

piotr GENDARZ

Institut für Maschinenbau
Schlesische Technische Universität
Gliwice

KOMPUTERUNTERSTÜTZTE BERECHNUNG VON QUANTITATIVEN KONSTRUKTIONSMERKMALEN IM MODULBILDUNGSPROZEß

Zusammenfassung. Im Modulbildungsprozeß von Maschinen ist das Stadium der quantitativen Konstruktionsmerkmalberechnung das arbeitsaufwendigste und routinierte Stadium, zu welchen vor allem Werte von Abmessungen gehören. Eingabedaten in dieses Stadium sind geordnete und begrenzte Werte von charakteristischen Merkmalen (technische Parameter) und typische Konstruktionslösungen. In diesem Artikel wurden die Grundgruppen von Relationen dargestellt, welche bei der Zuordnung der Abmessungswerte genutzt werden, sowie auch das Modell der Computerunterstützung in diesem Stadium.

1. Modulbildungsprozeß

Im Modulbildungsprozeß werden folgende Arbeitsstadien unterschieden, (Abb. 1):

1. Bestimmung der Vielfältigkeit der vorhandenen Konstruktionsfamilie und Bewertung der Konstruktionslösungen,
2. Begrenzung und Ordnung der Werte charakteristischer Merkmale (technische Parameter) - Unifizierung,
3. Optimierung der Vielfältigkeit von Konstruktionsgestalten - Typisierung,
4. Zuordnung der Abmessungen für typische Konstruktionsgestalten,
5. Bestimmung der Abmessungswerte,
6. Optimale Wertestufung von Abmessungen,
7. Bearbeitung der Auswahlregeln von Konstruktionsmodulen,
8. Aufzeichnung der Konstruktionsmoduln.

Dieser Artikel befasst sich hauptsächlich mit den Stadien 4 und 5. Um eine vollständige Fassung der Ergebnisse des Bildungsprozesses von Modulsystemen zu geben, wurden in dieser Arbeit ebenfalls die Ergebnisse am Beispiel von hydraulischen Zylindern dargestellt.

Auf Grund der angenommenen folgenden Kriterien wie:

- Begrenzung der Werte von charakteristischen Merkmalen,
 - Berücksichtigung der Werte von charakteristischen Merkmalen, die den größten Wiederholfaktor haben,
 - Ordnung nach Normzahlen- Reihen,
- wurden unifizierte Werte für Kolben- und Kolbenstangendurchmesser, sowie den Nenndruck erhalten. Das Ergebnis von Stadium 3 sind typische Konstruktionslösungen. Eine ausführliche Beschreibung der Bildung von unifizierten Werten der charakteristischen Merkmale und der Typen von Konstruktionsgestalten wurden in den Arbeiten [5, 6] dargestellt. Eine kriteriale Bewertung der vorhandenen Konstruktionslösungen und zunächst deren Modifikation, ermöglichte

