



## GEOMETRICKÉ MODELOVANIE MATERIÁLOVÝCH TOKOV V LOGISTIKE

### GEOMETRICAL MODELING OF MATERIAL FLOW LOGISTICS

*Reggie Davidrajuh<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of Stavanger,  
Norway (Tel : +47-51-831700; E-mail: reggie.davidrajuh@uis.no)

**Abstrakt:** Teória spojenia je založená na geometrii a využíva sa pri riešení mnohých problémov v inžinierstve, ekonomike a v manažmente. V úvode príspevku je priblížená teória spojenia. V ďalšej časti príspevku sú prezentované nástroje funkcií pre modelovanie a simuláciu; nástroje sú vyvinuté pre platformu MATLAB. Treťou časťou príspevku je prípadová štúdia, ktorá je zameraná na aplikáciu uvedenej teórie pre materiálový tok v logistike. Rozsah príspevku limituje oblasť predstavenia a aplikácie teórie spojitosti. Základným prínosom príspevku je predstavenie nástrojov, pomocou ktorých môže byť matematické modelovanie a simulácia efektívne na operačnej platforme ako je MATLAB.

**Kľúčové slová:** teória spojenia, geometrické modelovanie, MATLAB nástroje, materiálový tok

**Abstract:** Theory of Connection is based on geometry, and has been used to solve many problems in engineering, economics, and in management. In this paper, firstly, the theory of connection is introduced. Secondly, a toolbox of functions for modeling and simulation is presented; the toolbox is developed for MATLAB platform. Thirdly, a case study is presented on the application of the theory to solve material flow logistics. The scope of this paper is limited to introducing and applying the theory of connection. The major contribution of the paper is the introduction of the toolbox with which mathematical modeling and simulations can be done efficiently on an operating platform like MATLAB.

**Key words:** Theory of connection; geometrical modeling, MATLAB toolbox, material flow.

## 1 ÚVOD

V príspevku je prezentovaná teória spojenia (ToC), ktorá je založená na prístupe formulácie matematického modelu procesov materiálového toku. Hlavnou výhodou použitia teórie spojnosti je to, že sa môže použiť rovnaký súbor funkcií (alebo procedúr) pre formuláciu matematických modelov v mnohých inžinierskych a manažérskych procesov (Bjørke, 1995; Davidrajuh, 2004).

Teória spojenia (ToC), predtým známa ako teória výrobného systému, v tvare, ktorý je uvedený v príspevku, je výsledkom 30 ročnej práce Škandinávskej Školy Systémových Teórií; pre detailné štúdium teórie spojenia, sa čitatelia môžu odvolať na Bjorka (1995). Myšlienkovou teóriu spojenia je synchronizovať geometriu a algebru: po prvej, geometrické modelovanie je použité pre model fyzikálneho javu, a potom súbor algebrických rovníc je oddelený od geometrického modelu, a tak použitím počítača môžu byť tieto rovnice vyriešené. Použiteľnosť ToC je v tom, že rozdielne subsystémy rozdielnych disciplín môžu byť modelované a integrované aplikovaním rovnakých procedúr; uvedené je veľmi dôležité pre oblasť ako napríklad elektronický obchod, ktorý je zložený z rôznych disciplín ako napríklad výroba, manažment podniku, výber dodávateľov a podobne.

## 2 MODELOVANIE ZALOŽENÉ NA ToC

### 2.1 Systémový model

Systém pozostáva z troch základných komponentov, ako sú *prvky, spojenia a zdroje*. Prvky nesú všetky fyzikálne alebo ekonomicke vlastnosti systému. Prvky sú stavebné bloky fyzikálneho systému. Napríklad, v sieti LRS, rezistory, kondenzátory a induktory sú prvky, vlastnosť rezistora je jeho vodivosť, kym vlastnosťou prvku stroja môže byť jeho čas

## 1 INTRODUCTION

In this paper, we present the theory of connection (ToC) based approach for formulation of mathematical model of material flow processes. The major advantage in using the theory of connection is that, the same set of functions (or procedures) can be used for formulation of mathematical models of many engineering and management processes (Bjørke, 1995; Davidrajuh, 2004).

