:**TLO 3.1. Explain different quality concepts.**

1. Define quality.
2. Enlist various quality characteristics of products and services.
3. Mention the instrument used for measuring brake power.
4. Explain quality of design.
5. Enlist the factors affecting quality of design.
6. Enlist the factors controlling quality of conformance.
7. Explain quality of performance.
8. Explain quality assurance with its significance.

TLO 3.2. Define cost of quality and value of quality.

1. Define cost of quality.
2. Define value of quality.
3. Explain the categories of cost of quality.
4. Enlist various criteria that assess value of quality.
5. Explain the meaning of optimum quality of design with the help of graph.

TLO 3.3. Solve quality problems using quality control tools for a given problem.

1. Explain the purpose of a check sheet in quality assurance during data collection.
2. Describe the structure and function of a histogram in visualizing process variation.
3. Explain how a Pareto chart helps prioritize defect sources in a manufacturing process.
4. Illustrate the use of a cause-and-effect diagram by identifying major categories of variation in a production defect.
5. Explain scatter diagram with neat sketch.

TLO 3.4. Differentiate between quality control and inspection.

1. Define inspection.
2. Justify the statement – “inspection is a part of quality control”
3. Differentiate between inspection and quality control on the basis of- a. Scope, b. Function, c. Objective, d. Time, e. Techniques used, f. Responsibility.

TLO 3.5. Differentiate between types of inspection.

1. List the types of inspection.
2. Explain how process inspection helps prevent defective components from progressing through production
3. Describe the role of tool and gauge inspection in maintaining accuracy during manufacturing.
4. Differentiate between incoming inspection and final inspection on the basis of- a. Stage of inspection, b. Purpose, c. Location, d. Focus area.
5. Explain the role of quality inspector.

युनिट 4

सांख्यिकीय गुणवत्ता नियंत्रण (Statistical Quality Control)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

CO4- सांख्यिकीय गुणवत्ता नियंत्रण तंत्रांचा वापर करून प्रक्रिया क्षमता निश्चित करणे. (Determine process Capability using Statistical Quality Control techniques.)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

TLO 4.1: SQC चे स्पष्टीकरण करा आणि त्याचे महत्त्व सांगणे. (Explain SQC and its importance.)

TLO 4.2: चल (Variables) आणि गुणविशेष डेटा (Attribute Data) यांमध्ये फरक सांगणे. (Differentiate variables and attribute data.)

TLO 4.3: चल आणि गुणविशेषांसाठी नियंत्रण आकृती (Control Charts) काढणे. (Draw control charts for variables and attributes.)

TLO 4.4: दिलेल्या उत्पादन प्रक्रियेची क्षमता (Process Capability) निश्चित करणे. (Determine process capability of a given manufacturing process.)

TLO 4.5: विविध प्रकारच्या नमुना योजना (Sampling Plan) स्पष्ट करणे. (Explain different types of sampling plan.)

4.1 सांख्यिकीय गुणवत्ता नियंत्रण (Statistical Quality Control – SQC)

व्याख्या: "सांख्यिकीय गुणवत्ता नियंत्रण (SQC) म्हणजे उत्पादन किंवा सेवांची गुणवत्ता टिकवण्यासाठी, नियंत्रित करण्यासाठी आणि सुधारण्यासाठी सांख्यिकी पद्धतींचा वापर होय."

4.1.1 सांख्यिकीय गुणवत्ता नियंत्रणाची उद्दिष्टे (Objectives of SQC)

- उत्पादन किंवा सेवांची गुणवत्ता टिकवणे, नियंत्रित करणे आणि सुधारणे: सातत्यपूर्ण व उच्च दर्जाची गुणवत्ता सुनिश्चित करण्यासाठी सांख्यिकी पद्धतींचा वापर.
- वैयक्तिक निर्णयाऐवजी प्रणालीबद्ध दृष्टिकोन स्वीकारणे: अंतर्ज्ञानावर आधारित निर्णयाऐवजी डेटा-आधारित विश्लेषण वापरून विश्वासाहता वाढवणे.
- अचूक डेटा संकलन व नोंदणी सुनिश्चित करणे: गुणवत्ता प्रभावीपणे निरीक्षण व मूल्यांकन करण्यासाठी अचूक माहिती गोळा करणे.
- संकलित डेटाचे विश्लेषण करणे: गुणवत्ता प्रभावित करणाऱ्या प्रवृत्ती, नमुने आणि विचलने ओळखणे.
- सुधारात्मक अभियांत्रिकी उपाययोजना राबवणे: डेटा ठरवलेल्या मर्यादांपासून विचलन दर्शवित असल्यास व्यावहारिक पावले उचलणे.

4.1.2 सांख्यिकीय गुणवत्ता नियंत्रणाचे फायदे (Benefits of SQC)

- तपासणी प्रक्रियेदरम्यान दोष ओळखण्यास मदत होते.
- सातत्यपूर्ण उत्पादन गुणवत्ता राखली जाते.
- नाकारलेल्या उत्पादनांचे प्रमाण कमी होते, ज्यामुळे वाया जाणारा माल व स्कॅप कमी होतो.
- वास्तववादी व साध्य होणारी मानके विकसित करण्यास मदत होते.
- तपासणीशी संबंधित खर्च कमी होतो.
- ग्राहकांचा विश्वास व समाधान वाढते.
- मनुष्यबळ, यंत्रसामग्री व साहित्याचा कार्यक्षम वापर होतो.
- गुणवत्ता नियंत्रण पद्धतींबद्दल अधिक जागरूकता व मूल्य निर्माण होते.

4.2 चल आणि गुणविशेष मापन (Variable and Attribute Measurement)

सांख्यिकीमध्ये मापनाद्वारे दोन प्रकारचा डेटा मिळतो:

- चल डेटा (Variable Data)
- गुणविशेष डेटा (Attribute Data)

4.2.1 चल मापन किंवा चल डेटा (Variable Measurement or Variable Data)

चल मापन म्हणजे उत्पादन किंवा सेवांच्या प्रत्यक्ष वैशिष्ट्यांचे परिमाणात्मक (quantitative) स्वरूपात डेटा संकलन व नोंदणी करणे. सांख्यिकीय गुणवत्ता नियंत्रण (SQC) मध्ये या प्रकारचे मापन अचूकतेने गुणवत्ता तपासण्यासाठी महत्त्वाची भूमिका बजावते. यामध्ये सतत बदलणारा डेटा (Continuous Data) असतो, जो अपूर्णाक स्वरूपातही व्यक्त करता येतो, त्यामुळे सूक्ष्म बदलांचे विश्लेषण करता येते. उदाहरणार्थ - लांबी (मिलीमीटरमध्ये), तापमान (केल्विनमध्ये), वजन (किलोग्रॅममध्ये), जाडी (मायक्रॉनमध्ये), ई. ही मूल्ये फक्त पूर्णांक नसून दिलेल्या श्रेणीत कोणतेही मूल्य घेऊ शकतात. त्यामुळे गुणवत्ता मानकांपासून सूक्ष्म विचलन ओळखण्यासाठी ती उपयुक्त ठरतात. चल डेटाचा वापर करून अभियंते व गुणवत्ता विश्लेषक प्रवृत्ती निरीक्षण करू शकतात, प्रक्रियेतील विसंगती ओळखू शकतात आणि अधिक अचूकतेने सुधारात्मक उपाययोजना करू शकतात. ही पद्धत गुणवत्ता नियंत्रणासाठी अधिक परिष्कृत व परिमाणात्मक दृष्टिकोन देते, ज्यामुळे उत्पादन व सेवा प्रक्रियेत सातत्यपूर्ण सुधारणा शक्य होते.

4.2.2 गुणविशेष मापन किंवा गुणविशेष डेटा (Attribute Measurement or Attribute Data)

गुणविशेष मापन हे उत्पादन किंवा सेवांचे गुणात्मक (Qualitative) मूल्यांकन करते. यामध्ये अचूक परिमाण किंवा मूल्य मोजले जात नाही, तर उत्पादन ठरवलेल्या निकषांशी अनुरूप आहे की नाही हे तपासले जाते. म्हणजेच वस्तू अनुरूप (Conforming) किंवा अनुरूप नसलेली (Non-Conforming) अशा वर्गांमध्ये विभागली जाते. हा डेटा विभक्त (Discrete) स्वरूपाचा असतो आणि नेहमी पूर्णाकात नोंदवला जातो. उदाहरणार्थ - दोषयुक्त वस्तूंची संख्या मोजणे, दोष ओळखणे, उत्पादने "चांगली" किंवा "वाईट" म्हणून वर्गीकरण करणे, ई. गुणविशेष डेटा दोषाची तीव्रता किंवा बदलाचे तपशीलवार स्वरूप दाखवत नाही; तो फक्त गुणवत्ता वैशिष्ट्य उपस्थित आहे की नाही हे दर्शवतो. चल मापनापेक्षा कमी अचूक असला तरी, गुणविशेष मापन नियमित तपासणी, बॅच मूल्यांकन आणि गुणवत्ता ऑडिटमधील निर्णयप्रक्रियेसाठी अत्यंत प्रभावी ठरतो. तो अनुरूपता निरीक्षण करण्याची प्रक्रिया सोपी करतो आणि विशेषतः मोठ्या प्रमाणात उत्पादन होत असलेल्या ठिकाणी जलद तपासणीसाठी उपयुक्त ठरतो.

4.2.3 बदल (Variations)

कोणत्याही उत्पादन किंवा निर्मिती प्रक्रियेत उत्पादनांमध्ये बदल अपरिहार्य असतात, कारण दोन वस्तू अगदी सारख्या तयार करणे प्रत्यक्षात अशक्य आहे. हे बदल प्रक्रियेतील चढ-उतारांमुळे निर्माण होतात आणि त्यांचे दोन प्रमुख प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले जाते:

- a. अंतर्निहित बदलांचे स्रोत (Inherent Sources of Variation)
- b. नियोज्य बदलांचे स्रोत (Assignable Sources of Variation)

(a) अंतर्निहित बदलांचे स्रोत (Inherent Sources of Variation)

अंतर्निहित बदलांचे स्रोत, ज्यांना Chance Causes किंवा Random Errors असेही म्हणतात, हे नैसर्गिक आणि अपरिहार्य चढ-उतार आहेत जे प्रत्येक प्रक्रियेत घडतात. हे बदल सूक्ष्म असतात, शोधणे कठीण असते आणि सांख्यिकीय निरीक्षणाशिवाय अनेकदा लक्षात येत नाहीत. ते सूक्ष्म घटकांमुळे होतात, जसे की यंत्रातील हलकी कंपने, वातावरणातील तापमानातील बदल, साहित्यामधील सूक्ष्म विसंगती, ई. सर्वोत्तम कार्यस्थितीतही हे बदल कायम राहतात आणि पूर्णपणे दूर करता येत नाहीत. त्यांचा परिणाम सामान्यतः लहान असतो, परंतु ते कोणत्याही स्थिर प्रक्रियेतील मूलभूत "noise" तयार करतात. हे बदल यादृच्छिक (random) आणि अनपेक्षित असल्यामुळे नियंत्रित करणे कठीण असते आणि प्रणालीचा अंतर्निहित भाग मानले जातात.

(b) नियोज्य बदलांचे स्रोत (Assignable Sources of Variation)

नियोज्य बदलांचे स्रोत म्हणजे असे कारणे जी ओळखता येतात, शोधता येतात आणि सुधारता येतात. नावाप्रमाणेच, या बदलांचे मूळ ज्ञात असते आणि ते Chance Causes पेक्षा मोठ्या प्रमाणात असतात. हे बदल प्रक्रियेत व्यत्यय किंवा बदल दर्शवतात आणि तपासणी किंवा विश्लेषणाद्वारे सहज ओळखता येतात.

नियोज्य बदलांचे प्रमुख घटक:

- यंत्रांमधील फरक (उदा. झीज, विसंगती)
- कामगारांमधील फरक (उदा. कौशल्य पातळी, लक्ष)
- साहित्यामधील विसंगती (उदा. दर्जा, रचना)
- कार्यस्थितीतील बदल (उदा. प्रकाश, तापमान)
- ऑपरेटरकडून झालेल्या चुका (उदा. चुकीची सेटिंग्ज, मोजमाप)
- गुणवत्ता-जागरूकतेचा अभाव

हे बदल निरीक्षण करणे अत्यंत महत्त्वाचे आहे कारण ते दोष किंवा प्रक्रियेतील कार्यक्षमता कमी होण्यास कारणीभूत ठरू शकतात. एकदा ओळखल्यानंतर, हे बदल दूर करता येतात, ज्यामुळे प्रक्रिया स्थिरता पुन्हा मिळते आणि उत्पादन गुणवत्ता सुधारते.

4.3 नियंत्रण आकृती (Control Charts)

व्याख्या: "नियंत्रण आकृती म्हणजे मोजलेल्या गुणवत्ता वैशिष्ट्यांची संकलित माहिती ग्राफिकल स्वरूपात दर्शविणारी आकृती, जी प्रक्रियेतील बदल ठरवलेल्या सहनशीलता मर्यादांपासून झालेला विचलन ओळखण्यासाठी वापरली जाते."

4.3.1 चलांसाठी नियंत्रण आकृती (Control Chart for Variables)

- चलांसाठी नियंत्रण आकृतीमध्ये फक्त चल डेटा (Variable Data) समाविष्ट असतो.
- सर्वाधिक वापरल्या जाणाऱ्या नियंत्रण आकृती म्हणजे:
 - \bar{X} आकृती (Mean Chart)
 - R आकृती (Range Chart)
 - σ आकृती (Standard Deviation Chart)

1. \bar{X} आणि R आकृती (\bar{X} and R Chart)

\bar{X} आणि R आकृती या सर्वाधिक वापरल्या जाणाऱ्या नियंत्रण आकृती आहेत, ज्या प्रक्रियेची सातत्यता (Consistency) आणि केंद्रबिंदू (Centering) वेळोवेळी निरीक्षण करण्यास मदत करतात. या आकृती प्रक्रियेची स्थिरता (Process Stability) याबद्दल मौल्यवान माहिती देतात आणि गुणवत्ता टिकवण्यासाठी सहनशीलता (Tolerance) समायोजित किंवा विस्तृत करण्याची गरज कधी आहे हे दर्शवतात. बदल ओळखण्यात त्यांच्या प्रभावीतेमुळे, या आकृती सांख्यिकीय प्रक्रिया नियंत्रण (Statistical Process Control – SPC) मध्ये सर्वाधिक वापरल्या जाणाऱ्या साधनांपैकी आहेत.

\bar{X} आणि R आकृती काढण्याची पद्धत (Procedure for Plotting \bar{X} and R Chart)

पायरी I : प्रत्येक उपगटाचा सरासरी \bar{X} आणि श्रेणी R काढा

- प्रत्येक नमुन्यासाठी सरासरी मूल्य (\bar{X}) आणि श्रेणी (R) काढणे आवश्यक आहे.
- उदाहरणार्थ, दिलेल्या उपगटासाठी जर मोजलेली परिमाणे X_1, X_2, X_3, X_4 आणि X_5 असतील, तर:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5}{5}$$

$$R = \text{Highest value} - \text{Smallest value}$$

पायरी II : एकूण सरासरी (Grand Average) $\bar{\bar{X}}$ आणि सरासरी श्रेणी R काढा

- सर्व उपगटांचे \bar{X} आणि R मूल्ये मिळाल्यानंतर, खालीलप्रमाणे गणना करा:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

$$\text{आणि } R = \frac{\sum R}{N}$$

जिथे, N = उपगटांची संख्या

पायरी III : \bar{X} आकृतीसाठी 3 सिग्मा (3σ) मर्यादा काढा

- या टप्प्यात वरची नियंत्रण मर्यादा (UCL) आणि खालची नियंत्रण मर्यादा (LCL) काढली जाते.
- UCL आणि LCL काढण्यासाठी विविध पद्धती आहेत:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + 3\sigma_{\bar{X}} \quad \text{and} \quad LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - 3\sigma_{\bar{X}}$$

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma'}{\sqrt{n}}$$

$$\text{जिथे, } \sigma' = \frac{R}{d_2}$$

किंवा

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 R \quad \text{and} \quad LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 R$$

A_2 चे मूल्य मानक तक्त्यातून घेतले जाते.