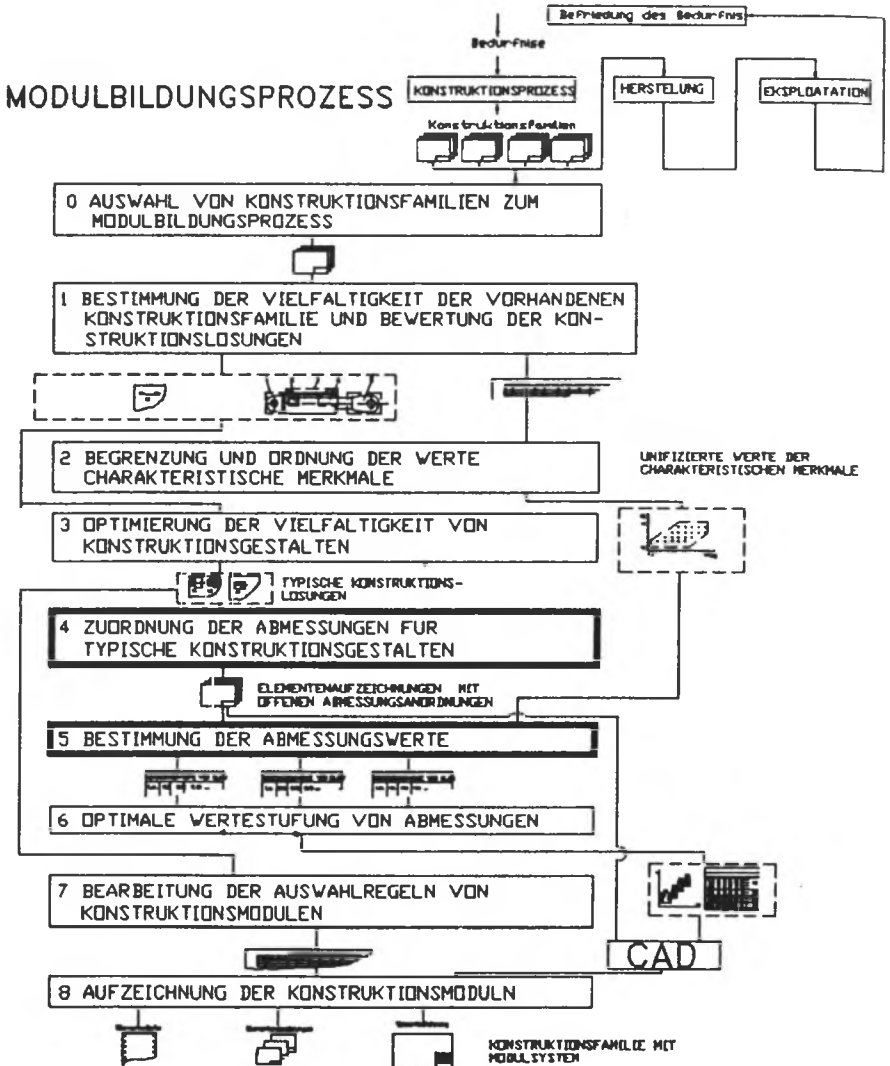


Abb. 1. Modulbildungsprozess

die bisherige Vielfältigkeit erheblich zu begrenzen, wobei die angenommenen Bedürfnisse der hydraulischen Zylinder erfüllt wurden. Die bearbeiteten typischen Konstruktionslösungen zeigen hauptsächlich die Aufzeichnungen hinsichtlich der Wirkungs- und Montageprinzipien. Es ist eine Vielelementenaufzeichnung. Um die

Aufzeichnung an die Produktionsanforderungen anzupassen, wird eine Konstruktionsaufzeichnung in Gestalt einer Einzelteilzeichnung angefertigt. Die Abmessungsanordnung auf der Einzelteilzeichnung hat offenen Abmessungen, die entsprechend dem Dimensionierungsprinzip und folgenden Kriterien:

- Eindeutigkeit,
- Kompatibilität,
- Vollständigkeit.

Jede Abmessung ist entsprechend bestimmt, wobei der Buchstabenkode mit der Modulbezeichnung kohärent ist, dagegen der Zahlenkode die folgende Massenummer bestimmt. Für solche vorbereitete Aufzeichnung von Konstruktionselementen geht man an die Berechnung der Abmessungswerte heran.

2. Berechnung der Werte von Abmessungen

In der Abmessungsanordnung werden unveränderliche und veränderliche Abmessungen unterschieden. Unveränderliche Abmessungen sind das solche Abmessungen, deren Werte keiner Änderung unterliegen, unabhängig von der Änderung der Werte der charakteristischen Merkmale. Veränderliche Abmessungen auch als offene Abmessungen bezeichnet, das sind solche Abmessungen deren Werte sich mit der Änderung der Werte von charakteristischen Merkmalen ändern. Das Hauptproblem ist die Bestimmung der