Theory of connection (ToC), previously known as manufacturing system theory, in the form it is presented here, is due to the work of the Scandinavian School of Systems Theory for the past 30 years; for detailed study of ToC, interested readers are referred to Bjørke (1995). The idea behind ToC is to bring geometry and algebra together: first, geometric modeling is used to model physical phenomena, and then a set of algebraic equations are drawn out of the geometric model, so that by using a computer these equations could be solved. The usefulness of ToC is that, different subsystems of different disciplines can be modeled and integrated by performing the same procedure; this is very important for fields like e-commerce as e-commerce involves diverse disciplines like manufacturing, business management, supplier selection, etc.

## 2 MODELING APPROACH BASED ON ToC

### 2.1 System model

A system consists of three fundamental components, such as *elements, connections, and sources*. The elements carry all the physical or economical properties of the system. Elements are the building blocks of the physical system. For example, in a LRC network, the resistors, capacitors and inductors are the elements; the property of a resistor is its admittance,

spracovania, pomer medzi vstupnými a výstupnými prvkami, percento odpadu a podobne. Keď nie je spojenie medzi prvkami, súbor oddelených prvkov sa nazýva ako jednoduchý systém. Spojenia vyjadrujú ako prvky na seba navzájom vplývajú a prezentuje to štruktúru systému. Súbor spojených prvkov sa nazýva ako spojený systém. Nakoniec, zdroje vyjadrujú vplyv medzi kompletným systémom a prostredím. Zdroje sú vplyvom prostredia na systém, v elektrickom obvode, zdroje môžu byť prúdové alebo napäťové, v plánovaní výroby, dopyt po produktoch, zavádzací čas, príslušné náklady sú niektoré zo zdrojov.

whereas a machine element's property could be its processing time, ratio between input items and output items, scrap percentage etc. When there is no connection between the elements, the set of isolated elements is called the primitive system. The connections reflect how the elements influence each other and it represents the structure of the system. The set of connected elements is called the connected system. Finally, the sources reflect the influence between the total system and the environment. Sources are the environment's influence on the system; in an electrical circuit, source  $s$  could be current or voltage sources; in production planning, demand of products, startup-setup times, costs involved are some of the sources.

## 2.2 Geometrický priestor, vektor a matice

ToS je založený na použití kontinuálneho geometrického 3-priestoru alebo  $n$ -priestoru (Euklidovský priestor  $R^n$ ). *Vektor* (nazývaný ako *kontravariantný vektor*) reprezentuje bod v Euklidovskom priestore, alebo *primárny priestor*, zo začiatku do bodu; A vektor v 3-priestore je prezentovaný ako:

$$x = x^1 \varepsilon_1 + x^2 \varepsilon_2 + x^3 \varepsilon_3,$$

kde  $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3)$  je základ vektora pozdĺž 3 osí. Kým bod (nazývaný ako *kovariantný vektor*) v príslušnom *dvojitom priestore* vektora, definujte ďalší vektor, ktorý je prezentovaný ako

$$a = a^1 \varepsilon_1 + a^2 \varepsilon_2 + a^3 \varepsilon_3,$$

kde  $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3)$  je základ spoločného vektora pozdĺž troch osí.

*Matica vlastností* dodržuje vlastnosti (alebo charakteristiky) základného systému, kým *matica spojnosti* prezentuje spojenia medzi základnými prvkami.

## 2.2 Geometrical Spaces, vectors, and matrices

ToC is based on the use of continuous geometrical 3-space or more typically an  $n$ -space volume (a Euclidean space  $R^n$ ). A *vector* (called a *contravariant vector*) represents a point in the Euclidean space, or *primary space*, from the origin to the point; A vector in a 3-space is represented by:

$$x = x^1 \varepsilon_1 + x^2 \varepsilon_2 + x^3 \varepsilon_3,$$

where  $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3)$  is the basis vector along the three axes. Whereas, a point (called a *covariant vector*) in the corresponding *dual space* of the vector space, defines another vector which can be represented by:

$$a = a^1 \varepsilon_1 + a^2 \varepsilon_2 + a^3 \varepsilon_3,$$

where  $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3)$  is the basis co-vector along the three axes.

A *property matrix* keeps properties (or characteristics) of primitive elements, whereas a *connection matrix* represents the connections between the primitive elements.

