DILEME SI SOLUTII ÎN MANAGEMENTUL SISTEMELOR FLEXIBILE DE FABRICATIE

Prof.dr.ing.,ec. Ioan ABRUDAN
Sef lucr.dr.ing. Florin LUNGU
Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
Catedra Management si ingineria sistemelor
B-dul Muncii, 103-105, Cluj-Napoca
Tel./fax: 0264-415484
Email: flungu@yahoo.com
Conf.dr.ec.Ioan MANOLE
Universitatea Bogdan Voda Cluj-Napoca

Cuvinte cheie: flexibilitate, jocuri matematice, cost de tranzitie, sarcina de productie

Abstract: In this paper we have considered the flexibility of the production system as being its capacity to achieve more types of products. The passing of production system from the achievement of one type of product to the achievement of another type of product is named transition and supposes a flexibility effort (time, cost etc) named transition cost.. In this paper the mathematical games theory is used to offer a solution in these circumstances indicating through probabilities what type of product should be made in the system, so that the system to remain flexible and the changing costs of manufacturing tasks to be as low as possible.
Key words: flexibility, math game, system, transition, cost, production task

Prin flexibilitate, ca si atribut al unui sistem de fabricatie, întelegem capacitatea acelui sistem de a face fata schimbarilor care pot sa intervina în: tipologia si volumul sarcinii de productie, starea de functionare a modulelor din care este compus, parametrii procesului tehnologic, multimea SDV-urilor utilizate s.a.

În sens restrâns, însa, flexibilitatea este asociata schimbarii tipului de produs care se realizeaza în sistem. Atunci când se realizeaza un anumit tip de produs este activat un set de capabilitati ale sistemului (masini, SDV-uri, reglaje etc.). Sistemul se gaseste, deci, în starea corespunzatoare realizarii produsului respectiv. Daca în sistem intra un alt tip de produs, atunci, în general, este activat un alt set de capabilitati ale sistemului, adica sistemul trece într-o alta stare a sa. În Fig.1 se reprezinta starile sistemului în situatia simplificata când capabilitatile activate, care difera de la realizarea unui tip de produs la altul, sunt doar masinile. Cerculetele înegrite corespund masinilor care sunt utilizate la realizarea tipului respectiv de piesa (P_i) iar cerculetele goale sunt cele care nu sunt utilizate pentru executia produsului respectiv.