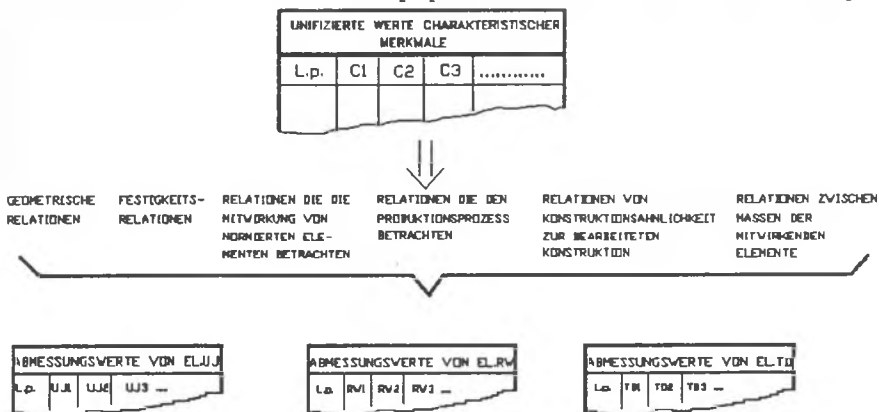


Abb. 2. Hauptgruppen von Relationen

Relationen zwischen den Werten der charakteristischen Merkmale CCH, und den Werten der Abmessungen WW. Es wurden folgende Hauptgruppen von Relationen ausgesondert, die bei der Zuordnung der Abmessungswerte angewandt wurden:

- geometrische Relationen,
- Festigkeitsrelationen,
- Relationen die die Mitwirkung von normierten Elementen betrachten,
- Relationen die den Produktionsprozeß betrachten,
- Relationen von Konstruktionsähnlichkeit zur bearbeiteten Konstruktion,

- Relationen zwischen Maßen der mitwirkenden Elemente.
 Das Zuordnungsmodell der Abmessungswerte anhand der ausgesonderten Relationsgruppen ist in Abb. 2 dargestellt.

2.1. Geometrische Relationen

Bei der Bestimmung der Abmessungswerte werden am häufigsten die geometrische Relationen angewandt. Die Grundrechnungen können hier für die Abmessungen benutzt werden, wie:

- Addieren der Abmessungen,
- Subtrahieren der Abmessungen,
- Dividieren der Abmessung,
- Multiplizieren der Abmessung,
- trigonometrische Umwandlung,
- Anpassung des Abmessungswerte an die Reihe der Normzahlen.

Ein Beispiel für die Anwendung der geometrischen Relationen ist die Bestimmung der Unterschneidungsbreite TG9 in Abb. 3.

Zu den bekannten Abmessungen gehören: TG6, TG7, der Queschnitttdurchmesser der Dichtung g und der Kegelneigungswinkel, die bei der Zuordnung der Typengröße von der Dichtung bestimmt werden. Die Länge TG9 wird aus der Relation des Produktionsprozesses bestimmt, und zwar aus der Nichtbeschädigung der Dichtung während der Aufschiebung der Kolbenbuchse:

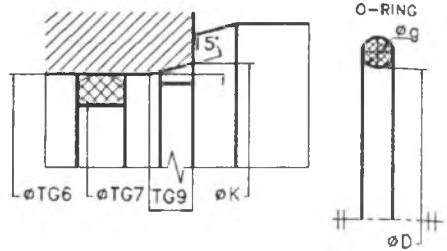


Abb. 3. Beispiel von geometrischen Relationen

$$K = TG7 + 2 * g + 1 \quad (1)$$

und aus der trigonometrischen Relation:

$$TG9 = (K - TG6) / \text{tg } 15^\circ \quad (2)$$

Am obigen Beispiel wird der Abmessungswert direkt aus der trigonometrischen Relation bestimmt. Eine andere Bestimmungsweise ist die Iterationsmodifikation des Abmessungswerte, die die geometrische Relation erfüllt, z. B. in Abb. 4.

