



A XIX-a Conferință internațională – multidisciplinară  
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”,  
CLUJ NAPOCA, 2019

## **METODOLOGIE DE PROIECTARE A CELULELOR DE FABRICAȚIE**

Livia Dana BEJU

### **DESIGN METHODOLOGY OF THE WORKCELLS**

The paper presents a methodology for the design of manufacturing cells, covering all the necessary steps, from the analysis of the customers' needs, to the layout, the physical and information flows through the workcell and the standardization of work. The tools needed to go through each stage are presented. There are also links to major company systems. For each design stage, deliverables are specified. The methodology is a complex one, and in a wider space the detailed parameters will be presented in detail.

Keywords: lean production, workcell design, manufacturing system design, design methodology

Cuvinte cheie: producție lean, proiectarea celulelor de fabricație, proiectarea sistemelor de producție, metodologie de proiectare

### **1. Introducere**

O celulă de fabricație este o structură de producție construită cu scopul de a obține produse de calitate înaltă, într-o manieră productivă, la costuri cât mai mici. Echipamentele implicate în construirea unui produs sunt amplasate unul lângă celălalt, pentru a minimiza transportul atât a semifabricatelor, cât și al oamenilor. Celulele simplifică fluxul de materiale, gestionarea și chiar sistemele contabile. Conceptul de realizare a celulelor de fabricație a fost dezvoltat de Sistemul de fabricație Toyota.

Reprezintă și acum baza de organizare a sistemelor de fabricație de tip Lean Manufacturing, dar și a celor mai moderne, de tip Digital Factory și Smart Manufacturing.

Aparent celulele de fabricație par sisteme simple. Dar sub această simplitate înșelătoare există sisteme socio-tehnice sofisticate. Funcționarea corectă depinde de interacțiunile subtile ale oamenilor și ale echipamentelor. Fiecare element trebuie să se potrivească cu celelalte, într-un flux care funcționează fără probleme, se autoreglează și se auto-îmbunătățește. Se urmărește ca nivelul celor șapte pierderi definite de Toyota să fie minim. De asemenea, se urmărește ca dimensiunile loturilor de producție să fie mici.

Proiectarea celulelor de producție este o problemă de inginerie. Ca orice alt proiect ingineresc, aceasta trece printr-o secvență logică de pași. La fiecare pas, proiectanții fac compromisuri între cerințele conflictuale sau limitele tehnice. Proiectanții trebuie să aibă o cunoaștere profundă a elementelor unei celule, a interacțiunilor dintre ele și a funcțiilor lor, precum și a fluxurilor informaționale și fizice care parcurg celula de fabricație.

Lucrarea de față își propune să prezinte un algoritm de proiectare a celulelor de fabricație, care evidențiază atât etapele de proiectare, instrumentele de lucru, sistemele companiei care pot oferi informații și suport, cât și rezultatele necesare să fie stabilite la fiecare etapă de proiectare.

## **2. Stadiul actual al proiectării celulelor de fabricație**

Proiectarea unei celule de fabricație reprezintă un efort complex, la care participă atât specialiști din departamentul de producție, dar și din alte departamente: marketing, planificarea producției, logistică, resurse umane etc.

Analizând literatura de specialitate în domeniul proiectării celulelor de fabricație, se constată că o parte al lucrărilor abordează o perspectivă foarte generală a structurii firmei, iar alte lucrări dezvoltă studii de caz din domenii specifice.

Alfieri [1] propune analiza companiei ca și un "Sistem de sisteme" (SoS). Această abordare este utilizată în prezent în contextul unor inițiative militare complexe sau guvernamentale. Este o încercare preliminară de a descrie modul în care principalele aspecte ale sistemelor de fabricație (resurse, sisteme de management al calității, proceduri de planificare a producției și de control etc.) pot fi reprezentate în cadrul SoS al companiei. Ideea este generoasă dar

rămâne la stadiul de filosofie de abordare. Benkamoun [2] Dezvoltă o arhitectură a proiectării Sistemelor de fabricație.

