Teach To India Publication

ITI Trade

Virtual Analysis and Designer FEM
वर्चुअल एनालिसिस एंड डिज़ाइनर FEM

OR

Basic Designer and Virtual Verifier (Mechanical)

(2nd Year)

Second Edition

CTS | NSQF-Level 4

TATA-Sponsored Trade

Dual Language: English | हिंदी

TRADE THEORY + MCQs

All-in-One:

- Trade Theory
- Workshop Calculation and Science
- Engineering Drawing
- Employability Skills
- Exam Mock Test

For ITI Students Across India,
Based on the DGT/NCVT Syllabus and NIMI Exam Pattern

Teach TO India
Publication

Virtual Analysis and Designer FEM (Finite Element Method) - Second Year
वर्चुअल एनालिसिस एंड डिज़ाइनर FEM (फाइनाइट एलिमेंट मेथड) - द्वितीय वर्ष
OR
Basic Designer and Virtual Verifier (Mechanical)

A Comprehensive Textbook with MCQ Practice and Detailed Solutions
Under the Craftsmen Training Scheme (CTS) | NSQF Level 4

Designed for:

ITI students across all states. This book is prepared as per the latest syllabus prescribed by DGT / NCVT and follows the NIMI examination pattern.

Key Features of the Book:

Dual Language Format: English | हिंदी

Detailed Trade Theory: Structured according to Learning Outcomes

Comprehensive MCQ Practice: Topic-wise Multiple-Choice Questions with Detailed Solutions

Complete Coverage of ITI Examination Sections:

- **Trade Theory**
- **Workshop Calculation & Science**
- **Engineering Drawing**
- **Employability Skills**

Question Bank: Includes 2 Full-Length Mock Tests with Complete Solutions.

Also Useful For:

This book is also useful for **CITS** and for preparing for various **technical recruitment examinations** conducted by the **Railways, PSUs, SSC, DRDO, ISRO, state government departments, metro projects, and other government organizations.**

Title: Virtual Analysis and Designer FEM (Finite Element Method) - Second Year
Subtitle: A Comprehensive Textbook with MCQ Practice and Detailed Solutions
Dual-Language Edition: English | हिंदी

Editor-in-Chief: Dr. Parvendra Kumar
Editorial and Technical Support: Teach To India Technical Team
Computer Graphics & Layout: Teach To India Design Team

Authors:
Dr. Parvendra Kumar
B.Tech (UPTU), PG Diploma (C-DAC Hyderabad), M.Tech (IIT Roorkee), Ph.D
Vipin Kumar Jain
B.Tech (Mechanical Engineering)

Reviewer:
Rahul Singh
Trainer, Government ITI, Hardoi, U.P.

Publisher:
Teach To India Publication
Adarsh Colony, Saharanpur, U.P. – 247001
Mobile: +91 9084496877
Email: info@teachtoindia.com | Website: www.teachtoindia.com

Printed at: Shree Education and Publication Private Limited, Ajmer, Rajasthan
Edition: Second Edition, 2026
ISBN: 978-81-69424-74-5

Copyright © Teach To India Publication. All rights reserved.

Legal Note:
No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means — electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise — without prior written permission of the publisher. While every effort has been made to ensure accuracy, the publisher assumes no responsibility for errors. Feedback and suggestions for improvement are always welcome.

Colophon:
This book is printed on environmentally responsible paper. The layout, typesetting, and graphics have been optimized for dual-language (English-Hindi) clarity and accessibility, suitable for technical and vocational training.

Printed in India

Price: ₹645/-

Preface | प्रस्तावना

This book, **Virtual Analysis and Designer FEM (Finite Element Method)**, has been specially designed to help students succeed in both academic examinations and career-oriented preparation.

It includes detailed Trade Theory, Workshop Calculation and Science, Engineering Drawing, Employability Skills, and a question bank in mock test format based on the NIMI exam pattern.

This book follows the latest syllabus prescribed by **DGT/NCVT** and is aligned with the latest **NIMI** examination pattern. It is structured for easy understanding and practical application.

The MCQs in this book have been designed at multiple levels—**Remembering, Understanding, Application, and Analysis**—in a dual-language format to enhance conceptual clarity and examination readiness.

Our goal is not only to help students excel in **ITI courses and NCVT examinations**, but also to prepare them for competitive employment opportunities in both the **government and private sectors**.

यह पुस्तक, **वर्चुअल एनालिसिस एंड डिज़ाइनर FEM (फाइनाइट एलिमेंट मेथड),** विद्यार्थियों को शैक्षणिक परीक्षाओं तथा करियर-केंद्रित तैयारी दोनों में सफलता दिलाने के उद्देश्य से विशेष रूप से तैयार की गई है।

इसमें विस्तृत ट्रेड थ्योरी, वर्कशॉप कैलकुलेशन एंड साइंस, इंजीनियरिंग ड्रॉइंग, एम्प्लॉयबिलिटी स्किल्स तथा निमी परीक्षा पैटर्न पर आधारित मॉक टेस्ट प्रारूप में प्रश्न बैंक सम्मिलित किया गया है।

यह पुस्तक **DGT/NCVT** द्वारा निर्धारित नवीनतम पाठ्यक्रम का पालन करती है तथा नवीनतम **NIMI** परीक्षा पैटर्न के अनुरूप तैयार की गई है। इसे सरल समझ और व्यावहारिक उपयोग को ध्यान में रखते हुए संरचित किया गया है।

इस पुस्तक में दिए गए **MCQs** को बहु-स्तरीय स्तरों—**स्मरण, समझ, अनुप्रयोग, और विश्लेषण**—पर द्विभाषी प्रारूप में तैयार किया गया है, ताकि संकल्पनात्मक स्पष्टता तथा परीक्षा-तत्परता को सुदृढ़ किया जा सके।

हमारा उद्देश्य केवल विद्यार्थियों को **ITI पाठ्यक्रमों** एवं **NCVT परीक्षाओं** में उत्कृष्ट प्रदर्शन के लिए सक्षम बनाना ही नहीं, बल्कि उन्हें **सरकारी** तथा **निजी** दोनों क्षेत्रों में प्रतिस्पर्धी रोजगार अवसरों के लिए भी तैयार करना है।

How to Study This Book | इस पुस्तक का अध्ययन कैसे करें

The Trade Theory section is covered in detail. Students are advised to study this section thoroughly and carefully, and to develop a clear conceptual understanding with the help of detailed explanations, diagrams, and a flow-based presentation.

Except for the Trade Theory section, the other sections contain important summaries. These summaries are sufficient in accordance with the weightage of the respective sections.

Practice the MCQs only after completing the theory part of the module.

Students are advised to study this book in only one language, either Hindi or English. They should not compare the Hindi version with the English version during study.

In case of any discrepancy in technical terminology, translation, or conceptual interpretation, the English version shall be considered authoritative.

At the end of the book, practice sets based on the NIMI exam pattern have been provided. Students are strongly advised to practice these questions at least twice before appearing for the examination.

To practice the question bank in a computer-based mock test format, scan the QR code provided in the last part of the book.

ट्रेड थ्योरी अनुभाग को विस्तृत रूप से प्रस्तुत किया गया है। विद्यार्थियों को सलाह दी जाती है कि वे इस अनुभाग का गहन एवं सावधानीपूर्वक अध्ययन करें तथा विस्तृत व्याख्याओं, आरेखों और क्रमबद्ध प्रस्तुतीकरण की सहायता से अपनी अवधारणाओं को स्पष्ट एवं सुदृढ़ करें।

ट्रेड थ्योरी अनुभाग को छोड़कर अन्य सभी अनुभागों में महत्वपूर्ण सारांश दिए गए हैं। ये सारांश संबंधित अनुभागों के वेटेज के अनुसार पर्याप्त हैं।

थ्योरी भाग पूर्ण करने के बाद ही संबंधित बहुविकल्पीय प्रश्नों (MCQs) का अभ्यास करें।

विद्यार्थियों को सलाह दी जाती है कि वे इस पुस्तक का अध्ययन केवल एक ही भाषा—हिंदी अथवा अंग्रेज़ी—में करें। अध्ययन के समय हिंदी और अंग्रेज़ी संस्करणों की आपस में तुलना न करें।

तकनीकी शब्दावली, अनुवाद या अवधारणात्मक व्याख्या में किसी भी असंगति की स्थिति में अंग्रेज़ी संस्करण को प्रामाणिक माना जाएगा।

पुस्तक के अंत में NIMI परीक्षा पैटर्न पर आधारित अभ्यास सेट प्रदान किए गए हैं। विद्यार्थियों को दृढ़तापूर्वक सलाह दी जाती है कि वे परीक्षा में सम्मिलित होने से पूर्व इन प्रश्नों का कम से कम दो बार अभ्यास अवश्य करें।

प्रश्न बैंक का अभ्यास कंप्यूटर-आधारित मॉक टेस्ट प्रारूप में करने के लिए, पुस्तक के अंतिम भाग में दिए गए QR कोड को स्कैन करें।

Acknowledgment | आभार

The content of this book has been developed with reference to the official ITI syllabus and the guidelines issued by the Directorate General of Training (DGT) and the National Instructional Media Institute (NIMI). It has been prepared using the prescribed syllabus documents and standard training resources for educational purposes.

The publishers gratefully acknowledge the contribution of these institutions to curriculum development and the promotion of vocational education in India.

इस पुस्तक की सामग्री का विकास आधिकारिक आईटीआई पाठ्यक्रम तथा प्रशिक्षण महानिदेशालय (DGT) और राष्ट्रीय अनुदेशात्मक मीडिया संस्थान (NIMI) द्वारा जारी दिशा-निर्देशों के संदर्भ में किया गया है। इसे शैक्षिक उद्देश्यों के लिए निर्धारित पाठ्यक्रम दस्तावेजों एवं मानक प्रशिक्षण संसाधनों के आधार पर तैयार किया गया है।

प्रकाशक भारत में पाठ्यक्रम विकास तथा व्यावसायिक शिक्षा के प्रोत्साहन में इन संस्थानों के योगदान के प्रति कृतज्ञतापूर्वक आभार व्यक्त करते हैं।

Syllabus	
Learning Outcomes	**Trade Theory**
LO-1	Analyse the components by inertial relief method and by non-linear analysis.
LO-2	Perform modal analysis of component, brackets and assemblies and apply the concept about the mode shapes (Rigid and local body) and frequencies.
LO-3	Execute basic thermal analysis of simple components like plate, beam for conduction and convection in variable temperature.
LO-4	Perform frequency response analysis of beam and any suspension component.
LO-5	Perform Thermo-mechanical analysis of engine components, welded joints etc.
Modules	**Workshop Calculation & Science**
Friction	Friction – Advantages and disadvantages, Laws of friction, co-efficient of friction, angle of friction, simple problems related to friction. Lubrication. Friction – Co- efficient of friction, application and effects of friction in workshop practice.
Centre of Gravity	Centre of gravity – Centre of gravity and its practical application
Area of cut out regular surfaces and area of irregular surfaces	Area of cut out regular surfaces – circle, segment and sector of circle. Related problems of area of cut out regular surfaces – circle, segment and sector of circle. Area of irregular surfaces and application related to shop problems.
Estimation and Costing	Simple estimation of the requirement of material etc., as applicable to the trade. Estimation and costing – Problems on estimation and costing.
Modules	**Engineering Drawing**
Module-1	Reading of drawing of nuts, bolt, screw thread, different types of locking devices e.g., Double nut, Castle nut, Pin, etc.
Module-2	Reading of foundation drawing
Module-3	Reading of rivets and rivetted joints, Welded joints
Module-4	Reading of drawing of pipes and pipe joints
Module-5	Reading of job drawing, sectional view & assembly view.
Modules	**Employability Skills**
Basic Career Skills	Learners will be able to build a resume, cover letter & a job application, Learners will be able to use basic English Skills to communicate in Formal Situations, Learners will be able to use basic English Skills to communicate in Informal Situations, Learners will be able to demonstrate workplace etiquette, effective teamwork in real-life situations.
Future Work Skills	Learners will be able to list out the essential skills required for the Future Workplace, using online & offline modes to collect information, Learners will be able to use their knowledge of platform & gig economy to identify jobs relevant to them, Learners will be able to identify self-employment opportunities relevant to them, Learners identify and solve for challenges in migrating for work opportunities, Learners explore the SDIP platform to identify potential international job opportunities available to them, Learners will be able to differentiate workplace practices that align/misalign with green mindset.
Engagement Activity 1: Family Engagement	Family members gain awareness of the career aspirations, job opportunities available for the learners and develop an encouraging mindset Learners get a more conducive environment for career development.
Entrepreneurial Skills	Learners will be able to identify the stages of the design thinking process, Learners will be able to apply design thinking principles to solve a real-life problem, Learners will be able to apply design thinking principles to identify a potential business idea, Learners will be able to build and present a comprehensive business plan including marketing, finance, scale up, accounting, reflecting entrepreneurial mindset.
Internet Skills...	Learners will be able to use the internet to find, sort & present information on a given topic and reflect on their self-learning process, Learners will be able to use the internet to explore key job portals, identify and apply for potential jobs, Learners will be able to apply for jobs by attaching their resume, cover letter & other relevant documents via email, Learners will be able to identify how to use social media tools such as WhatsApp, YouTube, Instagram etc to build alternate career paths.
Engagement Activity 2: Alumni Engagement	Learners gain deeper insights about the workplace, its challenges and new ideas to solve for the problems, Learners feel a greater sense of motivation and confidence towards their career.

Professional Skills	Learners will be able to demonstrate people skills, personality skills, thinking skills required in various workplace scenarios, Learners will be able to state the importance of CPD for their career growth, Learners are able to identify relevant online courses for upskilling/continuous learning, Personality Skills: Adaptability, Flexibility, Growth Mindset, Thinking Skills: Creative Thinking, Negotiation & Decision Making, Future Thinking
Engagement Activity 3: HR Interaction	Learners will be able to resolve their workplace and career related queries, Learners feel a greater sense of motivation and confidence towards their career.

Table of Contents

Part 1: Trade Theory | ट्रेड थ्योरी 1

Learning Outcome-1 2

1.1 Introduction to Finite Element Analysis (FEA) | फाइनाइट एलिमेंट विश्लेषण (FEA) का परिचय 2

1.2 Importing and Creating Geometry | ज्यामिति आयात करना और बनाना 3

1.3 Creation of Finite Element Model (Meshing) | फाइनाइट एलिमेंट मॉडल का निर्माण (मेषिंग) 5

1.4 Assignment of Material Properties | सामग्री गुणों का निर्धारण 6

1.5 Inertial Relief Method | जड़त्व राहत विधि 8

1.6 Non-Linear Analysis | गैर-रेखीय विश्लेषण 9

1.7 Application of Loads and Boundary Conditions | भार और सीमा शर्तों का अनुप्रयोग 11

1.8 Running the Analysis | विश्लेषण का संचालन 12

1.9 Review of Results | परिणामों की समीक्षा 13

1.10 Comparison Between Linear and Nonlinear Analysis | रैखिक और गैर-रैखिक विश्लेषण के बीच तुलना 14

1.11 Block Diagram of FEA Process | FEA प्रक्रिया का ब्लॉक आरेख 15

1.12 Safety Precautions During Simulation Work | सिमुलेशन कार्य के दौरान सुरक्षा सावधानियाँ 16

MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 18

Learning Outcome-2 25

2.1 Introduction to Modal Analysis | मोडल विश्लेषण का परिचय 25

2.2 Basic Concepts of Vibration | कंपन की मूल अवधारणाएँ 26

2.3 Types of Mode Shapes | मोड आकारों के प्रकार 27

2.4 Geometry Creation and Import | ज्यामिति निर्माण और आयात 28

2.5 Creation of Finite Element Model | सीमित तत्व मॉडल का निर्माण 29

2.6 Assignment of Material Properties | सामग्री गुणों का निर्धारण 30

2.7 Boundary Conditions in Modal Analysis | मोडल विश्लेषण में सीमा शर्तें 31

2.8 Selection of Solution Type – Modal Analysis | समाधान प्रकार का चयन – मोडल विश्लेषण 32

2.9 Procedure of Modal Analysis | मोडल विश्लेषण की प्रक्रिया 33

2.10 Review of Results | परिणामों की समीक्षा 34

2.11 Modal Analysis of Brackets| ब्रैकेट का मोडल विश्लेषण 35

2.12 Modal Analysis of Assemblies | असेंबली का मोडल विश्लेषण 36

2.13 Comparison Between Rigid and Local Modes | कठोर और स्थानीय मोड के बीच तुलना 37

2.14 Applications of Modal Analysis | मोडल विश्लेषण के अनुप्रयोग 38

2.15 Safety Precautions in Modal Analysis | मोडल विश्लेषण में सुरक्षा सावधानियाँ 39

MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 41

Learning Outcome-3 48

3.1 Introduction to Thermal Analysis | तापीय विश्लेषण का परिचय 48

3.2 Basics of Heat Transfer | ऊष्मा स्थानांतरण के आधारभूत सिद्धांत 49

3.3 Thermal Properties of Materials | सामग्रियों के तापीय गुण 50

3.4 Geometry Creation and Import | ज्यामिति निर्माण और आयात 52

3.5 Creation of Finite Element Model (Meshing) | सीमित तत्व मॉडल का निर्माण (मेशिंग) 53

3.6 Application of Loads and Boundary Conditions | भार एवं सीमा शर्तों का अनुप्रयोग 54

3.7 Working Principle of Thermal FEA | तापीय FEA का कार्य सिद्धांत 56

3.8 Block Diagram of Thermal Analysis Procedure |तापीय विश्लेषण प्रक्रिया का ब्लॉक आरेख 57
3.9 Review of Results | परिणामों की समीक्षा 58
3.10 Thermal Analysis of Plate | प्लेट का तापीय विश्लेषण 59
3.11 Thermal Analysis of Beam | बीम का तापीय विश्लेषण 61
3.12 Comparison Between Conduction and Convection | चालन और संवहन के बीच तुलना 62
3.13 Safety Precautions in Thermal Analysis | तापीय विश्लेषण में सुरक्षा सावधानियाँ 63
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 64
Learning Outcome-4 71
4.1 Introduction to Frequency Response Analysis | आवृत्ति प्रतिक्रिया विश्लेषण का परिचय 71
4.2 Basic Concepts of Vibration | कंपन की मूल अवधारणाएँ 72
4.3 Sinusoidal Loading | साइनसोइडल लोडिंग 73
4.4 Geometry Creation and Import | ज्यामिति निर्माण और आयात 74
4.5 Creation of Finite Element Model | सीमित तत्व मॉडल का निर्माण 75
4.6 Assignment of Material Properties | सामग्री गुणों का निर्धारण 76
4.7 Boundary Conditions and Load Application | सीमा शर्तें और भार का अनुप्रयोग 77
4.8 Selection of Solution Type | समाधान प्रकार का चयन 78
4.9 Block Diagram of Frequency Response Analysis Procedure | आवृत्ति प्रतिक्रिया विश्लेषण प्रक्रिया का ब्लॉक आरेख .. 79
4.10 Review of Results | परिणामों की समीक्षा 80
4.11 Frequency Response of Beam | बीम की आवृत्ति प्रतिक्रिया 81
4.12 Frequency Response of Suspension Component | सस्पेंशन घटक की आवृत्ति प्रतिक्रिया 82
4.13 Comparison Between Static and Dynamic Analysis | स्थैतिक और गतिशील विश्लेषण के बीच तुलना 83
4.14 Safety Precautions in Frequency Response | आवृत्ति प्रतिक्रिया विश्लेषण में सुरक्षा सावधानियाँ 84
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 85
Learning Outcome-5 91
5.1 Introduction to Thermo-Mechanical Analysis |थर्मो-मैकेनिकल विश्लेषण का परिचय 91
5.2 Basic Concepts of Thermo-Mechanical Behavior | थर्मो-मैकेनिकल व्यवहार की मूल अवधारणाएँ 92
5.3 Engine Components and Welded Joints | इंजन घटक और वेल्डेड जॉइंट्स 93
5.4 Geometry Creation and Import | ज्यामिति निर्माण और आयात 94
5.5 Creation of Finite Element Model |सीमित तत्व मॉडल का निर्माण 95
5.6 Assignment of Material Properties | सामग्री गुणों का निर्धारण 96
5.7 Conversion of Loads |भारों का रूपांतरण 97
5.8 Working Principle of Thermo-Mechanical Analysis |थर्मो-मैकेनिकल विश्लेषण का कार्य सिद्धांत 98
5.9 Block Diagram of Thermo-Mechanical Analysis | थर्मो-मैकेनिकल विश्लेषण का ब्लॉक आरेख 99
5.10 Review of Results | परिणामों की समीक्षा 100
5.11 Comparison Between Thermal, Mechanical and Thermo-Mechanical Analysis | तापीय, यांत्रिक और थर्मो-मैकेनिकल विश्लेषण के बीच तुलना 104
5.12 Applications of Thermo-Mechanical Analysis | थर्मो-मैकेनिकल विश्लेषण के अनुप्रयोग 105
5.13 Case Studies of FEA Analysis | FEA विश्लेषण के केस स्टडी 106
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 110