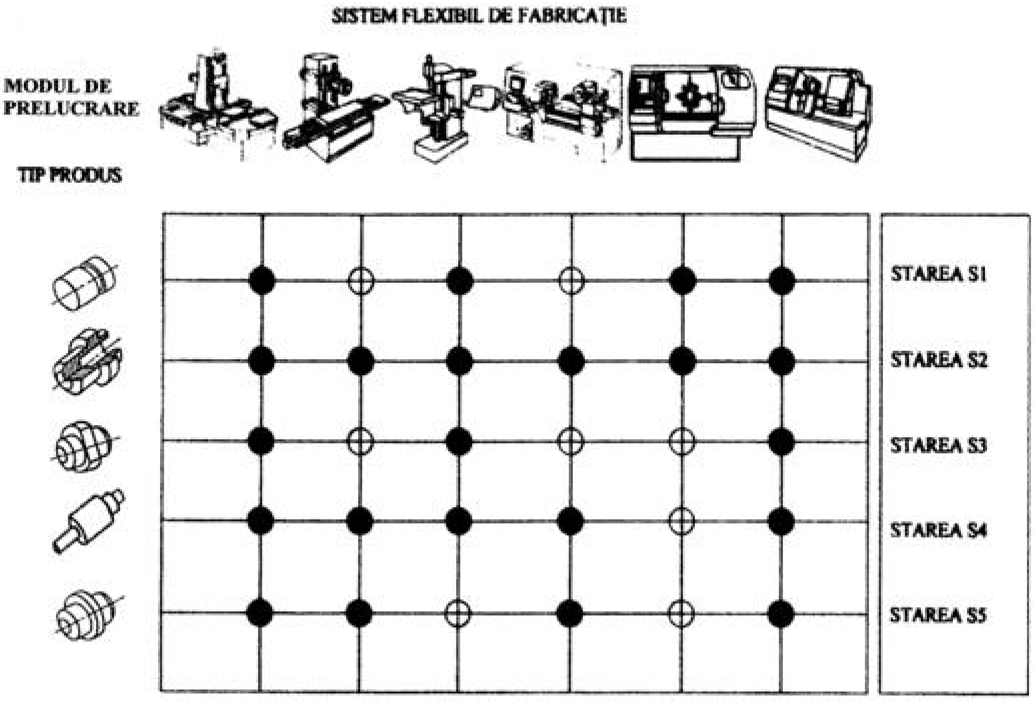

Fig.1. ***Starile sistemului***

Trecerea sistemului de la o stare la alta a sa (fiecare stare corespunzând unui anumit tip de produs) presupune un efort din partea sistemului care, minimal, ar putea consta în timpul de reglare a masinilor dar, obisnuit, include si alte componente. Acest efort îl putem numi generic, cost de tranzitie (c_{ij}), tranzitia fiind o trecere a sistemului dintr-o stare a sa (S_j) într-o alta stare a sa (S_i); (Fig.2). Inversarea indicilor decurge din logica modelarii SFF ca si jocuri matematice. Functionarea sistemelor flexibile de fabricatie (SFF) presupune, în conditiile schimbarii continue a tipurilor de produse realizate, un altfel de efort de tranzitie care “poarta” sistemul prin starile sale. Daca împartim efortul global de tranzitie la numarul de tranzitii realizate obtinem costul mediu de tranzitie (CMT).

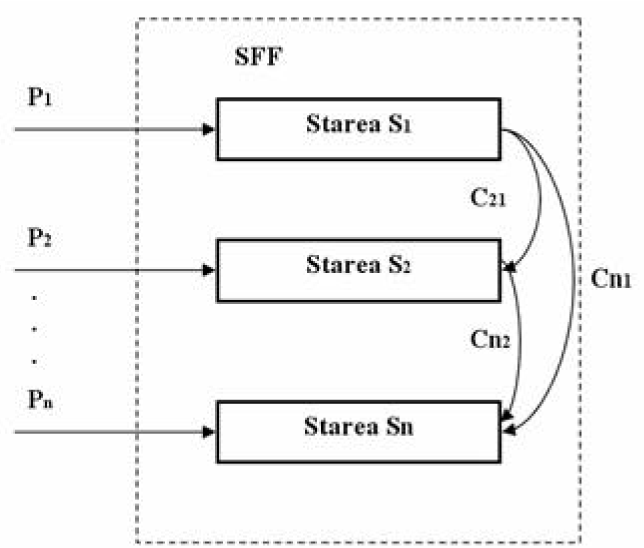

Fig.2. ***Tranzitiile sistemului***

Flexibilitatea unui sistem de fabricatie trebuie înteleasa în termenii realitatii. Adica, nu se pot realiza în acelasi sistem, înghetata si motoare de avion. De aceea, întotdeauna, vorbim de flexibilitate în cadrul aceleasi familii de produse. De aici, începe un sir de dileme.

Dilema nr.1

Ce este o familie de produse? Unde este limita dintre o familie de produse si alta? Cât de diferite sau cât de apropiate trebuie sa fie produsele aceleasi familii? Cum masuram diferenta/apropierea dintre produse?

Daca iesim din dilema aceasta prin raspunsul ca diferenta/apropierea dintre diferite tipuri de produse o masuram prin caracteristicile acelor produse, atunci intram în a doua dilema.

Dilema nr.2

Care sunt caracteristicile care descriu cel mai bine piesa respectiva? Câte sunt? Sunt la fel de importante toate? Cum le aducem la numitor comun pentru a le agrega într-un indicator global care sa descrie complet tipul respectiv de produs (reper, piesa)?

O solutie în acest domeniu o pot da sistemele de codificare a pieselor care descriu o piesa îmbinând caracteristici morfologice ale pieselor, cu caracteristici tehnologice si economice. Daca am stabilit care sunt caracteristicile care descriu cel mai bine tipurile de piese, trebuie sa gasim o metoda pentru a aduce aceste caracteristici la un numitor comun si a construi un indicator global care sa masoare apropierea/diferenta dintre tipurile de produse. În [4] s-au imaginat indicatori de diferentiere/apropiere dintre tipurile de piese care s-au numit, mai întâi, coeficienti de concordanta, iar, dupa înca o treapta de procesare, acestia au devenit coeficienti de afinitate. Cu aceste elemente se poate intra în urmatoarea dilema.