### 3 NÁSTROJE FUNKCIÍ

Proces matematického modelovania a simulácie založený na ToC je tradične vykonávaný nástrojmi funkcií, ktoré sú implementované v APL (A programovací jazyk). APL je symbolický jazyk, ktorý bol vyvinutý IBM v roku 1960. Príspevok prezentuje nástroje funkcií pre priemyselný štandard platformy MATLAB. MATLAB platforma pre implementáciu ToC nástroja prináša mnohé výhody, ako je jednoduché použitie (programovanie), prístup stovky funkcií z ďalších MATLAB nástrojov ako sú fuzzy nástroje, nástroj riadiacich systémov, nástroje štatistickej analýzy, nástroje optimalizácie a pod. a prostriedky pre vysokú kvalitu grafických výstupov.

#### 3.1 Použitie nástrojov

Nástroje funkcií pre prístup založený na ToC je rozdelený do 4 skupín:

- Vytvorenie prvkov, alebo skupín prvkov (jednoduchý systém);
- Vyťahovacia topologický štruktúra (spojený systém);
- Riešenie rovníc;
- Uloženie/Nahranie/Tlačenie systému (systém obslužných programov).

Funkcie sú objasnené pomocou nasledujúceho jednoduchého príkladu.

### 3 TOOLBOX OF FUNCTIONS

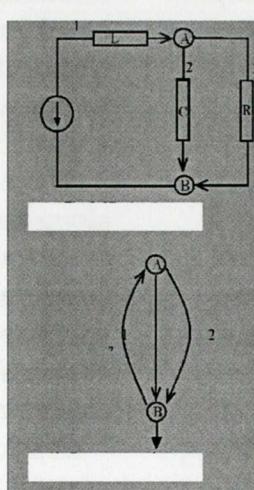
The process of mathematical modeling and simulation approach based on ToC is traditionally done by a toolbox of functions implemented in APL (A programming Language). APL is a symbolic language that was developed by IBM in the 1960s. This paper introduces a toolbox of functions for the industry-standard MATLAB platform. MATLAB platform for implementing ToC toolbox brings many benefits such as ease of use (programming), access to hundreds of functions from other MATLAB toolboxes like fuzzy toolbox, control systems toolbox, statistical analysis toolbox, optimization toolbox, etc., and facilities for high quality graphical outputs.

#### 3.1 Using the Toolbox

The toolbox of function for ToC based approach is divided into four groups:

- Creating elements, and grouping of elements (primitive system);
- Extracting topological structure (connected system);
- Solving the equations;
- Saving/Loading/Printing System (utility system)

The functions are explained with the help of the following simple example.



*Obr.1 Sieť LCR  
Fig. 1 LCR network*

### 3.2 Príklad: Jednoduchá siet' LCR

Obr. 1 prezentuje jednoduchú siet' LCR, ktorá pozostáva z troch základných prvkov – rezistora R, kondenzátora – C, induktora – L.

Konvencie použité na obr. 1: V obr. 1a, uzly sú určené paličkovým písmom 'A' a 'B', prvky sú určené s číslami '1' (L), '2' (C) a '3' (R). Na obrázku 1b sú tri vetvy spájajúce uzly 'A' a 'B'; vetva – 1 spájajúca prvak '1', vetva- 2 spájajúca prvak '2' a vetva – 3 spájajúca prvak '3'.

#### Fáza 1 – identifikovanie jednoduchého systému

Ako prvé vytvoríme tri prvky pomocou funkcie *prvak*. Funkcia prvak má štyri vstupy: prvak číslo, názov prvku, hodnota vlastnosti a reakcia. Len prvý (prvak číslo) a tretí (hodnota vlastnosti) sú povinné vstupy. Napríklad, pre rezistor

>R = prvak(3, 20)

Význam, rezistor je druhý prvak a hodnota je 20 ohmov (pre ďalšie prvky, hodnota vlastnosti je vlastná hodnota napäťia).

Po vytvorení ďalších prvkov, sú spojené všetky prvky do jednoduchého systému použitím funkcie *jednoduchý systém*.

