

SYMPOZJON "MODELOWANIE W MECHANICE"

POLSKIE TOWARZYSTWO MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ

Beskid Śląski, 1990

Johannes Klose

Sektion Grundlagen des Maschinenwesens

Technische Universität-Dresden

METHODEN DER MODELLIERUNG AN BEISPIELEN DER BERECHNUNG
VON MASCHINENELEMENTEN

Zusammenfassung. Die Modellbildung ist eine typische Entwicklungsaufgabe von Ingenieuren bei der folgende Methoden der Konstruktionstechnik zur Anwendung kommen: Spezielle Lösung, Reduktionsprinzip und Baukastenprinzip. Am Beispiel einer dynamisch belasteten Dehnschraubenverbindung wird die Anwendung dieser Methoden erläutert. Die beste Effizienz für den Nutzer besteht, wenn ein Rechenprogramm das Modell automatisch bildet.

1. Einführung

Die Bildung eines Berechnungsmodells ist Voraussetzung für die Entwicklung eines Berechnungsprogrammes. Ein Modell ist dabei die abstrahierte Abbildung eines realen Objektes bzw. eines realen Sachverhaltes. Die Abstraktion erfolgt so, daß die maßgebenden Merkmale der zu beschreibenden Eigenschaften erhalten bleiben und nichtrelevante entfallen.

Auf Grund der Bauteilgestalt lassen sich in dieser Art beispielsweise folgende Gruppen bilden:

- Der Berechnung leicht zugänglich sind Bauteile, bei denen 1 Dimension überwiegt. Diese lassen sich auf das Modell von Stäben oder Balken zurückführen. Das betrifft Wellen, Stangen, Träger usw.

- Für flächige Bauteile ist unter bestimmten Bedingungen die dritte Dimension gegenüber den anderen beiden vernachlässigbar. Zu ihrer Berechnung existieren Programme für Scheiben, Platten, Schalen usw.
- Bei Objekten, die als dreidimensionales Kontinuum behandelt werden müssen, lassen Vereinfachungen den Wegfall von Dimensionen nicht zu. Zu ihrer Berechnung hat die Finite-Element-Methode neue Möglichkeiten erschlossen.

Da die Erarbeitung von Software aufwendig ist, erhält die multivalente Nutzbarkeit von Lösungen eine entscheidende Bedeutung. Das hat Auswirkungen auf die Methoden der Modellbildung.

Das Suchen nach wiederverwendbaren Lösungen ist ein typisches Element von Entwicklungsarbeiten. Die Effizienz der Wiederverwendung bereits ausgeführter Lösungen ist darin begründet, daß einerseits Entwicklungsarbeit gespart wird und andererseits die Sicherheit besteht, daß die existierende Lösung ausgetestet ist und sich bereits bewährt hat. Diese Vorgehensweise ist kennzeichnend für konstruktive Aufgabenstellungen /1/, aber ist in gleicher Weise für die Bildung von Berechnungsmodellen zutreffend. Nach der Methodik ihrer Erarbeitung lassen sich folgende drei prinzipiellen Techniken anwenden: Spezielle Lösung, Reduktionsprinzip und Baukastenprinzip /2/.

2. Arbeitstechniken am Beispiel der Berechnung von Auflagerkräften an Wellen

Die Möglichkeiten, ein Modell zu erzeugen, lassen sich aus methodischer Sicht nach den aufgezeigten Merkmalen gruppieren. Die Modelle werden zunächst als allgemeine Modelle aufgebaut und durch Belegung der Parameter den Bedingungen des realen Objektes angepaßt.

Dabei finden sich die behandelten drei grundsätzlichen Methoden wieder, die an dem einfachen Beispiel eines Balkens konstanten Querschnittes demonstriert werden sollen:

Beim realen Objekt handle es sich um die Zwischenwelle eines Zahnradgetriebes. Rad 1 sei schrägverzahnt und Rad 2 mit einer Verzahnung ausgeführt, bei der keine Axialkräfte entstehen

(z. B. Gerad- oder Pfeilverzahnung). Das spezielle Berechnungsmodell ist auf die konkreten Bedingungen des realen Objektes orientiert. Im Modell wird jedoch die Stufung des Wellendurchmessers vernachlässigt, da dieser für die Bestimmung der Auflagerkräfte nicht relevant ist. Die Parameterbelegung entspricht beim speziellen Modell den Parametern des realen Objektes direkt.