Als Beispiel ist hier die Bestimmung des Durchmesser von TG4 bei bekannten Abmessungen: TG3, TG5 und TG11, die aus den Relationen bestimmt werden, die sich aus der Mitwirkung mit den normierten Elementen ergeben. Die Abmessung TG4 wird aus der Relation:

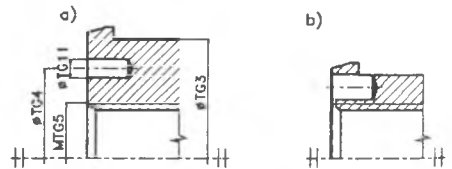


Abb. 4. Beispiel eine Iterationsmodifikation von geometrischen Relationen

$$TG4 = (TG3 + TG5) / 2 \quad (3)$$

bestimmt und wird an die Reihe der Normalzahlen angepaßt. Um die in Abb. 4b dargestellte Situation zu verhindern, was mit der

inkorrekten Wirkung des Führungsrings verbunden wäre, muß die nächste geometrische Relation:

$$(TG3 - TG4 - TG11) / 2 \geq 2.5 \quad (4)$$

erfüllt werden. Wenn die obengenannten Relationen nicht erfüllt wird, wird in dieser Situation der Öffnungsdurchmesser von TG11 iterativ verkleinert bis der Grenzwert von TG11 = 4 mm erreicht wird. Andernfalls wird die Kolbenbuchse verlängert.

2.2. Festigkeitsrelationen

Die Festigkeitsrelationen modifizieren die vorbestimmten Abmessungswerte oder bilden die Basis zu ihrer direkten Bestimmung. Ein Modifikationsbeispiel von vorzugeordneten Abmessungswerten ist die Zuordnung des Gewindedurchmessers LU5 und der Gewindelänge (LU8 - LU9 - LU10) aus dem Abb. 5.

Die Gewindefestigkeit wird auf Grund des bekannten Durchmesser von LU4 durchgeführt, der Gewindedurchmesser von LU5 wird als kleiner als der Durchmesser von LU4 gemäß der Norm angenommen. Die Gewindefestigkeit wird aus der Relation bestimmt, die aus der gleichmäßigen Lastverteilung erhalten wird:

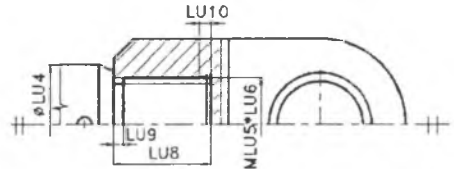


Abb. 5. Beispiel von Festigkeitsrelationen

$$L = (LU8 - LU9 - LU10) = 0.8 * LU5 \quad (5)$$

Die Abmessungswerte von LU9 und LU10 werden auf Grund der sich aus dem Produktionsprozeß ergebenden Relationen bestimmt. Die so vorzugeordneten Abmessungswerte der Gewinde werden einer Festigkeitsverifikation hinsichtlich folgender Relationen unterzogen:

- Oberflächendruck auf den Schraubengängen:

$$(SN / \Pi * DS * TN * n) \leq Rt \quad (6)$$

wo : SN - Oberkolbenkraft des hydraulischen Zylinders,
 DS - mittlerer Gewindedurchmesser, nach der Norm,
 TN - Gewindetiefe, nach der Norm,
 n = L / LU6 - Anzahl der Schraubengänge,
 LU6 - Ganghöhe,

- Gewindeabscherung und -biegung :

$$\sigma_z = (2.77 * SN) / (\Pi * d1 * n * PO) \leq 1.1 * R \quad (7)$$

Wenn eine Festigkeitsrelation nicht erfüllt wird, so wird iterativ die Gewindelänge bis zum Wert:

$$L = 1.0 * LU5 \quad (8)$$

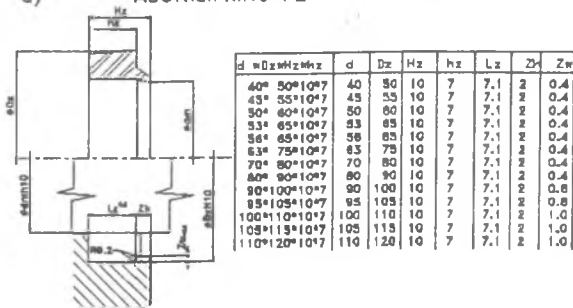
vergrößert. Wenn weiterhin die Relation (6) oder (7) nicht erfüllt