>PS1 = primitive\_system(L, C, R)

#### Fáza 2: vytvorenie spojeného systému

V tejto fáze je zavedené spojenie medzi troma prvkami cez dve uzly. Je to vykonané pomocou funkcie *connectsystem* a pomocou tabuľky Branin. Prvý riadok tabuľky Branin sa skladá z uzlov, ktoré sú zakončené vtvami a druhý riadok tabuľky sa skladá z uzlov, ktoré sú začiatkom vetiev. Napríklad, ak berieme do úvahy tri vety 1, 2, a 3 (alebo prvky L, C a R) zakončením sú B, A a A. Začiatkom sú A, B a B.

Spolu s uvedenými dvoma riadkami tabuľky a s jednoduchými systémom, pomocou funkcie *connectsystem* sa vrátia maticice VP, Y a VN, kde Y je vlastnosť

### 3.2 Example: A simple LCR network

Figure 1 shows a simple LCR network consisting of three primitive elements - a resistor R, a capacitor C, and an inductor L.

Conventions used in figure 1: In figure-1a, nodes are identified with block letters 'A' and 'B'; elements with identified with numerals '1' (L), '2' (C), and '3' (R). In figure 1b, there are three branches connecting the nodes 'A' and 'B': the branch-1 consisting of the element '1', the branch-2 consisting of the element '2', and the branch-3 consisting of the element '3'.

#### Phase 1: identifying the primitive system.

First we create the three elements with the help of the function *element*. Function element takes four inputs: element number, name of the element, property value, and comment. Only the first (element number) and the third (property value) are compulsory inputs. For example, for the resistor,

>R = element(3, 20)

Meaning, the resistor is the second element and the value is 20 ohms (for other elements, property value is the respective impedance value).

After creating the other elements, all the elements are grouped as a primitive system using the function *primitivesystem*.

>PS1 = primitive\_system(L, C, R)

#### Phase 2: making the connected system.

The connection between the three elements through the two nodes has to be established in this phase. This is done with the help of the function *connectsystem* and the Branin table. The first row of the Branin table consists of the nodes that are tail-end to the branches, and the second row consists of the nodes that are head-end to the branches. For example, considering the three branches 1, 2 and 3 (or elements L, C, and R) the tail-ends are B, A, and A. The head-ends are A, B, and B.

matice, ktorá zahŕňa hodnotu vlastnosti všetkých prvkov v jednoduchom systéme, VP a VN sú spojenia (incidencie) matíc pre priame spojenia, konečná časť a začiatok časť v tomto poradí.

Funkcia *removereference* odstráni referenčný uzol z VP, VN matice a výslednej inverznej matice.

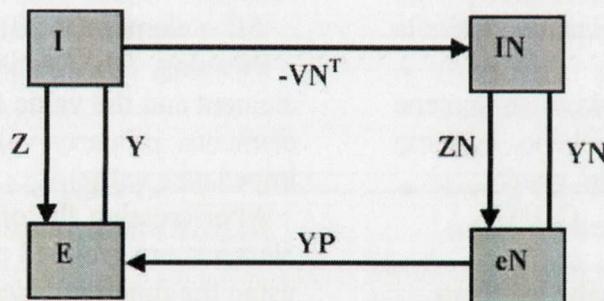
### Fáza 3: aplikovanie zdrojov, riešenie spojeného systému a zobrazovanie výsledkov

Do vetvy-1 je aplikovaný len jeden zdroj, zatiaľ čo vetvy - 2 & 3 nemajú použité zdroje. A tak, v tenzorovej forme, zdroje sú prezentované pomocou [220; 0; 0], kde 220 (voltov) je aplikovaný zdroj.

Together with these two rows of the Branin table, and with the primitive system, calling the function *connectsystem* return the matrices VP, Y, and VN, where Y is the property matrix that includes the property value of all the elements in the primitive system, VP and VN are the connection (incidence) matrices for direct connections, the tail part and the head part respectively. The function *removereference* removes the reference node from the VP, VN matrices and returns the resultant incidence matrix V.

### Phase 3: applying the sources, solving the connected system and displaying the results

There is only one source applied to the branch-1, whereas the branches- 2 & 3 do not have applied sources. Thus, in tensor form, the sources are represented by [220; 0; 0], where 220 (volts) is the applied source.