Part – 2: Workshop Calculation and Science | वर्कशॉप कैलकुलेशन एंड साइंस 118
1. Friction | घर्षण 119
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 121
2. Centre of Gravity | गुरुत्वाकर्षण केंद्र 127
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 129
3. Area of Cut out Regular Surfaces and Area of Irregular Surfaces | काटे गए नियमित सतहों का क्षेत्रफल और अनियमित सतहों का क्षेत्रफल 135
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 137
4. Estimation and Costing | अनुमान और लागत निर्धारण 141
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 143
Part – 3: Engineering Drawing | अभियांत्रिकी चित्रण 147
1. Reading of Drawing of Nuts, Bolt. Etc. | नट, बोल्ट, आदि के ड्राइंग पढ़ना 148
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 150
2. Reading of Foundation Drawing | फाउंडेशन ड्राइंग पढ़ना 155
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 157
3. Reading of Rivets and Riveted Joints, Welded Joints | रिवेट्स और रिवेटेड जोड़, वेल्डेड जोड़ पढ़ना 160
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 162
4. Reading of Drawing of Pipes and Pipe Joints | पाइप और पाइप जोड़ के ड्राइंग पढ़ना 167
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 169
5. Reading of Job Drawing, Sectional View & Assembly View | कार्य ड्राइंग, खंड दृश्य एवं संयोजन दृश्य पढ़ना 173
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 175
Part – 4: Employability Skills | रोज़गारयोग्यता कौशल 181
1. Basic Career Skills | मूल करियर कौशल 182
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 185
2. Future Work Skills | भविष्य के कार्य कौशल 194
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 198
3. Entrepreneurial Skills | उद्यमिता कौशल 206
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 208
4. Internet Skills | इंटरनेट कौशल 216
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 219
5. Professional Skills | व्यावसायिक कौशल 227
MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न 230
Part – 5: Mock Tests | मॉक टेस्ट्स 238
Mock Tests | मॉक टेस्ट - 1 239
Mock Test | मॉक टेस्ट – 2 250

Part 1: Trade Theory | ट्रेड थ्योरी

Learning Outcome-2

2.1 Introduction to Modal Analysis | मोडल विश्लेषण का परिचय

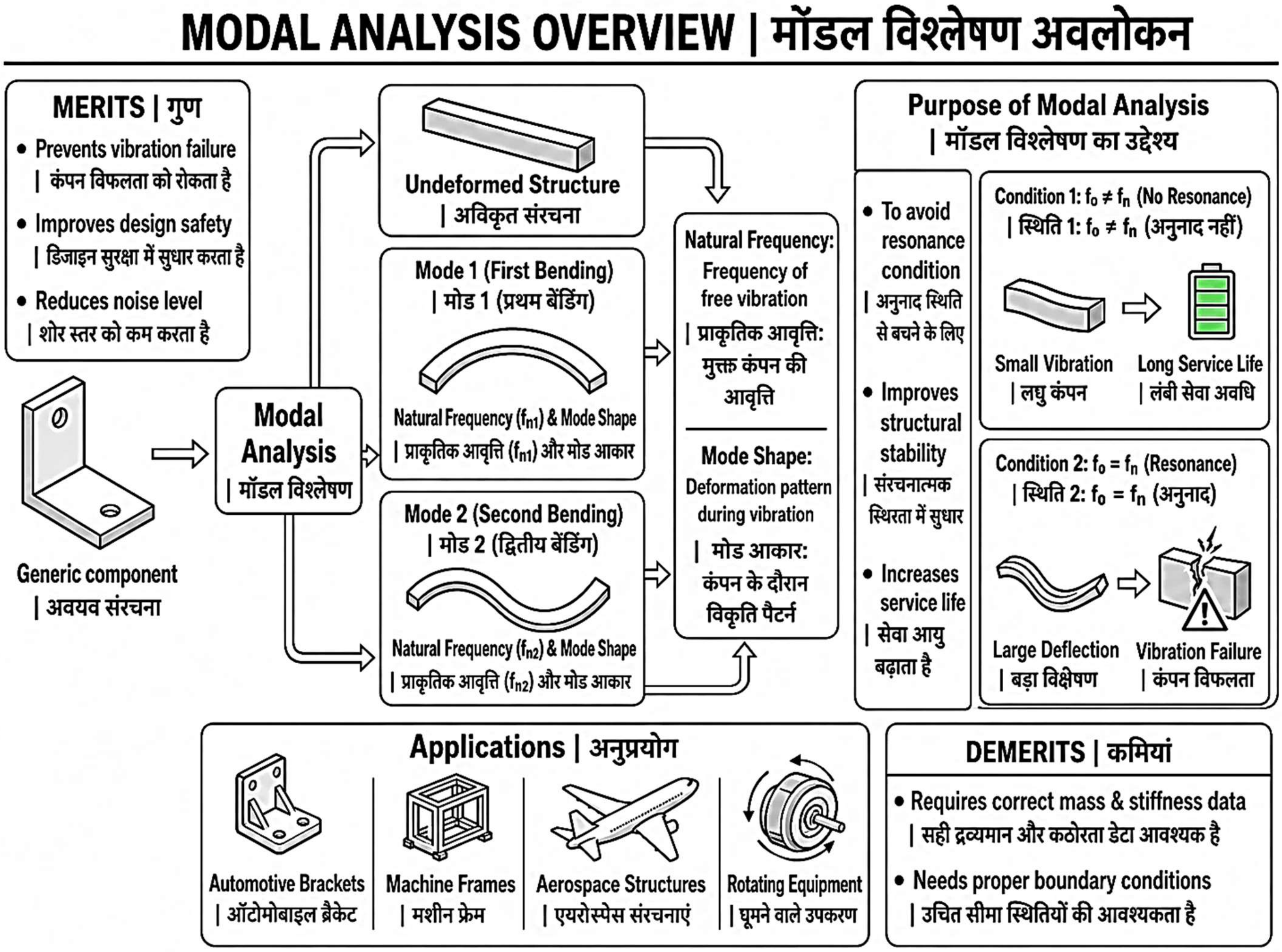


Fig. 2.1: Modal Analysis Overview with Natural Frequency and Mode Shapes | प्राकृतिक आवृत्ति और मोड आकार सहित मॉडल विश्लेषण का अवलोकन

2.1.1 Definition of Modal Analysis (Fig. 2.1)

Modal Analysis is the study of vibration characteristics of a component or structure.
It determines the **natural frequencies** and corresponding **mode shapes**.
Natural frequency is the frequency at which a structure vibrates freely.
Mode shape shows the deformation pattern during vibration.

2.1.2 Purpose of Modal Analysis

Modal analysis is performed to avoid resonance condition.
Resonance occurs when operating frequency matches natural frequency.
It improves structural stability and increases service life of components.

2.1.3 Applications

Used in automotive brackets, machine frames, aerospace structures, and rotating equipment to study vibration behavior.

2.1.1 मोडल विश्लेषण की परिभाषा (Fig. 2.1)

मोडल विश्लेषण किसी घटक या संरचना की कंपन विशेषताओं का अध्ययन है।
यह प्राकृतिक आवृत्तियों और संबंधित मोड आकारों का निर्धारण करता है।
प्राकृतिक आवृत्ति वह आवृत्ति है जिस पर कोई संरचना स्वतंत्र रूप से कंपन करती है।
मोड आकार कंपन के दौरान विरूपण के पैटर्न को दर्शाता है।

2.1.2 मोडल विश्लेषण का उद्देश्य

अनुनाद स्थिति से बचने के लिए मोडल विश्लेषण किया जाता है।
अनुनाद तब होता है जब संचालन आवृत्ति प्राकृतिक आवृत्ति से मेल खाती है।
यह संरचनात्मक स्थिरता में सुधार करता है और घटकों की सेवा आयु बढ़ाता है।

2.1.3 अनुप्रयोग

कंपन व्यवहार के अध्ययन के लिए ऑटोमोटिव ब्रैकेट, मशीन फ्रेम, एयरोस्पेस संरचनाओं तथा घूर्णन उपकरणों में उपयोग किया जाता है।

2.1.4 Merits and Demerits

Merits:

Prevents vibration failure.
Improves design safety.
Reduces noise level.

Demerits:

Requires correct mass and stiffness data.
Needs proper boundary conditions.

2.1.4 लाभ और हानियाँ

लाभ:

कंपन विफलता को रोकता है।
डिज़ाइन सुरक्षा में सुधार करता है।
शोर स्तर को कम करता है।

हानियाँ:

सही द्रव्यमान और कठोरता डेटा की आवश्यकता होती है।
उचित सीमा शर्तों की आवश्यकता होती है।

2.2 Basic Concepts of Vibration | कंपन की मूल अवधारणाएँ

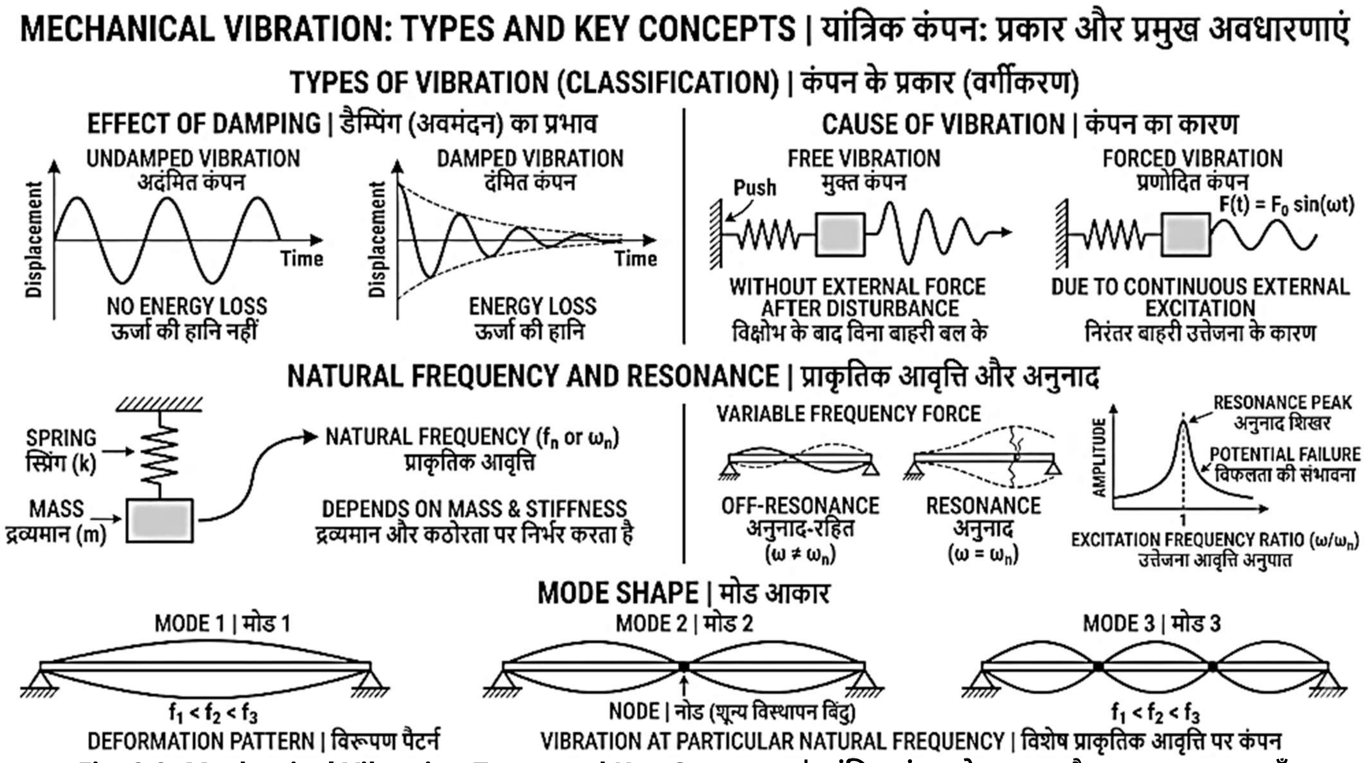


Fig. 2.2: Mechanical Vibration Types and Key Concepts | यांत्रिक कंपन के प्रकार और प्रमुख अवधारणाएँ

2.2.1 Types of Vibration (Fig. 2.2)

Vibration is oscillatory motion of a body about its equilibrium position.

Free Vibration – Occurs without external force after initial disturbance.

Forced Vibration – Occurs due to continuous external excitation.

Damped Vibration – Amplitude decreases with time due to damping.

Undamped Vibration – No energy loss; amplitude remains constant.

2.2.2 Natural Frequency

Natural frequency is the frequency at which a structure vibrates freely without external force.
It depends on mass and stiffness of the structure.

2.2.3 Resonance

Resonance occurs when excitation frequency equals natural frequency.

2.2.1 कंपन के प्रकार (Fig. 2.2)

कंपन किसी पिंड की अपनी संतुलन स्थिति के चारों ओर दोलकीय गति है।

मुक्त कंपन – प्रारंभिक विक्षोभ के बाद बिना बाह्य बल के होता है।

बलपूर्वक कंपन – निरंतर बाह्य उद्दीपन के कारण होता है।

नियंत्रित कंपन – डैम्पिंग के कारण समय के साथ आयाम कम होता है।

अअनियंत्रित कंपन – ऊर्जा हानि नहीं होती; आयाम स्थिर रहता है।

2.2.2 प्राकृतिक आवृत्ति

प्राकृतिक आवृत्ति वह आवृत्ति है जिस पर कोई संरचना बिना बाह्य बल के स्वतंत्र रूप से कंपन करती है।
यह संरचना के द्रव्यमान और कठोरता पर निर्भर करती है।

2.2.3 अनुनाद

अनुनाद तब होता है जब उद्दीपन आवृत्ति प्राकृतिक आवृत्ति के बराबर हो जाती है।

It causes large amplitude vibration and may lead to failure.

यह बड़े आयाम का कंपन उत्पन्न करता है और विफलता का कारण बन सकता है।

2.2.4 Mode Shape

Mode shape is the deformation pattern of a structure during vibration at a particular natural frequency.

2.2.4 मोड आकार

मोड आकार किसी विशेष प्राकृतिक आवृत्ति पर कंपन के दौरान संरचना का विरूपण पैटर्न है।

2.3 Types of Mode Shapes | मोड आकारों के प्रकार

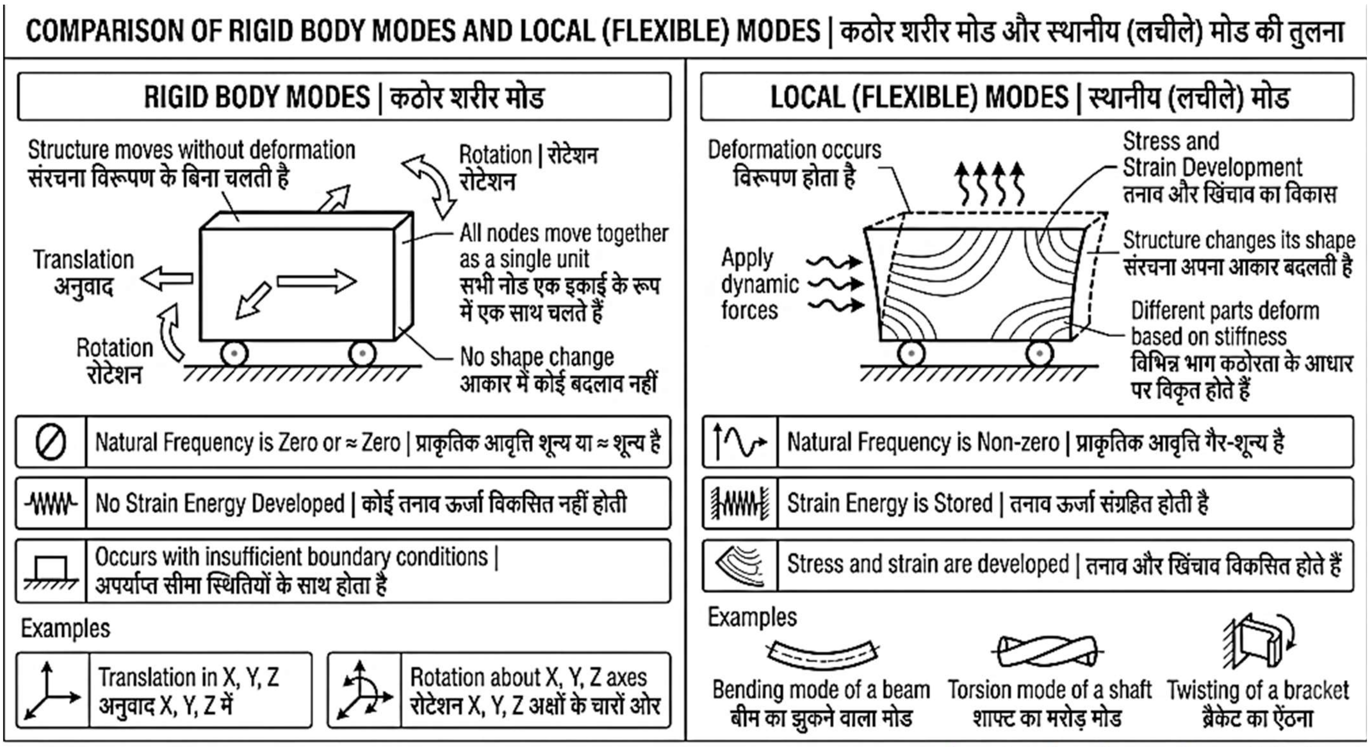


Fig. 2.3: Comparison of Rigid Body Modes and Local Flexible Modes | कठोर शरीर मोड और स्थानीय लचीले मोड की तुलना

2.3.1 Rigid Body Modes (Fig. 2.3)

Definition

Rigid body modes are vibration modes in which the structure moves without deformation. There is no change in shape of the component.

Working Principle

In rigid body mode, the entire body moves as a single unit. All nodes have equal displacement in a particular direction.

Characteristics

There is no strain energy developed in the structure.
The natural frequency is zero or very close to zero.
It occurs when no sufficient boundary conditions are applied.

Examples

Translation in X, Y, and Z directions.
Rotation about X, Y, and Z axes.