Dilema nr.3

Pot masura coeficientii acestia care reflecta diferenta/apropierea dintre tipurile de produse si efortul sistemului atunci când acesta trece de la realizarea unui tip de produs la altul? Adica, reflecta acesti coeficienti costul de tranzitie? Sau, diferenta/apropierea dintre piesele realizate masoara si efortul (costul) de tranzitie? Daca raspunsul este pozitiv atunci intram în ultima dilema care, de fapt, închide ciclul si ne readuce la prima dilema.

Dilema nr.4

Pâna în ce limita a costului de tranzitie putem contura multimea tipologica care se va realiza în sistem? Care dintre produsele analizate, prezumate a se realiza în sistem, vor ramâne pentru a se executa în sistem si care vor fi scoase din nomenclatorul de fabricatie al sistemului? Cu alte cuvinte, daca în Fig.3 cerculetele reprezinta tipuri de produse, care din contururile A, B sau C reprezinta nomenclatorul de produse al sistemului? Cum se stabileste aceasta limita?

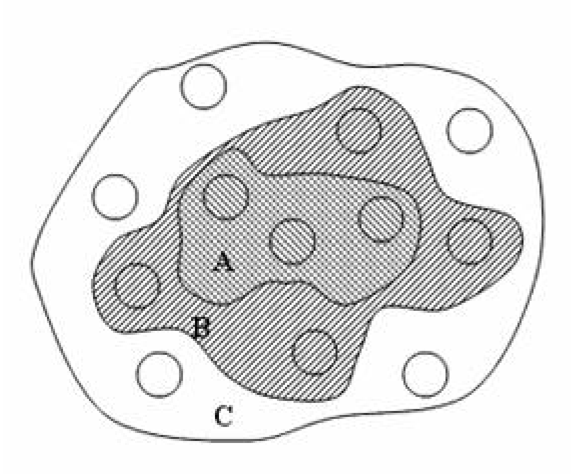

Fig.3. ***Nomenclatorul de produse al sistemului***

În acest moment al discutiei se poate elabora matricea din Fig.4, la care sa-i spunem matricea costurilor de tranzitie, în care coloanele reprezinta starile sistemului (S_i) iar liniile reflecta produsele care intra la un moment dat în sistem. Elementele matricii se interpreteaza, în cazul intersectiei S_1 cu P_2, în felul urmator: daca în sistemul flexibil intra spre prelucrare reperul P_2 si sistemul se gaseste în starea S_1, atunci efortul sau de a se adapta la starea corespunzatoare realizarii produsului P_2 (de a ajunge, deci, la starea S_2) sau, altfel spus, costul de tranzitie care masoara acest efort, este c_{12}. Sa retinem ca noi înca nu avem sistemul de fabricatie ci, de abia acum, încercam sa-l definim prin determinarea produselor care se vor realiza în cadrul sau. Sa remarcam, de asemenea, ca întregul rationament este dominat de costul de tranzitie care devine, astfel, criteriu de decizie.

Pentru a stabili care dintre tipurile de produse se vor realiza în sistem si care nu, se poate apela la aparatul matematic din teoria jocurilor matematice cu suma nula. Rezumativ, principiile din acea parte a teoriei jocurilor pe care o vom utiliza, sunt redate în continuare:

1) Teoria jocurilor este o teorie a conflictelor în care sunt evidentiate cel putin doua interese contradictorii promovate de doi jucatori (parteneri, rivali). Tot ceea ce pierde unul câstiga celalalt.
2) Jucatorul care pierde se numeste minimizant pentru ca doreste sa-si minimizeze pierderea iar jucatorul care câstiga se numeste maximizant pentru ca el doreste sa-si maximizeze câstigul.
3) Situatia de optim, în sensul teoriei jocurilor, dintre cei doi, reflecta un nivel al câstigului, respectiv al pierderii, acceptabil pentru amândoi. Acest nivel de câstig/pierdere se numeste valoarea jocului.
4) Cei doi jucatori îsi promoveaza interesele printr-un set de actiuni numite strategii. Vom avea, asadar, strategiile jucatorului maximizant si strategiile jucatorului minimizant.