wird, so wird der Werkstoff der Öse ausgewechselt und im äußersten Fall wird die Konstruktionslösung für die bestimmten Werte der charakteristischen Merkmale eliminiert. Ein wesentlicher Faktor, der die Wirkungszuverlässigkeit und die Kosten beeinflusst, ist die Rangordnung der durchgeführten Modifikationen. Eine andere Anwendungsweise der Festigkeitsrelationen ist die direkte Bestimmung der Abmessungswerte. Sie beruht auf der Umformung einer bestimmten Relation, was im Ergebnis direkt den Abmessungswert zu bestimmen erlaubt, der dann an die Reihe der Normalzahlen angepaßt wird. Die Zuordnung der Abmessungswerte an die Reihe der Normalzahlen oder an die normalisierten Abmessungswerte ist nicht willkürlich. Aus diesem Grund wurden Vergrößerungs- und Verkleinerungsabmessungen unterschieden. Vergrößerungsabmessungen sind solche Abmessungen, deren Wertvergrößerung die Eigenschaften des Elements verbessern (z. B. Festigkeit, Wirkungszuverlässigkeit). Verkleinerungsabmessungen sind hingegen solche, deren Werteverkleinerung die Eigenschaften des Elements verbessern.

2.3. Relationen die die Mitwirkung von normierten Elementen betrachten

Im Berechnungsprozeß der Abmessungswerte werden an erster Stelle Relationen, die aus der Mitwirkung von normierten Elementen folgen, angewandt. Als normierte Elemente werden jegliche Konstruktionselemente, die sich durch allgemeine Anwendung kennzeichnen angesehen, also solche, die von Normen und Katalogen umfaßt werden. In dieser Gruppe von Relationen muß zuerst das Kriterium der Zuordnung der Typengröße erfüllt werden, und nachher das Kriterium des Einbaus des normierten Elementes. Ein Beispiel auf die Erfüllung des Zuordnungskriteriums ist die Bestimmung der

a) ABSTREIFRING PZ



b)

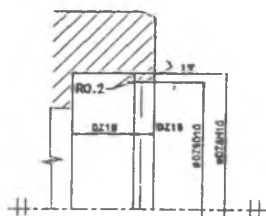


Abb. 6. Beispiel von Relation die die Mitwirkung von normierten Elementen betrachten

Typengröße vom Abstreifring in Abb. 6, die in folgender Form bezeichnet wurde:

$$d = dm$$

(9)

wo: dm - Kolbenstangendurchmesser.

Beispielsweise wird für den Kolbenstangendurchmesser dm = 63 mm eine Typengröße zugeordnet: PZ 63 * 75 * 10 * 7.

Die Erfüllung des Einbaukriteriums ist mit der Erfüllung der Relation zwischen den Einbauabmessungen und den Abmessungen des Elements verbunden. Für das in Abb. 6a und 6b sind die Relationen:
 $DT8 = Dz = 75$, $DT9 = DT8 - 2 * Zw = 74.2$, $DT15 = Zh = 2$,
 $DT16 = Lz = 7.1$

Die obengenannten Relationen, die die Mitwirkung mit den normierten Elementen betrachten verlangen Aufbau einer Datenbasis für alle normierten Elemente, die in der gegebenen Konstruktionsfamilie angewandt werden. Die gebildete Datenbasis muß in Hinsicht auf die Änderungen in Normen und Katalogen aktualisiert werden.