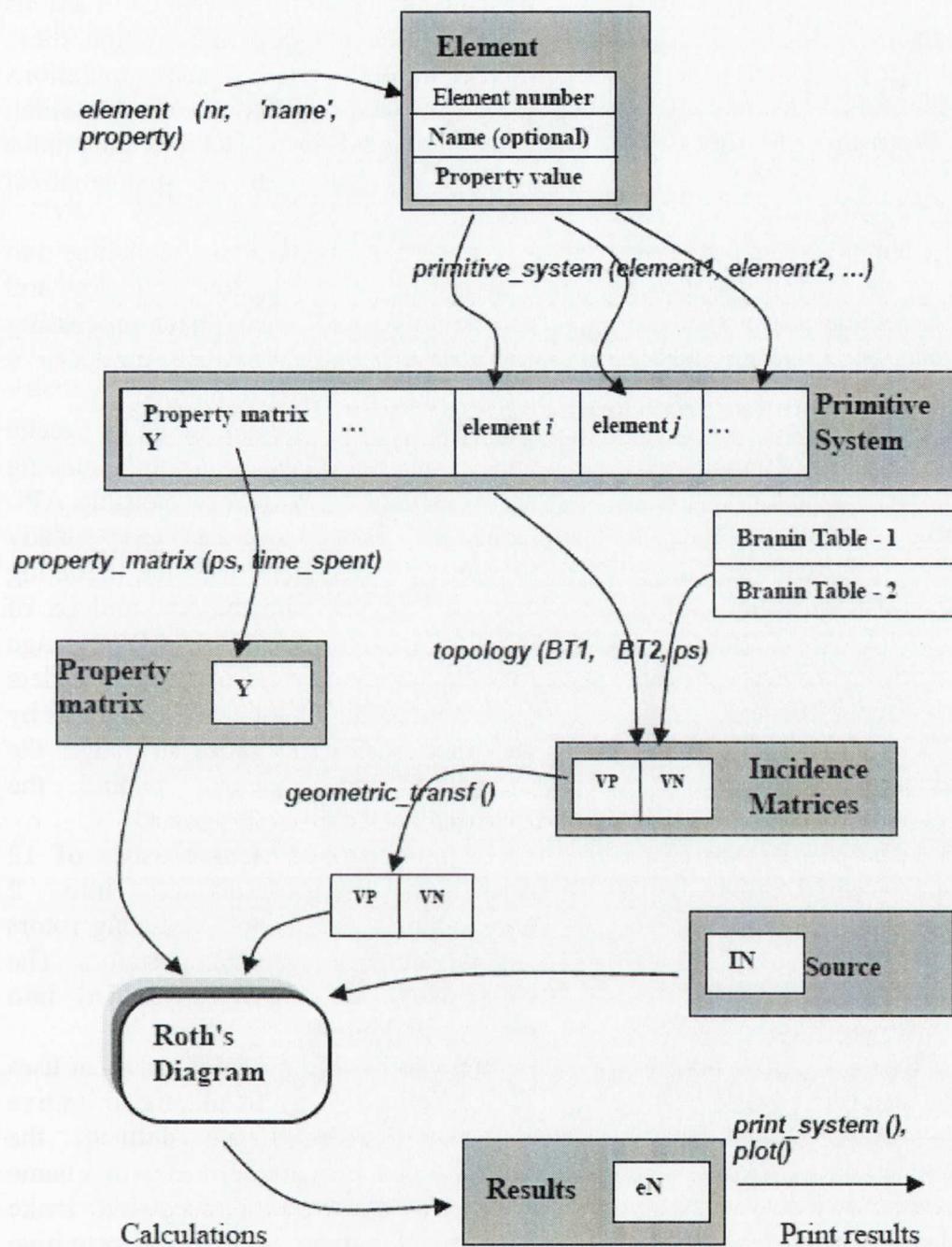
*Obr. 2 Rothov diagram (metóda uzlového riešenia)*  
*Fig. 2 The Roth's diagram (Node-solution method)*

Rothov diagram (viď. Obr. 2) je použitý na riešenie systému. Rothov diagram znázorňuje príslušné matice a tenzory a ako sú zapojené. Obr. 3 znázorňuje všetky funkcie použité pre riešenie. Tak isto z obrázka je zrejmé, že štruktúra dát pre prvky obsahuje dve povinné položky, číslo prvku a hodnotu vlastnosti; tieto dva položky musia dávať čas vytvorenia prvku. Tiež znázorňuje obrázok, že štruktúra dát pre súbor jednoduchých prvkov (jednoduchý systém) obsahuje veľký počet jednoduchých prvkov a ako vektory a tenzory identifikované v Rothovom