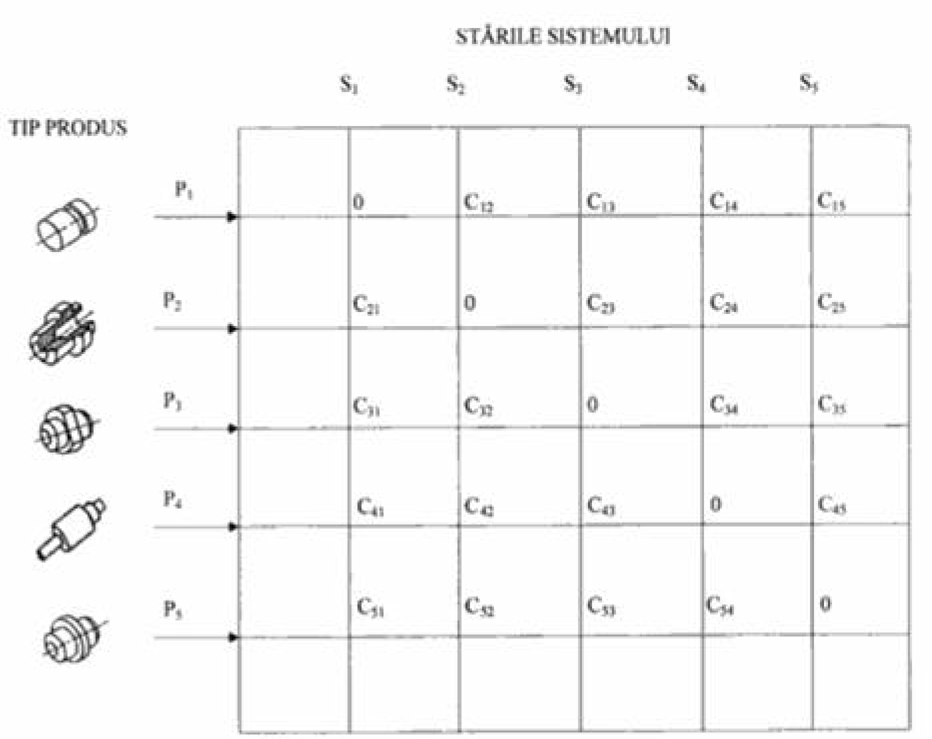

Fig.4. ***Costurile de tranzitie ale starilor sistemului***

Sa observam ca, în problema noastra, exista un conflict între varietatea tipurilor de produse care trebuie realizate si, pe masura ce se dezvolta civilizatia, aceasta varietate creste si capacitatea sistemelor de productie de a realiza aceasta varietate în conditii economice.

La nivelul sistemului flexibil de fabricatie (SFF), aceasta contradictie se manifesta între diversitatea de produse care ar trebui realizate in SFF si posibilitatile limitate ale SFF de a le realiza. Cine stabileste aceste posibilitati? Cu siguranta ca un factor important în acest determinism este efortul sistemului, masurat prin costul de tranzitie, adica, efortul sistemului de a se “misca” prin starile sale dar si de a materializa acele stari. Sistemul “ar dori” ca acest efort sa fie cât mai mic (el este jucatorul minimizant) iar sarcina de productie (varietatea produselor prezumate a se realiza în sistem) ar dori ca acest efort sa fie cât mai mare pentru a se realiza cât mai multe tipuri de produse. Sarcina de productie este jucatorul maximizant. În terminologia teoriei jocurilor matematice acest conflict poate fi interpretat ca si un “joc contra naturii”, natura care încearca “sa întinda” posibilitatile sistemului. Ca si în cazul unui piston într-un cilindru (Fig.5), de o parte actioneaza diversitatea tipologica si de cealalta parte, capabilitatile sistemului. Unde se va opri pistonul? Acest loc reprezinta solutia optima din teoria jocurilor, iar competitia se desfasoara sub presiunea efortului de tranzitie al sistemului (care dicteaza capabilitatea sistemului).

În concordanta cu teoria jocurilor, solutia optima cuprinde valoarea jocului, adica ceea ce pierde un jucator si câstiga celalalt si strategiile sau modalitatile de actiune prin care opereaza cei doi jucatori pentru a ajunge la acest rezultat.