Cochran [3] descrie un cadru pentru proiectarea și implementarea sistemelor de producție. Lucrul în acest cadru permite comunicarea și determinarea obiectivelor și soluțiilor de proiectare, de la cel mai înalt nivel, la cel mai mic nivel al unei companii de producție. Același autor [4] prezintă un studiu de caz privind proiectarea celulelor de fabricație care combină mașini noi și existente, arătând dificultățile care pot apărea în astfel de situații. Doar schimbarea aranjării mașinilor în celule ar putea oferi unele beneficii, dar aceste beneficii au fost compensate de un nivel ridicat al investițiilor necesare. Simulările au arătat efectele pe termen lung. Este dificil să se proiecteze o celulă de fabricație fezabilă doar rearanjând echipamentele existente.

Caggiano [5] prezintă un studiu de caz de proiectare a unei celule de fabricație într-un sistem de fabricație digital. Se îmbunătățește o celulă de fabricație existentă pentru fabricarea paletelor de turbine, pentru motoarele de avion, prin automatizarea și robotizarea stației de debavurare. De Carlo [6] analizează modul reamplasare a unei celule de fabricație. Pentru aceasta folosește un studiu de caz. Sunt folosite trei metode de analiză: empirică, o metoda ce folosește o diagrama a relațiilor dintre activități, și o metodă complexă de analiză Lean Manufacturing. Cea mai eficientă s-a dovedit a fi ultima.

Duda [7] a exemplificat proiectarea unei celule de fabricație pentru automobile pe principiul designului axiomatic. Este utilizată o descompunere a etapelor de proiectare. Acest exemplu demonstrează impactul pe care deciziile de proiectare de la nivele scăzute le pot avea asupra obiectivelor de sistem la nivel înalt și necesitatea unei abordări sistematice în proiectarea sistemului de producție.

Lešková [9] prezintă un studiu de caz de proiectare a unei celule de asamblare. Sunt subliniate caracteristicile stațiilor de lucru de asamblare cu o structură modulară, alcătuite din profile de aluminiu. Sunt discutate nouă principii de proiectarea celulelor de fabricație: flux continuu; simplitate; organizarea locului de muncă; prezentarea limpede a pieselor; reconfigurabilitate; calitatea produselor; mentenabilitate; ușurința accesului și ergonomie.

El Maraghy [8] dezvoltă aspecte ale proiectării celulelor de asamblare. Sunt prezentate diferitele modele de organizare a celulelor de asamblare și se subliniază caracteristicile sistemelor inteligente de fabricație precum și a internetului obiectelor (Internet of things), care permit îmbunătățirea conectării dintre lumea fizică și cea digitală. În

astfel de sisteme se pot lua decizii bune (smart), într-o manieră mai rapidă. Diverse firme [10...14] prezintă perspective proprii rezultate în urma experiențelor avute în activitatea de proiectare a celulelor de fabricație.

Lucrarea de față prezintă algoritmul de proiectare a unei celule de fabricație, indiferent de industria în care activează. Sunt luate în considerare toate elementele care alcătuiesc celula de fabricație, precum și fluxurile fizice și informaționale care o parcurg.

### **3. Algoritm pentru proiectarea celulelor de fabricație**

Algoritmul pornește de la cerințele pieței, pe baza cărora se stabilesc familiile de produse. Pentru fiecare familie de produse se va proiecta o celulă de fabricație. Familiile de produse, respectiv tehnologiile de grup aferente se pot stabili prin: gruparea intuitivă (piese simple/ procese mixte), analiza fluxului de producție cu utilizarea de matrice pentru sortarea pieselor (produse cu complexitate medie / procese mixte) sau prin codificare și clasificare (produse cu complexitate ridicată / procese mixte).