The Roth's diagram (shown in figure 2) is used to solve the system. The Roth's diagram shows the involved matrices and tensors, and how they are connected. Figure 3 shows all the functions used for solving. Figure 3 shows that the data structure for an element contains two obligatory items, element number and the property value; these two items must be given at the element creation time. Also shown in the figure that the data structure for the set of primitive elements (the primitive system) contains multiple primitive elements, and how the vectors

diagramy sú vyňaté z jednoduchého systému.

and tensors identified in the Roth's diagram are extracted from the primitive system.



*Obr. 3 Prehľad použitých hlavných funkcií a dátových štruktúr  
Fig. 3 Overview of main functions and data structures used*

#### 4 Prípadová štúdia

Prípadová štúdia prezentovaná v tejto sekcií je dôkazom koncepcie pre modelovanie a simuláciu použitím ToC.

#### 4 Case study

A case study is presented in this section as a proof of concept for modeling and simulation using ToC.

Prípadová štúdia poukazuje na to, že použitie ToC pre modelovanie a simuláciu fyzikálnych systémov umožní tvorcovi modelov byť stále informovaní o základných geometrických transformáciách a algebrických výpočtoch; iným typom modelovania a simulácie je použitie grafického softvéru GUI, ktorý spracováva modely ako čierne skrinky, teda „schovávajú“ matematické detaily.

Prípadová štúdia je o modelovaní a analýze materiálových tokov v logistike a o produktivite čiastkovovo-výrobnej inžinierskej spoločnosti, ktorá produkuje široký typ elektrických motorov.

Prípadová štúdia je vyriešená Stockom a Solbergom (1985) použitím siete hromadnej obsluhy a Wangom (1995) použitím jazyku APL. Napriek uvedenému, štúdia v príspevku pristupuje k modelovaniu prostredníctvom ToC a k simulácii pomocou nových nástrojov vyvinutých v jazyku MATLAB. Teda, čitateľia môžu porovnať riešenia troch autorov, za účelom posúdenia jednoduchosti a elegancie riešenia.

Výrobný systém pozostáva z 12 výrobných fáz, ktoré sú rozdelené do 2 výrobných línii: jedna línia pre výrobu rotorov a druhá línia pre výrobu statorov. Komponenty sú na záver namontované na motor, viď. Obr. 4.

Na obr. 5 je znázornený kód programu, ktorý používa funkcie ToC. Ako prvé sú definované základné prvky ('e1'..'e29'); základné prvky sú definované názvom (menovkou) a materiálom, ktorý je potrebný pre vytvorenie jednej jednotky výstupu. Ako druhé sú zoskupené základné prvky do základného systému 'ps'. Potom je vyňatá matica vlastnosti zo základného systému ako matica 'Y'. Ďalej je pomocou tabuľiek Branin, získaná inverzná matica V ako funkcia *connectedsystem*. Na záver, pripojením surovín do vstupných prvkov je spojený systém vyriešený.

This case study shows that by using ToC for modeling and simulation of physical systems, the modeler will be aware of the fundamental geometric transformations and algebraic computations all the time; this is unlike modeling and simulations using graphical GUI based software which treats the models as a black box thus hides or abstracts away all the mathematical details.

The case study is about modeling and analysis of material flow logistics and productivity of a batch-processing engineering company which produces a large variety of electrical motors.

The case study is already solved by Stecke and Solberg (1985) using queuing networks, and by Wang (1995) using APL language. However, the case study presented in this paper uses the modeling approach by ToC and the new toolbox of function developed in MATLAB language for simulations. Thus, interested readers are encouraged to compare the solutions by the three works, in order to judge the simplicity and elegancy behind the approach presented in this paper.

The production system consists of 12 production stages, divided into 2 production lines: one for producing rotors and the other for producing stators. The components are finally assembled into motor; see figure-4.

Figure-5 shows the program code that uses ToC functions. First of all, the primitive elements ('e1'..'e29') are defined; the primitive elements are defined with a name (label) and the material needed to make one unit of output. Second, the primitive elements are grouped together as a primitive system ('ps'). The property matrix is extracted from the primitive system as 'Y' matrix.