2.3.1 कठोर पिंड मोड (Fig. 2.3)

परिभाषा

कठोर पिंड मोड वे कंपन मोड हैं जिनमें संरचना बिना विरूपण के गति करती है। घटक के आकार में कोई परिवर्तन नहीं होता है।

कार्य सिद्धांत

कठोर पिंड मोड में पूरा पिंड एक एकल इकाई के रूप में गति करता है। सभी नोड्स का किसी विशेष दिशा में समान विस्थापन होता है।

विशेषताएँ

संरचना में कोई विकृति ऊर्जा उत्पन्न नहीं होती है।
प्राकृतिक आवृत्ति शून्य या शून्य के अत्यंत निकट होती है।
यह तब उत्पन्न होता है जब पर्याप्त सीमा शर्तें लागू नहीं की जाती हैं।

उदाहरण

X, Y और Z दिशाओं में अनुवाद।
X, Y और Z अक्षों के बारे में घूर्णन।

2.3.2 Local (Flexible) Modes

Definition

Local or Flexible modes are vibration modes in which deformation occurs in the component. The structure changes its shape during vibration.

2.3.2 स्थानीय (लचीले) मोड

परिभाषा

स्थानीय या लचीले मोड वे कंपन मोड हैं जिनमें घटक में विरूपण होता है। कंपन के दौरान संरचना अपना आकार बदलती है।

Working Principle
Flexible modes occur due to stiffness and mass distribution of the structure. When subjected to dynamic excitation, different parts deform according to their stiffness.
Characteristics
Natural frequency is non-zero.
Stress and strain are developed in the structure.
Strain energy is stored during deformation.
Examples
Bending mode of a beam.
Torsion mode of a shaft.
Twisting of a bracket under dynamic load.

कार्य सिद्धांत
लचीले मोड संरचना की कठोरता और द्रव्यमान वितरण के कारण उत्पन्न होते हैं। गतिशील उद्दीपन के अधीन होने पर विभिन्न भाग अपनी कठोरता के अनुसार विरूपित होते हैं।
विशेषताएँ
प्राकृतिक आवृत्ति शून्य नहीं होती है।
संरचना में तनाव और विकृति उत्पन्न होते हैं।
विरूपण के दौरान विकृति ऊर्जा संग्रहीत होती है।
उदाहरण
बीम का मोड़ मोड।
शाफ्ट का मरोड़ मोड।
गतिशील भार के अधीन ब्रैकेट का ट्विस्ट होना।

2.4 Geometry Creation and Import | ज्यामिति निर्माण और आयात

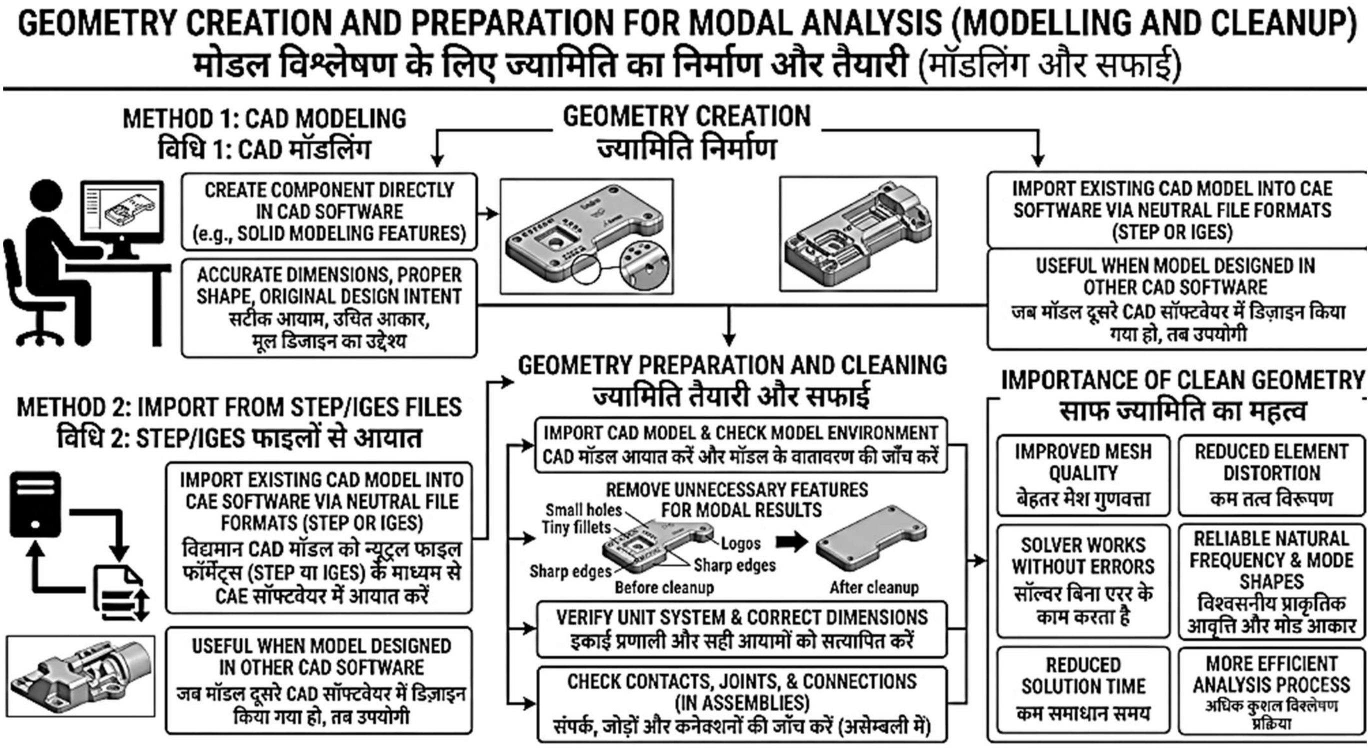


Fig. 2.4: Geometry Creation and Preparation for Modal Analysis | मॉडल विश्लेषण के लिए ज्यामिति निर्माण और तैयारी

2.4.1 Methods of Geometry Creation (Fig. 2.4)
Geometry for modal analysis can be created by two main methods. The first method is **CAD Modeling**, in which the component is created directly in CAD software by using solid modeling features. This method gives accurate dimensions, proper shape, and maintains the original design intent. The second method is **Import from STEP/IGES Files**, in which an already prepared CAD model is imported into CAE software through neutral file formats such as STEP or IGES. This method is useful when the model is designed in other CAD software and needs to be analyzed in simulation software.

2.4.2 Geometry Preparation
After creating or importing the CAD model, the next

2.4.1 ज्यामिति निर्माण की विधियाँ (Fig. 2.4)
मोडल विश्लेषण के लिए ज्यामिति का निर्माण मुख्यतः दो विधियों से किया जा सकता है। पहली विधि **CAD मॉडलिंग** है, जिसमें ठोस मॉडलिंग विशेषताओं का उपयोग करके अवयव को सीधे CAD सॉफ्टवेयर में तैयार किया जाता है। यह विधि सटीक आयाम, उचित आकार तथा मूल अभिकल्प आशय को बनाए रखती है। दूसरी विधि **STEP/IGES फाइलों से आयात** है, जिसमें पूर्व-तैयार CAD मॉडल को STEP या IGES जैसे न्यूट्रल फाइल प्रारूपों के माध्यम से CAE सॉफ्टवेयर में आयात किया जाता है। यह विधि उस स्थिति में विशेष रूप से उपयोगी होती है, जब मॉडल किसी अन्य CAD सॉफ्टवेयर में बनाया गया हो और उसका विश्लेषण सिमुलेशन सॉफ्टवेयर में करना हो।

2.4.2 ज्यामिति की तैयारी
CAD मॉडल के निर्माण या आयात के बाद अगला चरण विश्लेषण

step is to prepare the model in analysis software. Geometry preparation includes importing the CAD model properly, checking the model in the software environment, and cleaning the geometry before meshing. Unnecessary features such as very small holes, tiny fillets, sharp edges, logos, and extra details should be removed because they do not affect modal results significantly but increase mesh complexity. Correct dimensions and unit system must also be verified. In assembly models, contacts, joints, and connections between parts should be checked carefully.

सॉफ्टवेयर में मॉडल की तैयारी करना होता है। ज्यामिति की तैयारी में CAD मॉडल का सही प्रकार से आयात, सॉफ्टवेयर परिवेश में मॉडल की जाँच, तथा मेशिंग से पहले ज्यामिति की सफाई शामिल होती है। बहुत छोटे छिद्र, सूक्ष्म फिलेट, तीक्ष्ण किनारे, लोगो तथा अतिरिक्त विवरण जैसी अनावश्यक विशेषताओं को हटाना चाहिए, क्योंकि ये मोडल परिणामों पर विशेष प्रभाव नहीं डालते, किन्तु मेश की जटिलता को बढ़ा देते हैं। साथ ही, सही आयामों तथा इकाई प्रणाली का सत्यापन भी आवश्यक है। असेंबली मॉडल में भागों के बीच संपर्क, जॉइंट तथा संयोजनों की सावधानीपूर्वक जाँच की जानी चाहिए।

2.4.3 Importance of Clean Geometry

Clean geometry is very important for accurate modal analysis. It improves mesh quality, reduces element distortion, and helps the solver work properly without errors. A clean and simplified model gives more reliable natural frequency and mode shape results. It also reduces solution time and makes the analysis process easier and more efficient.

2.4.3 स्वच्छ ज्यामिति का महत्व

सटीक मोडल विश्लेषण के लिए स्वच्छ ज्यामिति अत्यंत महत्वपूर्ण होती है। यह मेश की गुणवत्ता में सुधार करती है, एलिमेंट विकृति को कम करती है, तथा सॉल्वर को त्रुटिरहित और सुचारु रूप से कार्य करने में सहायता करती है। स्वच्छ एवं सरलीकृत मॉडल अधिक विश्वसनीय प्राकृतिक आवृत्ति तथा मोड आकार के परिणाम प्रदान करता है। इसके अतिरिक्त, यह समाधान समय को कम करता है तथा विश्लेषण प्रक्रिया को अधिक सरल, सुगम और प्रभावी बनाता है।

2.5 Creation of Finite Element Model | सीमित तत्व मॉडल का निर्माण

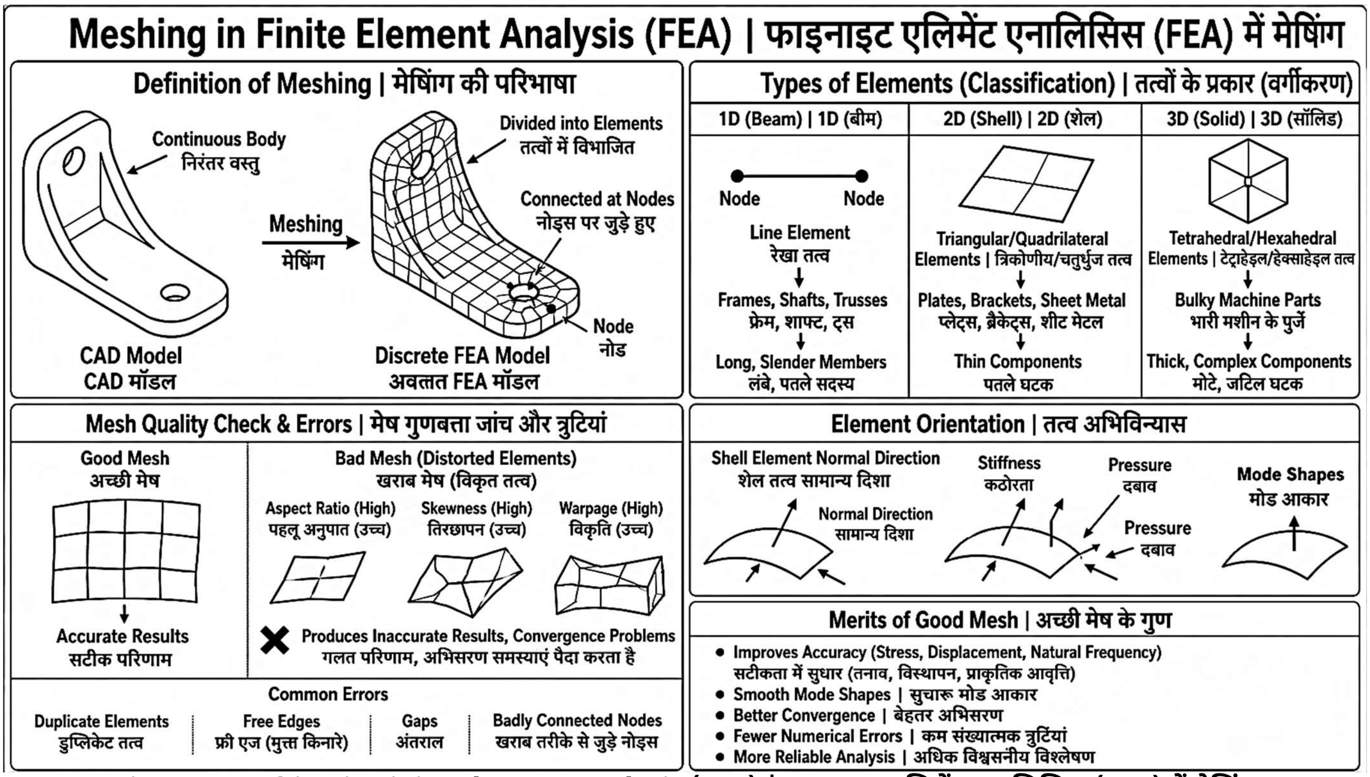


Fig. 2.5: Meshing in Finite Element Analysis (FEA) | फाइनाइट एलिमेंट एनालिसिस (FEA) में मेशिंग

2.5.1 Definition of Meshing (Fig. 2.5)

Meshing is the process of dividing a structure into small finite elements connected at nodes. It converts the continuous body into a discrete model so that numerical analysis can be carried out accurately and efficiently.

2.5.1 मेशिंग की परिभाषा (Fig. 2.5)

मेशिंग वह प्रक्रिया है जिसमें किसी संरचना को नोड्स पर परस्पर जुड़े छोटे-छोटे सीमित अवयवों (Finite Elements) में विभाजित किया जाता है। यह सतत निकाय (Continuous Body) को एक विविक्त मॉडल (Discrete Model) में परिवर्तित करती है, ताकि संख्यात्मक विश्लेषण को शुद्धता तथा दक्षता के साथ किया जा सके।

2.5.2 Types of Elements

1D (Beam): Used for long and slender members

2.5.2 अवयवों के प्रकार

1D (बीम): इनका उपयोग लंबे तथा पतले अवयवों, जैसे फ्रेम, शाफ्ट

such as frames, shafts, and trusses.
2D (Shell): Used for thin components like plates, brackets, and sheet metal parts.
3D (Solid): Used for thick, bulky, and complex machine components where stresses vary in all directions.

और ट्रस, के लिए किया जाता है।
2D (शेल): इनका उपयोग पतले अवयवों, जैसे प्लेट, ब्रैकेट और शीट मेटल भागों, के लिए किया जाता है।
3D (सॉलिड): इनका उपयोग मोटे, भारी तथा जटिल मशीन अवयवों के लिए किया जाता है, जहाँ सभी दिशाओं में तनावों का परिवर्तन होता है।

2.5.3 Mesh Quality Check

Mesh quality must be checked carefully before solving the model. Important parameters are aspect ratio, skewness, warpage, and Jacobian. Poor-quality or distorted elements may produce inaccurate results, convergence problems, or unrealistic stress values. It is also necessary to **check mesh-related errors** such as free edges, duplicate elements, badly connected nodes, gaps, and highly distorted elements. These errors should be corrected before analysis to ensure reliable results.

2.5.3 मेश गुणवत्ता जाँच

मॉडल को हल करने से पूर्व मेश की गुणवत्ता का सावधानीपूर्वक परीक्षण किया जाना चाहिए। इसके प्रमुख मानदंड हैं—आस्पेक्ट रेशियो, स्क्यूनेस, वार्पेज तथा जैकोबियन। निम्न-गुणवत्ता वाले अथवा विकृत अवयव गलत परिणाम, अभिसरण संबंधी समस्याएँ अथवा अवास्तविक तनाव मान उत्पन्न कर सकते हैं। इसके अतिरिक्त, मेश से संबंधित त्रुटियों, जैसे फ्री एज, डुप्लिकेट अवयव, गलत प्रकार से जुड़े नोड्स, गैप तथा अत्यधिक विकृत अवयवों की भी जाँच आवश्यक है। विश्वसनीय परिणाम सुनिश्चित करने के लिए इन त्रुटियों को विश्लेषण से पूर्व सुधारना चाहिए।

2.5.4 Element Orientation

Correct element orientation is important, especially for shell elements. The normal direction must be proper to obtain correct stiffness, pressure direction, and mode shapes in the analysis.

2.5.4 अवयव अभिविन्यास

विशेषकर शेल अवयवों के लिए सही अवयव अभिविन्यास अत्यंत महत्वपूर्ण होता है। विश्लेषण में सही कठोरता, दाब दिशा तथा मोड आकृतियाँ प्राप्त करने के लिए नॉर्मल दिशा का उचित होना आवश्यक है।

2.5.5 Merits of Good Mesh

A good mesh improves the accuracy of stress, displacement, and natural frequency results. It also gives smooth mode shapes, better convergence, fewer numerical errors, and more reliable finite element analysis.

2.5.5 उत्तम मेश के लाभ

एक उत्तम मेश तनाव, विस्थापन तथा प्राकृतिक आवृत्ति के परिणामों की शुद्धता को बढ़ाता है। इसके साथ ही, यह सुगम मोड आकृतियाँ, बेहतर अभिसरण, कम संख्यात्मक त्रुटियाँ तथा अधिक विश्वसनीय सीमित अवयव विश्लेषण सुनिश्चित करता है।

2.6 Assignment of Material Properties | सामग्री गुणों का निर्धारण

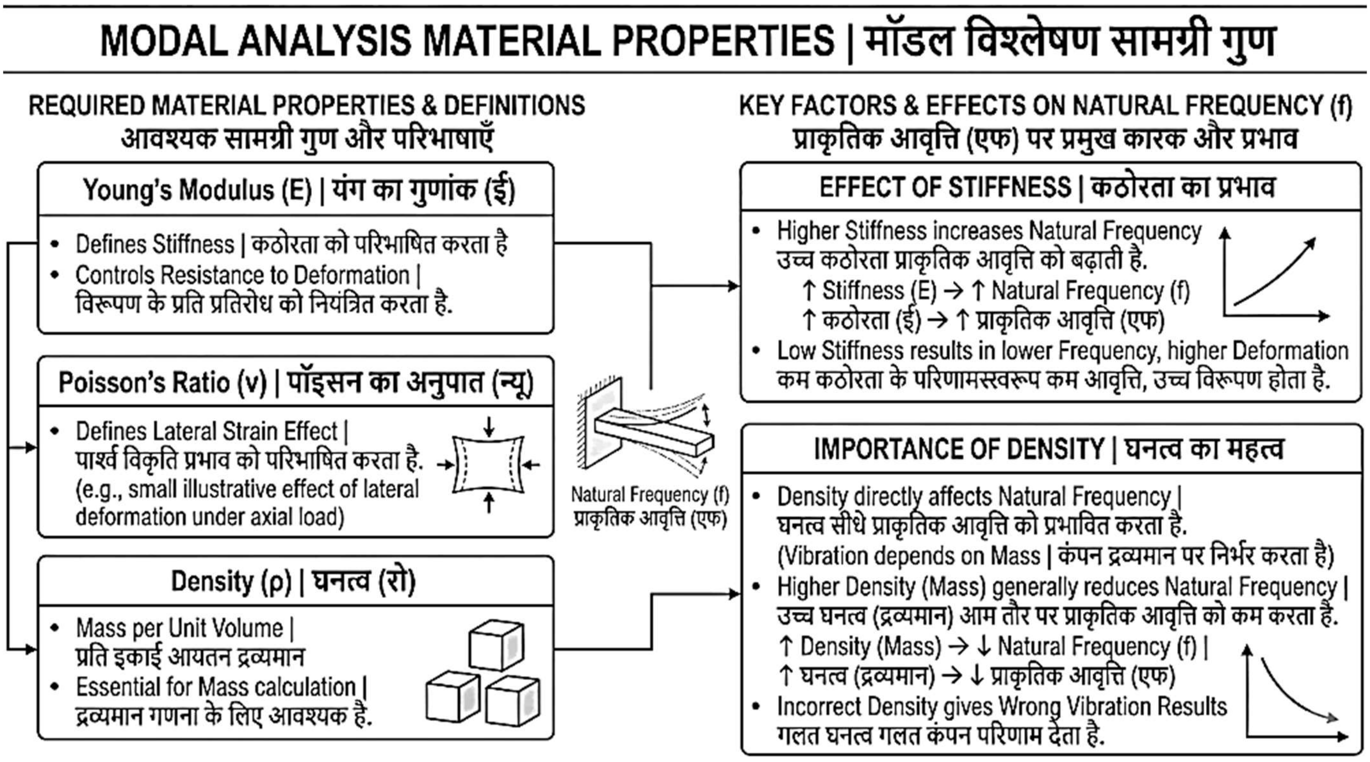


Fig. 2.6: Material Properties in Modal Analysis | मॉडल विश्लेषण में सामग्री गुण

2.6.1 Required Material Properties (Fig. 2.6)
In modal analysis, correct material properties must be defined to calculate natural frequencies.
Young's Modulus (E) – Defines stiffness of the material. It controls resistance to deformation.
Poisson's Ratio (ν) – Defines lateral strain effect during axial loading.
Density (ρ) – Mass per unit volume. It is essential because vibration depends on mass.