किंवा

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + A_1 \bar{\sigma} \quad \text{आणि} \quad LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_1 \bar{\sigma}$$

$$\text{जिथे, } \bar{\sigma} = \frac{\sum \sigma}{N}$$

पायरी IV : R आकृतीसाठी नियंत्रण मर्यादा काढा

- या टप्प्यात R साठी UCL आणि LCL काढली जाते:

$$UCL_R = D_4 \bar{R} \quad \text{आणि} \quad LCL_R = D_3 \bar{R}$$

किंवा

$$UCL_R = D_2 \sigma' \quad \text{आणि} \quad LCL_R = D_1 \sigma'$$

D_1, D_2, D_3 आणि D_4 चे मूल्य मानक तक्त्यातून घेतले जाते.

पायरी V : \bar{X} आणि R आकृती काढा

- \bar{X} आकृतीसाठी प्रथम एक ठोस आडवी मध्यरेषा (Central Line) \bar{X} दाखवा.
- नंतर वरची व खालची नियंत्रण मर्यादा (UCL आणि LCL) आडव्या तुटक रेषांनी दाखवा.
- उपगटांच्या सरासरी मूल्ये क्रमाने प्लॉट करा.
- R आकृतीसाठी प्रथम एक ठोस आडवी मध्यरेषा R दाखवा.

- नंतर वरची व खालची नियंत्रण मर्यादा आडव्या तुटक रेषांनी दाखवा.
- उपगटांच्या श्रेणी क्रमाने प्लॉट करा.

पायरी VI : नियंत्रण आकृतीतून निष्कर्ष काढा

- जर सर्व बिंदू नियंत्रण मर्यादांमध्ये असतील तर प्रक्रिया नियंत्रणाखाली (In Control) आहे असे मानले जाते.
- जर बिंदू नियंत्रण मर्यादेबाहेर गेले तर प्रक्रिया नियंत्रणाबाहेर (Out of Control) आहे असे मानले जाते.
- तथापि, जर 35 पैकी 1 किंवा 100 पैकी 2 बिंदू मर्यादेबाहेर गेले तरी ते स्वीकारले जाऊ शकते आणि प्रक्रिया नियंत्रणाखाली आहे असे मानले जाते.

4.3.1 गुणविशेषांसाठी नियंत्रण आकृती (Control Chart for Attributes)

गुणविशेषांसाठी नियंत्रण आकृती विशेषतः गुणविशेष डेटा (Attribute Data) निरीक्षण करण्यासाठी तयार केल्या जातात. गुणविशेष डेटा म्हणजे गुणात्मक माहिती, जसे की दोष उपस्थित आहे की नाही. या आकृती मोजमापांवर आधारित नसून मोजणी (Counts) किंवा वर्गीकरण (Classifications) यावर आधारित असतात. सामान्य प्रकारच्या गुणविशेष नियंत्रण आकृती मध्ये P आकृती (Proportion Chart), np आकृती (Number of Defectives Chart), C आकृती (Count of Defects Chart) यांचा समावेश होतो. P आकृती आणि np आकृती नमुन्यातील दोषयुक्त वस्तूंचे प्रमाण किंवा संख्या निरीक्षण करण्यासाठी वापरल्या जातात यामुळे प्रक्रियेची एकूण गुणवत्ता पातळी तपासता येते. तर C आकृती एका घटकात अनेक दोष असू शकतात अशा परिस्थितीत, प्रति घटक दोषांची संख्या निरीक्षण करण्यासाठी वापरली जाते. या आकृती गुणवत्ता नियंत्रणात महत्त्वाची भूमिका बजावतात कारण त्या गुणविशेष-आधारित डेटामधील प्रवृत्ती (Trends) आणि बदल (Variations) ओळखण्यास मदत करतात.

1. p-आकृती काढण्याची पद्धत (Procedure for Plotting p-Chart)

p-आकृती (Fraction Defectives Chart) खालील पायऱ्यांनुसार काढली जाते:

पायरी I: प्रत्येक उपगटासाठी तपासलेल्या भागांची संख्या आणि दोषयुक्त भागांची संख्या नोंदवा.

पायरी II: प्रत्येक उपगटासाठी दोषांचे प्रमाण (p) काढा:

$$p = \frac{\text{Number of defectives in subgroup}}{\text{Number of parts inspected in subgroup}} = \frac{np}{n}$$

पायरी III: सरासरी दोषांचे प्रमाण (\bar{p}) काढा:

$$\bar{p} = \frac{\text{Total number of defectives during a period}}{\text{Total number inspected during period}}$$

$$\bar{p} = \frac{\sum np}{\sum n}$$

पायरी IV: नियंत्रण मर्यादा (Control Limits) काढा:

$$UCL_p = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$\text{आणि } LCL_p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

पायरी V: p आकृती काढा:

- प्रथम मध्यरेषा (Central Line) म्हणून (\bar{p}) दाखवा.
- नंतर UCL आणि LCL आडव्या तुटक रेषांनी दाखवा.
- उपगटांचे p मूल्ये क्रमाने प्लॉट करा.

पायरी VI: निष्कर्ष काढा:

- सर्व बिंदू नियंत्रण मर्यादांमध्ये असतील तर प्रक्रिया नियंत्रणाखाली आहे.
- बिंदू मर्यादाबाहेर असतील तर प्रक्रिया नियंत्रणाबाहेर आहे.

2. np-आकृती काढण्याची पद्धत (Procedure for Plotting np-Chart)

np-आकृती (Number of Defectives Chart) खालील पायऱ्यांनुसार काढली जाते:

पायरी I: प्रत्येक उपगटासाठी तपासलेल्या भागांची संख्या आणि दोषयुक्त भागांची संख्या नोंदवा.

पायरी II: सरासरी दोषांचे प्रमाण (\bar{p}) काढा:

$$\bar{p} = \frac{\sum np}{\sum n}$$

पायरी III: नियंत्रण मर्यादा काढा:

$$UCL_{(np)} = n \bar{p} + 3 \sqrt{n \bar{p} (1 - \bar{p})}$$

$$\text{आणि } LCL_{(np)} = n \bar{p} - 3 \sqrt{n \bar{p} (1 - \bar{p})}$$

पायरी IV: np-आकृती काढा:

- प्रथम मध्यरेषा (Central Line) म्हणून ($n\bar{p}$) दाखवा.
- नंतर UCL आणि LCL आडव्या तुटक रेषांनी दाखवा.
- उपगटांचे दोषयुक्त भाग (np) क्रमाने प्लॉट करा.

पायरी V: निष्कर्ष काढा:

- सर्व बिंदू नियंत्रण मर्यादांमध्ये असतील तर प्रक्रिया नियंत्रणाखाली आहे.
- बिंदू मर्यादाबाहेर असतील तर प्रक्रिया नियंत्रणाबाहेर आहे.

3. C-आकृती काढण्याची पद्धत (Procedure for Plotting C-Chart)

C-आकृती (Number of Defects Chart) खालील पायऱ्यांनुसार काढली जाते:

पायरी I: प्रत्येक उपगटासाठी तपासलेल्या भागांची संख्या आणि दोषांची संख्या नोंदवा.

पायरी II: सरासरी दोषांची संख्या (\bar{C}) काढा:

$$\bar{C} = \frac{\text{Number of defects in all samples}}{\text{Total number of samples}}$$

पायरी III: नियंत्रण मर्यादा काढा:

$$UCL_C = \bar{C} + 3 \sqrt{\bar{C}}$$

$$\text{आणि } LCL_C = \bar{C} - 3 \sqrt{\bar{C}}$$

पायरी IV: C-आकृती काढा:

- प्रथम मध्यरेषा (Central Line) म्हणून (\bar{C}) दाखवा.
- नंतर UCL आणि LCL आडव्या तुटक रेषांनी दाखवा.
- नमुन्यांतील दोषांची संख्या (C) क्रमाने प्लॉट करा.

पायरी V: निष्कर्ष काढा:

- सर्व बिंदू नियंत्रण मर्यादांमध्ये असतील तर प्रक्रिया नियंत्रणाखाली आहे.
- बिंदू मर्यादाबाहेर असतील तर प्रक्रिया नियंत्रणाबाहेर आहे.

4.3.1 नियंत्रण आकृतीवरील उदाहरणात्मक संख्यात्मक प्रश्न (Sample Numericals on Control Charts)

1. 10 Samples of size 5 have been collected with following observations.

Sr. No.	\bar{X}	R
1.	2.011	0.011
2.	2.008	0.017
3.	2.001	0.009
4.	2.003	0.026
5.	1.998	0.27
6.	1.995	0.21
7.	1.997	0.014
8.	1.997	0.017
9.	2.002	0.023
10.	2.003	0.015

Given: $A_2 = 0.577$, $D_3 = 0$, $D_4 = 2.114$.

Draw the appropriate control chart and explain whether the process is in statistical control or not.

Ans: Here, $N = 10$

$$\therefore \bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{N}$$

$$\sum \bar{X} = 2.011 + 2.008 + 2.001 + 2.003 + 1.998 + 1.995 + 1.997 + 1.997 + 2.002 + 2.003$$

$$\sum \bar{X} = 20.015$$

$$\therefore \bar{\bar{X}} = \frac{20.015}{10}$$

$$\bar{\bar{X}} = 2.0015$$

$$\text{And } \bar{\bar{R}} = \frac{\sum R}{N}$$

$$\sum R = 0.011 + 0.017 + 0.009 + 0.026 + 0.27 + 0.21 + 0.014 + 0.023 + 0.015 + 0.017$$

$$\sum R = 0.612$$

$$\therefore \bar{\bar{R}} = \frac{0.612}{10}$$

$$\bar{\bar{R}} = 0.0612$$

- Control limits for \bar{X} chart -

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{\bar{R}} = 2.0015 + 0.577 \times 0.0612$$

$$UCL_{\bar{X}} = 2.0368$$

$$\text{And, } LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{\bar{R}} = 2.0015 - 0.577 \times 0.0612$$

$$LCL_{\bar{X}} = 1.9662$$

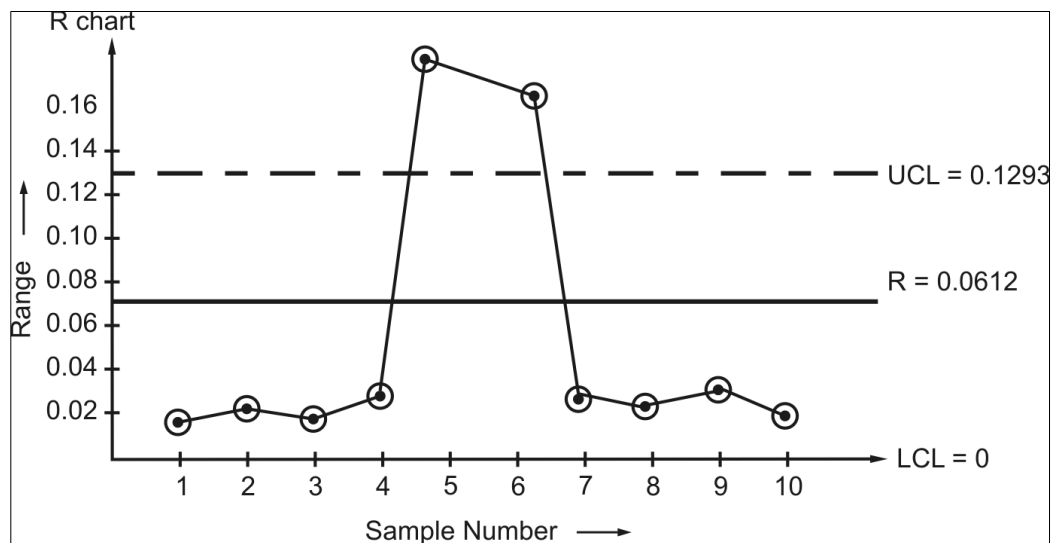
- Control limits of R-chart -

$$UCL_R = D_4 \bar{\bar{R}} = 2.114 \times 0.0612$$

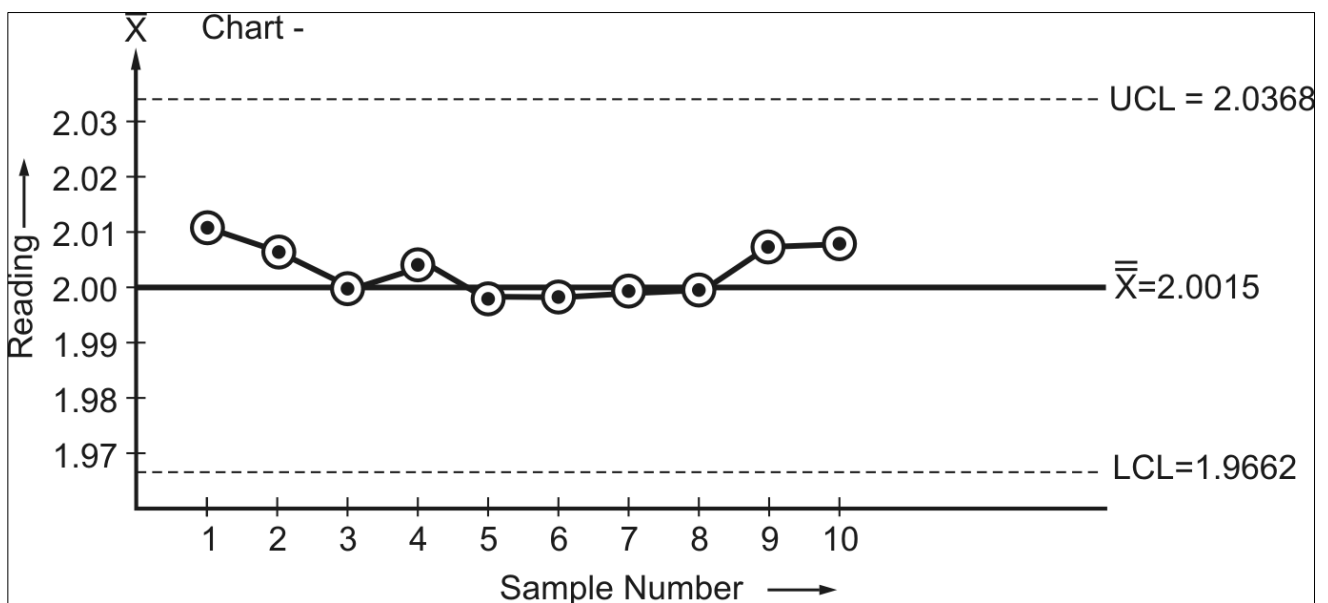
$$UCL_R = 0.1293$$

$$\text{And, } LCL_R = D_3 \bar{R} = 0 \times 0.0612$$

$$LCL_R = 0$$



- Actual chart-



Conclusion: For \bar{X} chart process is in control and for R chart process is not in control.

2. In a manufacturing process, the number of defectives found in the inspection of 15 lots of 400 items each are given below:

Lot No.	No. of defectives	Lot No.	No. of defectives
1	2	9	18
2	5	10	8
3	0	11	6
4	14	12	0
5	3	13	3
6	0	14	0
7	1	15	6
8	0		

(i) Determine the trial control limits of np chart and state whether the process is in control.

(ii) Calculate the new value of mean fraction defective if some obvious points outside control limits are eliminated. Also, calculate the corresponding upper and lower control limits and examine whether the process is still in control or not.