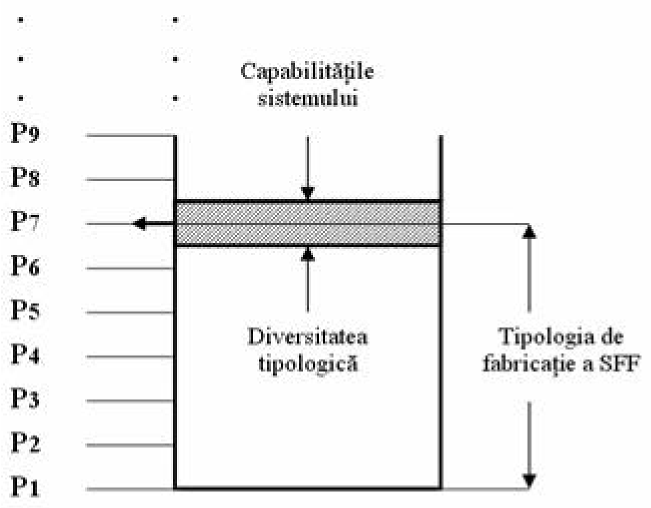

Fig.5. ***Diversitatea tipologica vs. capabilitatile sistemului***

Strategiile sistemului sunt starile sale. Cu cât sistemul are mai multe stari cu atât efortul lui de a “circula” prin aceste stari este mai mare dupa cum este mai mare si efortul de a materializa aceste stari (care înseamna reglaje suplimentare, echipamente sau seturi de SDV-uri suplimentare). Dar, acest efort, l-am numit cost de tranzitie si el este ceea ce pierde sistemul si ceea ce câstiga sarcina de productie. Strategiile sarcinii de productie (jucatorul maximizant) sunt însasi tipurile de produse care se realizeaza în sistem pe care, acest jucator, le vrea cât mai multe.

Orice joc matematic are o matrice a jocului (a câstigurilor, a pierderilor) care, în interpretarea SFF ca un joc matematic, este chiar matricea costurilor de tranzitie. Fara a intra într-un aparat matematic prea pretentios putem conchide ca solutia optima în acest joc are urmatoarele componente prezentate în continuare.

1) Solutia optima pentru jucatorul maximizant (sarcina de productie) consta în proportiile în care trebuie realizate diferite tipuri de produse pentru ca efortul de tranzitie sa fie cât mai mare.
2) Solutia optima pentru jucatorul minimizant (sistemul de productie) consta în proportiile în care trebuie exersate starile sistemului pentru ca efortul de tranzitie sa fie cât mai mic.
3) Valoarea jocului (ceea ce pierde sistemul si câstiga sarcina de productie) este costul mediu de tranzitie.

Daca materializam în sistem solutia jucatorului maximizant atunci costul mediu de tranzitie care se realizeaza efectiv în sistem tinde catre valoarea jocului venind dinspre valori mai mari decât aceasta. Daca se materializeaza solutia jucatorului minimizant atunci costul mediu de tranzitie care se realizeaza efectiv în sistem tinde catre valoarea jocului venind dinspre valori mai mici decât aceasta. În ideea de a micsora costul mediu de tranzitie, solutia jucatorului minimizant este dezirabila. O astfel de solutie se prezinta în forma de mai jos (Tab.2) în cazul unui SFF în care se prezuma executia a 25 de tipuri de repere P_1 ...P_{25} care activeaza, deci, 25 de stari ale sistemului (S_1 ... S_{25}) având matricea costurilor de tranzitie prezentata în Tab.1.

Tabel 2. ***Solutia modelului din Tab.1***

Starea	Frecventa (Probabilitatea)	Starea	Frecventa (Probabilitatea)
S1		S13	
S2	0.1570	S14	
S3		S15	
S4		S16	
S5	0.2153	S17	
S6		S18	
S7		S19	
S8		S20	0.0350
S9		S21	
S10	0.1827	S22	
S11		S23	0.0750
S12	0.2965	S24	0.0385
S13		S25	
Valoarea jocului	**52.868**		

Pe aceasta solutie se pot face urmatoarele observatii:

- valoarea jocului, asimilata cu costul mediu de tranzitie, este 52.87;
- dintre toate starile sistemului se vor executa doar 7: S_2, S_5, S_{10}, S_{12}, S_{20}, S_{23} si S_{24};
- în coloana frecvente (probabilitati) au fost trecute proportiile în care vor aparea diferite stari ale sistemului, adica la 10000 de tranzitii: 1570 trebuie sa conduca la starea S_2, 2153 la S_5, 1827 la S_{10}, 2965 la S_{12}, 350 la S_{20}, 750 la S_{23} si 385 la S_{24};
- deci, daca aceste stari vor avea frecventele de mai sus, la 10000 de tranzitii, costul mediu de tranzitie nu va depasi valoarea 52.87.