2.6.2 Importance of Density
Density directly affects natural frequency.
Higher mass (density) generally reduces natural frequency.
Incorrect density gives wrong vibration results.

2.6.3 Effect of Stiffness
Higher stiffness increases natural frequency.
Low stiffness results in lower frequency and higher deformation.

2.6.1 आवश्यक सामग्री गुण (Fig. 2.6)
मोडल विश्लेषण में प्राकृतिक आवृत्तियों की गणना के लिए सही सामग्री गुणों को परिभाषित करना आवश्यक है।
यंग्स मॉड्यूलस (E) – यह सामग्री की कठोरता को परिभाषित करता है। यह विरूपण के प्रति प्रतिरोध को नियंत्रित करता है।
पॉइसन अनुपात (ν) – यह अक्षीय लोडिंग के दौरान पार्श्व विकृति प्रभाव को परिभाषित करता है।
घनत्व (ρ) – प्रति इकाई आयतन द्रव्यमान। यह आवश्यक है क्योंकि कंपन द्रव्यमान पर निर्भर करता है।

2.6.2 घनत्व का महत्व
घनत्व प्राकृतिक आवृत्ति को सीधे प्रभावित करता है।
अधिक द्रव्यमान (घनत्व) सामान्यतः प्राकृतिक आवृत्ति को कम करता है।
गलत घनत्व से कंपन के गलत परिणाम प्राप्त होते हैं।

2.6.3 कठोरता का प्रभाव
अधिक कठोरता प्राकृतिक आवृत्ति को बढ़ाती है।
कम कठोरता से आवृत्ति कम होती है और विरूपण अधिक होता है।

2.7 Boundary Conditions in Modal Analysis | मोडल विश्लेषण में सीमा शर्तें

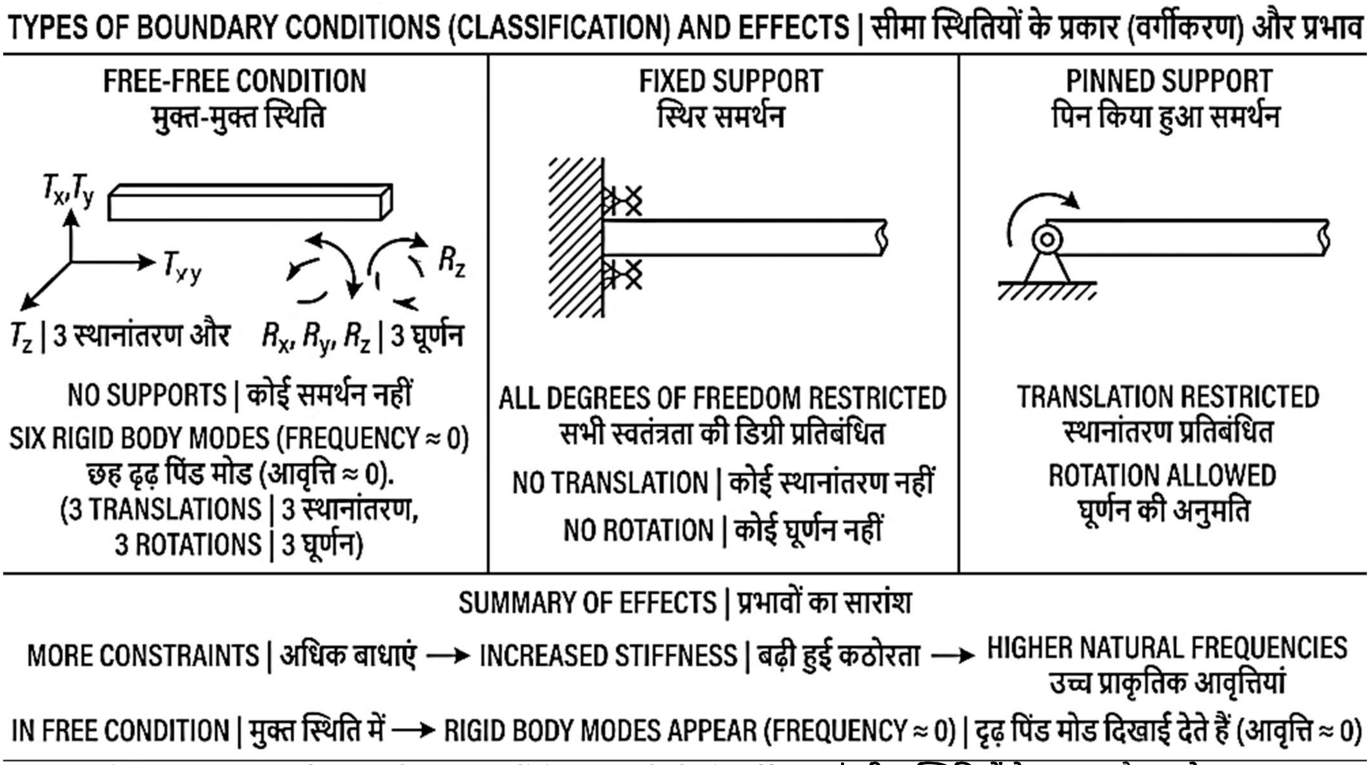


Fig. 2.7: Types of Boundary Conditions and Their Effects | सीमा स्थितियों के प्रकार और उनके प्रभाव

2.7.1 Types of Boundary Conditions (Fig. 2.7)
Boundary conditions define how a structure is supported during vibration analysis.
Free-Free Condition – No supports are applied. The structure is completely free. Six rigid body modes (3 translations and 3 rotations) may appear.
Fixed Support – All degrees of freedom are restricted. The structure cannot translate or rotate at the support.

2.7.1 सीमा शर्तों के प्रकार (Fig. 2.7)
सीमा शर्तें यह परिभाषित करती हैं कि कंपन विश्लेषण के दौरान संरचना को किस प्रकार सहारा दिया गया है।
मुक्त-मुक्त स्थिति – कोई सहारा लागू नहीं किया जाता है। संरचना पूर्णतः मुक्त होती है। छह कठोर पिंड मोड (3 अनुवाद और 3 घूर्णन) प्रकट हो सकते हैं।
स्थिर सहारा – सभी स्वतंत्रता की डिग्रियाँ प्रतिबंधित होती हैं। संरचना सहारे पर न तो अनुवाद कर सकती है और न ही घूर्णन।
पिन सहारा – अनुवाद प्रतिबंधित होता है, परंतु घूर्णन अनुमत होता है।

Pinned Support – Translation is restricted but rotation is allowed.

2.7.2 Effect of Constraints

More constraints increase stiffness of the structure and result in higher natural frequencies.

In free condition, rigid body modes appear with frequency close to zero.

2.7.2 प्रतिबंधों का प्रभाव

अधिक प्रतिबंध संरचना की कठोरता बढ़ाते हैं और परिणामस्वरूप प्राकृतिक आवृत्तियाँ अधिक होती हैं।

मुक्त स्थिति में कठोर पिंड मोड शून्य के निकट आवृत्ति के साथ प्रकट होते हैं।

2.8 Selection of Solution Type – Modal Analysis | समाधान प्रकार का चयन – मोडल विश्लेषण

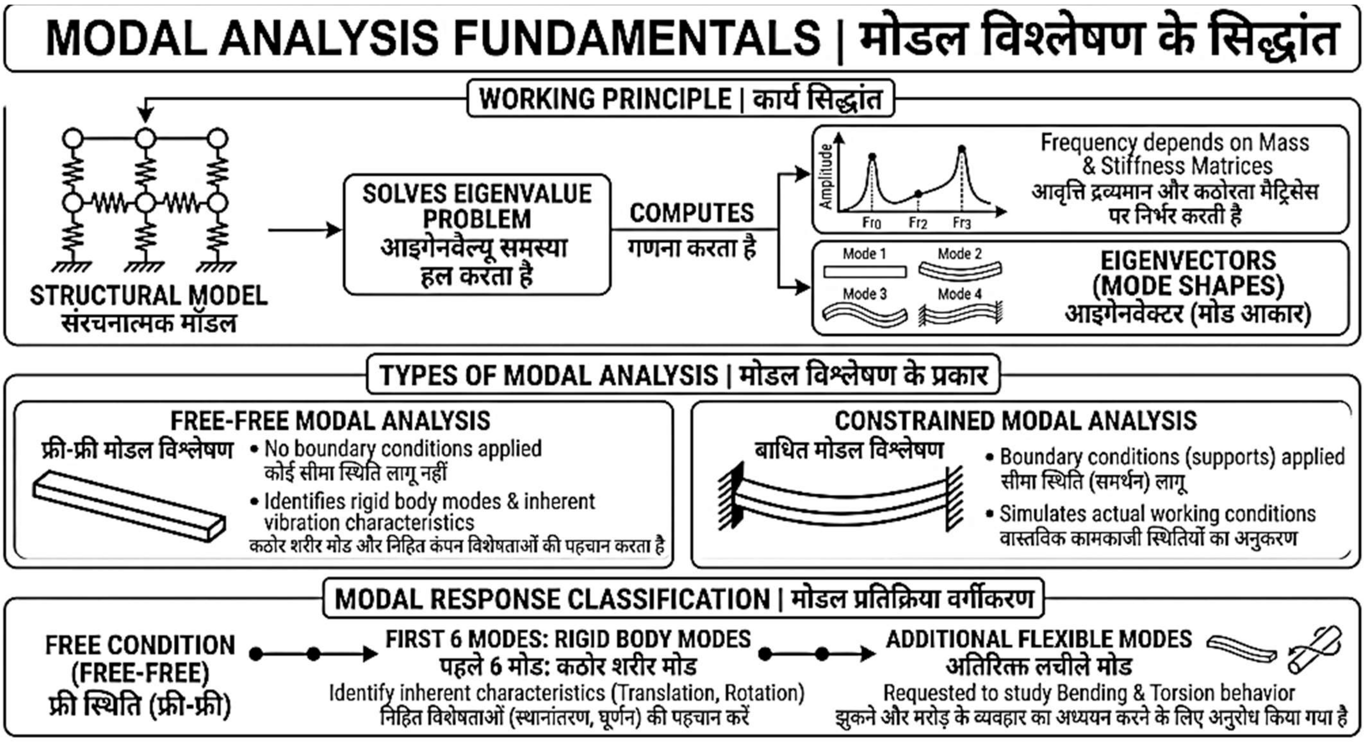


Fig. 2.8: Modal Analysis Fundamentals | मोडल विश्लेषण के सिद्धांत

2.8.1 Types of Modal Analysis (Fig. 2.8)

Free-Free Modal Analysis – No boundary conditions are applied. Used to identify rigid body modes and inherent vibration characteristics.

Constrained Modal Analysis – Supports or constraints are applied to simulate actual working condition.

2.8.2 Working Principle

Modal analysis solves the **eigenvalue problem** of the structure.

The solver computes eigenvalues (natural frequencies) and eigenvectors (mode shapes).

Frequency depends on mass and stiffness matrices.

2.8.3 Requesting Rigid and Local Modes

Generally, first 6 modes represent rigid body modes in free condition.

Additional flexible modes are requested to study bending and torsion behavior.

2.8.1 मोडल विश्लेषण के प्रकार (Fig. 2.8)

मुक्त-मुक्त मोडल विश्लेषण – कोई सीमा शर्तें लागू नहीं की जाती हैं। इसका उपयोग कठोर पिंड मोड और अंतर्निहित कंपन विशेषताओं की पहचान के लिए किया जाता है।

प्रतिबंधित मोडल विश्लेषण – वास्तविक कार्य स्थितियों का अनुकरण करने के लिए सहारे या प्रतिबंध लागू किए जाते हैं।

2.8.2 कार्य सिद्धांत

मोडल विश्लेषण संरचना की आइगेनवैल्यू समस्या को हल करता है।

सॉल्वर आइगेनवैल्यू (प्राकृतिक आवृत्तियाँ) और आइगेनवेक्टर (मोड आकार) की गणना करता है।

आवृत्ति द्रव्यमान और कठोरता मैट्रिक्स पर निर्भर करती है।

2.8.3 कठोर और स्थानीय मोड का अनुरोध

सामान्यतः मुक्त स्थिति में पहले 6 मोड कठोर पिंड मोड का प्रतिनिधित्व करते हैं।

मोड़ और मरोड़ व्यवहार के अध्ययन के लिए अतिरिक्त लचीले मोड का अनुरोध किया जाता है।

2.9 Procedure of Modal Analysis | मोडल विश्लेषण की प्रक्रिया

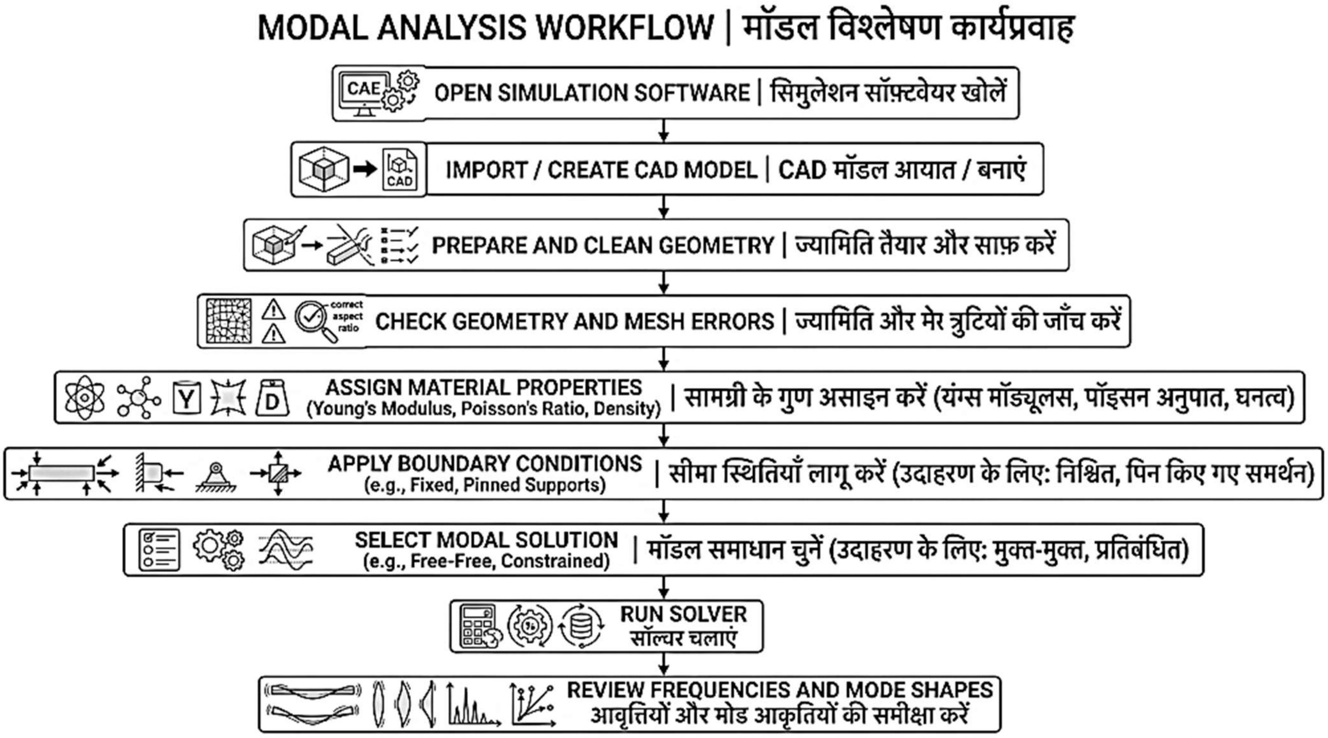


Fig. 2.9: Modal Analysis Workflow in CAE Simulation | सीएई सिमुलेशन में मॉडल विश्लेषण कार्यप्रवाह

Modal analysis follows a step-by-step procedure in simulation software to determine the natural frequencies and mode shapes of a component or structure. The following sequence is suitable for theory, practical understanding, and drawing examination. **(Fig. 2.9)**

1. Open Simulation Software

First, open the CAE or simulation software used for modal analysis, such as ANSYS, SolidWorks Simulation, or similar software. This software provides the platform for model preparation, analysis setup, and result evaluation.

2. Import / Create CAD Model

The component geometry is then created directly in CAD software or imported into the simulation environment using neutral file formats such as STEP or IGES. Correct geometry creation ensures proper shape, size, and design intent of the model.

3. Prepare and Clean Geometry

After importing the model, geometry preparation is carried out. Unnecessary features such as very small holes, fillets, and extra details are removed. Correct dimensions, unit system, and assembly connections must also be checked. Clean geometry improves analysis accuracy and helps in generating a better mesh.