2.4. Relationen die den Produktionsprozeß betrachten

Durch die Erfüllung der Kriterien, die aus den Herstellungsmöglichkeiten folgen, wurden Abmessungswerte entsprechend zu dem angenommenen Herstellungsprozeß bestimmt. Daraus folgen entsprechende Relationen, auf grund deren werden unter anderem bestimmt: Absicherungsabmessungen, die die Montage der Dichtungen berücksichtigen (Abb. 3), Abmessungen der Fase, Abmessungen von geplanten Oberflächen im Bereich des Drehfutters, Bohrungs- und Rillenabmessungen, die die Montage und Demontage der Gewindeverbindungen erleichtern. So wie es bei den Relationen war, die in 2.3 dargestellt wurden, muß zuerst das Kriterium der Typengröße erfüllt werden. Im Unterschied zu der Konstruktionszuordnung von normierten Elementen sind Teile der Elemente entscheidend, deren Abmessungen direkt von der zugeordneten Typengröße übernommen werden. Um solche Relationen durchzuführen wurde eine Datenbasis vorbereitet, die aktualisiert werden kann.

2.5. Relationen von Konstruktionsähnlichkeit zur bearbeiteten Konstruktion

Während der Analyse von bestehenden Konstruktionslösungen innerhalb der untersuchten Konstruktionsfamilie entstand eine zahlreiche Datensammlung. Sie ist eine reiche Informationsquelle, die durch die in der Praxis schon wirkenden hydraulischen Zylinder überprüft wird. Direkt kann man die Abmessungswerte nur dann von den schon bestehenden Konstruktionen übernehmen, wenn Übereinstimmungen:

- der Konstruktionslösungen, und zwar der einzelnen Gestalten von Konstruktionselementen,
- der Werte der charakteristischen Merkmale von hydraulischen Zylinder,
- des Werkstoffs der einzelnen Elemente,
- der Produktionsprozesse,

vorhanden sind. Hinsichtlich der Differenz mit den obengenannten Bedingungen, wenn auch nur durch die Anwendung von neuen Technologien, war es nicht möglich Abmessungswerte direkt zu übernehmen. Aus diesem Grunde wurden häufiger die Relationen der Konstruktionsähnlichkeit benutzt.

Die Relationen können folgend ausgelegt werden (Abb. 7):
wenn für die vorliegenden Werte von charakteristischen Merkmalen die Abmessungswerte bekannt sind, so entsteht die Frage bei der Einhaltung der Bedingung der gleichen geometrischen und werkstofflichen Konstruktionsgestalt des Elements, was für Abmessungswerte nimmt das neu konstruierte Element für neue Werte

der charakteristischen Merkmale an. Die Ähnlichkeitstheorie fand breite Anwendung, besonders im Modellbau sowie auch in der Analyse von physikalischen Erscheinungen [3, 4, 5]. Aus den verschiedenen angewandten Ähnlichkeitsrelationen wurde zur Lösung dieser Frage die geometrische Ähnlichkeit angewandt. Die geometrische Ähnlichkeit ist erfüllt, wenn das Verhältnis aller Abmessungswerte von abgeleiteten Konstruktionen an der Grundkonstruktion fest ist. Beispiel aus dem Abb. 7:

$$P_{TZ} = TZ1' / TZ1^\circ = TZ2' / TZ2^\circ = \dots = TZ7' / TZ7^\circ \quad (10)$$

Das Erhalten einer vollkommenen Ähnlichkeit in den konstruierten Elementen der hydraulischen Zylinder war nicht möglich, wegen der Werte von charakteristischen Merkmalen oder wegen der Einbaukriterien von normierten Elementen, die die Relation der geometrischen Ähnlichkeit nicht erfüllt haben. Deshalb konnte nur eine teilweise geometrische Ähnlichkeit erfüllt werden. Im betrachteten Beispiel ist die geometrische Ähnlichkeit von Kolben- und Kolbenstangendurchmessern folgende:

$$P_{dt} = 1.25, \quad P_{dm} = 1.0 \quad (11)$$

Aus der teilweise Ähnlichkeit folgt:

$$P_{dt} = P_{TZ2} = P_{TZ3} = P_{TZ6} = P_{TZ1} \text{ und } P_{dm} = P_{TZ5} = P_{TZ4} = P_{TZ7} \quad (12)$$

Es wurden folgende Abmessungswerte erhalten:

$$TZ1' = 11.25, \quad TZ2' = 74.5, \quad TZ3' = 68.75, \quad TZ4' = 40.1, \\ TZ5' = 30, \quad TZ6' = 9.56, \quad TZ7' = 7.$$

Diese Abmessungswert unterlagen den nächsten Unformungen, indem sie an die Reihe der Normzahlen und an die Einbauabmessungen von normalisierten Konstruktionen angepaßt wurden.