Următoarea etapă se referă la realizarea ingineriei procesului. Prima dată se calculează timpul de tact, pe baza cerințelor beneficiarilor și a timpului nostru disponibil. Se creează o bază de date cu toate informațiile referitoare la fluxul tehnologic (operații, echipamente, durate – timpi de ciclu operații, timpi de ciclu operatori, timpi de ciclu echipamente, timpi de reconfigurare, timpi de așteptare), prezentate într-un mod cât mai bine structurat (tabelar). Se calculează numărul necesar de echipamente, muncitori și eficiența procesului. Pe baza acestor informații se poate face o echilibrare preliminară a încărcării muncitorilor și se poate stabili mărimea preliminară a lotului de producție.

O următoare etapă o reprezintă stabilirea metodelor de control intermediar și final, precum și realizarea conexiunii cu „Sistemul de management al calității totale”.

În acest moment trebuie stabilite caracteristicile fluxului de semifabricate care parcurg celula de fabricație. Se pleacă de la rata de producție, se stabilesc numărul de piese dintr-un container, numărul maxim de containere necesare la un moment dat în celula de fabricație și în stocurile inter-operaționale (supermarket) adiacente. De asemenea, se stabilește modul de declanșare a producției. Dacă se optează pentru fluxul împins, sunt stabilite categoriile de documente necesare. Dacă se optează pentru fluxul tras, se stabilește numărul de carduri pregătite pentru declanșarea producției, pentru a fi plasate pe panoul Kanban.

Tabelul 1

		<b>Instrumente de lucru</b>	<b>Sistemele utilizate</b>	<b>Produce obținute</b>
<b>1</b>	<b>Gruparea produselor (comandate de beneficiar)</b>			
1a	Stabilirea volumului estimativ de produse care vor fi comandate de beneficiari în următoarea perioadă	- analiza comenzilor din perioade anterioare, analoge; - previziuni ale cererii beneficiarilor	Sistemul de marketing Sistemul de planificare Sistemul logistic Sistem informatic	Numărul de produse (din fiecare categorie) necesar a fi realizat în unitatea de timp
1b	Tehnologii de grup; Sunt grupate piesele cu forme asemănătoare care pot fi realizate pe aceleași utilaje (care au rute de producție asemănătoare)	- gruparea intuitivă; - analiza fluxului de producție cu utilizarea de matrice pentru sortarea pieselor; - codificare și clasificare -	Sistemul de planificare Sistemul de producție Sistem informatic	Numărul de celule de fabricație și gama de produse ce se realizează în fiecare celulă
<b>2</b>	<b>Realizarea ingineriei procesului</b>			
2a	Timp de tact	formula de calcul	Sistemele de marketing, planificare, logistică, informatic, producție	Timpul de tact în secunde
2b	Analiza proceselor tehnologice	- analiza de tehnologii existente, - măsurători	Sistemul de producție	Tabele cu toți parametrii ce caracterizează procesul de producție
2c	Calculul numărului necesar de echipamente;	formula de calcul	Sistemul de producție	Echipamentele și numărul de bucăți din fiecare tip
2d	Calculul numărului necesar	formula de calcul	Sistemul de producție	Numărul de muncitori

	de muncitori			necesari într-o celulă de fabricație (număr întreg)
2e	Calculul eficienței procesului	formula de calcul	Sistemul de producție	Valoare subunitară; în cazul unei valori mici se caută realizarea de optimizări și micșorarea numărului de muncitori; Se reia procesul de la punctul 2b
2f	Echilibrarea preliminară a producției	- echilibrarea încărcării operatorilor (analize euristice)	Sistemul de producție	Foaia muncii combinate a operatorilor (preliminară)
2g	Stabilirea mărimii preliminare a loturilor de producție	stabilire euristică pe baza experienței anterioare, volumului de mărfuri comandate, mărimii pieselor etc.	Sistemul de producție Sistemul de planificare Sistemul logistic Sistemul informatic	Se urmărește realizarea de loturi cât mai mici (chiar one piece flow)
<b>3</b>	<b>Stabilirea metodelor de control</b>			
3a	Modul de realizare a controlului intermediar	- personalul din echipă este instruit în tehnici pentru controlul fabricației - implementarea de dispozitive anti-eroare (poka yoke)	Sistemul de producție Sistemul de asigurare a calității	elaborarea și completarea de documente
3b	Modul de realizare a controlului final;	Integrarea modelelor de capabilitate și maturitate	Sistemul de producție Sistemul de asigurare a calității	elaborarea și completarea de documente