4. Check Geometry and Mesh Errors

Before solving, the model must be checked for geometry and meshing errors. During meshing, the structure is divided into finite elements and nodes. Mesh quality parameters such as aspect ratio,

मोडल विश्लेषण में किसी अवयव या संरचना की प्राकृतिक आवृत्तियों तथा मोड आकृतियों का निर्धारण करने के लिए सिमुलेशन सॉफ्टवेयर में चरणबद्ध प्रक्रिया का पालन किया जाता है। निम्नलिखित क्रम सिद्धांत, प्रायोगिक समझ तथा ड्राइंग परीक्षा—तीनों के लिए उपयुक्त है। **(Fig. 2.9)**

1. सिमुलेशन सॉफ्टवेयर खोलना

सबसे पहले मोडल विश्लेषण के लिए प्रयुक्त CAE या सिमुलेशन सॉफ्टवेयर, जैसे ANSYS, SolidWorks Simulation अथवा अन्य समान सॉफ्टवेयर, खोला जाता है। यह सॉफ्टवेयर मॉडल तैयार करने, विश्लेषण सेटअप करने तथा परिणामों का मूल्यांकन करने के लिए आवश्यक मंच प्रदान करता है।

2. CAD मॉडल आयात / निर्मित करना

इसके बाद अवयव की ज्यामिति को सीधे CAD सॉफ्टवेयर में बनाया जाता है या STEP अथवा IGES जैसे न्यूट्रल फाइल प्रारूपों के माध्यम से सिमुलेशन वातावरण में आयात किया जाता है। सही ज्यामिति निर्माण से मॉडल का उचित आकार, माप तथा अभिकल्पना उद्देश्य सुनिश्चित होता है।

3. ज्यामिति तैयार करना और साफ करना

मॉडल आयात करने के बाद ज्यामिति की तैयारी की जाती है। अत्यंत छोटे छिद्र, फिलेट तथा अतिरिक्त विवरण जैसे अनावश्यक फीचर हटाए जाते हैं। सही आयाम, इकाई प्रणाली तथा असेंबली संयोजनों की भी जाँच की जाती है। स्वच्छ ज्यामिति विश्लेषण की शुद्धता बढ़ाती है और बेहतर मेश तैयार करने में सहायता करती है।

4. ज्यामिति और मेश त्रुटियों की जाँच

हल निकालने से पहले मॉडल में ज्यामिति तथा मेशिंग त्रुटियों की जाँच आवश्यक है। मेशिंग के दौरान संरचना को सीमित अवयवों तथा नोड्स में विभाजित किया जाता है। विकृत अवयवों से बचने के लिए

skewness, and Jacobian are checked to avoid distorted elements. Proper element orientation is also important, especially for shell models, to obtain correct mode shapes.

5. Assign Material Properties

Material properties are then assigned to the model. In modal analysis, the important properties are Young's Modulus, Poisson's Ratio, and Density. These properties control the stiffness and mass of the structure, which directly affect natural frequency and vibration behavior.

6. Apply Boundary Conditions

Boundary conditions are applied according to actual working condition. The structure may be analyzed under free-free condition, fixed support, or pinned support. Correct boundary conditions are essential because they change the stiffness and vibration response of the model.

7. Select Modal Solution

After defining supports, the modal solution type is selected. It may be free-free modal analysis or constrained modal analysis. The required number of modes is also specified so that rigid body modes and local flexible modes can be identified properly.

8. Run Solver

Finally, the solver is run. The software solves the eigenvalue problem of the structure and calculates natural frequencies and corresponding mode shapes. These results are later reviewed in post-processing for vibration behavior and design improvement.

मेश गुणवत्ता के मानक, जैसे आस्पेक्ट रेशियो, स्क्यूनेस तथा जैकोबियन, जाँचे जाते हैं। विशेषकर शेल मॉडल में सही मोड आकृतियाँ प्राप्त करने हेतु अवयव अभिविन्यास का सही होना भी अत्यंत महत्वपूर्ण है।

5. पदार्थ के गुण निर्दिष्ट करना

इसके बाद मॉडल को पदार्थ के गुण प्रदान किए जाते हैं। मोडल विश्लेषण में मुख्य गुण यंग का मापांक, पॉइसन अनुपात तथा घनत्व होते हैं। ये गुण संरचना की कठोरता और द्रव्यमान को नियंत्रित करते हैं, जो सीधे प्राकृतिक आवृत्ति तथा कंपन व्यवहार को प्रभावित करते हैं।

6. सीमा शर्तें लागू करना

सीमा शर्तें वास्तविक कार्य दशाओं के अनुसार लागू की जाती हैं। संरचना का विश्लेषण फ्री-फ्री दशा, फिक्स्ड सपोर्ट अथवा पिन्ड सपोर्ट के अंतर्गत किया जा सकता है। सही सीमा शर्तें अत्यंत आवश्यक हैं, क्योंकि वे संरचना की कठोरता तथा कंपन प्रतिक्रिया को बदल देती हैं।

7. मोडल समाधान का चयन करना

सपोर्ट निर्धारित करने के बाद मोडल समाधान का प्रकार चुना जाता है। यह फ्री-फ्री मोडल विश्लेषण या प्रतिबंधित मोडल विश्लेषण हो सकता है। आवश्यक मोडों की संख्या भी निर्धारित की जाती है, ताकि rigid body modes तथा स्थानीय लचीले मोडों की सही पहचान की जा सके।

8. सॉल्वर चलाना

अंत में सॉल्वर चलाया जाता है। सॉफ्टवेयर संरचना की आइगेनवैल्यू समस्या का समाधान करता है और प्राकृतिक आवृत्तियों तथा संबंधित मोड आकृतियों की गणना करता है। बाद में इन परिणामों की पोस्ट-प्रोसेसिंग में समीक्षा की जाती है, जिससे कंपन व्यवहार को समझने और डिजाइन में सुधार करने में सहायता मिलती है।

2.10 Review of Results | परिणामों की समीक्षा

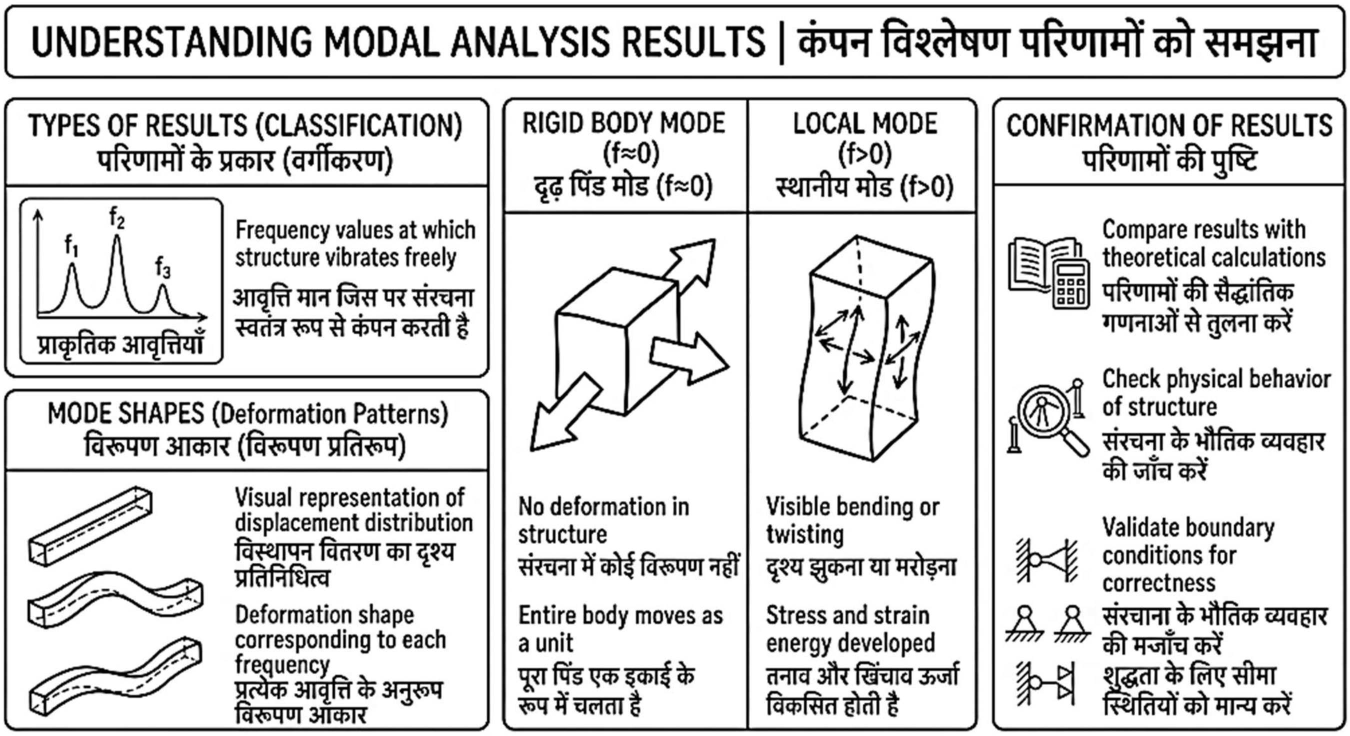


Fig. 2.10: Understanding Modal Analysis Results | कंपन विश्लेषण परिणामों को समझना

2.10.1 Types of Results (Fig. 2.10)
After solving modal analysis, results are obtained in post-processing.
Natural Frequencies – Frequency values at which structure vibrates freely.
Mode Shapes – Deformation shape corresponding to each frequency.
Deformation Pattern – Visual representation of displacement distribution.

2.10.1 परिणामों के प्रकार (Fig. 2.10)
मोडल विश्लेषण सॉल्व करने के बाद, परिणाम पोस्ट-प्रोसेसिंग में प्राप्त होते हैं।
प्राकृतिक आवृत्तियाँ – वे आवृत्ति मान जिन पर संरचना स्वतंत्र रूप से कंपन करती है।
मोड आकार – प्रत्येक आवृत्ति के अनुरूप विरूपण आकार।
विरूपण पैटर्न – विस्थापन वितरण का दृश्य निरूपण।

2.10.2 Identification of Rigid Body Modes
Rigid body modes have frequency nearly zero.
There is no deformation in the structure.
Entire body moves as a single unit.

2.10.2 कठोर पिंड मोड की पहचान
कठोर पिंड मोड की आवृत्ति लगभग शून्य होती है।
संरचना में कोई विरूपण नहीं होता है।
पूरा पिंड एक एकल इकाई के रूप में गति करता है।

2.10.3 Identification of Local Modes
Local modes show visible bending or twisting.
They have non-zero frequency.
Stress and strain energy are developed.

2.10.3 स्थानीय मोड की पहचान
स्थानीय मोड में स्पष्ट मोड़ या मरोड़ दिखाई देता है।
इनकी आवृत्ति शून्य नहीं होती है।
तनाव और विकृति ऊर्जा उत्पन्न होती है।

2.10.4 Confirmation of Results
Compare results with theoretical calculations.
Check physical behavior of structure.
Validate boundary conditions for correctness.

2.10.4 परिणामों की पुष्टि
परिणामों की तुलना सैद्धांतिक गणनाओं से करें।
संरचना के भौतिक व्यवहार की जाँच करें।
सीमा शर्तों की शुद्धता का सत्यापन करें।

2.11 Modal Analysis of Brackets| ब्रैकेट का मोडल विश्लेषण

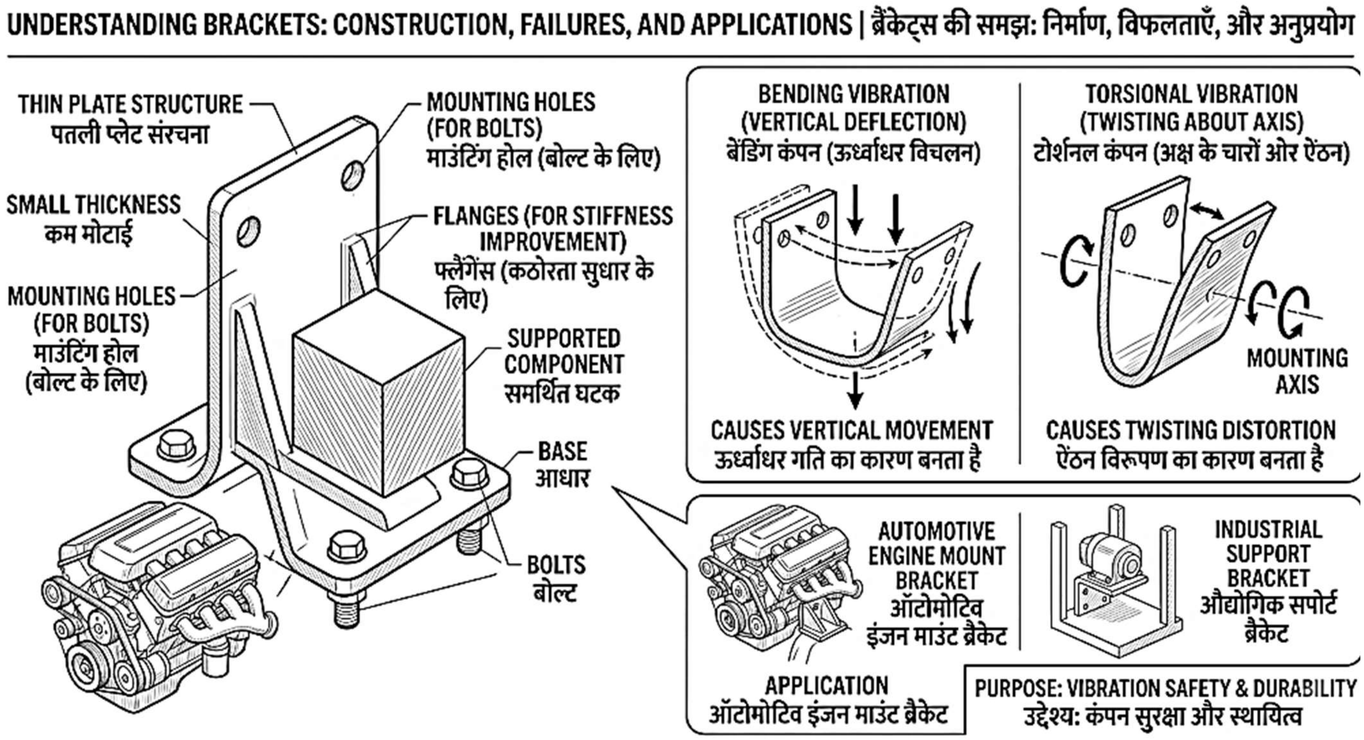


Fig. 2.11: Bracket Construction, Vibration Failures and Applications | ब्रैकेट का निर्माण, कंपन विकृतियाँ और अनुप्रयोग

2.11.1 Constructional Features of Brackets (Fig. 2.11)
Brackets are generally thin plate structures used to support components.
They contain mounting holes for bolts and flanges for stiffness improvement.

2.11.1 ब्रैकेट की संरचनात्मक विशेषताएँ (Fig. 2.11)
ब्रैकेट सामान्यतः पतली प्लेट संरचनाएँ होती हैं जिनका उपयोग घटकों को सहारा देने के लिए किया जाता है।
इनमें बोल्ट के लिए माउंटिंग छिद्र तथा कठोरता में सुधार हेतु फ्लैंज होते हैं।

Thickness is small compared to length and width, so shell elements are commonly used in modal analysis.

मोटाई, लंबाई और चौड़ाई की तुलना में कम होती है, इसलिए मोडल विश्लेषण में सामान्यतः शेल तत्वों का उपयोग किया जाता है।

2.11.2 Common Failure Modes

Brackets mainly fail due to vibration.

Bending Vibration – Causes deflection in vertical direction.

Torsional Vibration – Causes twisting about mounting axis.

2.11.2 सामान्य विफलता मोड

ब्रैकेट मुख्यतः कंपन के कारण विफल होते हैं।

मोड़ कंपन – ऊर्ध्वाधर दिशा में विक्षेप उत्पन्न करता है।

मरोड़ कंपन – माउंटिंग अक्ष के बारे में ट्विस्ट उत्पन्न करता है।

2.11.3 Applications

Used in engine mounting brackets and support brackets in automotive and industrial machines to ensure vibration safety and durability.

2.11.3 अनुप्रयोग

कंपन सुरक्षा और टिकाऊपन सुनिश्चित करने के लिए ऑटोमोटिव तथा औद्योगिक मशीनों में इंजन माउंटिंग ब्रैकेट और सपोर्ट ब्रैकेट के रूप में उपयोग किया जाता है।

2.12 Modal Analysis of Assemblies | असेंबली का मोडल विश्लेषण

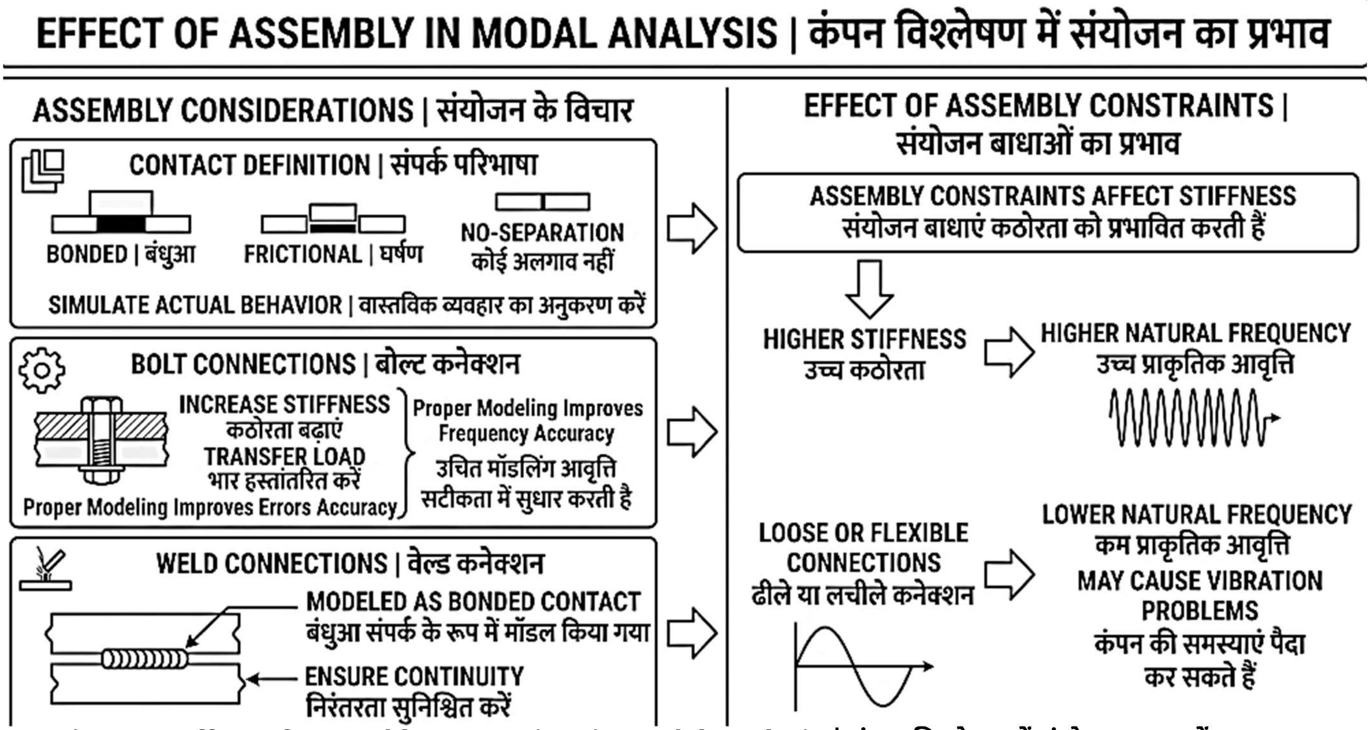


Fig. 2.12: Effect of Assembly Constraints in Modal Analysis | कंपन विश्लेषण में संयोजन बाधाओं का प्रभाव

2.12.1 Assembly Considerations (Fig. 2.12)

In modal analysis of assemblies, correct connection definition is important.

Contact Definition – Define bonded, frictional, or no-separation contact between parts to simulate actual behavior.

Bolt Connections – Bolts increase stiffness and transfer load between components. Proper bolt modeling improves frequency accuracy.

Weld Connections – Welded joints are generally modeled as bonded contact to ensure continuity.