Im Ergebnis wurde erhalten:

$$TZ1' = 9, \quad TZ2' = 73.7, \quad TZ3' = 70, \quad TZ4' = 40.1, \\ TZ5' = 30, \quad TZ6' = 7.65, \quad TZ7' = 7.$$

Die Ursache, die zur Abweichung von der geometrischen Ähnlichkeit der Konstruktionen zwingt, ist die Anpassung der Abmessungen an:

- die Reihe der Normzahlen,
- die Anforderungen des Einbauens von normierten Elementen,
- die geometrischen Bedingungen,
- die technologischen Anforderungen,
- die Festigkeitsbedingungen.

Die Anwendung von Konstruktionsähnlichkeitsrelationen findet in der ersten Phase der Bestimmung von Abmessungswerten statt. Nachher, nach Erfüllung der in obigen Abschnitten beschreiben Relationen, werden diese Abmessungen modifiziert.

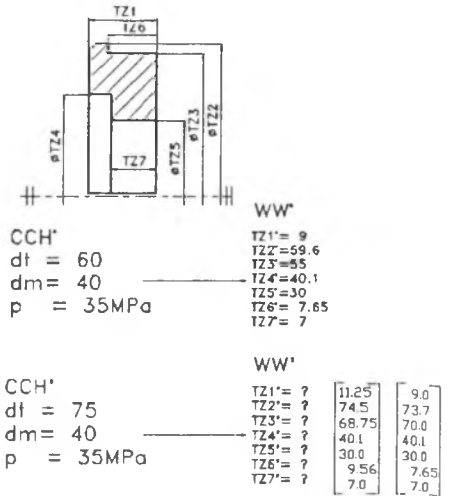


Abb. 7. Beispiel der Anwendung von Relationen der Konstruktionsähnlichkeit

2.6. Relationen zwischen Abmessungen von mitwirkenden Elementen

Eine Mitwirkung von Elementen wird dann möglich sein, wenn die gekoppelten Abmessungen der mitwirkenden Flächen in einer entsprechenden Relation sein werden. Meistens sind das Identitätsrelationen. Gekoppelte Beispielabmessungen des Kolbenbodes UJ und eines Teils des Rohrs RW wurden in Abb. 8a dargestellt.

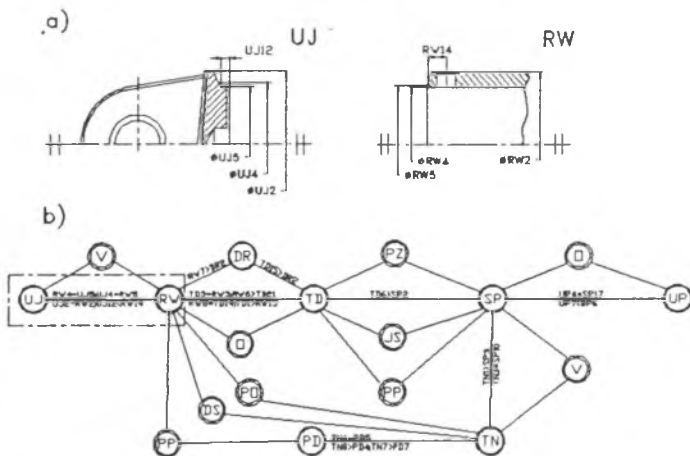


Abb. 8. Beispiel von Relationen zwischen Abmessungen von mitwirkenden Elementen

Zwischen den hervorgehobenen gekoppelten Flächen hinsichtlich der Mitwirkung von Elementen müssen folgende Relationen erfüllt werden

$$UJ5 = RW4, \quad UJ4 = RW5, \quad UJ2 = RW2$$

Eine allgemeine Zusammenstellung von Relationen zwischen den mitwirkenden Elementen wurde in Form eines Graphen in Abb. 8b dargestellt. Die Graphenknoten entsprechen Konstruktionen von Elementen, die Zweige dagegen gekoppelten Abmessungen. Der entstandene Graph der Relationen umfaßt ebenfalls normierte Elemente und bildet eine Aufzeichnung des Systems [2], die die Grundlage zur Aussonderung der Typen von hydraulischen Zylinder bildet.