- **Ans:** Total number of defectives

$$\Sigma np = 2 + 5 + 0 + 14 + 3 + 0 + 1 + 0 + 18 + 8 + 6 + 0 + 3 + 0 + 6$$

$$\therefore \Sigma np = 66$$

5. Total number of items inspected.

$$\Sigma n = 400 \times 15 = 6000$$

- **Fraction defective:**

$$\bar{p} = \frac{\Sigma np}{\Sigma n}$$

$$\bar{p} = \frac{66}{6000}$$

$$\bar{p} = 0.011$$

$$\text{And, } n\bar{p} = 400 \times 0.011$$

$$n\bar{p} = 4.4$$

- **Control limits,**

$$UCL_{(np)} = n\bar{p} + 3 \sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} = 4.4 + 3 \sqrt{4.4(1-0.011)}$$

$$\therefore UCL_{(np)} = 10.658$$

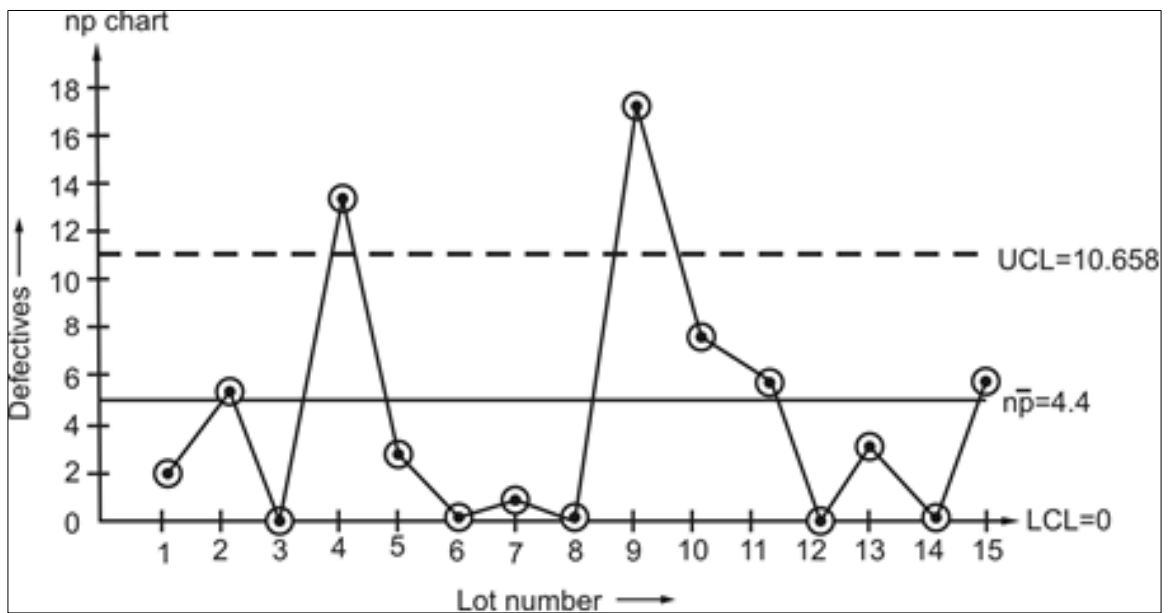
$$\text{And } LCL_{(np)} = n\bar{p} - 3 \sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

$$LCL_{(np)} = -1.858$$

6. As defectives are not negative, we will take

$$LCL_{(np)} = 0$$

- **Actual chart**



- Now, for lot 4 and lot 9 the points lie outside control limits.

7. By eliminating these two points we get,

$$\sum np = 66 - (14 + 18) = 34$$

$$\text{And, } \sum n = 13 \times 400 = 5200$$

$$\text{And, } \bar{p} = \frac{\sum np}{\sum n} = \frac{34}{5200} = 0.0065$$

$$\text{And, } n\bar{p} = 400 \times 0.0065 = 2.6153$$

$$\text{And, } UCL_{(np)} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

$$= 2.6153 + 3\sqrt{2.6153(1-0.0065)}$$

$$UCL_{(np)} = 7.4510$$

$$\text{And } LCL_{(np)} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

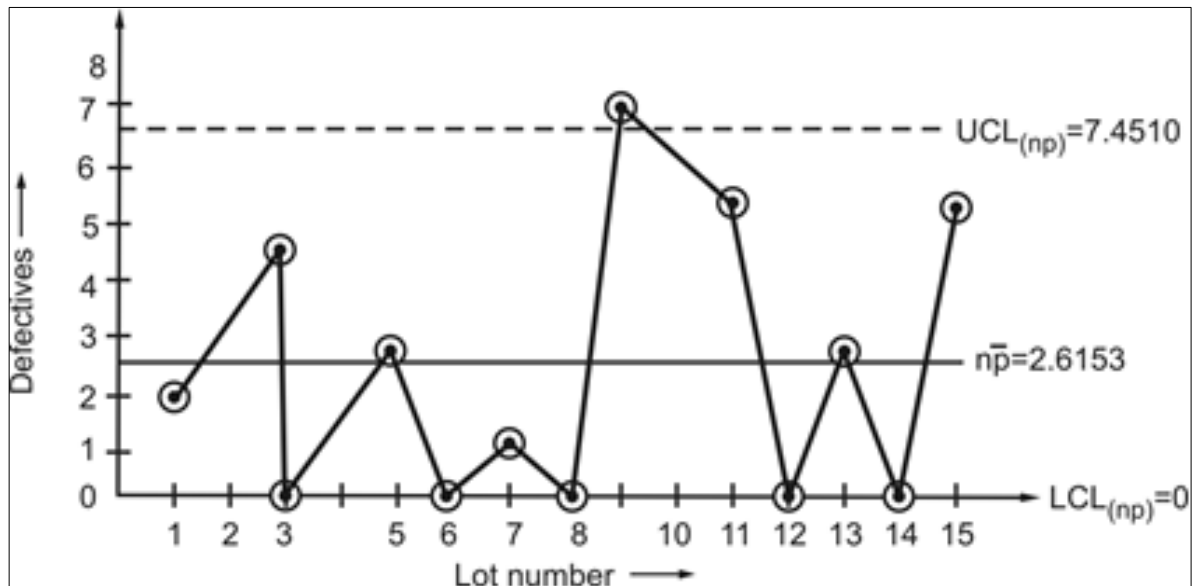
$$= 2.6153 - 3\sqrt{2.6153(1-0.0065)}$$

$$LCL_{(np)} = -2.2204$$

8. As defectives are not negative we will take,

$$LCL_{(np)} = 0$$

Again, plotting the chart we get.



Here, lot number 10 is out of control limit.
Therefore, process is not in control.

3. Following are the inspection results of castings for a shift. Draw appropriate control charts and write your conclusions.

Time (Hrs)	Number of defective castings	Castings inspected
7 am – 8 am	8	300
8 am – 9 am	7	350
9 am – 10 am	9	400
10 am – 11 am	6	400
11 am – 12 pm	4	350
12 pm – 01 pm	5	375
01 pm – 02 pm	4	350
02 pm – 03 pm	6	320

-
- **Ans: For the given data p chart has to be drawn**

∴ Total defectives

$$\sum np = 8 + 7 + 9 + 6 + 4 + 5 + 4 + 6$$

$$\therefore \sum np = 49$$

Total number of items inspected.

$$\sum n = 300 + 350 + 400 + 400 + 350 + 375 + 350 + 320$$

$$\therefore \sum n = 2845$$

- **Fraction defective**

$$p = \frac{np}{n}$$

For 1st lot,

$$p_1 = \frac{8}{300} = \mathbf{0.0266}$$

For 2nd lot,

$$p_2 = \frac{7}{350} = \mathbf{0.02}$$

For 3rd lot,

$$p_3 = \frac{9}{400} = \mathbf{0.0225}$$

For 4th lot,

$$p_4 = \frac{6}{400} = \mathbf{0.015}$$

For 5th lot,

$$p_5 = \frac{4}{350} = \mathbf{0.0114}$$

For 6th lot,

$$p_6 = \frac{5}{375} = \mathbf{0.0133}$$

For 7th lot,

$$p_7 = \frac{4}{350} = \mathbf{0.0114}$$

And for 8th lot,

$$p_8 = \frac{6}{320} = \mathbf{0.0187}$$

- **Average fraction defective**

$$\bar{p} = \frac{\sum np}{\sum n} = \frac{49}{2845}$$

$$\therefore \bar{p} = \mathbf{0.0172}$$

Average number of items inspected,

$$n = \frac{\text{Total number of items inspected}}{\text{Number of lots}} = \frac{2845}{8}$$

$$n = \mathbf{355.625}$$

- **Control limits**

$$UCL_p = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0.0172 + 3 \sqrt{\frac{0.0172(1-0.0172)}{355.625}}$$

$$UCL_p = \mathbf{0.0378}$$

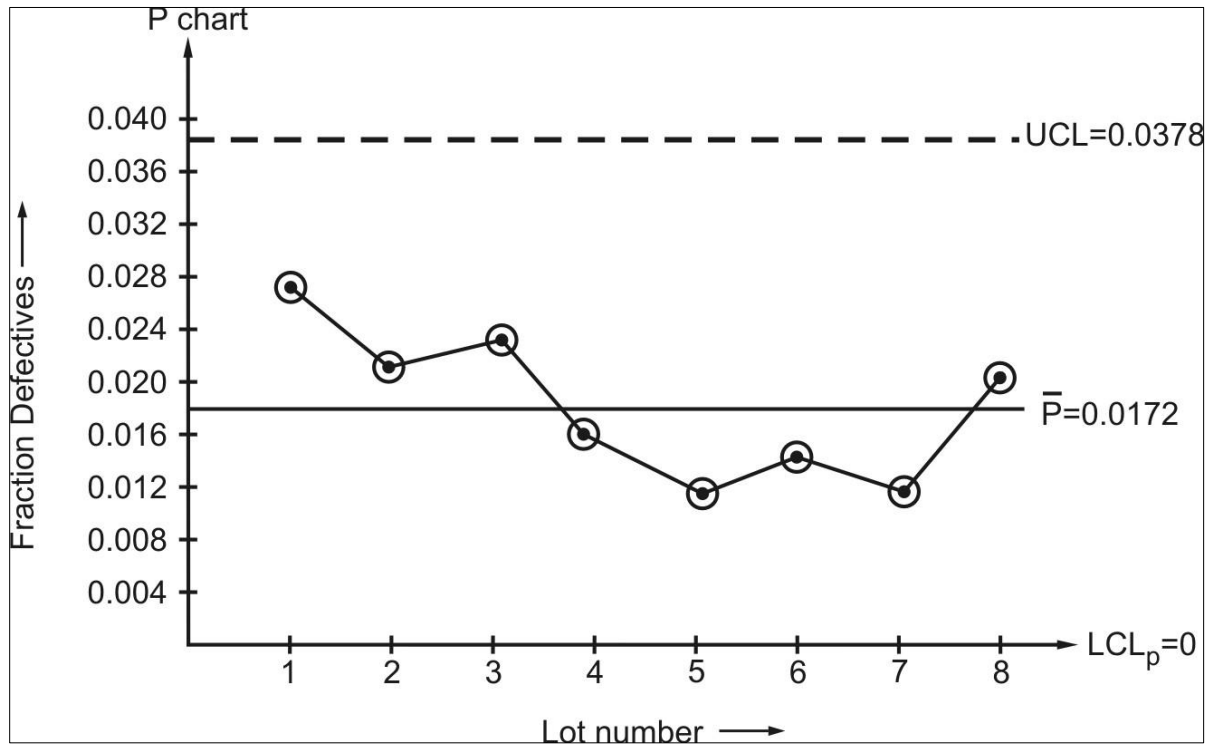
$$LCL_p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0.0172 - 3 \sqrt{\frac{0.0172(1-0.0172)}{355.625}}$$

$$LCL_p = \mathbf{-0.0034}$$

As fraction defective cannot be negative, we will take,

$$LCL_p = \mathbf{0}$$

Actual chart



Conclusion: As all points lie within control limits, process is in control.

4. The following table gives the numbers of missing rivets noted at aircraft final inspection.

Airoplane No.	Number of missing rivets	Airoplane number	Number of missing rivets
1	8	14	25
2	16	15	15
3	14	16	9
4	19	17	9
5	11	18	14
6	15	19	11
7	8	20	9
8	11	21	10
9	21	22	22
10	12	23	7
11	23	24	28
12	16	25	9
13	9		

Find C. Compute trial control limits and plot control chart for C. What values of C' would you suggest for the subsequent period?

- Ans: Total number of defects,
 Total number of defects = 8 + 16 + 14 + 19 + 11 + 15 + 8 + 11 + 21 + 12 + 23 + 16 + 9 + 25 + 15 + 9 + 9 + 14 + 11 + 9 + 10 + 22 + 7 + 28 + 9
 Total number of defects = 351
-

$$\bar{c} = \frac{\text{Total number of defects}}{\text{Total number of samples}} = \frac{351}{25}$$

$$\bar{c} = 14.04$$

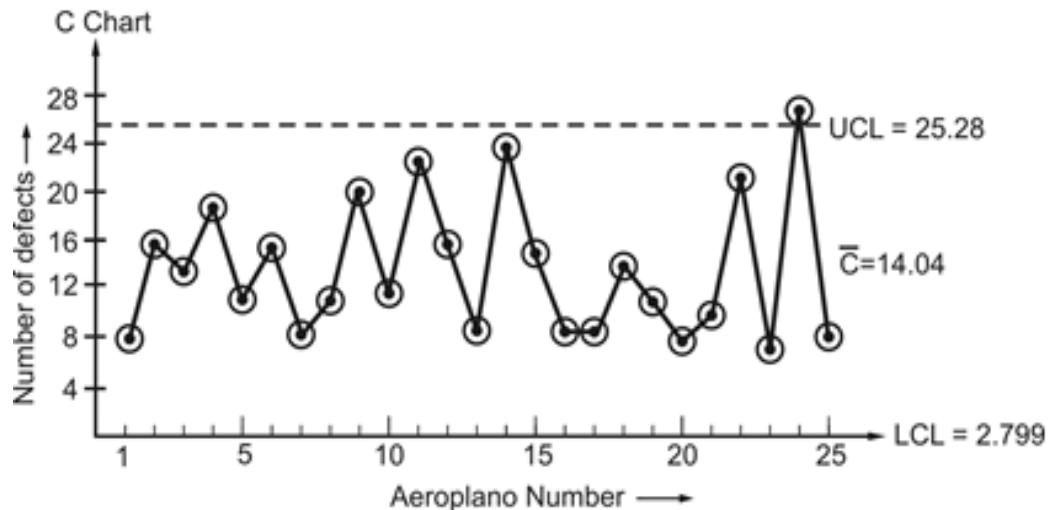
- **Control limits**

$$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 14.04 + 3\sqrt{14.04}$$

$$UCL_c = 25.28$$

$$LCL_c = 2.799$$

Actual chart



- **Conclusion:** For aeroplane No. 24 points lies outside control limit, so process is not in control.

- **To find c'-**

To find c' we will eliminate the point that is out of control.

∴ Now, eliminating for aeroplane no. 24, (as defects are 28)

$$\bar{c} = \frac{\text{Remaining defects}}{\text{Remaining lots}} = \frac{351 - 28}{24} = \frac{323}{24}$$

$$\bar{c} = 13.4583$$

Control limits

$$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 13.4583 + 3\sqrt{13.4583}$$

$$UCL_c = 24.4639$$

$$LCL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} = 13.4583 - 3\sqrt{13.4583}$$

$$LCL_c = 2.4526$$

In this case also we find that for aeroplane no. 14, there are 25 defects which is over control limit.

So, eliminating for aeroplane no. 14. (as defects are 25)

$$\bar{c} = \frac{\text{Remaining defects}}{\text{Remaining lots}} = \frac{323 - 25}{23} = \frac{298}{23}$$

$$\bar{c} = 12.9565$$

Control limits

$$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 12.9565 + 3\sqrt{12.9565}$$

$$UCL_c = 23.7550$$

$$LCL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} = 12.9565 - 3\sqrt{12.9565}$$

$$LCL_c = 2.1579$$

∴ For remaining lots, all points lie within control limits.

$$\therefore c' = \bar{c} = 12.9565$$

4.4 यंत्रांची प्रक्रिया क्षमता (Process Capability of Machines)

व्याख्या: "प्रक्रिया क्षमता म्हणजे विशिष्ट मापनातील किमान प्रसार (Minimum Spread) ज्यामध्ये दिलेल्या प्रक्रियेतील 99.7% मोजमापांचा समावेश होतो."

- प्रक्रिया क्षमता, ज्याला नैसर्गिक टॉलरन्स (Natural Tolerance) असेही म्हणतात, ही स्थिर परिस्थितीत चालणाऱ्या प्रक्रियेतील अंतर्निहित बदलशीलता (Inherent Variability) दर्शवते.
- ती परिमाणात्मक स्वरूपात $6\sigma'$ ने व्यक्त केली जाते, जिथे σ' म्हणजे प्रक्रियेचा मानक विचलन (Standard Deviation).
- या मूल्यामध्ये अपेक्षित उत्पादनाचा संपूर्ण प्रसार समाविष्ट होतो, म्हणजेच प्रक्रियेच्या सरासरीपासून (\bar{X}) $\pm 3\sigma'$ मर्यादित जवळपास सर्व (99.7%) डेटा बिंदू येतात.
- प्रक्रिया क्षमतेची दुसरी व्याख्या म्हणजे प्रक्रिया सातत्याने अशा उत्पादनांचे निर्माण करते जी ठरवलेल्या सहनशीलता मर्यादांमध्ये येतात.
- प्रक्रिया क्षमता अभ्यास (Process Capability Study) अभियंत्यांना हे मूल्यांकन करण्यास सक्षम करतो की प्रक्रिया या मर्यादांशी कितपत अनुरूप आहे, म्हणजेच सरासरीभोवती सहा-सिग्मा प्रसारात किती उत्पादने येतात.
- हा अभ्यास प्रक्रियेच्या सरासरीचे टॉलरन्स बँड (Tolerance Band) असलेले संरेखन (Alignment) दर्शवतो, ज्यामुळे कोणतेही बदल (Shift) किंवा विचलन (Drift) ओळखता येतात.
- याशिवाय, अशा अभ्यासांमुळे घटक-ते-घटक बदल (Piece-to-Piece Variation) ओळखता येतात आणि प्रत्यक्ष प्रक्रियेच्या वर्तनावर आधारित वास्तववादी सहनशीलता मर्यादा निश्चित करता येतात, मनमानी विशिष्टतेवर नव्हे.