2.12.1 असेंबली संबंधी विचार (Fig. 2.12)

असेंबली के मोडल विश्लेषण में सही कनेक्शन परिभाषा महत्वपूर्ण होती है।

संपर्क परिभाषा – वास्तविक व्यवहार का अनुकरण करने के लिए भागों के बीच बॉन्डेड, घर्षणयुक्त या नो-सेपरेशन संपर्क परिभाषित करें।

बोल्ट कनेक्शन – बोल्ट कठोरता बढ़ाते हैं और घटकों के बीच भार का संचरण करते हैं। उचित बोल्ट मॉडलिंग आवृत्ति की सटीकता में सुधार करती है।

वेल्ड कनेक्शन – वेल्डेड जोड़ सामान्यतः निरंतरता सुनिश्चित करने के लिए बॉन्डेड संपर्क के रूप में मॉडल किए जाते हैं।

2.12.2 Effect of Assembly Constraints

Assembly constraints directly affect stiffness of the structure.

Higher stiffness increases natural frequency.

Loose or flexible connections reduce frequency and may cause vibration problems.

2.12.2 असेंबली प्रतिबंधों का प्रभाव

असेंबली प्रतिबंध संरचना की कठोरता को सीधे प्रभावित करते हैं।

अधिक कठोरता प्राकृतिक आवृत्ति को बढ़ाती है।

ढीले या लचीले कनेक्शन आवृत्ति को कम करते हैं और कंपन समस्याएँ उत्पन्न कर सकते हैं।

2.13 Comparison Between Rigid and Local Modes | कठोर और स्थानीय मोड के बीच तुलना

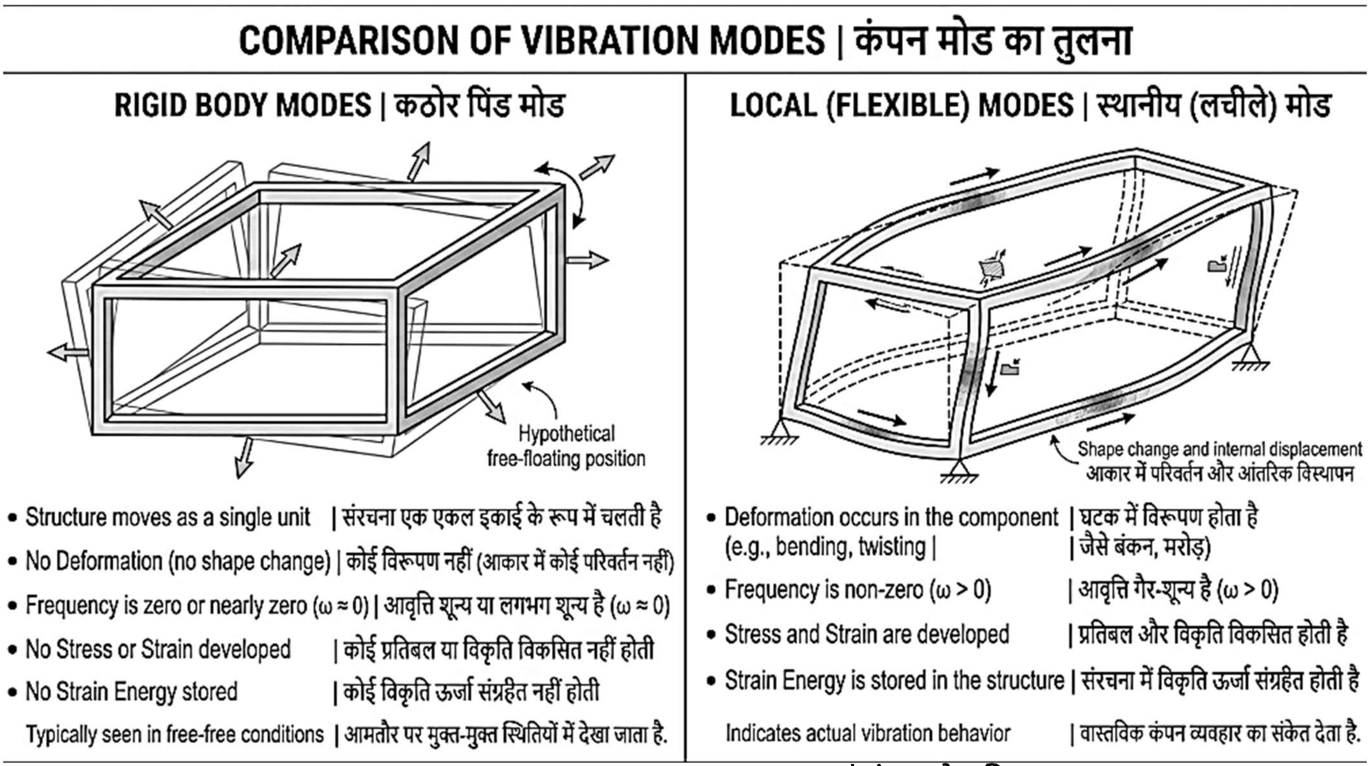


Fig. 2.13: Comparison of Vibration Modes | कंपन मोड की तुलना

Rigid body modes and local (flexible) modes are identified during modal analysis. Understanding their difference is important for exam and practical verification. **(Fig. 2.13)**

In **Rigid Body Mode**, there is no deformation of the structure. The entire body moves as a single unit. Frequency is zero or nearly zero. No stress or strain is developed. Therefore, no strain energy is stored.

In **Local (Flexible) Mode**, deformation occurs in the component. Frequency is non-zero. Stress and strain are developed due to bending or twisting. Strain energy is present in the structure.

Rigid modes appear in free-free condition, while flexible modes indicate actual vibration behavior.

मोडल विश्लेषण के दौरान कठोर पिंड मोड और स्थानीय (लचीले) मोड की पहचान की जाती है। परीक्षा और प्रायोगिक सत्यापन के लिए इनके अंतर को समझना महत्वपूर्ण है। **(Fig. 2.13)**

कठोर पिंड मोड में संरचना में कोई विरूपण नहीं होता है। पूरा पिंड एक एकल इकाई के रूप में गति करता है। आवृत्ति शून्य या लगभग शून्य होती है। कोई तनाव या विकृति उत्पन्न नहीं होती है। अतः कोई विकृति ऊर्जा संग्रहीत नहीं होती है।

स्थानीय (लचीले) मोड में घटक में विरूपण होता है। आवृत्ति शून्य नहीं होती है। मोड़ या मरोड़ के कारण तनाव और विकृति उत्पन्न होते हैं। संरचना में विकृति ऊर्जा उपस्थित होती है।

कठोर मोड मुक्त-मुक्त स्थिति में प्रकट होते हैं, जबकि लचीले मोड वास्तविक कंपन व्यवहार को दर्शाते हैं।

2.14 Applications of Modal Analysis | मोडल विश्लेषण के अनुप्रयोग

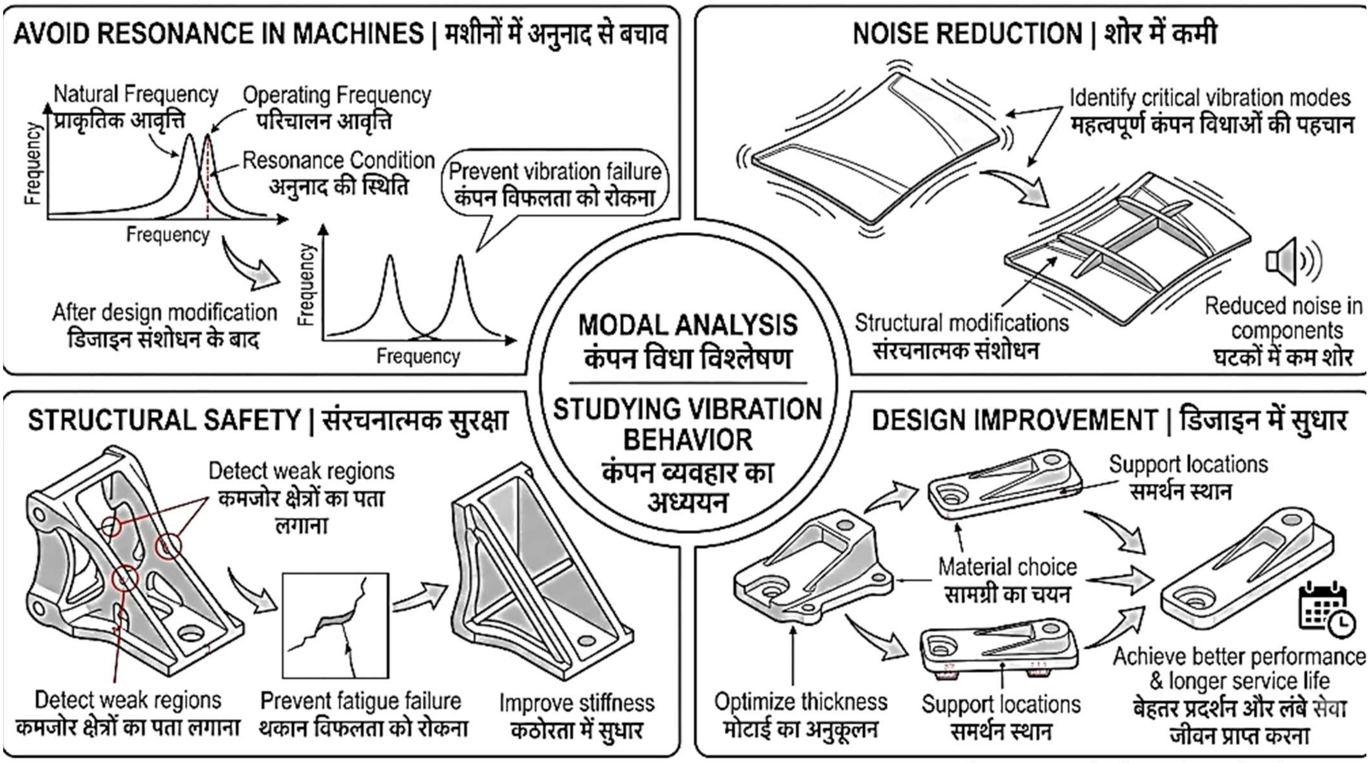


Fig. 2.14: Modal Analysis for Studying Vibration Behavior | कंपन व्यवहार के अध्ययन के लिए मोडल विश्लेषण

Modal analysis is widely used in industry to study vibration behavior and improve design reliability. **(Fig. 2.14)**

Avoid Resonance in Machines

Natural frequencies are compared with operating frequencies. Design is modified to prevent resonance condition and vibration failure.

Noise Reduction

By identifying critical vibration modes, structural modifications can reduce noise in automotive and machinery components.

Structural Safety

Modal analysis helps in detecting weak regions and improving stiffness to prevent fatigue failure.

Design Improvement

Engineers optimize thickness, material, and support locations to achieve better vibration performance and longer service life.

मोडल विश्लेषण का उद्योग में व्यापक रूप से उपयोग कंपन व्यवहार का अध्ययन करने और डिज़ाइन की विश्वसनीयता में सुधार हेतु किया जाता है। **(Fig. 2.14)**

मशीनों में अनुनाद से बचाव

प्राकृतिक आवृत्तियों की तुलना संचालन आवृत्तियों से की जाती है। अनुनाद स्थिति और कंपन विफलता को रोकने के लिए डिज़ाइन में संशोधन किया जाता है।

शोर में कमी

महत्वपूर्ण कंपन मोड की पहचान करके, ऑटोमोटिव और मशीनरी घटकों में संरचनात्मक संशोधनों द्वारा शोर को कम किया जा सकता है।

संरचनात्मक सुरक्षा

मोडल विश्लेषण कमजोर क्षेत्रों का पता लगाने और थकान विफलता को रोकने के लिए कठोरता में सुधार करने में सहायता करता है।

डिज़ाइन सुधार

इंजीनियर बेहतर कंपन प्रदर्शन और लंबी सेवा आयु प्राप्त करने के लिए मोटाई, सामग्री और सहारा स्थानों का अनुकूलन करते हैं।

2.15 Safety Precautions in Modal Analysis | मोडल विश्लेषण में सुरक्षा सावधानियाँ

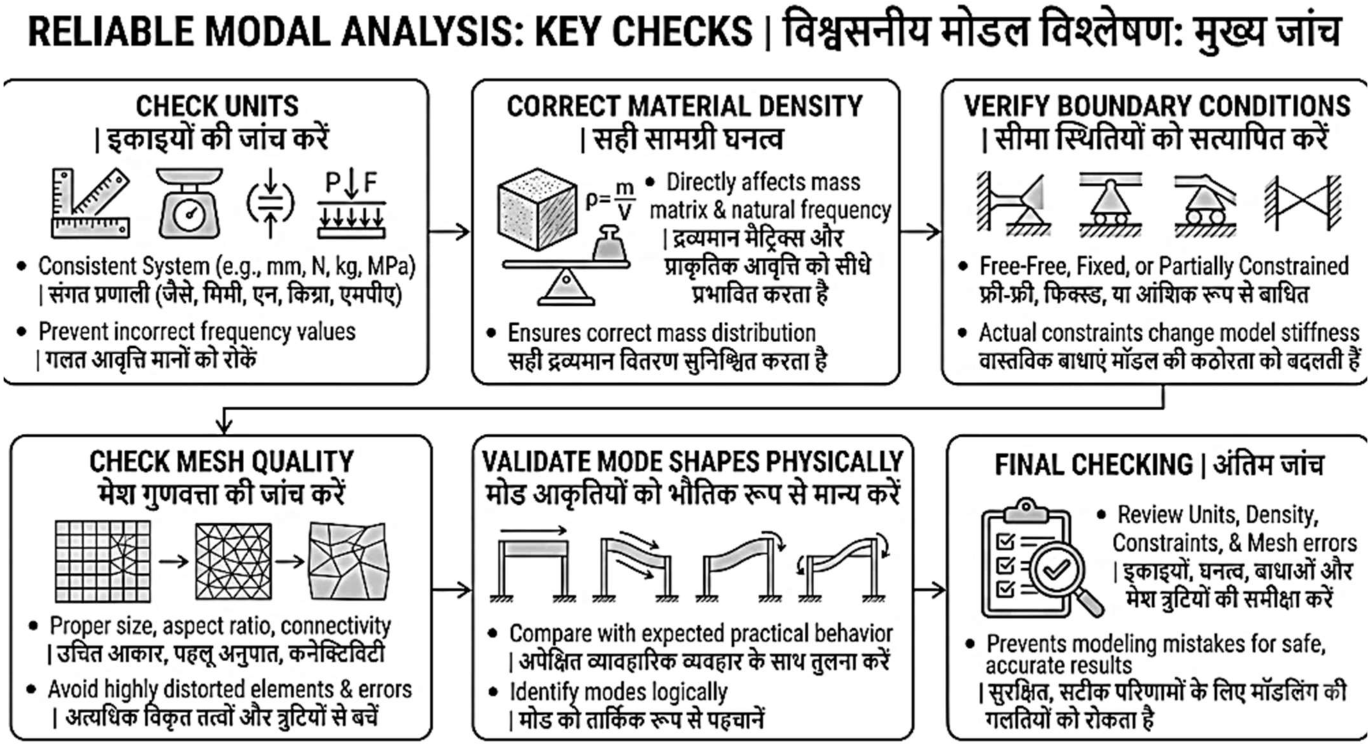


Fig. 2.15: Reliable Modal Analysis Key Checks | विश्वसनीय मोडल विश्लेषण की मुख्य जांच

Modal analysis must be performed carefully to avoid incorrect natural frequencies, wrong mode shapes, and unsafe design decisions. Proper checking before and after solving is essential for reliable results. **(Fig. 2.15)**

Always Check Units

Use a consistent unit system throughout the model, such as mm, N, kg, and MPa. Any mistake in length, force, mass, or density units can produce incorrect frequency values and misleading results.

Ensure Correct Material Density

Density has a direct effect on the mass matrix and natural frequency of the structure. If density is entered incorrectly, the calculated vibration characteristics will be wrong even when the geometry and material stiffness are correct.

Verify Boundary Conditions / Constraints

Check whether the model is free-free, fixed, or partially constrained as required by the actual condition. Wrong constraints change the stiffness of the model and lead to incorrect natural frequencies and unrealistic mode shapes.

Check Mesh Quality

Ensure proper mesh size, good aspect ratio, correct element connectivity, and absence of highly distorted elements. Poor mesh quality can cause numerical errors and inaccurate vibration patterns.

Validate Mode Shapes Physically

Compare the obtained mode shapes with the expected practical behavior of the structure. Rigid body modes, bending modes, torsional modes, and

मोडल विश्लेषण को अत्यंत सावधानीपूर्वक किया जाना चाहिए, ताकि गलत प्राकृतिक आवृत्तियाँ, गलत मोड आकृतियाँ तथा असुरक्षित डिजाइन निर्णय उत्पन्न न हों। विश्वसनीय परिणाम प्राप्त करने के लिए समाधान से पहले और बाद में उचित जाँच आवश्यक है। **(Fig. 2.15)**

हमेशा इकाइयों की जाँच करें

पूरे मॉडल में एक समान इकाई प्रणाली का उपयोग करें, जैसे mm, N, kg तथा MPa। लंबाई, बल, द्रव्यमान या घनत्व की इकाइयों में कोई भी त्रुटि गलत आवृत्ति मान तथा भ्रामक परिणाम उत्पन्न कर सकती है।

सही पदार्थ घनत्व सुनिश्चित करें

घनत्व का संरचना के द्रव्यमान मैट्रिक्स तथा प्राकृतिक आवृत्ति पर प्रत्यक्ष प्रभाव पड़ता है। यदि घनत्व गलत दर्ज किया जाता है, तो ज्यामिति और पदार्थ की कठोरता सही होने पर भी गणना की गई कंपन विशेषताएँ गलत होंगी।

सीमांत शर्तों / प्रतिबंधों का सत्यापन करें

जाँच करें कि मॉडल वास्तविक स्थिति के अनुसार free-free, fixed या partially constrained है। गलत प्रतिबंध मॉडल की कठोरता को बदल देते हैं और इससे गलत प्राकृतिक आवृत्तियाँ तथा अवास्तविक मोड आकृतियाँ प्राप्त होती हैं।

मेश गुणवत्ता की जाँच करें

उचित मेश आकार, अच्छा aspect ratio, सही element connectivity तथा अत्यधिक विकृत elements की अनुपस्थिति सुनिश्चित करें। खराब मेश गुणवत्ता संख्यात्मक त्रुटियाँ तथा गलत कंपन प्रतिरूप उत्पन्न कर सकती है।

मोड आकृतियों का भौतिक सत्यापन करें

प्राप्त मोड आकृतियों की तुलना संरचना के अपेक्षित व्यावहारिक व्यवहार से करें। Rigid body modes, bending modes, torsional modes तथा flexible modes तार्किक रूप से दिखाई देने चाहिए और उनकी सही पहचान की जानी चाहिए।

flexible modes should appear logically and must be identified correctly.

Final Checking for Units, Density, Constraints, and Mesh Errors

Before accepting the result, perform a final review of the complete model. Recheck units, material density, support conditions, element quality, and mesh connectivity. This final checking helps detect modeling mistakes, reduces solution errors, and ensures that the modal analysis result is accurate, safe, and suitable for engineering use.