INTERPRETARI SI REZULTATE

1. Utilizând principiile teoriei jocurilor putem genera:

a) familia de produse care se va realiza în sistem daca sistemul nu este înca constituit. În cazul de mai sus, SFF va realiza doar P_2, P_5, P_{10}, P_{12}, P_{20}, P_{23} si P_{24} din cele 25 de tipuri prezumate a se realiza în sistem;

b) daca sistemul este deja constituit pentru a realiza cele 25 de tipuri, atunci solutia din Tab.2 poate fi un program de fabricatie care sa reduca costul mediu de tranzitie la cea mai mica valoare în contextul în care sistemul ramâne, totusi, flexibil.

Tab.1. ***Matricea jocului (a costurilor de tranzitie)***

0	1	2	3	1	2	4	8	3	4	9	7	5	1	1	2	1	1	1	4	8	2	5	1	1
8	0	4	3	9	7	1	1	5	7	6	1	6	2	3	1	5	2	4	7	7	1	3	4	1
5	1	0	6	6	7	8	9	9	9	7	2	4	5	9	6	8	9	8	5	8	3	6	8	5
8	5	4	0	4	9	7	1	6	5	4	4	6	5	9	1	5	8	9	2	8	4	8	3	4
5	2	5	2	0	3	9	8	1	9	5	3	9	7	5	3	8	3	2	7	5	1	8	5	2
8	7	2	8	6	0	5	6	9	9	8	2	7	3	3	2	2	7	6	9	5	2	2	1	7
1	7	4	2	5	2	0	9	4	8	5	7	5	7	6	2	6	7	4	3	9	2	4	5	1
3	5	9	7	4	7	4	0	7	7	4	1	7	6	8	1	5	7	2	4	1	8	3	6	5
2	7	7	4	8	6	3	4	0	9	5	5	6	7	6	2	6	8	4	2	6	2	5	6	9
5	4	6	8	5	8	9	9	9	0	9	8	7	9	9	8	7	8	9	7	7	7	7	4	6
1	1	7	6	3	5	5	1	4	8	0	1	8	2	9	2	3	8	4	2	1	9	6	3	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	0	2	1	1	2	2	2	1	5	4	2	2	1	3
9	5	3	5	8	7	9	5	4	7	8	9	0	2	8	3	6	7	9	9	2	3	5	7	7
3	4	5	1	3	6	2	1	6	8	4	1	4	0	1	2	2	4	6	7	9	3	3	6	9
7	4	4	3	5	6	2	8	2	9	1	2	1	8	0	1	1	3	6	1	1	6	8	8	2
2	4	6	7	5	3	2	9	4	2	1	1	2	3	5	0	2	5	8	3	2	8	3	3	2
1	1	1	4	2	2	6	8	9	1	5	7	4	5	2	6	0	9	7	2	4	5	7	7	8
3	6	8	4	6	8	9	3	2	2	6	5	9	3	6	7	4	0	7	3	4	1	5	1	3
1	3	6	2	1	5	8	6	2	4	7	8	7	4	4	4	6	7	0	2	3	6	2	2	8
5	4	9	5	3	6	8	7	5	7	8	6	9	3	5	8	7	8	2	0	5	7	2	7	5
2	3	1	2	5	1	1	4	8	9	3	1	2	4	3	5	7	4	6	2	0	4	3	5	1
2	5	8	9	3	3	5	6	9	4	8	5	3	9	2	3	3	4	3	7	8	0	9	2	1
3	6	7	3	9	5	9	3	2	7	1	1	1	4	1	1	3	1	5	4	2	3	0	1	3
1	1	2	3	2	6	2	5	1	7	2	1	5	1	8	3	2	5	2	2	5	7	1	0	1
1	6	8	5	6	5	8	7	2	6	4	3	2	1	1	3	6	2	5	1	3	7	2	3	0