<b>4</b>	<b>Stabilirea mărimii fluxului de semifabricate și a modului de declanșare a producției în celulă (flux tras sau împins)</b>			
4a	Estimarea volumului de semifabricate ce parcurge procesul într-o perioadă de timp	calcul, pe baza cererii și a capacitațiilor de producție	Sistemul de producție Sistemul de planificare Sistemul logistic Sistemul informatic	rata de producție
4b	Estimarea mărimii loturilor inter-operaționale	- calcule pe baza ratei de producție, a dimensiunilor și numărului de piese din container - euristic	Sistemul de producție Sistemul de planificare Sistemul logistic Sistemul informatic	numărul de piese dintr-un container ce trece de la o operație la următoarea
4c	Estimarea numărului de containere necesare	- calcule - euristic	Sistemul de producție Sistemul de planificare	numărul maxim de containere necesare la un moment dat in celula de fabricație si stocurile inter-operaționale (supermarket)
4d	Realizarea programării producției	- metode specifice de analiza și planificarea producției	Sistemul de producție Sistemul de planificare	- pentru fluxul împins (documente) - pentru fluxul tras (carduri pregătite pentru declanșarea producției pentru a fi plasate pe panoul Kanban)
<b>5</b>	<b>Stabilirea modului de realizare a aprovizionării celulei de fabricație</b>			
5a	Stabilirea modului de deplasarea a pieselor și a informațiilor. Proiectarea sistemului Kanban de aprovizionare și	Analiza și dezvoltarea acestor sisteme	Sistemul de producție Sistemul de planificare Sistemul logistic Sistemul informatic	- algoritmi de deplasare a pieselor si a informațiilor, - număr de carduri - locațiile cardurilor

	eventual de producție			
5b	Stabilirea mărimii stocurilor supermarket (din fața și spatele celulei de fabricație)	- calcule - analiza euristică	Sistemul de producție Sistemul logistic	- număr containere în fiecare stoc supermarket din fiecare tip de produs - suprafața ocupată de fiecare stoc supermarket
<b>6</b>	<b>Stabilirea configurației celulei</b>			
6a	Stabilește (calculează) spațiul ocupat de fiecare post de lucru, de depozitare inter-Operațională și de stocurile supermarket	- desenarea umbrei lăsate pe podea de fiecare echipament sau stoc - urmăriți miniaturizarea celulei	Sistemul de producție	schițe
6b	Identifică constrângeri sau afinități	- euristic - diagrame ce analizează conexiunile dintre posturi	Sistemul de producție	tabele, diagrame ce specifica nivelul de conexiune dintre posturi
6c	Stabilește configurația celulei	- de tip U sau L sau ovală sau liniară etc. - urmăriți păstrarea secvențialității logice a fazelor de lucru prin discuția cu muncitorii - încercați o configurare cât mai simplă care asigură, mentenanță scăzută, reconfigurare ușoară, costuri minime - Celula trebuie menținută în mișcare, cu efort minim, spațiu redus	Sistemul de producție	Planul amplasării celulei de fabricație