इकाइयों, घनत्व, प्रतिबंधों तथा मेश त्रुटियों की अंतिम जाँच

परिणाम को स्वीकार करने से पहले पूरे मॉडल की अंतिम समीक्षा करें। इकाइयों, पदार्थ घनत्व, support conditions, element quality तथा mesh connectivity की पुनः जाँच करें। यह अंतिम जाँच मॉडलिंग त्रुटियों का पता लगाने, समाधान त्रुटियों को कम करने तथा मोडल विश्लेषण के परिणाम को सटीक, सुरक्षित और अभियान्त्रिक उपयोग के लिए उपयुक्त बनाने में सहायक होती है।

MCQ's | बहुविकल्पीय प्रश्न

Q1. Modal analysis is performed to find/मोडल विश्लेषण किया जाता है ताकि पता लगाया जा सके
(a) Stress and strain/तनाव और विकृति
(b) Natural frequencies and mode shapes/प्राकृतिक आवृत्तियाँ और मोड आकार
(c) Thermal conductivity/थर्मल चालकता
(d) Fluid pressure/द्रव दबाव
Ans. b | Sol. /व्याख्या: Modal analysis determines the natural frequencies and mode shapes of structures/मोडल विश्लेषण संरचनाओं की प्राकृतिक आवृत्तियों और मोड आकारों को निर्धारित करता है।

Q2. Local modes represent/स्थानीय मोड दर्शाते हैं
(a) Overall body motion/समग्र शरीर गति
(b) Vibration of small parts/छोटे भागों का कंपन
(c) Complete structural failure/पूर्ण संरचनात्मक विफलता
(d) Material heating/सामग्री का गर्म होना
Ans. b | Sol. /व्याख्या: Local modes involve vibration in small or localized parts of the structure/स्थानीय मोड संरचना के छोटे या स्थानीय हिस्सों में कंपन को दर्शाते हैं।

Q3. The mode shape in rigid body motion shows/कठोर निकाय गति में मोड आकार दिखाता है
(a) Twisting/मरोड़ना
(b) Translation and rotation without strain/बिना विकृति के अनुवाद और घूर्णन
(c) High deformation/उच्च विकृति
(d) Plasticity/प्लास्टिसिटी
Ans. b | Sol. /व्याख्या: Rigid body mode shapes involve motion without deformation/कठोर निकाय मोड आकार में विकृति के बिना गति होती है।

Q4. A structure with lower mass will have/कम द्रव्यमान वाली संरचना में होगी
(a) Lower natural frequency/कम प्राकृतिक आवृत्ति
(b) Higher natural frequency/अधिक प्राकृतिक आवृत्ति
(c) Constant natural frequency/स्थिर प्राकृतिक आवृत्ति
(d) No natural frequency/कोई प्राकृतिक आवृत्ति नहीं
Ans. b | Sol. /व्याख्या: Lower mass increases natural frequency because it reduces inertia/कम द्रव्यमान जड़त्व को कम करता है, जिससे प्राकृतिक आवृत्ति बढ़ती है।

Q5. In rigid body modes, the natural frequency is typically/कठोर निकाय मोड्स में प्राकृतिक आवृत्ति सामान्यतः होती है
(a) Zero/शून्य
(b) Very high/बहुत अधिक
(c) Medium/मध्यम
(d) Negative/ऋणात्मक
Ans. a | Sol. /व्याख्या: Rigid body modes are associated with zero or near-zero frequencies/कठोर निकाय मोड्स शून्य या लगभग शून्य आवृत्तियों से जुड़े होते हैं।

Q6. Modal analysis is necessary before/मोडल विश्लेषण आवश्यक है किससे पहले?
(a) Performing dynamic analysis/गतिशील विश्लेषण करने से पहले
(b) Static load application/स्थैतिक लोड अनुप्रयोग से पहले
(c) Applying thermal loads/थर्मल लोड लगाने से पहले
(d) Material testing/सामग्री परीक्षण से पहले
Ans. a | Sol. /व्याख्या: Modal analysis is a prerequisite for dynamic studies/मोडल विश्लेषण गतिशील अध्ययनों के लिए एक आवश्यक शर्त है।

Q7. In a solid mechanics experiment, what does this image of an 'UNDEFORMED STRUCTURE' serve as a reference for? / ठोस यांत्रिकी प्रयोग में, यह 'अविकृत संरचना' का चित्र किस संदर्भ के लिए काम करता है?

(a) Calculating the final stress. / अंतिम प्रतिबल (stress) की गणना करने के लिए।
(b) Measuring the displacement of a single node. / एक एकल नोड के विस्थापन को मापने के लिए।
(c) Comparing with a deformed shape to visualize strain distribution. / विरूपित आकार के साथ तुलना करके विकृति (strain) वितरण को देखने के लिए।
(d) Determining the material's failure mode. / सामग्री के विफलता मोड को निर्धारित करने के लिए।
Ans. c | Sol. : The 'undeformed structure' represents the original, unloaded state of an object. In computational or experimental analysis, it is essential to compare the final, deformed shape to this original state to visually assess and quantify strain and deformation across the entire body. It acts as a benchmark. While it's part of the strain calculation (as initial length), its *primary function as a complete image comparison* is visualization. Failure modes and final stress require loaded states. Node displacement requires a *specific* point comparison, not just the overall structure reference. / 'अविकृत संरचना' किसी वस्तु की मूल, भाररहित स्थिति का प्रतिनिधित्व करती है। कम्प्यूटेशनल या प्रयोगात्मक विश्लेषण में, संपूर्ण निकाय में विकृति और विरूपण का नेत्रहीन मूल्यांकन और मात्रा निर्धारित करने के लिए अंतिम, विरूपित आकार की इस मूल स्थिति के साथ तुलना करना आवश्यक है। यह एक बेंचमार्क के रूप में कार्य करता है। हालांकि यह विकृति गणना का हिस्सा है (प्रारंभिक लंबाई के रूप में), *एक पूर्ण छवि तुलना के रूप में इसका प्राथमिक कार्य* विज़ुअलाइज़ेशन है। विफलता मोड और अंतिम प्रतिबल के लिए भारित स्थितियों की आवश्यकता होती है। नोड विस्थापन के लिए *विशिष्ट* बिंदु तुलना की आवश्यकता होती है, न कि केवल समग्र संरचना संदर्भ की।

Q8. If a structure has six rigid body modes, it means/यदि किसी संरचना में छह कठोर निकाय मोड्स हैं, तो इसका अर्थ है
(a) Six deformation patterns/छह विकृति पैटर्न
(b) Six independent rigid motions/छह स्वतंत्र कठोर गतियाँ
(c) Six failure points/छह विफलता बिंदु
(d) Six damping modes/छह डैम्पिंग मोड्स
Ans. b | Sol. /व्याख्या: Six rigid body modes correspond to three translations and three rotations/छह कठोर निकाय मोड्स तीन अनुवाद और तीन घूर्णनों के अनुरूप होते हैं।

Q9. Resonance can be dangerous because it can/अनुनाद खतरनाक हो सकता है क्योंकि यह
(a) Reduce noise/शोर कम कर सकता है
(b) Cause material softening/सामग्री को नरम कर सकता है
(c) Lead to sudden failure/अचानक विफलता ला सकता है
(d) Increase strength/ताकत बढ़ा सकता है
Ans. c | Sol. /व्याख्या: Resonance amplifies motion, which can suddenly lead to structural failure/अनुनाद गति को बढ़ाता है, जो अचानक संरचनात्मक विफलता का कारण बन सकता है।

Q10. The basic equation for natural frequency (ω) is/प्राकृतिक आवृत्ति (ω) का मूल समीकरण है
(a) ω = √(k/m)/ω = √(k/m)
(b) ω = k × m/ω = k × m
(c) ω = m/k/ω = m/k
(d) ω = √(m/k)/ω = √(m/k)
Ans. a | Sol. /व्याख्या: Natural frequency is proportional to the square root of stiffness over mass/प्राकृतिक आवृत्ति कठोरता को द्रव्यमान से विभाजित कर उसके वर्गमूल के समानुपाती होती है।

Q11. In modal analysis, the structure is assumed to/मोडल विश्लेषण में यह माना जाता है कि संरचना
(a) Experiences plastic deformation/प्लास्टिक विकृति का अनुभव करती है
(b) Remains elastic/लोचशील बनी रहती है
(c) Undergoes thermal expansion/थर्मल विस्तार का अनुभव करती है
(d) Buckles under load/लोड के तहत बकलिंग करती है
Ans. b | Sol. /व्याख्या: Modal analysis assumes small deformations and elastic behavior/मोडल विश्लेषण छोटे विकृतियों और लोचशील व्यवहार को मानकर चलता है।

Q12. A rigid body mode does not involve/एक कठोर निकाय मोड किसमें शामिल नहीं होता है?
(a) Strain energy/तनाव ऊर्जा
(b) Translational motion/अनुवाद गति
(c) Rotational motion/घूर्णन गति
(d) Movement as a unit/यूनिट के रूप में गति
Ans. a | Sol. /व्याख्या: Rigid body motion has no internal strain and thus no strain energy/कठोर निकाय गति में कोई आंतरिक विकृति नहीं होती और इसलिए कोई तनाव ऊर्जा नहीं होती।

Q13. The major cause of resonance is/अनुनाद का मुख्य कारण है
(a) Nonlinear damping/गैर-रेखीय डैम्पिंग
(b) Matching of forcing frequency and natural frequency/बल लगाने वाली आवृत्ति और प्राकृतिक आवृत्ति का मेल
(c) Decrease in mass/द्रव्यमान में कमी
(d) Increase in temperature/तापमान में वृद्धि
Ans. b | Sol. /व्याख्या: Resonance happens when external excitation matches a structure’s natural frequency/जब बाहरी उत्तेजना किसी संरचना की प्राकृतिक आवृत्ति से मेल खाती है, तब अनुनाद होता है।

Q14. Which of the following describes resonance/निम्नलिखित में से कौन अनुनाद का वर्णन करता है?
(a) Energy loss due to friction/घर्षण के कारण ऊर्जा हानि
(b) Maximum vibration amplitude at natural frequency/प्राकृतिक आवृत्ति पर अधिकतम कंपन आयाम
(c) Temperature-induced deformation/तापमान प्रेरित विरूपण
(d) None of the above/उपरोक्त में से कोई नहीं
Ans. b | Sol. : Resonance occurs when the frequency of external vibrations matches the natural frequency, causing large amplitude vibrations./जब बाहरी कंपन की आवृत्ति प्राकृतिक आवृत्ति से मेल खाती है, तो बड़े आयाम के कंपन उत्पन्न होते हैं, जिसे अनुनाद कहते हैं।

Q15. Local body modes are characterized by/स्थानीय निकाय मोड की विशेषता होती है?
(a) Overall movement without distortion/विकृति के बिना समग्र गति
(b) Deformation confined to a specific area/किसी विशिष्ट क्षेत्र तक सीमित विरूपण
(c) Thermal expansion effects/तापीय विस्तार प्रभाव
(d) No movement/कोई गति नहीं
Ans. b | Sol. : Local modes involve deformation restricted to certain regions, critical for detecting localized weaknesses./स्थानीय मोड में विरूपण केवल कुछ क्षेत्रों तक सीमित होता है, जो स्थानीय कमजोरियों का पता लगाने के लिए महत्वपूर्ण है।

Q16. Which factor does not affect the natural frequency/कौन-सा कारक प्राकृतिक आवृत्ति को प्रभावित नहीं करता है?
(a) Mass/द्रव्यमान
(b) Stiffness/कठोरता
(c) External temperature/बाहरी तापमान
(d) Boundary conditions/सीमांत स्थितियाँ
Ans. c | Sol. : Natural frequency mainly depends on mass, stiffness, and boundary conditions, not temperature unless extreme./प्राकृतिक आवृत्ति मुख्य रूप से द्रव्यमान, कठोरता और सीमांत स्थितियों पर निर्भर करती है, तापमान पर नहीं जब तक कि वह अत्यधिक न हो।

Q17. What would happen to the amplitude of the vibration in image if a source of friction were introduced into the system? / यदि image में दिए गए निकाय में घर्षण का एक स्रोत पेश किया जाता है, तो कंपन के आयाम का क्या होगा?

(a) It would increase over time. / यह समय के साथ बढ़ेगा।
(b) It would decrease over time. / यह समय के साथ घटेगा।
(c) It would remain constant. / यह स्थिर रहेगा।
(d) It would fluctuate unpredictably. / यह अप्रत्याशित रूप से उतार-चढ़ाव करेगा।

Ans. b | Sol. : Friction is a form of energy loss. The image shows an "undamped vibration" with "no energy loss," where the amplitude is constant. Introducing friction creates a damped system where energy is dissipated in each cycle, causing the maximum displacement (amplitude) to decrease gradually over time. / घर्षण ऊर्जा की हानि का एक रूप है। छवि "बिना ऊर्जा हानि" के एक "अदंमित कंपन" दिखाती है, जहां आयाम स्थिर है। घर्षण को पेश करने से एक दमित (damped) निकाय बनता है जहां प्रत्येक चक्र में ऊर्जा का क्षय होता है, जिससे समय के साथ अधिकतम विस्थापन (आयाम) धीरे-धीरे कम हो जाता है।

Q18. In a free vibration analysis, damping is assumed to be/एक मुक्त कंपन विश्लेषण में, मृदुकरण को माना जाता है?

(a) Maximum/अधिकतम
(b) Zero/शून्य
(c) Infinite/अनंत
(d) Variable/परिवर्तनीय

Ans. b | Sol. : In free vibration analysis, damping is neglected to simplify the study of natural frequencies and mode shapes./मुक्त कंपन विश्लेषण में, प्राकृतिक आवृत्तियों और मोड आकृतियों के अध्ययन को सरल बनाने के लिए मृदुकरण की उपेक्षा की जाती है।

Q19. Which statement best describes a local mode/स्थानीय मोड का सबसे अच्छा वर्णन कौन-सा कथन करता है?

(a) Entire structure moves as a unit/पूरी संरचना एक इकाई के रूप में चलती है
(b) Deformation is localized to a specific area/विरूपण एक विशिष्ट क्षेत्र तक सीमित होता है
(c) Vibration is absent/कंपन अनुपस्थित है
(d) Material properties change/सामग्री गुण बदलते हैं

Ans. b | Sol. : Local modes involve deformation in a restricted area, important in detecting localized faults./स्थानीय मोड सीमित क्षेत्र में विरूपण शामिल करते हैं, जो स्थानीय दोषों का पता लगाने में महत्वपूर्ण होता है।

Q20. What does the term 'natural mode' refer to in vibration analysis/कंपन विश्लेषण में 'प्राकृतिक मोड' शब्द किसे संदर्भित करता है?

(a) Artificially induced vibrations/कृत्रिम रूप से प्रेरित कंपन
(b) Vibration pattern at a natural frequency/प्राकृतिक आवृत्ति पर कंपन पैटर्न
(c) Forced vibration pattern/बलात कंपन पैटर्न
(d) Random noise pattern/यादृच्छिक शोर पैटर्न

Ans. b | Sol. : A natural mode describes how a system vibrates naturally at specific frequencies without external forcing./प्राकृतिक मोड यह वर्णन करता है कि कोई प्रणाली विशिष्ट आवृत्तियों पर बाहरी बल के बिना स्वाभाविक रूप से कैसे कंपन करती है।

Q21. What happens to a system if it operates at resonance/अगर कोई प्रणाली अनुनाद पर काम करती है तो क्या होता है?

(a) Smooth operation/स्मूद संचालन
(b) Excessive vibrations/अत्यधिक कंपन
(c) Total silence/पूर्ण मौन
(d) Gradual slowing/धीमा होना

Ans. b | Sol. : Resonance leads to uncontrolled and potentially damaging vibrations, risking system failure./अनुनाद अनियंत्रित और संभावित रूप से हानिकारक कंपन का कारण बनता है, जिससे प्रणाली विफल हो सकती है।

Q22. What describes mode shapes in an assembly/किस वाक्य में किसी असेंबली में मोड आकृतियों का वर्णन होता है?

(a) Direction of vibration of each part/प्रत्येक भाग के कंपन की दिशा
(b) Material composition of assembly/असेंबली की सामग्री संरचना
(c) Load path in static condition/स्थिर स्थिति में भार पथ
(d) Size change during heating/गर्म करने पर आकार में परिवर्तन

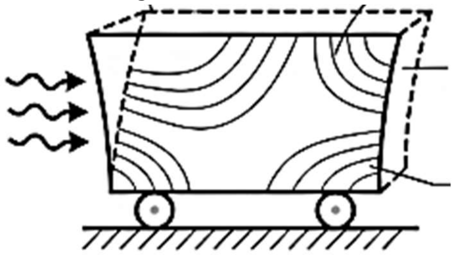
Ans. a | Sol. : Mode shapes show the vibration direction and relative displacement of parts during resonance./मोड आकृतियाँ अनुनाद के दौरान भागों के कंपन की दिशा और सापेक्ष विस्थापन को दर्शाती हैं।

Q23. What are degrees of freedom in modal analysis/मोडल विश्लेषण में स्वतंत्रता की डिग्रियाँ क्या हैं?

(a) Number of masses/द्रव्यमानों की संख्या
(b) Number of independent movements/स्वतंत्र गतियों की संख्या
(c) Number of joints/जोड़ों की संख्या
(d) Number of external loads/बाहरी भारों की संख्या

Ans. b | Sol. : Degrees of freedom refer to the number of independent ways in which a structure can move./स्वतंत्रता की डिग्रियाँ उन स्वतंत्र तरीकों की संख्या को संदर्भित करती हैं जिनमें एक संरचना गति कर सकती है।

Q24. Which mechanical property is primarily being tested and analyzed in the scenario depicted above? / उपरोक्त चित्र में दर्शाए गए परिदृश्य में मुख्य रूप से किस यांत्रिक गुण का परीक्षण और विश्लेषण किया जा रहा है?