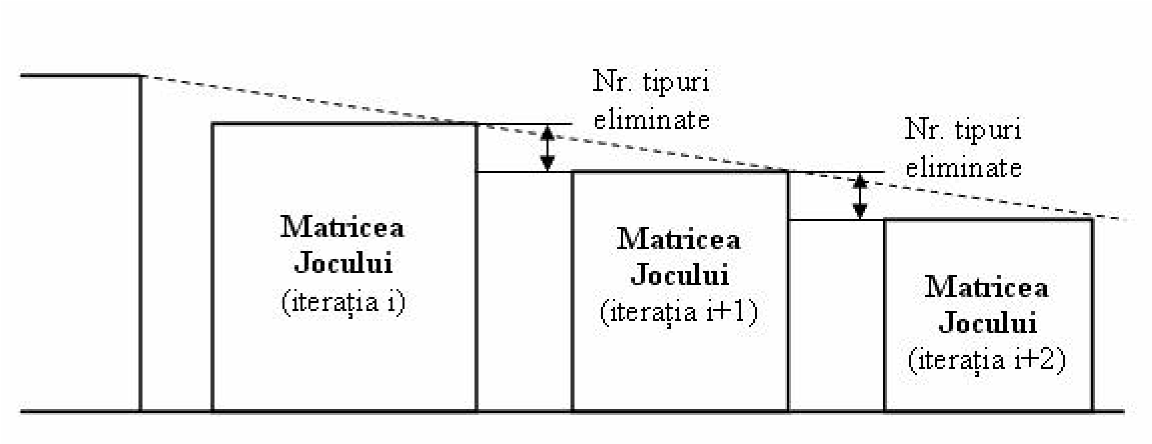

Fig.6. ***Modelul aplicarii succesive a teoriei jocurilor***

2. Se observa din exemplul prezentat (si asa se intâmpla în toate cazurile cercetate), ca aplicarea teoriei jocurilor elimina unele tipuri (din 25 am ajuns la 7) deci, aplicata pe o tipologie initiala, poate functiona ca un filtru pentru tipurile de produse care se vor realiza în sistem. Criteriul de selectie este costul de tranzitie al sistemului, pe care l-am asimilat cu marimea diferentierii/apropierii dintre produsele analizate. Ce s-ar întâmpla daca cu cele 7 repere ramase am construi o alta matrice a costurilor de tranzitie si am aplica, din nou, principiile teoriei jocurilor (a se vedea Fig.6)? În cazul în discutie prin aplicarea, din nou, a principiilor teoriei jocurilor s-a ajuns la o alta solutie în care au ramas reperele P_2, P_{10}, P_{20} si P_{23}. Dar, daca aplicam si pe aceste 4 tipuri de repere teoria jocurilor? Pâna unde merge aplicarea succesiva a teoriei jocurilor? Un raspuns pe care l-a generat cercetarea [15] este ca ultima iteratie apare atunci când valoarea jocului are un nivel aproximativ egal cu media aritmetica a valorilor ultimei matrici a costurilor de tranzitie.

3. În rationamentele care s-au facut, s-a legat valoarea jocului de costul mediu de tranzitie ca parametru economic al functionarii SFF. Se poate pune întrebarea daca este corecta aceasta conexiune. S-au facut cercetari privind simularea functionarii SFF în care elementele de intrare erau frecventele tipurilor de produse rezultate din solutia optima a jucatorului minimizant si iesirea era valoarea jocului. În mod asteptat, cu cât frecventele din simulare “se asezau” mai bine pe frecventele din solutia teoretica, costul mediu de tranzitie (CMT) respecta conditia de a fi mai mic decât valoarea teoretica a jocului. În [3] s-a realizat analiza de sensibilitate a CMT în raport cu valoarea teoretica a jocului. În subsidiar, trebuie remarcat ca, cu cât numarul de tranzitii este mai mare în perioada analizata, cu atât rezultatele practice confirma mai ferm supozitiile teoretice.

4. În studiul privind calitatea solutiilor [5] se remarca ca între solutia optima a jucatorului maximizant si cea a jucatorului minimizant diferenta în valoarea CMT este de aproape 18%. Este remarcabil, de asemenea, ca prin prisma CMT este mai bine de activat o solutie oarecare care cuprinde doar tipurile din solutia optima fara respectarea frecventelor rezultate din aceasta solutie, decât cuprinderea altor tipuri dinafara solutiei optime.