4.4.1 यंत्रांची प्रक्रिया क्षमता (Process Capability of Machines)

पायरी I: ठरवलेली टॉलरन्स (Specified Tolerance) काढा. (USL – LSL)

जिथे, USL = वरची विशिष्टता मर्यादा (Upper Specification Limit)

LSL = खालची विशिष्टता मर्यादा (Lower Specification Limit)

पायरी II: प्रत्येक नमुन्याची सरासरी (\bar{X}) आणि श्रेणी (R) काढा.

पायरी III: प्रक्रियेचे केंद्रबिंदू (Centering) मोजण्यासाठी एकूण सरासरी (Grand Average – $\bar{\bar{X}}$) काढा.

पायरी IV: नियंत्रण मर्यादा (Control Limits) काढा आणि \bar{X} व R आकृती (Charts) प्लॉट करा, ज्यामुळे वेळेनुसार प्रक्रिया क्षमतेतील बदल समजतात.

पायरी V: प्रक्रिया क्षमता (Process Capability) $6\sigma'$ काढा, जिथे, $\sigma' = \frac{R}{d_2}$

4.4.2 Cp आणि Cpk गणना (Cp and Cpk Calculations)

प्रक्रिया क्षमता गुणोत्तर (Process Capability Ratio – Cp): Cp म्हणजे प्रक्रिया क्षमता गुणोत्तर, जे दर्शवते की दिलेल्या विशिष्टता मर्यादांमध्ये प्रक्रिया किती चांगल्या प्रकारे उत्पादन करू शकते.

सूत्र:

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

जिथे,

USL = वरची विशिष्टता मर्यादा (Upper Specification Limit)

LSL = खालची विशिष्टता मर्यादा (Lower Specification Limit)

σ = प्रक्रियेचे मानक विचलन (Standard Deviation of the Process)

Cp मूल्यांचे अर्थ (Interpretation of Cp Values)

- **Cp = 1**

- ठरवलेली सहनशीलता = प्रक्रियेची नैसर्गिक सहनशीलता.

- जर प्रक्रियेची सरासरी $\bar{X} = \frac{USL + LSL}{2}$, तर प्रक्रिया केंद्रित आहे आणि उत्पादनाच्या 99.73% परिमाणे ठरवलेल्या मर्यादांमध्ये येतात.

- **Cp < 1**

- ठरवलेली सहनशीलता नैसर्गिक सहनशीलतेपेक्षा अरुंद आहे.

- प्रक्रियेत दोषांचे प्रमाण वाढू शकते आणि सुधारात्मक उपाय आवश्यक आहेत (प्रक्रिया सुधारावी किंवा विशिष्टता मर्यादा वाढवाव्यात).

- **Cp > 1**

- ठरवलेली सहनशीलता नैसर्गिक सहनशीलतेपेक्षा विस्तृत आहे, जे सातत्यपूर्ण गुणवत्तेसाठी अनुकूल आहे.

प्रक्रिया क्षमता निर्देशांक (Process Capability Index – Cpk): Cpk म्हणजे प्रक्रिया क्षमता निर्देशांक, जो दर्शवतो की प्रक्रियेची सरासरी (Mean) विशिष्टता मर्यादांशी किती जवळ आहे.

सूत्र:

$$C_{pk} = \min \left[\frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}, \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma} \right]$$

हे सूत्र प्रक्रिया केंद्रित आहे की एका बाजूला झुकलेली आहे हे ठरवण्यास मदत करते.

उदाहरण 1:

USL = 16 ; LSL = 4

$\bar{X} = 10$; $\sigma = 2$

$$C_{pk} = \min \left[\frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}, \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma} \right] = \min \left[\frac{10 - 4}{3 \times 2}, \frac{16 - 10}{3 \times 2} \right]$$

$$= \min [1, 1]$$

$$\therefore C_{pk} = 1$$

याचा अर्थ 99.73% भाग ठरवलेल्या टॉलरन्स (Specified Tolerance) मध्ये येण्याची शक्यता आहे.

उदाहरण 2:

USL = 18 ; LSL = 0

$\bar{X} = 10$; $\sigma = 2$

$$C_{pk} = \min \left[\frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}, \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma} \right] = \min \left[\frac{10 - 0}{3 \times 2}, \frac{18 - 10}{3 \times 2} \right]$$

$$= \min [1.67, 1.33]$$

$$\therefore C_{pk} = 1.33$$

याचा अर्थ 99.99% भाग ठरवलेल्या टॉलरन्स (Specified Tolerance) मध्ये येण्याची शक्यता आहे.

4.5 स्वीकृती नमुना निवड (Acceptance Sampling)

व्याख्या: "स्वीकृती नमुना निवड (Acceptance Sampling) ही सांख्यिकीय गुणवत्ता नियंत्रणाची एक पद्धत आहे ज्यामध्ये उत्पादनाच्या संपूर्ण लॉटमधून प्रतिनिधिक नमुना तपासला जातो आणि त्यावरून संपूर्ण लॉट स्वीकारायचा की नाकारायचा याचा निर्णय घेतला जातो."

- मोठ्या प्रमाणावर उत्पादन करणाऱ्या उद्योगांमध्ये प्रत्येक उत्पादनाची तपासणी करणे (ज्याला 100% तपासणी म्हणतात) प्रत्यक्षात अशक्य असते, कारण उत्पादनांची संख्या खूप मोठी असते.
- अशा संपूर्ण तपासणीसाठी लागणारा खर्च आणि वेळ अत्यंत जास्त असतो.
- याशिवाय, काही तपासणी पद्धती जसे की विध्वंसक तपासणी (Destructive Testing), तपासलेले उत्पादन नष्ट करतात, ज्यामुळे ते विक्रीसाठी अनुपयुक्त ठरते.
- या अडचणींमुळे 100% तपासणी आर्थिकदृष्ट्या व्यवहार्य ठरत नाही.
- स्वीकृती नमुना निवड (Acceptance Sampling) ही एक व्यावहारिक पद्धत आहे ज्यामध्ये संपूर्ण लॉटमधून निवडक नमुने तपासले जातात.
- नमुन्यात आढळलेल्या दोषयुक्त वस्तूंच्या संख्येवरून संपूर्ण लॉट स्वीकारायचा की नाकारायचा याचा निर्णय घेतला जातो.
- ही पद्धत जलद, अधिक किफायतशीर असून तपासणी कर्मचाऱ्यांवरील ताण कमी करते.
- तसेच, तपासणीदरम्यान होणारी थकवा, एकसुरीपणा आणि हाताळणीमुळे होणारे नुकसान कमी करते.
- तथापि, स्वीकृती नमुना निवडीला काही मर्यादा आहेत.
- ही पद्धत संपूर्ण तपासणीच्या तुलनेत कमी तपशीलवार माहिती देते आणि पूर्णपणे विशिष्टतेशी अनुरूपता हमी देऊ शकत नाही, ज्यामुळे चुकीचे गुणवत्ता निर्णय होण्याचा धोका असतो.
- या पद्धतीची परिणामकारकता खालील घटकांवर अवलंबून असते:
 - नमुना निवडीतील यादृच्छिकता (Randomness of Sampling)
 - तपासल्या जाणाऱ्या गुणवत्ता वैशिष्ट्यांचे स्वरूप
 - लॉटचा आकार (Batch Size)
 - स्वीकार निकष (Acceptance Criteria)
- याशिवाय, विश्वासार्हता आणि सातत्य सुनिश्चित करण्यासाठी काळजीपूर्वक नियोजन आणि दस्तऐवजीकरण आवश्यक असते.

4.5.1 100% तपासणीशी तुलना (Comparison with 100% Inspection)

अ. क्र.	परिमाण (Parameter)	स्वीकृती नमुना निवड (Acceptance Sampling)	100% तपासणी (100% Inspection)
1	तपासणीचा व्याप्ती (Scope of Inspection)	फक्त लॉटमधील नमुने तपासले जातात.	संपूर्ण लॉट १००% तपासला जातो.
2	वेळेची गरज (Time Requirement)	कमी वेळ लागतो.	जास्त वेळ लागतो.
3	खर्च (Cost Involved)	कमी खर्च येतो.	जास्त खर्च येतो.
4	तपासणी थकवा (Inspection Fatigue)	तपासणी थकवा कमी होतो.	तपासणी थकवा निर्माण होतो.
5	मनुष्यबळाची गरज (Manpower Requirement)	कमी तपासणी कर्मचारी लागतात.	जास्त तपासणी कर्मचारी लागतात.

अ. क्र.	परिमाण (Parameter)	स्वीकृती नमुना निवड (Acceptance Sampling)	100% तपासणी (100% Inspection)
6	मिळणारी माहिती (Information Obtained)	उत्पादनाबद्दल कमी माहिती मिळते.	उत्पादनाबद्दल जास्त माहिती मिळते.
7	नियोजन व दस्तऐवजीकरण (Planning & Documentation)	अतिरिक्त नियोजन व दस्तऐवजीकरण आवश्यक.	अतिरिक्त नियोजन व दस्तऐवजीकरण आवश्यक नाही.
8	चुकीच्या निर्णयाचा धोका (Risk of Wrong Decision)	गुणवत्तेबद्दल चुकीचा निर्णय होण्याचा धोका असतो.	गुणवत्तेबद्दल चुकीचा निर्णय होण्याचा धोका नसतो.
9	वस्तूंची हाताळणी (Handling of Items)	वस्तूंची कमी हाताळणी होते.	वस्तूंची जास्त हाताळणी होते.

4.5.2 कार्य वैशिष्ट्य वक्र (Operating Characteristics – OC Curve)

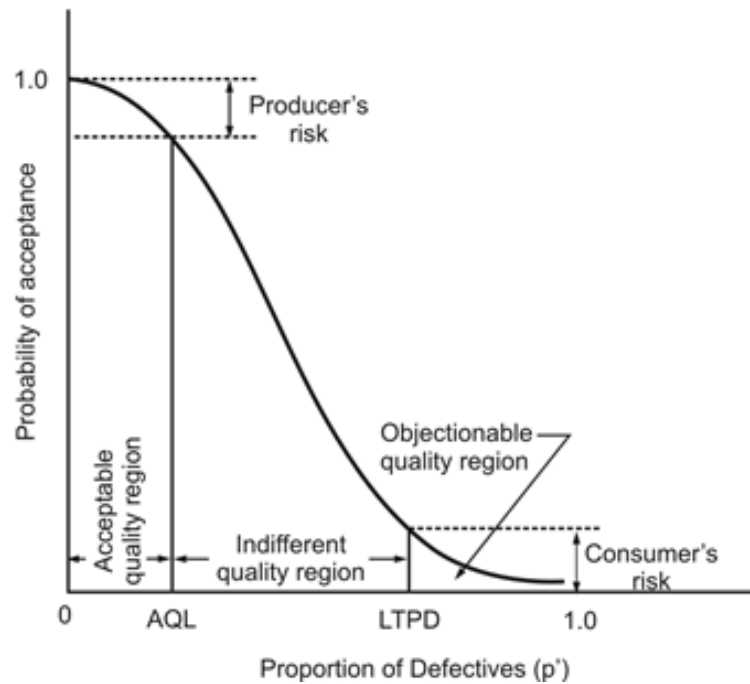


Fig 4.1 कार्य वैशिष्ट्य वक्र

- OC वक्र ही नमुना तपासणीमध्ये वापरली जाणारी ग्राफिकल साधन आहे, जी नमुना योजनेची परिणामकारकता (Effectiveness of Sampling Plan) मूल्यांकन करण्यासाठी वापरली जाते.
- हे वक्र लॉटमधील दोषांचे प्रमाण (Fraction Defective – p) यावर आधारित संपूर्ण लॉट स्वीकारण्याची शक्यता (Probability of Acceptance – P_a) दर्शवते.
- X-अक्ष: लॉटमधील दोषांचे प्रमाण (p)
- Y-अक्ष: लॉट स्वीकारण्याची शक्यता (P_a)
- हे वक्र उत्पादक (Producers) आणि ग्राहक (Consumers) दोघांनाही गुणवत्ता नियंत्रणादरम्यान लॉट स्वीकारणे किंवा नाकारणे यामध्ये असलेले धोके समजून घेण्यास मदत करते.

4.5.3 आदर्श OC वक्र (Ideal OC Curve)

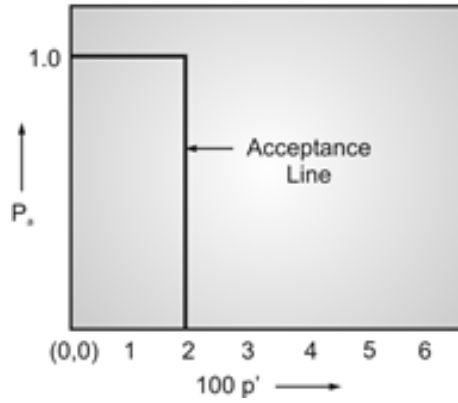


Fig.4.2 आदर्श OC वक्र

- आदर्श OC वक्र ही एक सैद्धांतिक (Theoretical) मांडणी आहे जिथे:
 - सर्व चांगले लॉट (ज्यात दोष \leq AQL असतात) 100% शक्यतेने स्वीकारले जातात.
 - सर्व वाईट लॉट (ज्यात दोष \geq LTPD असतात) 0% शक्यतेने नाकारले जातात.
- या वक्रामध्ये $P_a = 1$ पासून $P_a = 0$ पर्यंत विशिष्ट दोष पातळीवर अचानक उभा उतार (Vertical Drop) दिसतो.
- प्रत्यक्षात असा तीव्र बदल शक्य नसतो, परंतु तो वास्तविक नमुना योजना (Sampling Plans) मूल्यांकन करण्यासाठी मानक (Benchmark) म्हणून वापरला जातो.

4.5.4 OC वक्राचे परिमाण (Parameters of OC Curve)

1. उत्पादकाचा धोका (Producer's Risk – α)

- याला प्रकार I त्रुटी (Type I Error) असेही म्हणतात.
- चांगल्या गुणवत्तेचा लॉट (ज्यात दोष \leq AQL असतात) चुकीने नाकारला जाण्याचा धोका.
- सामान्यतः मूल्ये 1% ते 10% दरम्यान असतात.
- स्वीकारार्ह उत्पादने अनावश्यकपणे नाकारली जाऊ नयेत म्हणून उत्पादकांसाठी महत्त्वाचे.

2. ग्राहकाचा धोका (Consumer's Risk – β)

- याला प्रकार II त्रुटी (Type II Error) असेही म्हणतात.
- वाईट गुणवत्तेचा लॉट (ज्यात दोष \geq LTPD असतात) चुकीने स्वीकारला जाण्याचा धोका.
- कमी गुणवत्तेच्या उत्पादनांपासून संरक्षण मिळवण्यासाठी तपासणीवर अवलंबून असलेल्या ग्राहकांसाठी अत्यंत महत्त्वाचे.

3. स्वीकारार्ह गुणवत्ता पातळी (Acceptable Quality Level – AQL)

- प्रक्रियेच्या सरासरी म्हणून स्वीकारार्ह मानली जाणारी दोषांची कमाल पातळी.
- AQL चा वापर अशा नमुना योजनांसाठी केला जातो ज्यामध्ये दोष \leq AQL असलेले लॉट उच्च शक्यतेने स्वीकारले जातात.
- उदाहरण: जर AQL = 1% असेल, तर $\leq 1\%$ दोष असलेले लॉट सामान्यतः स्वीकारले जातात.