3. Computerunterstützte Bestimmung von quantitativen Konstruktionsmerkmalen

In Hinsicht auf die Wiederholung der routinierten Operationen der Bestimmung von Abmessungen ist dieses Stadium besonders für Computerunterstützung geeignet. Die Hervorhebung von formalisierten Gruppen der Relationen erlaubt sie zuerst in algorithmische Formen und danach in Programmformen zu fassen, Abb. 9.

Das Programm wird aus Bausteinen gebaut, die bestimmte Relationen die in Abschnitt 2 dargestellten Relationsgruppen enthalten. So gebildete Programme sind sehr kompakt, denn die Zuordnung der Typengröße und der Einbauabmessungen wird von einem Baustein realisiert. Dies ist möglich, weil die Konstruktionsgestaltvarianten

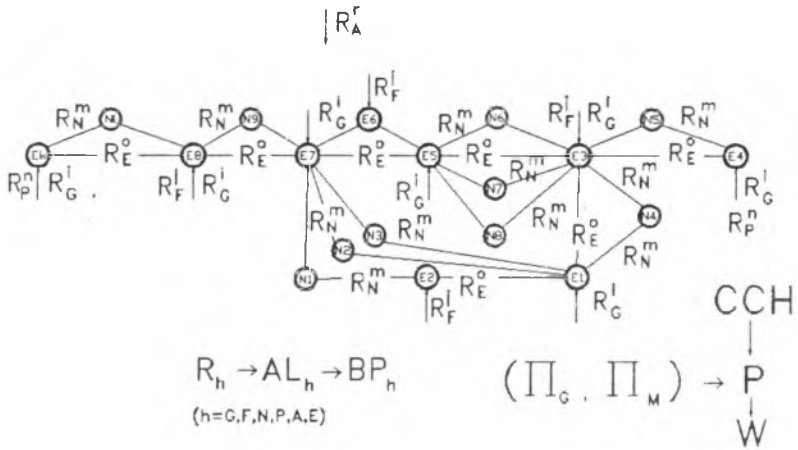


Abb. 9. Wissensbase von Konstruktionsfamilie

die entsprechenden Programmvarianten der Bestimmung von Abmessungswerten verknüpfen. Das Operationsergebnis dieser Programme sind Mengen von Abmessungswerten für einzelne Elemente, die die Grundlage für weitere Umformungen im Modulbildungsprozeß sind. So gebildete Programm baut eine Wissensbase für Konstruktionsfamilien.

LITERATUR

- [1] P. Gendarz, A. Baier, R. Knosala: System modułowy cylindrów hydraulicznych dla przemysłu wydobywczego, budowlanego i hutniczego. Maszyny Górnicze nr 38/92, s.58-68.
- [2] J. Dietrych: System i konstrukcja. WNT, Warszawa 1985.
- [3] J. Pawlowski: Die Ähnlichkeitstheorie in der physikalisch technischen Forschung. Berlin, Heidelberg, New York, Springer 1971.
- [4] M. Weber: Das allgemeine Ähnlichkeitsprinzip der Physik und sein Zusammenhang mit der Dimensionslehre und der Modellwissenschaft. Jahrb. der Schiffbautechnik Ges., H.31/30, S. 274 - 354.
- [5] P. Gendarz: Podstawy optymalizacji różnorodności konstrukcji środków technicznych w procesie tworzenia typoszeregów. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1983.
- [6] P. Gendarz, R. Knosala: Proces tworzenia systemów modułowych maszyn. Przegląd Mechaniczny 20/1990, s. 5 -9.

Gutachter: Jan Szadkowski