5. S-ar putea formula si întrebarea: Care este relevanta acestor rezultate în raport cu functionarea practica a SFF? În materie de selectie a tipurilor de produse care sa se realizeze în SFF, eficacitatea metodei este indubitabila. În ceea ce priveste programarea SFF, solutia optima a jucatorului minimizant poate oferi un standard de economicitate în eventualitatea impunerii, prin cererea de pe piata, a

unei alte modalitati de functionare a SFF. Daca perioada de analiza a functionarii SFF este mai lunga si se poate conta pe existenta unor stocuri, atunci mecanismul teoriei jocurilor, poate genera o ajustare periodica pentru utilizarea SFF în concordanta cu principiile de economicitate.

BIBLIOGRAFIE

1. Abrudan, I., *Simularea functionarii optime a sistemelor flexibile de fabricatie*, Conferinta de organizare-conducere, Timisoara, 1989.
2. Abrudan, I., *Utilizarea teoriei jocurilor matematice în analiza functionarii sistemelor flexibile de fabricatie*, Conferinta de matematica aplicata si mecanica, Cluj-Napoca, 1990.
3. Abrudan, I., *Analiza de sensibilitate a comportarii sistemelor flexibile de fabricatie în concordanta cu teoria matematica a jocurilor*, Conferinta internationala de proiectare si fabricare asistate de calculator CAD/CAM 93, 1993, Bucuresti.
4. Abrudan, I., *Sisteme flexibile de fabricatie. Concepte de proiectare si management,* Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1996.
5. Abrudan, I., Lungu, F., Suteu, S., *Unele particularitati ale utilizarii teoriei matematice a jocurilor la analiza sarcinii de productie din sistemele flexibile de fabricatie*, Revista RECENT nr.2/2000, Universitatea Transilvania Brasov, 2000.
6. Abrudan, I., Niemann, J., Galis, M., Lungu, F., *Considerations concerning programming the production in FMS using the math games theory*, The 5th International Conference on Engineering Design and Automation EDA 2001, Las Vegas, SUA.
7. Abrudan, I., Lungu, F., *Considerations on the simulation of Flexible Manufacturing Systems with math games theory*, Proceedings of 29-th Annual Congres of ARA, University of Applied Sciences Bochum, Germany, September 7-12, 2004.
8. Lungu, F., Abrudan, I., *Unele particularitati ale functionarii sistemelor flexibile de fabricatie în concordanta cu teoria matematica a jocurilor*, Volumul Sesiunii de comunicari stiintifice 27-28 oct. 2000, Tg. Mures.
9. Lungu, F., Abrudan, I., *Modelarea functionarii sistemelor flexibile de fabricatie cu succesiune predeterminata de intrare a tipurilor de piese, utilizand teoria matematica a jocurilor*, Revista de Management si Inginerie Economica, nr.1, 2002, Cluj-Napoca.
10. Lungu, F., Abrudan, I., Bacali, L., Sucala, V., *Some particularities of the usage of math games theory in the simulation of Flexible Manufacturing System*, 3-th International Conference on the Management of Technological Changes, Chania, Greece, 2003.
11. Lungu, F., Abrudan, I., Bacali, L., *Some particularities of the usage of math games theory in the analysis of transition costs from the Flexible Manufacturing Systems*, Conferinta Stiintifica Internationala TMCR2003, Chisinau, Rep. Moldova, 2003.
12. Lungu, F., Abrudan, I., *The behaviour of Flexible Manufacturing Systems to the successive apply of math games theory*, Proceedings of 29-th Annual Congres of ARA, University of Applied Sciences Bochum, Germany, September 7-12, 2004.
13. Lungu, F., Abrudan, I., *Some aspects on the simulation of Flexible manufacturing systems (FMS), with the help of math games theory*, 4-th International Conference on the Management of Technological Changes, Chania, Greece, 2005.
14. Lungu, F., Abrudan, I., *Research on the apply of math games theory in the simulation of Flexible manufacturing systems (FMS)*, 4-th International Conference on the Management of Technological Changes, Chania, Greece, 2005.
15. Lungu, F., *Cercetari si contributii privind managementul sistemelor flexibile de fabricatie*, Teza de doctorat, Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca, 2005.
16. Petriceanu, Gh., Abrudan, I., *Aprecierea optimalitatii exploatarii sistemelor flexibile de fabricatie cu ajutorul teoriei matematice a jocurilor*, Simpozionul national de roboti industriali, Cluj-Napoca, 1988.