4. लॉट सहनशीलता टक्केवारी दोष (Lot Tolerance Percentage Defective – LTPD)

- अस्वीकार्य मानली जाणारी दोषांची कमाल पातळी.
- याला Rejectable Quality Level (RQL) असेही म्हणतात.
- नमुना योजना दोष \geq LTPD असलेले लॉट उच्च शक्यतेने नाकारण्यासाठी तयार केल्या जातात.
- उदाहरण: जर LTPD = 6% असेल, तर $\geq 6\%$ दोष असलेले लॉट नाकारले पाहिजेत.

5. उदासीन गुणवत्ता पातळी (Indifference Quality Level – IQL)

- अशी गुणवत्ता पातळी जिथे स्वीकारण्याची शक्यता नेमकी 50% असते.
- AQL आणि LTPD यांच्या दरम्यान असते.

- OC वक्रातील तटस्थ बिंदू दर्शवते, जिथे नमुना योजना लॉट स्वीकारण्याची किंवा नाकारण्याची समान शक्यता दर्शवते.

6. सरासरी बाहेर जाणारी गुणवत्ता (Average Outgoing Quality – AOQ)

- तपासणीनंतर बाहेर जाणाऱ्या उत्पादनातील सरासरी दोष पातळी.
- यात समाविष्ट:
 - o स्वीकारलेले लॉट (दोषांसह p).
 - o नाकारलेले लॉट (100% तपासलेले आणि सुधारलेले).
- सुधारणा (Rectification) झाल्यामुळे AOQ नेहमी p पेक्षा कमी किंवा समान असते.
- दीर्घकालीन उत्पादन गुणवत्तेचे मूल्यांकन करण्यासाठी उपयुक्त.

7. सरासरी बाहेर जाणारी गुणवत्ता मर्यादा (Average Outgoing Quality Limit – AOQL)

- दिलेल्या नमुना योजनेखाली होऊ शकणारी कमाल AOQ.
- तपासणी व सुधारणा झाल्यानंतरची सर्वात वाईट परिस्थितीतील बाहेर जाणारी गुणवत्ता दर्शवते.
- AOQL दीर्घकालीन गुणवत्ता हमी (Quality Assurance) सुनिश्चित करण्यासाठी एक महत्त्वाचा निर्देशक आहे.

4.6 नमुना योजना (Sampling Plans)

1. एकल नमुना योजना (Single Sampling Plan)

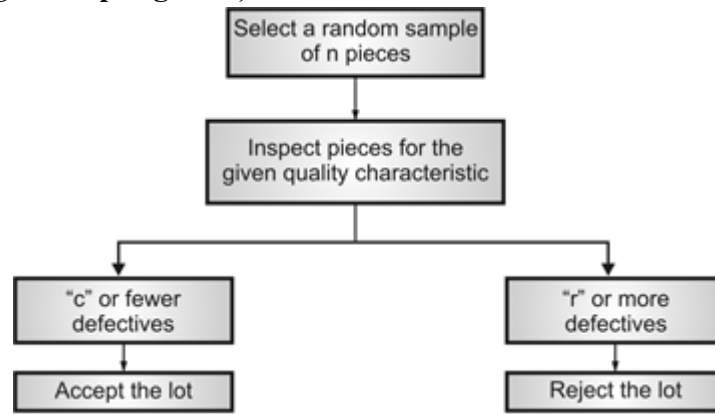


Fig 4.3 एकल नमुना योजना

- एकल नमुना योजना ही स्वीकार नमुना (Acceptance Sampling) मधील सर्वात सोपी आणि सर्वाधिक वापरली जाणारी पद्धत आहे.
- या योजनेत संपूर्ण लॉट स्वीकारायचा की नाकारायचा याचा निर्णय फक्त एका यादृच्छिकपणे निवडलेल्या नमुन्याच्या तपासणी निकालावर आधारित असतो.
- प्रक्रियेमध्ये मोठ्या लॉट (N) मधून आकार n असलेला नमुना निवडला जातो आणि त्या नमुन्यातील दोषयुक्त वस्तूंची संख्या मोजली जाते.
- जर दोषयुक्त वस्तूंची संख्या स्वीकार संख्या (c) इतकी किंवा त्यापेक्षा कमी असेल, तर संपूर्ण लॉट स्वीकारला जातो.
- परंतु, जर दोषयुक्त वस्तूंची संख्या नाकारण संख्या (r) इतकी किंवा त्यापेक्षा जास्त असेल, तर लॉट नाकारला जातो.
- सामान्यतः नाकारण संख्या $r = c + 1$ अशी ठरवली जाते, ज्यामुळे स्वीकार आणि नकार यांच्यात स्पष्ट सीमा राहते.
- ही पद्धत सोपी, किफायतशीर आणि अंमलात आणण्यास सुलभ असल्यामुळे उत्पादन व निर्मिती क्षेत्रातील नियमित गुणवत्ता नियंत्रणासाठी उपयुक्त आहे.
- या योजनेतील प्रमुख परिमाणे—
 - o N = लॉटचा आकार (Lot Size)
 - o n = नमुन्याचा आकार (Sample Size)
 - o c = स्वीकार संख्या (Acceptance Number)

○ r = नाकारण संख्या (Rejection Number)

यांची निवड उत्पादक आणि ग्राहक दोघांच्या धोके संतुलित ठेवण्यासाठी तसेच तपासणी कार्यक्षमता टिकवण्यासाठी काळजीपूर्वक केली पाहिजे.

2. दुहेरी नमुना योजना (Double Sampling Plan)

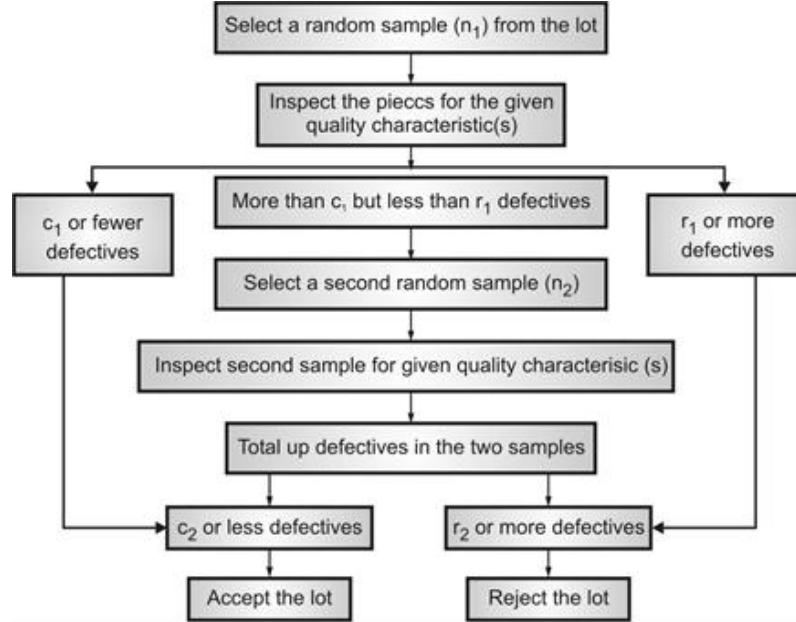


Fig 4.4 दुहेरी नमुना योजना

- दुहेरी नमुना योजना ही स्वीकार नमुना (Acceptance Sampling) मधील अधिक परिष्कृत तपासणी पद्धत आहे, ज्यामध्ये संपूर्ण लॉट स्वीकारायचा की नाकारायचा याचा निर्णय दोन अनुक्रमिक नमुन्यांच्या निकालांवर आधारित असतो.
- सुरुवातीला, लॉट (N) मधून आकार n_1 असलेला पहिला नमुना घेतला जातो आणि तपासला जातो.
- जर दोषयुक्त वस्तूची संख्या पहिल्या स्वीकार संख्या (c_1) इतकी किंवा त्यापेक्षा कमी असेल, तर लॉट त्वरित स्वीकारला जातो.
- जर दोषयुक्त वस्तूची संख्या पहिल्या नाकारण संख्या (r_1) इतकी किंवा त्यापेक्षा जास्त असेल, तर लॉट पुढील तपासणी न करता नाकारला जातो.
- परंतु, जर दोषयुक्त वस्तूची संख्या c_1 आणि r_1 यांच्या दरम्यान असेल, तर दुसरा नमुना (आकार n_2) घेतला जातो आणि तपासला जातो.
- दोन्ही नमुन्यांतील एकूण दोषयुक्त वस्तूची संख्या दुसऱ्या स्वीकार संख्या (c_2) आणि नाकारण संख्या (r_2) यांच्याशी तुलना केली जाते.
- जर एकूण दोषयुक्त वस्तूची संख्या $\leq c_2$ असेल, तर लॉट स्वीकारला जातो; आणि जर $\geq r_2$ असेल, तर लॉट नाकारला जातो.
- ही योजना तपासणीचा प्रयत्न आणि निर्णयाची अचूकता यामध्ये संतुलन साधते, अनावश्यक नकार कमी करते आणि गुणवत्ता हमी टिकवून ठेवते.
- या योजनेतील प्रमुख परिमाणे—
 - N = लॉटचा आकार (Lot Size)
 - n_1 आणि n_2 = नमुन्यांचे आकार (Sample Sizes)
 - c_1, c_2 = स्वीकार संख्या (Acceptance Numbers)
 - r_1, r_2 = नाकारण संख्या (Rejection Numbers)

यांची निवड तपासणी कार्यक्षमता वाढवण्यासाठी आणि उत्पादक व ग्राहक दोघांचे धोके कमी करण्यासाठी काळजीपूर्वक केली पाहिजे.

3. बहु-नमुना योजना (Multiple Sampling Plan)

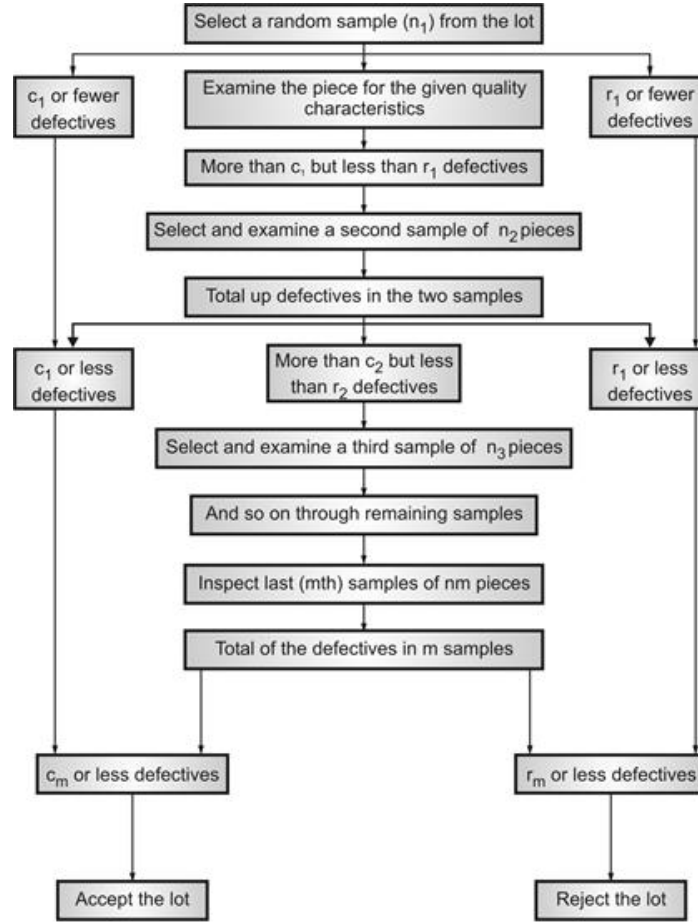


Fig 4.5 बहु-नमुना योजना

- बहु-नमुना योजना ही स्वीकार नमुना (Acceptance Sampling) मधील प्रगत तपासणी पद्धत आहे, ज्यामध्ये संपूर्ण लॉट स्वीकारायचा की नाकारायचा याचा निर्णय दोनपेक्षा अधिक अनुक्रमिक नमुन्यांच्या निकालांवर आधारित असतो.
- ही योजना मूलतः दुहेरी नमुना योजनेचा विस्तार आहे, जी तपासणी निर्णयांमध्ये अधिक लवचिकता आणि नियंत्रण प्रदान करते.
- या योजनेत प्रथम एक छोटा नमुना तपासला जातो आणि त्यातील दोषयुक्त वस्तूंच्या संख्येवर आधारित खालीलपैकी एक कृती केली जाते:
 - o लॉट स्वीकारणे
 - o लॉट नाकारणे
 - o किंवा पुढील तपासणीसाठी आणखी एक नमुना घेणे
- ही प्रक्रिया अनेक टप्प्यांमध्ये चालू राहते, जोपर्यंत अंतिम निर्णय घेतला जात नाही.
- प्रत्येक टप्प्याला स्वतःचे स्वीकार निकष (Acceptance Criteria) आणि नाकारण निकष (Rejection Criteria) असतात, जे तपासणीचा प्रयत्न आणि निर्णयाची अचूकता यामध्ये संतुलन राखण्यासाठी काळजीपूर्वक तयार केलेले असतात.
- ही योजना सरासरी नमुना संख्या (ASN – Average Sample Number) कमी करण्यात मदत करते, विशेषतः जेव्हा लॉटची गुणवत्ता स्पष्टपणे चांगली किंवा वाईट असते, ज्यामुळे लवकर निर्णय घेता येतो.

- या योजनेतील प्रमुख परिमाणे:
 - o N = लॉटचा आकार (Lot Size)
 - o n_1, n_2, n_3, \dots = प्रत्येक टप्प्यातील नमुन्यांचे आकार (Sample Sizes at Each Stage)
 - o c_1, c_2, c_3, \dots = स्वीकार संख्या (Acceptance Numbers)
 - o r_1, r_2, r_3, \dots = नाकारण संख्या (Rejection Numbers)
- बहु-नमुना योजना विशेषतः मोठ्या प्रमाणावर उत्पादन (High-Volume Production) करणाऱ्या उद्योगांमध्ये उपयुक्त ठरते, जिथे तपासणी कार्यक्षमता आणि धोका नियंत्रण अत्यंत महत्त्वाचे असते.

4.7 नमुना पद्धती (Sampling Methods)

a) साधी यादृच्छिक नमुना पद्धत (Simple Random Sampling)

साधी यादृच्छिक नमुना पद्धत ही लॉटमधून नमुना निवडण्याची सर्वात मूलभूत आणि पक्षपातविरहित पद्धत आहे. या पद्धतीत लॉटमधील प्रत्येक घटकाला निवडले जाण्याची समान शक्यता असते, ज्यामुळे न्याय्यतेची आणि यादृच्छिकतेची खात्री मिळते. कारण लॉटच्या गुणवत्तेबद्दलचा अंतिम निर्णय फक्त नमुन्यावर आधारित असतो, त्यामुळे नमुना संपूर्ण लॉटचे अचूक प्रतिनिधित्व करणे अत्यावश्यक आहे. पक्षपात टाळण्यासाठी नमुन्याचा आकार पुरेसा मोठा असावा आणि विशेषतः मोठ्या प्रमाणातील साहित्य किंवा थरांमध्ये पॅकिंग असताना वरच्या, मधल्या आणि खालच्या सर्व स्थानांमधून वस्तूंचा समावेश केला पाहिजे. ही पद्धत तिच्या साधेपणा आणि सांख्यिकीय विश्वासाहर्तेमुळे गुणवत्ता नियंत्रणात मोठ्या प्रमाणावर वापरली जाते.

b) प्रणालीबद्ध नमुना पद्धत (Systematic Sampling)

प्रणालीबद्ध नमुना पद्धत ही व्यावहारिक आणि कार्यक्षम पद्धत आहे, जी लॉटमधील वस्तू नियमित किंवा सुव्यवस्थित क्रमाने मांडलेल्या असताना वापरली जाते. प्रक्रियेची सुरुवात एका वस्तूची यादृच्छिक निवड करून होते, आणि नंतर ठराविक अंतराने (उदा. प्रत्येक 5वी किंवा 10वी वस्तू) पुढील वस्तू निवडल्या जातात. ही पद्धत साध्या यादृच्छिक नमुना पद्धतीसारखीच न्याय्य आहे, जोपर्यंत वस्तूंच्या मांडणीत कोणताही हस्तक्षेप किंवा ठराविक नमुना (Pattern) नाही. ही पद्धत विशेषतः असेंब्ली लाईन किंवा सतत उत्पादन प्रणालींमध्ये उपयुक्त ठरते, जिथे वस्तू पूर्वनिश्चित क्रमाने प्रवाहित होतात.

c) द्वि-स्तरीय नमुना पद्धत (Two-Stage Sampling)