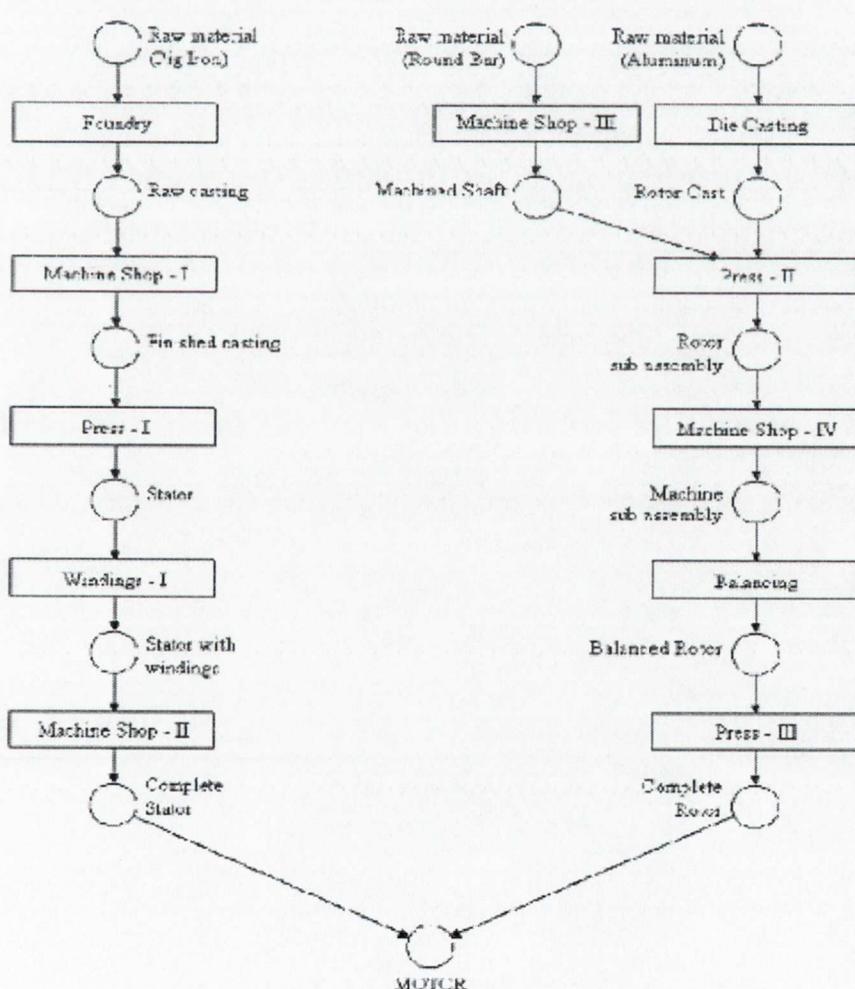
Third, with the help of the Branin tables, the incidence matrix V is obtained by the function *connectedsystem*. Finally, by feeding raw materials to the input elements, the connected system is solved.

## 5 Záverečné poznámky

Článok prezentuje Teóriu spojenia (ToC), ktorá je založená na prístupe modelovania inžinierskych systémov. Hlavný význam použitia ToC je založený na prístupe zdôrazňovania spojenia medzi základnými prvkami, z ktorých je zložený systém; inými slovami, geometria sa používa pre modelovanie systému. Originalita príspevku je v aplikovaní nástrojov funkcií pre modelovanie a simuláciu. Nástroje sú aplikované na platforme MATLAB. Z prípadovej štúdie uvedenej v príspevku, je zrejmé, že s ToC, ktorá je založená na spôsobe rôzneho systémového modelovania problémov, môže byť riešenie efektívne, použitím rovnakých súborov funkcií.

## 5 Concluding remarks

This paper presents a Theory of Connection (ToC) based approach for modeling engineering systems. The main benefit using ToC based approach is that the approach emphasizes the connection between the primitive elements that compose the system; in other words, geometry is used for system modeling. The originality of this paper is the application of a toolbox of functions for modeling and simulation. The toolbox is implemented on MATLAB platform. From the case study given in the paper, it will become apparent that with ToC based approach diverse system modeling problems can be solved efficiently, using the same set of functions.