(a) Elastic Limit / प्रत्यास्थता सीमा
(b) Shear Strength / अपरूपण सामर्थ्य
(c) Tensile Strength / तनन सामर्थ्य
(d) Hardness / कठोरता

Ans. b | Sol. : The image shows a force acting parallel to the surface of the body, causing angular deformation from its original rectangular shape (solid line) to a parallelepiped (dashed line). This is a classic example of shear force and shear strain, making it an analysis of shear strength. / यह छवि एक बल को पिंड की सतह के समानांतर कार्य करते हुए दिखाती है, जिससे इसके मूल आयताकार आकार (ठोस रेखा) से समानांतर चतुर्भुज (डैश वाली रेखा) में कोणीय विरूपण होता है। यह अपरूपण बल (shear force) और अपरूपण विकृति (shear strain) का एक उत्कृष्ट उदाहरण है, जो इसे अपरूपण सामर्थ्य का विश्लेषण बनाता है।

Q25. Modal analysis helps prevent failure by/मोडल विश्लेषण विफलता को कैसे रोकने में मदद करता है?
(a) Increasing load/भार बढ़ाकर
(b) Identifying resonance conditions/अनुनाद स्थितियों की पहचान करके
(c) Reducing material cost/सामग्री लागत घटाकर
(d) Eliminating damping completely/मृदुकरण को पूरी तरह समाप्त करके
Ans. b | Sol. : By identifying and addressing resonance risks, modal analysis helps prevent structural failure./अनुनाद जोखिमों की पहचान और समाधान करके, मोडल विश्लेषण संरचनात्मक विफलता को रोकने में मदद करता है।

Q26. Which physical properties are crucial for calculating the natural frequency of a component? / किसी घटक की प्राकृतिक आवृत्ति की गणना के लिए कौन-से भौतिक गुण महत्वपूर्ण हैं?
(a) Length and width / लंबाई और चौड़ाई
(b) Mass and stiffness / द्रव्यमान और कठोरता
(c) Color and density / रंग और घनत्व
(d) Volume and surface area / आयतन और सतह क्षेत्रफल
Ans. b | Sol. : Natural frequency depends on the mass and stiffness of the structure, following the basic vibration equation. / प्राकृतिक आवृत्ति संरचना के द्रव्यमान और कठोरता पर निर्भर करती है, जो मूल कंपन समीकरण का अनुसरण करती है।

Q27. In modal analysis, what does a "rigid body mode" indicate? / मोडल विश्लेषण में, "कठोर निकाय मोड" क्या दर्शाता है?
(a) Deformation without translation / बिना अनुवाद के विकृति
(b) Rotation or translation without deformation / बिना विकृति के घूर्णन या अनुवाद
(c) Maximum stress points / अधिकतम तनाव बिंदु
(d) Energy loss / ऊर्जा हानि
Ans. b | Sol. : A rigid body mode represents motion without deformation, typically translation or rotation as a whole. / कठोर निकाय मोड गति को बिना विकृति के दर्शाता है, आमतौर पर एक इकाई के रूप में अनुवाद या घूर्णन।

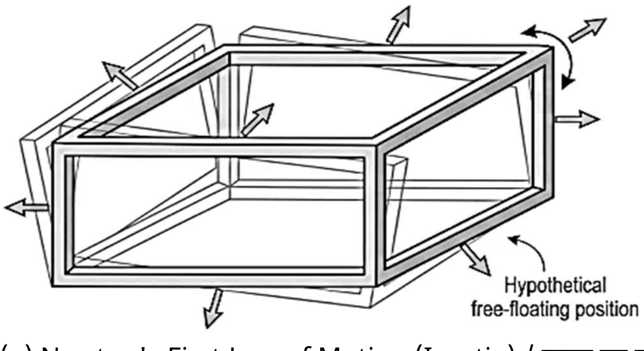
Q28. A mode shape describes which characteristic of a structure during vibration? / कंपन के दौरान एक संरचना की कौन-सी विशेषता को एक मोड आकार वर्णित करता है?
(a) Temperature variation / तापमान परिवर्तन
(b) Pattern of deformation / विकृति का पैटर्न
(c) Surface finish / सतह फिनिश
(d) Material properties / सामग्री गुण
Ans. b | Sol. : Mode shapes show the deformation patterns at specific frequencies, critical for design improvement. / मोड आकार विशिष्ट आवृत्तियों पर विकृति पैटर्न को दर्शाते हैं, जो डिज़ाइन सुधार के लिए महत्वपूर्ण है।

Q29. If stiffness increases while mass remains constant, what happens to natural frequency? / यदि द्रव्यमान स्थिर रहते हुए कठोरता बढ़ जाती है तो प्राकृतिक आवृत्ति पर क्या प्रभाव पड़ेगा?
(a) Decreases / घटेगी
(b) Increases / बढ़ेगी
(c) Remains constant / स्थिर रहेगी
(d) Fluctuates / उतार-चढ़ाव करेगी
Ans. b | Sol. : Higher stiffness raises the natural frequency according to the vibration equation. / उच्च कठोरता कंपन समीकरण के अनुसार प्राकृतिक आवृत्ति को बढ़ाती है।

Q30. What is one typical approach to increase the natural frequency of a flexible bracket? / एक लचीले ब्रैकेट की प्राकृतिक आवृत्ति बढ़ाने का एक विशिष्ट तरीका क्या है?
(a) Add mass / द्रव्यमान जोड़ना
(b) Decrease stiffness / कठोरता कम करना
(c) Increase stiffness / कठोरता बढ़ाना
(d) Reduce damping / डैम्पिंग कम करना
Ans. c | Sol. : Increasing stiffness without significantly changing mass will raise the natural frequency. / द्रव्यमान में महत्वपूर्ण परिवर्तन किए बिना कठोरता बढ़ाने से प्राकृतिक आवृत्ति बढ़ जाएगी।

Q31. Which condition must be satisfied for resonance to occur? / अनुनाद होने के लिए कौन-सी शर्त पूरी होनी चाहिए?
(a) Applied frequency equals natural frequency / लागू की गई आवृत्ति प्राकृतिक आवृत्ति के बराबर हो
(b) Applied force equals damping force / लागू बल डैम्पिंग बल के बराबर हो
(c) Temperature equals pressure / तापमान दबाव के बराबर हो
(d) Load equals mass / भार द्रव्यमान के बराबर हो
Ans. a | Sol. : Resonance happens when the external forcing frequency matches the system's natural frequency. / जब बाहरी प्रेरण आवृत्ति प्रणाली की प्राकृतिक आवृत्ति से मेल खाती है, तब अनुनाद होता है।

Q32. Considering the diagram of the hypothetical free-floating structure, which principle is best demonstrated by the use of internal, equal-and-opposite force arrows? / हाइपोथेटिकल (Hypothetical) फ्री-फ्लोटिंग संरचना के चित्र पर विचार करते हुए, आंतरिक, समान और विपरीत (equal-and-opposite) बल तीरों (force arrows) के उपयोग से कौन सा सिद्धांत सबसे अच्छी तरह प्रदर्शित होता है?



(a) Newton's First Law of Motion (Inertia) / न्यूटन का गति का पहला नियम (जड़त्व)
(b) The Principle of Conservation of Linear Momentum / रेखीय संवेग के संरक्षण का सिद्धांत
(c) Newton's Third Law of Motion (Action-Reaction) / न्यूटन का गति का तीसरा नियम (क्रिया-प्रतिक्रिया)
(d) D’Alembert's Principle of Static Equilibrium / डी'अलेम्बर्ट का स्थैतिक संतुलन का सिद्धांत

Ans. c | Sol. : The diagram illustrates a hypothetical unconstrained system. The arrow pairs located within the "gaps" between the inner and outer frames are of equal length and point in diametrically opposite directions. This arrangement is a textbook visual representation of an action and its simultaneous, equal, and opposite reaction force, which is the definition of Newton's Third Law. While these forces could be internal d'Alembert-like 'restoring' forces in a dynamics context, their geometric pairs most directly represent Newton's Third Law in a static conceptual visualization. / यह आरेख एक काल्पनिक अप्रतिबंधित प्रणाली का चित्रण है। आंतरिक और बाहरी फ्रेम के बीच "गैप" (gaps) में स्थित तीर के जोड़े (arrow pairs) समान लंबाई के हैं और विपरीत दिशाओं में इंगित करते हैं। यह व्यवस्था एक क्रिया और उसकी एक साथ होने वाली, समान और विपरीत प्रतिक्रिया बल (reaction force) का एक आदर्श दृश्य प्रतिनिधित्व है, जो न्यूटन के तीसरे नियम की परिभाषा है। हालांकि ये बल गतिकी (dynamics) के संदर्भ में आंतरिक डी'अलेम्बर्ट-जैसे 'पुनर्स्थापनात्मक' (restoring) बल हो सकते हैं, उनके ज्यामितीय जोड़े स्थैतिक वैचारिक दृश्य में न्यूटन के तीसरे नियम का सबसे सीधे प्रतिनिधित्व करते हैं।

Q33. What aspect differentiates rigid body modes from local modes? / कठोर निकाय मोड और स्थानीय मोड के बीच कौन-सा पहलू अंतर करता है?

(a) Material type / सामग्री प्रकार
(b) Deformation occurrence / विकृति की उपस्थिति
(c) Temperature behavior / तापमान व्यवहार
(d) Surface finish / सतह फिनिश

Ans. b | Sol. : Rigid body modes involve no deformation, while local modes involve localized deformation. / कठोर निकाय मोड में कोई विकृति नहीं होती, जबकि स्थानीय मोड में स्थानीय विकृति होती है।

Q34. During modal analysis, what is the consequence of having incomplete boundary conditions? / मोडल विश्लेषण के दौरान अधूरी सीमा शर्तों का क्या परिणाम हो सकता है?

(a) Incorrect mode shapes / गलत मोड आकार
(b) Improved results / बेहतर परिणाम
(c) Higher thermal conductivity / उच्च ऊष्मीय चालकता
(d) Reduced stress / कम तनाव

Ans. a | Sol. : Incomplete boundary conditions cause unrealistic movements, leading to wrong mode shapes. / अधूरी सीमा शर्तें अवास्तविक गतियों का कारण बनती हैं, जिससे गलत मोड आकार उत्पन्न होते हैं।

Q35. How does resonance affect fatigue life of components? / अनुनाद घटकों के थकान जीवन को कैसे प्रभावित करता है?

(a) Increases fatigue life / थकान जीवन बढ़ाता है
(b) Decreases fatigue life / थकान जीवन घटाता है
(c) No effect / कोई प्रभाव नहीं
(d) Doubles the strength / ताकत को दोगुना कर देता है

Ans. b | Sol. : Resonance creates high stress cycles, accelerating material fatigue and reducing life. / अनुनाद उच्च तनाव चक्र उत्पन्न करता है, जिससे सामग्री थकान तेजी से होती है और जीवन कम हो जाता है।

Q36. Which device is commonly used to measure vibration frequencies in structures? / संरचनाओं में कंपन आवृत्तियों को मापने के लिए आमतौर पर किस उपकरण का उपयोग किया जाता है?

(a) Voltmeter / वोल्टमीटर
(b) Accelerometer / त्वरक मीटर
(c) Thermometer / थर्मामीटर
(d) Barometer / बैरोमीटर

Ans. b | Sol. : Accelerometers detect vibrations and measure frequency responses effectively. / त्वरक मीटर कंपन का पता लगाते हैं और प्रभावी ढंग से आवृत्ति प्रतिक्रिया को मापते हैं।

Q37. What defines the number of mode shapes a system can have? / किसी प्रणाली में मोड आकारों की संख्या को क्या परिभाषित करता है?

(a) Material type / सामग्री प्रकार
(b) Number of degrees of freedom / स्वतंत्रता की डिग्रियों की संख्या
(c) Color / रंग
(d) Operating temperature / कार्य तापमान

Ans. b | Sol. : The number of degrees of freedom determines how many independent mode shapes exist. / स्वतंत्रता की डिग्रियों की संख्या यह निर्धारित करती है कि कितने स्वतंत्र मोड आकार मौजूद हैं।

Q38. Which method is most effective to avoid resonance in design? / डिज़ाइन में अनुनाद से बचने का सबसे प्रभावी तरीका कौन-सा है?

(a) Decrease damping / डैम्पिंग को घटाना
(b) Increase mass without stiffness / बिना कठोरता के द्रव्यमान बढ़ाना
(c) Separate operating and natural frequencies / परिचालन और प्राकृतिक आवृत्तियों को अलग करना
(d) Reduce number of parts / भागों की संख्या कम करना

Ans. c | Sol. : Design should ensure that operating frequencies are far from natural frequencies to prevent resonance. / डिज़ाइन को यह सुनिश्चित करना चाहिए कि परिचालन आवृत्तियाँ प्राकृतिक आवृत्तियों से काफी दूर हों ताकि अनुनाद से बचा जा सके।

Q39. Which phenomenon occurs when external vibration matches a structure’s natural frequency / जब बाहरी कंपन किसी संरचना की प्राकृतिक आवृत्ति से मेल खाता है, तो कौन सी घटना होती है?

(a) Buckling / मोचन
(b) Resonance / अनुनाद
(c) Shear failure / शीयर विफलता
(d) Creep / क्रिप

Ans. b | Sol. /व्याख्या: Resonance is the amplification of vibration that occurs when external frequency equals the natural frequency / अनुनाद वह कंपन प्रवर्धन है जो तब होता है जब बाहरी आवृत्ति प्राकृतिक आवृत्ति के बराबर होती है।

Q40. What distinguishes local modes from rigid body modes in assemblies / संयोजनों में स्थानीय मोड्स को कठोर शरीर मोड्स से क्या अलग करता है?

(a) Higher damping / उच्च डैम्पिंग
(b) Involvement of deformation / विकृति की भागीदारी
(c) Uniform translation / समान अनुवाद

(d) Constant stress / स्थिर तनाव
Ans. b | Sol. /व्याख्या: Local modes involve relative deformation within parts of the structure, unlike rigid body modes that involve entire movement without deformation / स्थानीय मोड्स संरचना के भागों के भीतर सापेक्ष विकृति शामिल करते हैं, जबकि कठोर शरीर मोड्स विकृति के बिना पूरे आंदोलन को शामिल करते हैं।

Q41. If the stiffness of a component doubles but the mass remains constant, what happens to its natural frequency / यदि किसी घटक की कठोरता दोगुनी हो जाती है लेकिन द्रव्यमान स्थिर रहता है, तो उसकी प्राकृतिक आवृत्ति पर क्या प्रभाव पड़ेगा?
(a) It becomes half / यह आधी हो जाती है
(b) It remains unchanged / यह अपरिवर्तित रहती है
(c) It increases by √2 times / यह √2 गुना बढ़ जाती है
(d) It doubles / यह दोगुनी हो जाती है
Ans. c | Sol. /व्याख्या: Natural frequency (f) is proportional to the square root of stiffness (k) over mass (m), so doubling stiffness increases natural frequency by √2 / प्राकृतिक आवृत्ति (f) कठोरता (k) और द्रव्यमान (m) के अनुपात के वर्गमूल के समानुपाती होती है, इसलिए कठोरता दोगुनी करने से आवृत्ति √2 गुना बढ़ जाती है।

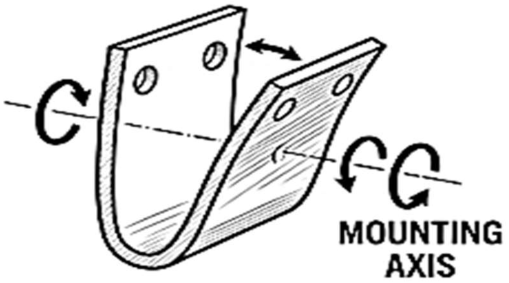
Q42. During resonance, the amplitude of vibration becomes / अनुनाद के दौरान, कंपन का आयाम कैसा हो जाता है?
(a) Negligible / नगण्य
(b) Constant / स्थिर
(c) Very large / बहुत बड़ा
(d) Very small / बहुत छोटा
Ans. c | Sol. /व्याख्या: Resonance causes the amplitude to dramatically increase, which can lead to structural failure / अनुनाद कंपन के आयाम को नाटकीय रूप से बढ़ा देता है, जिससे संरचनात्मक विफलता हो सकती है।

Q43. What happens to the natural frequencies when the stiffness of a structure is reduced / जब किसी संरचना की कठोरता कम की जाती है तो प्राकृतिक आवृत्तियों पर क्या प्रभाव पड़ता है?
(a) They increase / वे बढ़ती हैं
(b) They remain constant / वे स्थिर रहती हैं
(c) They decrease / वे घटती हैं
(d) They oscillate irregularly / वे अनियमित रूप से दोलन करती हैं
Ans. c | Sol. /व्याख्या: Reduction in stiffness lowers the system’s ability to resist deformation, thus decreasing natural frequencies / कठोरता में कमी प्रणाली की विकृति का प्रतिरोध करने की क्षमता को कम करती है, जिससे प्राकृतिक आवृत्तियाँ घटती हैं।

Q44. In practical applications, how is damping related to modal analysis / व्यावहारिक अनुप्रयोगों में, डैम्पिंग का मोडल विश्लेषण से क्या संबंध है?
(a) Damping reduces vibration amplitudes / डैम्पिंग कंपन आयाम को कम करता है
(b) Damping increases natural frequency / डैम्पिंग प्राकृतिक आवृत्ति बढ़ाता है
(c) Damping creates more resonance / डैम्पिंग अधिक अनुनाद उत्पन्न करता है
(d) Damping stiffens the structure / डैम्पिंग संरचना को कठोर बनाता है
Ans. a | Sol. /व्याख्या: Damping reduces the amplitude of vibrations, especially during resonance, thus protecting the system from damage / डैम्पिंग कंपन के आयाम को कम करता है, विशेष रूप से अनुनाद के दौरान, इस प्रकार प्रणाली को क्षति से बचाता है।

Q45. When a mechanical structure exhibits no visible deformation during vibration, the vibration mode is classified as / जब कोई यांत्रिक संरचना कंपन के दौरान कोई दृश्यमान विकृति प्रदर्शित नहीं करती है, तो कंपन मोड को किस श्रेणी में वर्गीकृत किया जाता है?
(a) Local mode / स्थानीय मोड
(b) Bending mode / मोड़ मोड
(c) Rigid body mode / कठोर शरीर मोड
(d) Torsional mode / घूर्णी मोड
Ans. c | Sol. /व्याख्या: Rigid body modes occur without visible deformation, involving simple translation or rotation / कठोर शरीर मोड बिना दृश्यमान विकृति के होते हैं, जिनमें सरल अनुवाद या घूर्णन शामिल होता है।

Q46. What mechanical concept is most directly illustrated by the arrows around the "Mounting Axis" in the given image? / दी गई छवि में "माउंटिंग एक्सिस" के चारों ओर तीर द्वारा किस यांत्रिक अवधारणा को सबसे सीधे तौर पर दर्शाया गया है?



(a) Translation along an axis / एक अक्ष के साथ अनुवाद
(b) Shear force / कतरनी बल
(c) Rotation and angular displacement / रोटेशन और कोणीय विस्थापन
(d) Uniform bending moment / समान झुकने वाला क्षण
Ans. c | Sol. : The curved arrows indicate a turning motion around the central pivot point, which defines rotational displacement. While the bracket could be a leaf spring undergoing bending, the specific label and arrow notation are standard representations for rotation about a defined mounting axis. / घुमावदार तीर केंद्रीय धुरी बिंदु के चारों ओर मुड़ने की गति का संकेत देते हैं, जो कोणीय विस्थापन को परिभाषित करता है। हालाँकि ब्रैकेट झुकने वाला एक लीफ स्प्रिंग हो सकता है, विशिष्ट लेबल और तीर नोटेशन एक परिभाषित माउंटिंग अक्ष के चारों ओर घूमने के लिए मानक प्रतिनिधित्व हैं।

Q47. If a bracket shows multiple local modes in a close frequency range, it indicates / यदि किसी ब्रैकेट में निकट आवृत्ति सीमा में कई स्थानीय मोड दिखाई देते हैं, तो यह किस चीज़ का संकेत है?
(a) Material failure / सामग्री विफलता

(b) Structural flexibility / संरचनात्मक लचीलापन
(c) High stiffness / उच्च कठोरता
(d) Perfect design / पूर्ण डिजाइन
Ans. b | Sol. /व्याख्या: Multiple local modes close together often suggest that the structure is flexible in multiple deformation directions / निकटवर्ती कई स्थानीय मोड अक्सर संकेत करते हैं कि संरचना कई विकृति दिशाओं में लचीली है।

Q48. What characterizes a local mode in mechanical assemblies / यांत्रिक संयोजनों में एक स्थानीय मोड की विशेषता क्या है?

(a) Overall rigid motion / समग्र कठोर गति
(b) Deformation concentrated in specific areas / विशिष्ट क्षेत्रों में केंद्रित विकृति
(c) Uniform stress distribution / समान तनाव वितरण
(d) No visible displacement / कोई दृश्यमान विस्थापन नहीं
Ans. b | Sol. /व्याख्या: Local modes show deformation concentrated in a particular area or part of the assembly without affecting the entire structure / स्थानीय मोड्स किसी विशेष क्षेत्र या संयोजन के भाग में केंद्रित विकृति को दर्शाते हैं बिना पूरी संरचना को प्रभावित किए।

Liked this sample? Get the complete book with all modules, MCQs, and practice questions.

How to Purchase This Book

Scan the QR code below to get the complete book at a special discount. Order directly from- https://teachtoindia.com/product/virtual-analysis-and-designer-fem-second-year/

Browse All ITI Trade Books at Special Discounted Prices

View the full collection at: https://teachtoindia.com/iti-books/

Also available on Flipkart, Amazon, and Meesho.

Trusted by ITI Students, Trainees, and Instructors Across India.

For any queries related to our books, please contact us:

WhatsApp/Mobile: +91 9084496877
Email: teachtoindia1@gmail.com
Website: www.teachtoindia.com