द्वि-स्तरीय नमुना पद्धत मोठ्या लॉटसाठी आदर्श आहे, जे पॅकेजेस किंवा कंटेनरमध्ये विभागलेले असतात आणि प्रत्येकामध्ये अनेक वस्तू असतात. निवडलेल्या पॅकेजमधील सर्व वस्तू तपासण्याऐवजी—जे वेळखाऊ आणि खर्चिक असू शकते—नमुना दोन टप्प्यांत घेतला जातो. पहिल्या टप्प्यात, पॅकेजेस (प्राथमिक युनिट्स) यादृच्छिकपणे निवडले जातात. दुसऱ्या टप्प्यात, निवडलेल्या पॅकेजेसमधून वस्तूंची यादृच्छिक निवड केली जाते. ही पद्धत तपासणीचा प्रयत्न कमी करते आणि तरीही सांख्यिकीय वैधता टिकवते, ज्यामुळे ती मोठ्या प्रमाणातील शिपमेंट्स, बॉक्स केलेल्या वस्तू किंवा पॅलेटाइज्ड साहित्यांसाठी उपयुक्त ठरते.

d) स्तरित नमुना पद्धत (Stratified Sampling)

स्तरित नमुना पद्धतीत संपूर्ण लॉट समान वैशिष्ट्यांवर आधारित उपगटांमध्ये किंवा स्तरांमध्ये विभागला जातो, जसे की आकार, प्रकार, रंग किंवा उत्पादन बॅच. स्तर तयार झाल्यानंतर प्रत्येक उपगटातून यादृच्छिक नमुने निवडले जातात. ही पद्धत अंतिम नमुन्यात लॉटमधील सर्व श्रेणींचा समावेश सुनिश्चित करते, ज्यामुळे तपासणी निकालांची अचूकता आणि सुसंगतता सुधारते. स्तरित नमुना विशेषतः उपयुक्त असतो जेव्हा लॉट विषम (Heterogeneous) असतो आणि वेगवेगळ्या विभागांमध्ये गुणवत्तेची पातळी किंवा दोष दर वेगवेगळे असू शकतात.

e) समूह नमुना पद्धत (Cluster Sampling)

समूह नमुना पद्धत लॉटमधील वस्तू नैसर्गिकरित्या समूहांमध्ये विभागलेल्या असतात, जसे की कार्टन, बॉक्स किंवा बंडल्स. संपूर्ण लॉटमधून स्वतंत्र वस्तू निवडण्याऐवजी, काही समूह यादृच्छिकपणे निवडले जातात आणि त्या समूहांतील सर्व वस्तू तपासल्या जातात. ही पद्धत उपयुक्त ठरते जेव्हा सर्व कंटेनर उघडणे किंवा पुन्हा पॅक करणे शक्य नसते, जसे की सीलबंद कार्टन किंवा मोठ्या प्रमाणातील पॅकिंग. समूह नमुना हाताळणीचा प्रयत्न कमी करतो आणि तेव्हा प्रभावी ठरतो जेव्हा समूह अंतर्गत एकसमान (Homogeneous) असतात, म्हणजे प्रत्येक समूहातील वस्तूंची गुणवत्ता सारखी असते.

Exercise:**TLO 4.1 Explain SQC and its importance.**

1. Define Statistical Quality Control.
2. List any four objectives of SQC.
3. Explain how SQC helps reduce rejection rates.
4. Enlist any four benefits of using SQC in production.
5. Explain why accurate data collection is important in SQC.

TLO 4.2 Differentiate variables and attribute data.

1. Define variable measurement with one example.
2. List any two characteristics of attribute data.
3. Differentiate between variable data and attribute data.
4. Enlist any four causes of inherent variation in manufacturing.
5. List any four sources of assignable variation.

TLO 4.3: Draw control charts for variables and attributes.

1. Define a control chart in quality control.
2. List any two types of control charts for variables.
3. In a lot of 50 pieces, each subgroup is of 5 pieces and for 10 subgroups \bar{X} and R values for the length of pieces is as under.

Sr. No.	\bar{X}	R
1.	2.12	0.03
2.	1.99	0.01
3.	1.80	0.02
4.	2.00	0.04
5.	1.99	0.02
6.	2.45	0.01
7.	1.85	0.05
8.	1.70	0.04
9.	1.98	0.06
10.	2.30	0.03

Given data: $A_2 = 0.577$, $D_3 = 0$, $D_4 = 2.11$, $d_2 = 2.362$

By using general formulae prepare \bar{X} and R chart and write interpretation of chart.

4. In a manufacturing process, the number of defectives found in the inspection of 10 lots of 400 items each are given below:

Lot Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Number of Defectives	2	0	14	3	1	18	6	0	3	6

Determine the trial control limits of np chart and state whether the process is in control.

5. Following are the inspection results of soldered PCB boards for 6 days. Draw proper control chart and conclude.

Day	1	2	3	4	5	6
Number of PCB checked	20	25	22	20	25	24
Defects found	4	3	2	3	4	2

TLO 4.4: Determine process capability of a given manufacturing process.

1. Define process capability.
2. List the steps to calculate process capability of machines.
3. Explain the meaning of $C_p = 1$ in process capability analysis.
4. State the formula used to calculate C_{pk} .
5. State the significance of $6\sigma'$ in process capability study

TLO 4.5: Explain different types of sampling plan.

1. Define acceptance sampling in quality control.
2. Differentiate between acceptance sampling and 100% inspection on the basis of Scope of Inspection, Time Requirement, Cost Involved, Inspection Fatigue, Manpower Requirement, Information Obtained
3. Explain Operating Characteristic (OC) curve with neat sketch.
4. Explain single sapling plan.
5. Enlist the methods of sampling.

युनिट 5

संगणकसहाय्यित प्रक्रिया नियोजन आणि गुणवत्ता नियंत्रण (Computer aided Process Planning and Quality Control)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

CO5 - संबंधित संगणक-आधारित गुणवत्ता नियंत्रण / तपासणी पद्धतीची उत्पादनासाठी निवड करणे. (Choose relevant computer aided quality control / inspection method for manufacturing.)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

TLO 5.1: संगणक सहाय्यित प्रक्रिया नियोजनाचे विविध प्रकार सूचीबद्ध करणे (List different types of computer aided process planning)

TLO 5.2: संगणकसहाय्यित गुणवत्ता नियंत्रणाचे वर्णन करणे. (Describe computer aided quality control)

TLO 5.3: गुणवत्ता नियंत्रणासाठी वापरले जाणारे सॉफ्टवेअर यांची यादी करणे. (List quality control software)

TLO 5.4: संगणकसहाय्यित तपासणीचे वर्णन करणे. (Describe computer- aided inspection)

TLO 5.5: पारंपरिक गुणवत्ता नियंत्रण व संगणक-आधारित गुणवत्ता नियंत्रण यांची तुलना करणे. (Compare traditional quality control and computer aided quality control)

TLO 5.6: CAQC (Computer-Aided Quality Control), त्याची उद्दिष्टे आणि उत्पादनाशी संबंधित उदाहरण यांचे स्पष्टीकरण करणे. (Explain CAQC, its objectives and relevant manufacturing example)

5.1 संगणक सहाय्यित प्रक्रिया नियोजन (Computer aided Process Planning)

5.1.1 परिचय:

प्रक्रिया नियोजन (Process Planning)

- प्रक्रिया नियोजन म्हणजे अशा क्रियाकलापांचा समूह आहे ज्यामध्ये खालील बाबींचा समावेश होतो,
 - i) दिलेल्या घटकाचे (part) उत्पादन करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या निर्मिती प्रक्रियांचा क्रम निश्चित करणे.
 - ii) मशीन टूल्स आणि कटिंग टूल्सची निवड करणे.
 - iii) मशिनिंग पॅरामिटर्सची निवड करणे.
- थोडक्यात, प्रक्रिया नियोजन म्हणजे पूर्ण झालेले उत्पादन (finished part) तयार करण्यासाठी आवश्यक तपशीलवार सूचना तयार करण्याची प्रक्रिया.
- पारंपरिक पद्धतीमध्ये प्रक्रिया नियोजन प्रोसेस इंजिनियरद्वारे मनुष्यबळावर आधारित (manual) पद्धतीने केले जाते.

पारंपरिक प्रक्रिया नियोजनाशी संबंधित समस्या (Problems Associated with Traditional Process Planning)

- i) पारंपरिक प्रक्रिया नियोजनासाठी अधिक वेळ आणि तज्ज्ञता (expertise) आवश्यक असते. मनुष्याद्वारे प्रक्रिया ठरवावी लागल्याने संपूर्ण नियोजन प्रक्रिया मंद आणि वेळखाऊ होते.
- ii) वेगवेगळ्या प्रक्रिया नियोजकांनी (planners) तयार केलेल्या प्रक्रिया योजनांमध्ये वैयक्तिक निर्णयामुळे मोठा फरक आढळू शकतो. यामुळे प्रक्रिया मानकीकरणाचा अभाव राहतो आणि उत्पादनाची सुसंगती कमी होते.
- iii) सर्वोत्कृष्ट (optimum) प्रक्रिया योजना ओळखणे कठीण असते. अनेक शक्य प्रक्रियांपैकी कोणती सर्वात कमी खर्चिक, जलद किंवा कार्यक्षम असेल हे ठरवणे कठीण होते.

संगणक-सहाय्यित प्रक्रिया नियोजन (Computer Aided Process Planning)

- पारंपरिक प्रक्रिया नियोजनाशी संबंधित वरील समस्या अनुभव, निर्णयक्षमता आणि प्रक्रिया नियोजनातील तर्क यांना संगणक प्रोग्राममध्ये एकत्र करून दूर करण्यात आल्या आहेत.

- CAPP ही अशी प्रणाली आहे जी संगणक सॉफ्टवेअरचा वापर करून उत्पादन घटकासाठी आवश्यक प्रक्रिया योजना स्वयंचलित पद्धतीने तयार करते.
- CAPP द्वारे तयार केलेल्या प्रक्रिया नियोजन पत्रके (Sheets) तर्कसंगत (rational), सुसंगत (consistent) आणि सर्वोत्तम (optimum) असतात.
- CAPP मुळे प्रक्रिया नियोजनातील मॅन्युअल व व्यक्तिनिष्ठ (judgmental) घटक नष्ट होतात.
- CAPP हे Computer-Aided Design (CAD) आणि Computer-Aided Manufacturing (CAM) यांच्यामधील एक आवश्यक दुवा म्हणून कार्य करते.

5.1.2 CAPP ची उद्दिष्टे:

- Computer-Aided Process Planning (CAPP) चे मुख्य उद्दिष्ट म्हणजे उत्पादनासाठी लागणाऱ्या प्रक्रिया नियोजनाचे स्वयंचलीकरण व अनुकूलन करणे.
- प्रक्रिया, साधने, मशिन्स आणि ऑपरेशनच्या क्रमाची निवड स्वयंचलित करणे.
- उपलब्ध उपकरणे, कामगार आणि साहित्य यांचा सर्वोत्तम वापर सुनिश्चित करणे.
- अधिक अचूक आणि सुसंगत प्रक्रिया योजनांसाठी मानवी हस्तक्षेप कमी करणे.
- डिझाइन आणि मॅन्युफॅक्चरिंग प्रणालींचे अधिक प्रभावीपणे एकत्रीकरण करणे.
- नियोजन खर्च आणि एकूण उत्पादन वेळ कमी करून उत्पादकता वाढवणे.

5.1.3 CAPP चे प्रकार:

संगणक सहाय्यित प्रक्रिया-नियोजन प्रणाली (Computer-Aided Process Planning) चे मुख्य प्रकार पुढीलप्रमाणे आहेत:

1. व्हेरिएंट किंवा रिट्रिव्हल संगणक सहाय्यित प्रक्रिया नियोजन प्रणाली (Variant or Retrieval Computer-Aided Process Planning System)
2. जेनरेटिव्ह संगणक सहाय्यित प्रक्रिया नियोजन प्रणाली (Generative Computer-Aided Process Planning System)
3. हायब्रिड संगणक सहाय्यित प्रक्रिया नियोजन प्रणाली (Hybrid Computer-Aided Process Planning System)

1. व्हेरिएंट किंवा रिट्रिव्हल संगणक सहाय्यित प्रक्रिया नियोजन प्रणाली-(Variant or Retrieval Computer-Aided Process Planning System)

- ही एक संगणक-आधारित प्रक्रिया नियोजन (CAPP) प्रणाली आहे, जी ग्रुप टेक्नॉलॉजीच्या तत्वांवर आधारित समान प्रकारच्या भागांसाठी उपलब्ध असलेल्या विद्यमान प्रक्रिया योजनांचा शोध घेऊन त्यात आवश्यक ते बदल करून नवीन भागासाठी योग्य प्रक्रिया योजना तयार करते.
- ही प्रणाली कोडिंग सिस्टीमचा वापर करून डेटाबेसमधील समान भागाचा “मास्टर प्लॅन” ओळखते आणि नंतर अनुभवी वापरकर्ता त्या प्लॅनमध्ये बदल करून तो नवीन भागाच्या विशिष्ट गरजांनुसार सुधारित करतो.

व्हेरिएंट CAPP प्रणालीतील टप्पे (Steps in Variant CAPP System)

व्हेरिएंट CAPP प्रणालीमध्ये खालील टप्पे अनुसरले जातात:

- i. भाग कोडिंग आणि वर्गीकरण (Part Coding and Classification): कोडिंग प्रणालीचा (Coding System) वापर करून समान वैशिष्ट्ये असलेल्या भागांचे (Parts) भाग कुटुंबांमध्ये (Part Families) वर्गीकरण केले जाते.
- ii. डेटाबेस पुनर्प्राप्ती (Database Retrieval): नवीन भाग (Part) सादर केल्यावर, त्याच्या कोडचा (Code) वापर करून त्या भाग कुटुंबासाठी (Part Family) मास्टर प्रक्रिया योजना डेटाबेसमधून (Master Process Plan Database) मानक प्रक्रिया योजना (Standard Process Plan) पुनर्प्राप्त केली जाते.

- iii. सुधारणा (Modification): मानवी प्रक्रिया नियोजक (Human Process Planner) नवीन भागाच्या (Part) विशिष्ट गरजांनुसार (Specific Requirements) पुनर्प्राप्त केलेली मानक योजना (Retrieved Standard Plan) संपादित करतो.
- iv. आउटपुट (Output): प्रणाली योग्य स्वरूपात अंतिम प्रक्रिया योजना (Final Process Plan) तयार करते.

2. जनरेटिव्ह संगणक सहाय्यित प्रक्रिया नियोजन प्रणाली (Generative Computer-Aided Process Planning System)

- ही प्रगत प्रकारची प्रणाली आहे जी पूर्वी अस्तित्वात असलेल्या प्रक्रिया योजनांवर (Pre-existing Plans) अवलंबून न राहता नवीन भागासाठी (New Part) उत्पादन प्रक्रिया योजना (Manufacturing Process Plan) स्वयंचलितपणे (Automatically) सुरुवातीपासून तयार करते.
- या प्रणालीमध्ये उत्पादन नियमांचा ज्ञानसंच (Knowledge Base of Manufacturing Rules), तर्कशास्त्र (Logic), अल्गोरिदम्स (Algorithms) आणि भूमिती-आधारित डेटा (Geometry-based Data) यांचा वापर करून भागाच्या CAD मॉडेलचे विश्लेषण केले जाते आणि एक अद्वितीय प्रक्रिया योजना (Unique Process Plan) निर्माण केली जाते.