Für den Fall, daß außer den speziellen Getriebewellen oft noch andere Wellen zu berechnen sind, ist es zweckmäßig Objektgruppen zu bilden und diese in einem Maximalmodell zusammenzufassen. Eine solche Objektgruppe könnte z. B. aus 2fach gelagerten Wellen bestehen, bei denen an bis zu 5 Stellen Kräfte oder Momente bzw. beides gleichzeitig angreifen können, wobei sich zwischen den Auflagern maximal 3 und außerhalb der Lager maximal nur je 1 Kraftangriffsstelle befinden. Die Anpassung dieses Maximalmodells an die Bedingungen des realen Objektes erfolgt durch Reduktion, indem nicht belegte Kräfte und Momente Null gesetzt werden.

Dadurch entsteht dann wiederum das konkrete Modell, das mit dem speziellen identisch ist.

Am beschriebenen Beispiel ist auf Grund der Einfachheit des Problems der Vorteil dieser Methode nicht so offensichtlich. Er wird aber voll wirksam, wenn kompliziertere und komplexere Zusammenhänge modelliert werden wie z. B. bei Berechnungen zum Schwingungsverhalten von Antriebssystemen.

Beim Aufstellen des Maximalmodells ist abzuschätzen, wie umfangreich der Nutzungsbereich werden soll, da ein zu enger Bereich den Nutzungsumfang einschränkt, ein zu komplexes System aber aufwendiger und schwerfälliger zu handhaben ist.

Diese Begrenzung besteht beim Anwenden eines Modellbaukastens nicht.

Das Gesamtproblem wird hier aus Problemelementen gebildet. Für das Beispiel der Auflagerberechnung sind das Berechnungsbausteine für 1 Kraft bzw. 1 Moment zwischen den Lagern bzw. außerhalb der Lager angreifend.

Für jeden Modellbaustein existiert ein Berechnungselement. Nach der Methode der Superposition lassen sich die Modellelemente so verbinden, daß ein Modell entsteht, das mit dem konkreten Parametern belegt dem realen Objekt entspricht.

Die Vorteile der Reduktionsmethode und des Modellbaukastens kommen vor allem zur Wirkung, wenn die Modellbildung noch vom Computer unterstützt wird.

3. Modellierung komplexer Zusammennänge

CAD-Lösungen komplexerer Art erfordern zur Beschreibung des mathematischen Modells ein vernetztes System mathematischer Beziehungen. Dazu wird die Gesamtaufgabe in Problemeinheiten zerlegt, die sich weiter spezifizieren lassen bis eindeutig die vorgesehene Verarbeitung der Daten, d. h. die Funktion der zu entwickelnden Software erkennbar ist. Die Bereitstellung und Verarbeitung der Daten muß eindeutig festliegen und lückenlos kontrollierbar sein.

Für die Darstellung eignet sich der "datenorientierte Entwurf", bei dem die Datenflüsse und insbesondere die Bereitstellung der erforderlichen Daten für jeden Verarbeitungsschritt deutlich sichtbar und dadurch kontrollfähig sind.

Um der Softwareentwicklung die notwendige Transparenz zu verleihen, ist es notwendig, logische Blöcke zu bilden, die sich dann in den Programmen als funktionelle Module wiederfinden /3/. Für die Berechnung dynamisch belasteter Dehnschraubenverbindungen lassen sich folgende Problemeinheiten bilden:

CB: Federsteife der Bauteile

CS: Federsteife der Schraube

SD: Sicherheit gegen Dauerbruch

SF: Sicherheit gegen unzulässige Verformung

Mit Hilfe des datenorientierten Entwurfs läßt sich die Funktionsstruktur mit den zugehörigen Datenflüssen und Datenverarbeitungen für diese 4 Problemeinheiten darstellen /2/. Dabei wird deutlich, welche Daten als Eingangsgrößen verfügbar sein müssen. Es wird aber auch deutlich, daß eine Reihe von Daten von der Gewindegröße GG und der Festigkeitsklasse der Schraube FK abhängen, die dann zweckmäßiger Weise als Festdaten bereitgestellt werden sollten. Diese Festdaten sind für ausgewählte Gewindegrößen bzw. die üblichen Festigkeitsklassen von Schraubwerkstoffen in Dateien aufzunehmen und werden beim Abarbeiten vom jeweiligen Modul gelesen. Eingabewerte bleiben für diese Größen lediglich die Gewindegröße und die Festigkeitsklasse. Sie bilden

mit den anderen einzugebenden Parametern Blöcke, die im Programm nur jeweils einmal enthalten sein müssen.

4. Automatische Bildung von Modellen

Das Modell für die Berechnung der Dehnschraubenverbindung hängt wesentlich von der Gestalt des Schraubenschaftes und der Form der verschraubten Bauteile ab. Wenn auch die Mehrzahl der Varianten ausgeführter Verbindungen aus zwei zu verschraubenden Blechen besteht, so existieren doch auch Fälle, bei denen mehr als zwei Platten miteinander verbunden werden oder wo gar buchsenförmige Teile oder ringförmige Scheiben mit in die Verspannung einbezogen sind.

Ein Berechnungsprogramm muß in der Lage sein, die Ermittlung des Verlaufes der Druckzone und die Bestimmung der zu berechnenden Teilkegel unter Beachtung evtl. unterschiedlicher Elastizitätsmodule und möglicherweise unterschiedlicher Durchmesser von Schraubenkopf- und Mutterauflage automatisch vorzunehmen. Durch logische Entscheidungen wird dabei kontrolliert, ob der theoretisch mögliche Einflußkegel überhaupt in den Abmessungen des Bauteiles liegt oder ob teilweise die Druckleitung über zylindrischen Querschnitt verläuft.

Ist die Druckzone in ihrem Verlauf bestimmt, dann läßt sich die Gesamtfedersteife der Bauteile als Hintereinanderschaltung von Einzelfedern der Teilkegel- bzw. Zylinderstücke mathematisch beschreiben. Für diese federnden Elemente existieren Berechnungselemente, die dem Modellbaukasten entsprechen.

Analog läßt sich auch der Schraubenschaft in zylindrische Schaftabschnitte aufgliedern, die in gleicher Weise als Berechnungselemente eines Baukastens verfügbar und koppelbar sind.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Klose J.: Zur Entwicklung einer speicherunterstützten Konstruktion von Maschinen unter Wiederverwendung von Baugruppen. Diss. B, TU Dresden 1977
- [2] Klose J.: Konstruktionsinformatik im Maschinenbau. Berlin: Verlag Technik 1980
- [3] Fritzsch W. und Klose J.: Taschenbuch Maschinenbau in 8 Bänden, Bd. 4. Berlin: Verlag Technik 1988

METODY MODELOWANIA NA PRZYKŁADZIE OBLICZEŃ ELEMENTÓW MASZYN

Streszczenie

Tworzenie modelu jest typowym zadaniem inżynierów przy zastosowaniu trzech niżej podanych metod techniki konstruktorskiej: specjalne rozwiązania, zasada redukcji, zasada syntezy z elementów. Metody te zostały objaśnione na przykładzie dynamicznie obciążonego połączenia za pomocą ruchomych śrub. Najlepsza efektywność dla użytkownika jest wtedy, kiedy program obliczeniowy buduje model automatycznie.

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРАХ РАСЧЕТОВ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН

Резюме

Создание модели является задачей типичной для инженеров. Существуют следующие методы конструкторской техники: специальные решения, принцип редукции и принцип синтеза из элементов. В работе показано применение этих методов на примере соединения при помощи растягивающихся болтов, которые находятся под динамической нагрузкой. Эффективность применения этих методов высокая при условии, если расчетная программа подготавливает модель автоматически.