**Obr. 4** Zjednodušený materiálový tok  
**Fig. 4** The simplified material flow

```

% CREATE ELEMENTS
e01=element(01,'FOUNDRY :material input', 1.176);
e03=element(03, 'MSHOP-I :material input', 1.290);
e05=element(05, 'PRESS-I :material input', 0.670);
e07=element(07, 'PRESS-I :wastage', 0.340);
e09=element(09, 'WINDING-I: wastage', 0.020);
e11=element(11, 'MSHOP-II :material input', 1.220);
e13=element(13, 'ASSEMBLY ', 0.705);
e15=element(15, 'PRESS-III: wastage', 0.031);
e17=element(17, 'PRESS-III: material input', 0.974);
e19=element(19, 'BALANCING: material input', 0.001);
e21=element(21, 'MSHOP-IV : material input', 1.053);
e23=element(23, 'PRESS-III: wastage', 0.010);
e25=element(25, 'MSHOP-II :material input', 1.540);
e27=element(27, 'PRESS-III: wastage', 0.280);
e29=element(29, 'PRESS-III: material input', 0.940);

e02=element(02, 'FOUNDRY :instage', 0.176);
e04=element(04, 'MSHOP-I :wastage', 0.250);
e06=element(06, 'PRESS-I :wastage', 0.010);
e08=element(08, 'WINDING-I: material input', 0.893);
e10=element(10, 'WINDING-I:wastage', 0.127);
e12=element(12, 'MSHOP-II :wastage', 0.220);
e14=element(14, 'ASSEMBLY ', 0.385);
e16=element(16, 'PRESS-III: wastage', 0.005);
e18=element(18, 'BALANCING: wastage', 0.001);
e20=element(20, 'MSHOP-IV :wastage', 0.053);
e22=element(22, 'PRESS-III: from MShop-III', 0.320);
e24=element(24, 'PRESS-III: material input', 0.890);
e26=element(26, 'MSHOP-II :wastage', 0.540);
e28=element(28, 'PRESS-III: wastage', 0.220);

% THE PRIMITIVE SYSTEM (GROUP ELEMENTS)
ps=primitive_system(e01,e02,e03,e04,e05,e06,e07,e08,e09, e10,e11,e12,e13,e14,e15,e16, ...
e17,e18,e19,e20,e21,e22,e23,e24,e25,e26,e27,e28,e29);

YG = ps.Y;

% ESTABLISH THE CONNECTION
Branin_row_1 =[19,19,20,20,21,21,21,22,22,22,23,23,24,24,25,25,25,26,26,27, ...
27,28,28,28,30,30,29,29,29];
Branin_row_2 =[01,02,19,03,20,04,05,21,06,07,22,08,23,25,09,10,26,11,27,12, ...
28,30,15,29,13,14,16,17,18];

% FORM THE CONNECTED SYSTEM
[VP, VN] = connect_system(Branin_row_1, Branin_row_2, ps);

% SOLVE THE CONNECTED SYSTEM
YNG = -transpose(VN) * YG * VP;
YDIG = eye(30);
YNNG = YNG + YDIG;
ZNBG = inv(YNNG);

INB = zeros(size(ZNBG,1),1); INB(24,1) = 1;
eNBG = ZNBG * INB

```

*Obr. 5 Program  
Fig. 5 The Program*

**Literatúra / References**

- [1] Bjørke, O. (1995) *Manufacturing Systems Theory -A Geometrical Approach to Connection*. Tapir, Trondheim, Norway
- [2] Davidrajuh, R. (2004) Planning e-government start-up: a case study on e-Sri Lanka. *Electronic Government*, Vol. 1, No. 1, pp.92-106 [3] Stecke, K. and Solberg, J. (1985) "The optimality of unbalancing both workloads and machine group sizes in closed queuing networks of multi-server queues", *Operations Research*, Vol. 33, No. 4, pp. 882-910
- [3] Wang, K. (1995) 'A new modeling and analyzing approach to material flow and productivity'. *International IFIP Conference on Computer Applications in Production and Engineering*, Beijing, China, May 1995

**Recenzia/Review:** doc. Ing. Martin Straka, PhD..