जनरेटिव्ह CAPP प्रणालीतील टप्पे (Steps in Generative CAPP System)

जनरेटिव्ह CAPP प्रणालीतील विविध टप्पे खालीलप्रमाणे आहेत,

i. भाग डेटा इनपुट (Part Data Input):

प्रणाली भागाचे CAD मॉडेल तसेच साहित्य (Material), परिमाणे (Dimensions) आणि Tolerances यांसारख्या तपशीलांसह इनपुट म्हणून स्वीकारते.

ii. वैशिष्ट्य ओळख (Feature Recognition):

आवश्यक यांत्रिकीकरण क्रियांवर (Machining Operations) आधारित Holes, स्लॉट्स (Slots) आणि पृष्ठभाग (Surfaces) यांसारखी उत्पादन वैशिष्ट्ये (Manufacturing Features) स्वयंचलितपणे ओळखण्यासाठी व वर्गीकृत करण्यासाठी प्रणाली अल्गोरिदम्सचा (Algorithms) वापर करते.

iii. निर्णय तर्कशास्त्र (Decision Logic):

ओळखलेल्या वैशिष्ट्यांवर (Recognized Features) आणि अंगभूत ज्ञानसंचावर (Built-in Knowledge Base) आधारित प्रणाली निर्णय तर्कशास्त्र, सूत्रे आणि नियम लागू करून आवश्यक प्रक्रिया निश्चित करते.

iv. प्रक्रिया योजना निर्मिती (Process Plan Generation):

प्रणाली सविस्तर आणि अद्वितीय प्रक्रिया योजना (Detailed and Unique Process Plan) तयार करते, ज्यामध्ये विशिष्ट यांत्रिकीकरण टप्पे (Machining Steps), आवश्यक साधने (Required Tools) आणि कार्याची क्रमवारी (Sequence of Operations) यांचा समावेश असतो, ज्याद्वारे भाग कच्च्या साहित्यापासून (Raw Material) अंतिम स्थितीपर्यंत (Finished Part) नेला जातो.

3. हायब्रिड संगणक सहाय्यित प्रक्रिया नियोजन प्रणाली-(Hybrid Computer-Aided Process Planning System)

हायब्रिड CAPP प्रणाली ही उत्पादन क्षेत्रात वापरली जाणारी प्रणाली आहे, जी प्रक्रिया नियोजनासाठी व्हेरिएंट (Variant) आणि जनरेटिव्ह (Generative) या दोन्ही पद्धतींची वैशिष्ट्ये एकत्रितपणे वापरते ही एकात्मिक . रणनीती (Integrated Strategy) प्रत्येक पद्धतीचे फायदे वापरून कार्यक्षमता, लवचिकता आणि अनुकूलता वाढवण्याचा उद्देश ठेवते.

हायब्रिड CAPP प्रणाली खालीलपैकी कोणतेही एका प्रकारे अंमलात आणली जाऊ शकते :

- i. शक्य तितक्या प्रमाणात प्रक्रिया योजना तयार करण्यासाठी जनरेटिव्ह CAPP पद्धतीचा (Generative CAPP Approach) वापर केला जातो आणि उर्वरित तपशील भरण्यासाठी व्हेरिएंट पद्धतीचा (Variant Approach) वापर केला जातो.

- ii. मानक आधार प्रक्रिया योजना पुनर्प्राप्त करण्यासाठी व्हेरिएंट CAPP पद्धतीचा (Variant CAPP Approach) वापर केला जातो आणि नंतर त्यामध्ये सुधारणा करण्यासाठी जनरेटिव्ह CAPP पद्धतीचा (Generative CAPP Approach) वापर केला जातो.
- iii. सोप्या भाग वैशिष्ट्यांसाठी व्हेरिएंट पद्धतीचा (Variant Approach) वापर केला जातो, तर गुंतागुंतीच्या भाग वैशिष्ट्यांसाठी जनरेटिव्ह CAPP पद्धतीचा (Generative CAPP Approach) वापर केला जातो.

Table 5.1 व्हेरिएंट, जनरेटिव्ह आणि हायब्रिड संगणक सहाय्यित प्रक्रिया नियोजन प्रणाली यांची-वैशिष्ट्यांनुसार तुलना (Comparison between Variant, Generative and Hybrid Computer-Aided Process Planning System)

वैशिष्ट्य (Feature)	व्हेरिएंट संगणक-सहाय्यित प्रक्रिया नियोजन प्रणाली (Variant CAPP)	जनरेटिव्ह संगणक-सहाय्यित प्रक्रिया नियोजन प्रणाली (Generative CAPP)	हायब्रिड संगणक-सहाय्यित प्रक्रिया नियोजन प्रणाली (Hybrid CAPP)
मूलभूत पद्धत (Core Method)	समान घटकांसाठी विद्यमान प्रक्रिया योजनांची (Retrieval) पुनर्प्राप्ती करून आवश्यक ते बदल केले जातात	अल्गोरिदमच्या साहाय्याने सुरुवातीपासून नवीन प्रक्रिया योजना तयार केली जाते	व्हेरिएंट (Variant) आणि जनरेटिव्ह (Generative) पद्धतींचा एकत्रित वापर केला जातो
इनपुट (Input)	घटकांचे वर्गीकरण करण्यासाठी मानवी इनपुट आवश्यक असतो	घटकांची वैशिष्ट्ये आणि Tolerances वापरली जातात	प्रक्रिया योजना पुनर्प्राप्ती (Retrieval) आणि स्वयंचलित निर्मिती (Automation) वापरली जाते
स्वयंचलन (Automation)	स्वयंचलनाची पातळी कमी (Low Automation) असून मानवी निर्णयावर (Judgment) अवलंबून असते	स्वयंचलनाची पातळी जास्त (High Automation) असते	स्वयंचलनाची पातळी मध्यम ते जास्त (Moderate Automation) असते
कार्यक्षमता (Efficiency)	विद्यमान घटक कुटुंबांसाठी (Part Families) कार्यक्षम, परंतु योग्य योजना शोधणे वेळखाऊ असते	नवीन घटकांसाठी (New Parts) उच्च कार्यक्षमता, परंतु प्रारंभिक गुंतवणूक आवश्यक असते	कार्यक्षमता आणि लवचिकता यांचा समतोल साधला जातो
लवचिकता (Flexibility)	उपलब्ध साच्यांपुरती (Templates) मर्यादित लवचिकता असते	प्रत्येक परिस्थितीत सर्वोत्तम योजना (Optimal Plan) तयार होईल असे गृहित धरले जाते	दोन्ही पद्धतींचे फायदे एकत्र केल्यामुळे लवचिकता अधिक असते
योग्य उपयोग (Best For)	विद्यमान घटकांशी साधर्म्य असलेले (Similar Parts) घटक	प्रक्रिया योजना उपलब्ध नसलेले जटिल घटक (Complex Parts) किंवा सुसंगतता आवश्यक असलेली निर्मिती	मानक (Standard) आणि अद्वितीय (Unique) घटकांचे मिश्र स्वरूप

5.1.4 CAPP चे उपयोग (Applications of CAPP):

- CAPP हे CAD आणि CAM प्रणालींमधील महत्त्वाचा दुवा म्हणून कार्य करते. डिझाइनचे उत्पादन प्रक्रियेत रूपांतर करते (Manufacturing Process Plan) आणि प्रक्रिया कार्यान्वयनीय व कार्यक्षम ठेवते.
- CAPP कार्याच्या क्रमाची निश्चिती, कच्चा माल निवड, मशीन टूल निवड आणि मशीन अटी निश्चित करण्याची प्रक्रिया स्वयंचलित करते.

- CAPP डिझायनर्सना वेळेवर अभिप्राय प्रदान करते.
- मानकीकृत नियम (Standardized Rules) आणि केंद्रीय डेटाबेसचा वापर करून CAPP प्रक्रिया योजना सुसंगत व अचूक ठेवते ज्यामुळे त्रुटी कमी होतात व गुणवत्ता सुधारते.
- CAPP चा वापर उत्पादन प्रक्रियेचे तार्किकीकरण (Production Rationalization) करण्यास मदत करतो आणि प्रक्रिया मानकीकरणद्वारे (Process Standardization) सुसंगतता वाढवतो.
- नियोजन प्रक्रिया स्वयंचलित केल्यामुळे CAPP उत्पादन गती वाढवते, त्रुटी कमी करते आणि साहित्य व मशीन वेळेचे अनुकूलन करते ज्यामुळे खर्च कमी होतो.
- CAPP चा वापर ऑटोमोटिव्ह बॉडी पॅनल्स, एरोस्पेस घटक, इलेक्ट्रॉनिक एनक्लोजर्स आणि बांधकामातील संरचनात्मक घटकांच्या (Automotive Body Panels, Aerospace Components, Electronic Enclosures, Structural Elements) उत्पादनात केला जातो.

5.1.5 पारंपरिक प्रक्रिया नियोजन आणि CAPP यांची तुलना:

(Comparison between Traditional Process Planning and CAPP)

Table 5.2 पारंपरिक प्रक्रिया नियोजन आणि CAPP यांची तुलना

वैशिष्ट्य (Feature)	पारंपरिक प्रक्रिया नियोजन (Traditional Process Planning)	संगणक-सहाय्यित प्रक्रिया नियोजन (Computer-Aided Process Planning - CAPP)
पद्धतशास्त्र (Methodology)	अनुभव, ज्ञान आणि निर्णय (Judgment) यांवर आधारित हाताने (Manual) केली जाणारी प्रक्रिया	सॉफ्टवेअर, निर्णय तर्क, अल्गोरिदम आणि डेटाबेस वापरून स्वयंचलित प्रक्रिया (Automated)
सुसंगतता (Consistency)	वेगवेगळ्या नियोजकांमुळे प्रक्रिया योजना वेगवेगळ्या (Inconsistent) होऊ शकतात	सुसंगत आणि प्रमाणित (Standardized) प्रक्रिया योजना तयार होतात
आघाडी कालावधी (Lead Time)	हाताने काम केल्यामुळे प्रक्रिया नियोजनास जास्त वेळ लागतो	प्रक्रिया नियोजनासाठी कमी वेळ लागतो
आवश्यक कौशल्य (Skill Required)	अत्यंत कुशल आणि अनुभवी कर्मचारी आवश्यक	ऑपरेटरकडून कमी कौशल्य आवश्यक, प्रणालीद्वारे मार्गदर्शन
अचूकता (Accuracy)	मानवी हस्तक्षेप (Human Intervention) जास्त असल्यामुळे अचूकता कमी	मानवी हस्तक्षेप कमी असल्यामुळे अचूकता जास्त
दस्तऐवजीकरण (Documentation)	हाताने तयार केलेल्या रूट शीट अव्यवस्थित व वाचण्यास कठीण असू शकतात	संगणकाद्वारे तयार केलेल्या रूट शीट स्वच्छ व वाचनीय असतात
एकत्रीकरण (Integration)	इतर संगणक-सहाय्यित प्रणालींसोबत एकत्र करणे कठीण	CAD आणि CAM प्रणालींमधील महत्त्वाचा दुवा म्हणून कार्य करते
अनुकूलता (Adaptability)	नवीन डिझाइन किंवा तंत्रज्ञानाशी जुळवून घेणे संथ असते	नवीन तंत्रज्ञानासह प्रक्रिया योजना अद्ययावत करणे सोपे असते
खर्च (Cost)	प्रारंभिक मांडणी खर्च कमी असतो	प्रणाली विकास आणि अंमलबजावणीसाठी प्रारंभिक खर्च जास्त असतो

5.2 संगणक सहाय्यित गुणवत्ता नियंत्रण (Computer Aided Quality Control)

5.2.1 परिचय (Introduction)

संगणक-सहाय्यित गुणवत्ता नियंत्रण (Computer-Aided Quality Control – CAQC) ही एक प्रगत गुणवत्ता आश्वासन तंत्रज्ञान पद्धत आहे, ज्यामध्ये संगणक, सेन्सर्स, स्वयंचलित मोजमाप उपकरणे आणि सॉफ्टवेअर साधने यांचा वापर करून तयार केलेल्या घटकांची गुणवत्ता तपासली जाते, निरीक्षण केली जाते, मूल्यांकन केले जाते आणि नियंत्रित केली जाते. ही प्रणाली अचूक, वेगवान आणि विश्वासार्ह गुणवत्ता नियंत्रणासाठी डिजिटल तपासणी प्रक्रिया CAD/CAM प्रणालींसोबत एकत्रित करते.

यामध्ये दोन प्रमुख घटकांचा समावेश असतो :

i) संगणक-सहाय्यित तपासणी (Computer-Aided Inspection – CAI)

या प्रक्रियेमध्ये उत्पादनाची रचना तपशीलांशी (Design Specifications) तुलना करून तपासणी केली जाते. यासाठी त्रिमितीय स्कॅनिंग (3D Scanning), CAD मॉडेल तुलना आणि विविध सेन्सर्स यांसारख्या पद्धती वापरल्या जातात.

ii) संगणक-सहाय्यित चाचणी (Computer-Aided Testing – CAT)

या प्रक्रियेमध्ये उत्पादनाची कार्यक्षमता आणि टिकाऊपणा तपासण्यासाठी ताण (Stress), पर्यावरणीय घटक (Environmental Factors) आणि इतर कार्यस्थितींचे अनुकरण (Simulation) केले जाते.

5.2.2 संगणक-सहाय्यित गुणवत्ता नियंत्रणाची (Computer-Aided Quality Control) उद्दिष्टे:

- हाताने केली जाणारी तपासणी कमी करणे आणि मानवी चुका कमी करणे.
- स्वयंचलित प्रणालींच्या साहाय्याने तपासणीची अचूकता (Accuracy), नेमकेपणा (Precision) आणि पुनरावृत्तीक्षमता (Repeatability) वाढविणे.
- उत्पादनाच्या गुणवत्तेचे प्रत्यक्ष-वेळ निरीक्षण (Real-Time Monitoring) आणि नियंत्रण (Control) सुनिश्चित करणे.
- तपासणी प्रक्रिया थेट CAD/CAM आणि CNC प्रणालींसोबत एकत्रित करणे व निर्मिती कालावधी कमी करणे.
- मोजमाप, चाचणी आणि दोष शोध (Defect Detection) प्रक्रिया स्वयंचलित करणे.
- डिजिटल गुणवत्ता दस्तऐवजीकरण (Digital Quality Documentation) आणि मागोवा नोंदी (Traceability Records) तयार करणे.
- तपासणीसाठी लागणारा वेळ कमी करून उत्पादकता वाढविणे.
- प्रत्येक उत्पादनाची तपासणी (100% Inspection) करून सांख्यिकीय नमुना तपासणीची (Statistical Sampling) गरज दूर करणे आणि ग्राहकांपर्यंत दोष पोहोचण्याचा धोका (Defect Risk) कमी करणे.

5.2.3 संगणक-सहाय्यित गुणवत्ता नियंत्रणाचे प्रकार (Types of Computer-Aided Quality Control):

i) संगणक-सहाय्यित तपासणी (Computer Aided Inspection – CAI):

निर्मित घटकांची परिमाणात्मक अचूकता तपासण्यासाठी Coordinate Measuring Machine (CMM), लेसर, प्रोब्स आणि स्कॅनर्स यांसारखी साधने वापरली जातात.

ii) संगणक-सहाय्यित चाचणी (Computer Aided Testing – CAT):

यामध्ये संगणक-नियंत्रित चाचणी संयंत्रांचा (Computer-Controlled Test Rigs) वापर करून यांत्रिक (Mechanical), विद्युत (Electrical), उष्ण (Thermal) किंवा पर्यावरणीय (Environmental) भाराखाली उत्पादनांची स्वयंचलित चाचणी केली जाते.

iii) संगणक-सहाय्यित सांख्यिकीय गुणवत्ता नियंत्रण (Computer Aided Statistical Quality Control – CASQC):

प्रक्रियेतील बदल नियंत्रित करण्यासाठी SPC तक्ते, नमुना तंत्रे (Sampling Techniques), प्रक्रिया क्षमता अभ्यास (Process Capability Studies) आणि सांख्यिकीय विश्लेषण (Statistical Analysis) वापरले जातात.

iv) संगणक-सहायित मेट्रोलॉजी (Computer Aided Metrology):

अचूक मोजमापासाठी डिजिटल उपकरणे वापरली जातात तसेच CAD मॉडेल्समधून थेट परिमाणांची पडताळणी केली जाते.

v) स्वयंचलित दृश्य तपासणी प्रणाली (Automated Vision Inspection Systems):

उच्च-रिझोल्यूशन कॅमेरे (High-Resolution Cameras), प्रतिमा प्रक्रिया (Image Processing) आणि कृत्रिम बुद्धिमत्ता (Artificial Intelligence – AI) वापरून भेगा (Cracks), बर्स (Burs), पृष्ठभाग दोष (Surface Flaws) किंवा चुकीची असेंब्ली शोधली जाते.

vi) संगणक-सहायित प्रक्रिया नियंत्रण (Computer Aided Process Control):

सातत्यपूर्ण गुणवत्ता राखण्यासाठी तापमान, दाब, गती आणि Tool Condition यांसारख्या यंत्र मापदंडांचे प्रत्यक्ष-वेळ निरीक्षण (Real-Time Monitoring) केले जाते.

5.2.4 संगणक-सहायित गुणवत्ता नियंत्रणाचे उपयोग (Applications of Computer-Aided Quality Control – CAQC):

- CMM च्या सहाय्याने यांत्रिक भागांची परिमाणात्मक तपासणी.
- मशीन व्हिजन कॅमेऱ्यांचा वापर करून पृष्ठभागावरील दोष शोध.
- SPC तक्यांच्या सहाय्याने उत्पादन प्रक्रियेचे निरीक्षण.
- तपासणी अहवाल आणि गुणवत्ता प्रमाणपत्रांचे डिजिटल दस्तऐवजीकरण (Digital Documentation).
- मोठ्या प्रमाणावरील उत्पादनामध्ये गुणवत्ता तपासणीचे स्वयंचलन (Mass Production).
- लेसर स्कॅनर्सच्या सहाय्याने रिव्हर्स इंजिनिअरिंग.
- उच्च-गती उत्पादन रेषांसाठी रोबोटिक तपासणी प्रणाली.

5.2.5 पारंपरिक गुणवत्ता नियंत्रण आणि संगणकसहायित गुणवत्ता नियंत्रण यांची तुलना-

(Comparison between Traditional Quality Control and Computer-Aided Quality Control)

Table 5.3 पारंपरिक गुणवत्ता नियंत्रण आणि संगणकसहायित गुणवत्ता नियंत्रण यांची तुलना-

वैशिष्ट्य (Feature)	संगणक-सहायित गुणवत्ता नियंत्रण (Computer-Aided Quality Control – CAQC)	पारंपरिक गुणवत्ता नियंत्रण (Traditional Quality Control)
तपासणी पद्धत (Inspection Method)	स्वयंचलित तपासणी असून अनेक वेळा प्रत्येक घटकाची संपूर्ण तपासणी केली जाते (Automated, 100% Inspection)	हाताने तपासणी केली जाते व प्रामुख्याने नमुना तपासणी वापरली जाते (Manual, Sampling)
वेग आणि कार्यक्षमता (Speed and Efficiency)	स्वयंचलनामुळे तपासणी जलद व अधिक कार्यक्षम होते आणि कालावधी कमी होतो	हाताने तपासणी केल्यामुळे प्रक्रिया मंद व कमी कार्यक्षम असते
अचूकता आणि सुसंगतता (Accuracy and Consistency)	मानवी चुका कमी झाल्यामुळे अचूक, सुसंगत व विश्वासार्ह परिणाम मिळतात	मानवी चुका व निर्णयांमधील फरकामुळे अचूकता व सुसंगतता कमी असते
एकत्रीकरण (Integration)	उत्पादन प्रक्रियेमध्ये थेट समाकलित असून ऑनलाईन सेन्सर्स वापरले जातात	सामान्यतः उत्पादनानंतर स्वतंत्र प्रक्रिया म्हणून केली जाते
डेटा आणि विश्लेषण (Data and Analysis)	मोठ्या प्रमाणावर डेटा निर्माण होतो व प्रत्यक्ष-वेळ विश्लेषण केले जाते (Real-Time Analysis)	मर्यादित डेटा संकलन व हाताने अहवाल व विश्लेषण केले जाते (Manual Reporting)

वैशिष्ट्य (Feature)	संगणक-सहाय्यित गुणवत्ता नियंत्रण (Computer-Aided Quality Control – CAQC)	पारंपरिक गुणवत्ता नियंत्रण (Traditional Quality Control)
साधने आणि तंत्रज्ञान (Tools and Technology)	संगणक-सहाय्यित तपासणी, संगणक-सहाय्यित चाचणी व मशीन व्हिजन प्रणाली वापरल्या जातात (CAI, CAT, CMM, Machine Vision)	कॅलिपर, मायक्रोमीटर यांसारखी हाताने वापरली जाणारी साधने वापरली जातात (Calipers, Micrometers)
खर्च (Cost)	सॉफ्टवेअर व हार्डवेअरसाठी प्रारंभिक गुंतवणूक जास्त असते, परंतु दीर्घकालीन खर्च कमी होतो	प्रारंभिक खर्च कमी असतो, परंतु दोष, स्कॅप व पुनर्कामामुळे अप्रत्यक्ष खर्च वाढतो

5.2.6 गुणवत्ता नियंत्रण सॉफ्टवेअर (Quality Control Software):

गुणवत्ता नियंत्रण सॉफ्टवेअर हे गुणवत्ता संबंधित प्रक्रिया व्यवस्थापित (Management) आणि सुलभ (Streamlining) करण्यासाठी वापरले जाणारे डिजिटल समाधान (Digital Solution) आहे. यामध्ये अनुपालन (Compliance), लेखापरीक्षण (Audits), दस्तऐवजीकरण (Documentation) आणि समस्या निराकरण (Problem-Solving) यांसारख्या प्रक्रिया समाविष्ट असून उत्पादनांनी निर्धारित मानके (Standards) पूर्ण केली आहेत याची खात्री केली जाते.

गुणवत्ता नियंत्रण सॉफ्टवेअरची उदाहरणे (Examples of Quality Control Software):

- मास्टर कंट्रोल (Master Control):** दस्तऐवज नियंत्रण (Document Control) आणि उत्पादन विकास (Product Development) यासाठी उपाय प्रदान करते.
- क्वालिओ (Qualio):** उत्पादने गुणवत्ता मानके (Quality Standards) पूर्ण करतात याची खात्री करण्यास मदत करते तसेच नॉन-कन्फॉर्मन्स व्यवस्थापन (Non-Conformance Management) आणि जोखीम विश्लेषण (Risk Analysis) यांसाठी वैशिष्ट्ये प्रदान करते.
- सीमेन्स डिजिटल इंडस्ट्रीज सॉफ्टवेअर (Siemens Digital Industries Software):** गुणवत्ता व्यवस्थापन (Quality Management), अनुपालन (Compliance) आणि सातत्यपूर्ण सुधारणा (Continuous Improvement) यासाठी उपाय प्रदान करते.
- SAP S/4HANA गुणवत्ता व्यवस्थापन (SAP S/4HANA Quality Management):** एसएपी ईआरपी प्रणालीचा एक घटक असून गुणवत्ता नियोजन, नियंत्रण आणि निरीक्षण करण्यास मदत करतो.
- व्हीव्हा क्वालिटी क्लाउड (Veeva Quality Cloud):** संपूर्ण संस्थेसाठी गुणवत्ता व्यवस्थापनाचे व्यासपीठ (Enterprise-Wide Quality Management Platform) आहे.
- अशुर एक्स एंटरप्राइज गुणवत्ता व्यवस्थापन सॉफ्टवेअर (AssurX Enterprise Quality Management Software):** उद्योगांसाठी सर्वसमावेशक गुणवत्ता व्यवस्थापन प्रणाली (Comprehensive Quality Management System) प्रदान करते

5.3 संगणक-सहाय्यित तपासणी (Computer Aided Inspection – CAI)

5.3.1 परिचय (Introduction):

संगणक-सहाय्यित तपासणी (Computer-Aided Inspection – CAI) म्हणजे निर्मित घटकांची तपासणी करण्यासाठी संगणक-आधारित प्रणाली (Computer-Based Systems), सेन्सर्स (Sensors), सॉफ्टवेअर साधने (Software Tools) आणि स्वयंचलित उपकरणे (Automated Instruments) यांचा वापर होय. CAI ही CAD मॉडेल्स आणि डिजिटल मेट्रोलॉजी साधनांशी एकत्रित होऊन अचूक, जलद आणि अत्यंत पुनरावृत्तीक्षम (Repeatable) तपासणी सुनिश्चित करते. ही प्रणाली हाताने केलेल्या तपासणी पद्धतींच्या मर्यादा (Manual Inspection Limitations) दूर करते आणि प्रत्यक्ष-वेळ (Real-Time) तसेच अचूक गुणवत्ता पडताळणी (Quality Verification) प्रदान करते.

5.3.2 संगणक-सहायित तपासणीची उद्दिष्टे (Objectives of Computer-Aided Inspection – CAI):

- निर्मित घटकांची अचूक आणि पुनरावृत्तीक्षम तपासणी (Repeatable Inspection) करणे.
- उत्पादनाची गुणवत्ता आणि सुसंगतता सुधारणे.
- तपासणीची कार्यक्षमता आणि उत्पादकता वाढविणे.
- हाताने तपासणीवरील अवलंबित्व कमी करणे आणि मानवी चुका दूर करणे.
- स्वयंचलित मोजमाप प्रणालींच्या सहाय्याने तपासणीचा वेळ कमी करणे.
- तपासणी डेटा CAD, CAM आणि CNC प्रणालींसोबत एकत्रित करणे.
- प्रक्रिया नियंत्रणासाठी (Process Control) प्रत्यक्ष-वेळ तपासणी अभिप्राय (Real Time Feedback) प्रदान करणे.
- गुणवत्ता डेटाचे डिजिटल दस्तऐवजीकरण (Digital Documentation) आणि मागोवा (Traceability) राखणे.
- दोष लवकर ओळखून अपव्यय (Waste Reduction) आणि पुनर्काम (Rework) कमी करणे.

5.3.3 संगणक-सहायित तपासणीचे उपयोग (Applications of Computer-Aided Inspection – CAI):

- CMM (Coordinate Measuring Machine) वापरून परिमाणात्मक पडताळणी (Dimensional Verification).
- लेझर स्कॅनर (Laser Scanner) आणि प्रकाशीय संवेदक (Optical Sensors) वापरून पृष्ठभाग मोजमाप (Surface Measurement).
- व्हिजन प्रणाली (Vision Systems) वापरून संपर्करहित तपासणी (Non-Contact Inspection).
- इम्पेलर (Impeller), टर्बाइन ब्लेड (Turbine Blades) आणि गुंतागुंतीच्या कास्टिंग्स (Intricate Castings) यांसारख्या जटिल आकाराच्या भागांची तपासणी (Complex Contours Inspection).
- उत्पादन रेषांवर (Production Lines) जलद तपासणीसाठी प्रत्यक्ष-वेळ तपासणी (Online Inspection).
- डिजिटल मेट्रोलॉजी सॉफ्टवेअर (Digital Metrology Software) वापरून CAD मॉडेल आणि निर्मित भागाची तुलना.
- स्वयंचलित उत्पादन प्रणालींमध्ये रोबोटिक तपासणी.

5.3.4 पारंपरिक तपासणी (Traditional Inspection) आणि संगणक-सहायित तपासणी (Computer-Aided Inspection – CAI) यांची तुलना**Table 5.4 पारंपरिक तपासणी (Traditional Inspection) आणि संगणक-सहायित तपासणी (Computer-Aided Inspection – CAI) यांची तुलना**

वैशिष्ट्य (Feature)	पारंपरिक तपासणी (Traditional Inspection)	संगणक-सहायित तपासणी (Computer-Aided Inspection – CAI)
कार्यपद्धती (Methodology)	मोजमाप साधने व गेजेस वापरून हाताने (Manual) तपासणी	CMM, स्कॅनर्स, सेन्सर्स व कॅमेरे वापरून स्वयंचलित (Automated) मोजमाप
अचूकता (Accuracy)	कमी अचूकता, ऑपरेटरवर अवलंबून	उच्च अचूकता, ऑपरेटर त्रुटीपासून स्वतंत्र
सुसंगतता (Consistency)	निरीक्षकानुसार बदलते; थकवा व लक्षभंगाचा परिणाम	अत्यंत पुनरावृत्तीक्षम व वस्तुनिष्ठ; 24/7 समान निकष
गती (Speed)	वेळखाऊ; उत्पादनात अडथळे निर्माण होऊ शकतात	अतिशय वेगवान; प्रति तास हजारो घटकांची तपासणी
विस्तारक्षमता (Scalability)	उच्च उत्पादनासाठी अवघड; अधिक मनुष्यबळ व प्रशिक्षण आवश्यक	उच्च विस्तारक्षम; सॉफ्टवेअर/हार्डवेअरद्वारे सहज जुळवून घेता येते

वैशिष्ट्य (Feature)	पारंपरिक तपासणी (Traditional Inspection)	संगणक-सहायित तपासणी (Computer-Aided Inspection – CAI)
उपयुक्तता (Suitability)	गुंतागुंतीच्या भूमितीसाठी योग्य नाही	जटिल व मुक्त-आकार पृष्ठभागांसाठी योग्य
एकत्रीकरण (Integration)	CAD/CAM शी एकत्रीकरण नाही	CAD/CAM व CNC प्रणालींशी पूर्ण एकत्रीकरण
डेटा व्यवस्थापन (Data Management)	कागदाधारित नोंदी; व्यवस्थापन व विश्लेषण कठीण	डिजिटल डेटा साठवण व स्वयंचलित अहवाल; सुलभ विश्लेषण
खर्च (Cost)	प्रारंभिक खर्च कमी; मनुष्यबळ, रिवर्क, त्रुटीमुळे दीर्घकालीन खर्च जास्त	प्रारंभिक गुंतवणूक जास्त; दीर्घकालीन खर्च कमी

Exercise:**TLO 5.1 List different types of computer-aided process planning**

1. List different types of computer-aided process planning.
2. Explain steps in variant CAPP system.
3. Explain steps in generative CAPP system.
4. Enlist ways in the hybrid CAPP system for implementation
5. Compare variant CAPP system, generative CAPP system and hybrid CAPP system

TLO 5.2 Describe computer- aided quality control

1. Enlist objectives of computer aided quality control.
2. List types of computer aided quality control.
3. Write application of computer aided quality control.
4. Compare traditional quality control with computer aided quality control.

TLO 5.3 List quality control software

1. Explain use of quality control software
2. Enlist names of quality control software.

TLO 5.4 Describe computer- aided inspection

1. Enlist objectives of computer aided inspection.
2. List applications of computer aided inspection.
3. Compare traditional inspection with computer aided inspection.

TLO 5.5 Compare traditional quality control and computer aided quality control

1. List advantages and disadvantages of traditional quality control.
2. Enlist benefits and limitations of computer aided quality control.
3. Compare traditional quality control with computer aided quality control.

TLO 5.6 Explain CAQC, its objectives and relevant manufacturing example

1. List objectives of CAQC.
2. Enlist applications of CAQC.

Bibliography:

Sr. No	Author	Title	Publisher with ISBN Number
1	Khanna, O.P.	Industrial Engineering and management	Dhanapat Rai Publications(P) Ltd., New Delhi, (1980), ISBN-10: 818992835X
2	Mahajan M.	Statistical Quality Control	Dhanpat Rai and Sons, New Delhi, (2006) ISBN-10: 817700039X
3	Jain R.K	Engineering Metrology	Khanna Publishers; Special Edition (1 January 2022); Khanna Publishers ISBN-10 9788174091536 ISBN-13 978 8174091536
4	M. Groover	Computer-Aided Design and Manufacturing	Pearson Education; 1st edition (1 January 2003); Pearson Education ISBN-10, 8177584162. ISBN-13, 978 8174906700
5	P. N. Rao	Computer Aided Manufacturing	McGraw Hill Education (1 July 2017) ISBN-10 007463103 ,ISBN-13 ,978-0074631034
6	L C Jhamb	Production Planning and Control	Everest Publishing House; 12th Edition (1 January 2010) ISBN-10 8186314725 ,ISBN-13 978-8186314722
7	T R Banga , S C Sharma	Industrial Organization and Engineering Economics.	Khanna Publication 1 January 2006 ISBN - 10 8174090789 ISBN - 13 978-9174090782

Learning websites:

Sr.No	Link / Portal	Description
1	https://youtu.be/6ZevuJICFBM?si=X5vCK0GAHSIU21m7	Process capability Cp, Cpk, Pp, Ppk, analysis in MINITAB
2	https://www.youtube.com/watch?v=gJDYV2SmFeY	Introduction and concept of productivity
3	https://www.youtube.com/watch?v=KNFZXNWYVno	Work Study: Basic concept
4	https://www.youtube.com/watch?v=y6NKspIn2XE	Method Study: Recording techniques

Sr.No	Link / Portal	Description
5	http://digimat.in/nptel/courses/video/112107259/L01.html	Introduction: Fundamental concepts of quality, inspection and their role in manufacturing
6	https://www.youtube.com/watch?v=yYIVumq6sVM	Production planning and control
7	https://www.youtube.com/watch?v=qb3mvJ1gb9g	Statistical quality control (SQC)
8	https://hcmindonesia.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/12/introduction-to-work-study.pdf	Introduction to work study: Edited by George Kanaway Fourth (revised) edition
9	https://www.youtube.com/watch?v=oMEXLiANqMU	Computer aided quality control