6d	Analizează fazele fiecărei operații respectiv mânuirile	cronometrări	Sistemul de producție Sistem resurse umane	documente ce descriu fazele fiecărei operații, durate
6e	Analiza ergonomică a muncii operatorilor	- filmări - cronometrări - analize	Sistemul de producție Sistem resurse umane	documente cu propuneri de îmbunătățire
6f	Stabilește activitatea pentru fiecare operator;	Tehnici de echilibrare a muncii operatorilor	Sistemul de producție	Foaia muncii combinate a operatorilor
6g	Proiectează dispozitive specifice	- urmăriți proiectarea de dispozitive modularizate care să permită reglări, mici modificări - urmăriți ca elementele să asigure poziționarea, rotirea, procesarea - utilizați sisteme universale de prindere care să poată fi folosite la dimensiuni diferite - Componentele mari trebuie deplasate cu ușurință - Minimizați orice mișcare care nu adaugă valoare	Sistemul de proiectare Departament realizare SDV-uri Departament aprovizionare Sistemul de producție	Desene de ansamblu Dispozitive
6h	Stabilește locații de păstrare a uneltelor, dispozitivelor	- proiectare zone de depozitare și codificări corespunzătoare - urmăriți accesul ușor la unelte, consumabile, echipamente, componente	Sistemul de proiectare Sistemul de producție	Planuri de amplasare a uneltelor

6i	Management vizual	<p>- <i>Plasați semnalizări la vedere, deschise pentru a îmbunătăți comunicarea dintre membrii echipei și pentru o gestionare vizuală rapidă și în timp real.</i></p> <p>- <i>Utilizați luminile Andon și tablourile de bord pentru a semnaliza starea liniei</i></p>	Sistemul de producție	Semnalizări
<b>7</b>	<b>Standardizarea activității în celula de fabricație</b>			
7a	Realizarea și semnarea documentelor	<p>- <i>stabiliți proceduri standard de lucru și uniformitate a fabricației</i></p> <p>- <i>includeți testarea, controlul de calitate, inspecția, ambalarea în fișa postului pentru a minimiza reprelucrarea</i></p> <p>- <i>dați dreptul muncitorilor să oprească linia în situația apariției de neconformități</i></p>	Sistemul de producție	<p>Foaia capacității de producție</p> <p>Diagrama muncii standardizate</p> <p>Foia muncii combinate a operatorilor</p>
7b	Motivarea personalului	Designul flexibil al celulelor trebuie să fie scalabil și să încurajeze schimbarea și îmbunătățirea continuă	Sistemul de producție	Sistemul de stimularea a angajaților

Următorul pas realizează legătura cu sistemul logistic și se referă la stabilirea modului de aprovizionare a celei de fabricație.

După ce aceste informații sunt cunoscute, se poate trece la proiectarea de detaliu a celei de fabricație. Multe lucrări se referă doar la aceasta etapă. Tabelul 1 prezintă principalele etape, precum și indicații de proiectare.

În final, este necesară standardizarea muncii în celula de fabricație. De asemenea, trebuie realizat și diseminat sistemul de stimulare a angajaților, pentru a realiza îmbunătățiri continue.

Procesul de proiectare a celei de fabricație nu este unul liniar. În fiecare etapă se poate reveni la una anterioară, în vederea realizării de corecții și îmbunătățiri.

În situația în care unele activități sunt robotizate sau în cazul în care se folosesc roboți, etapele pe proiectare a celei rămân aceleași. În plus, se vor analiza aspectele concrete legate de parametrii roboților, respectiv roboților.

#### **4. Concluzii**

Deși la ora actuală majoritatea sistemelor de fabricație se bazează pe organizarea de celule de fabricație, în literatura de specialitate nu a fost prezentat un algoritm concis, dar complex de proiectare a acestora. Lucrarea de față și-a propus să realizeze acest lucru. Sunt prezentate sistemele companiei care oferă informații necesare proiectării dar și instrumentele (specifice Lean Manufacturing) care permit parcurgerea fiecărei etape de proiectare. De asemenea, sunt specificate produsele concrete care se obțin în urma parcurgerii fiecărei etape. Este de specificat faptul ca aceste demers de proiectare nu este unul liniar. La fiecare etapa se poate (și este indicat) să se revină și să se analizeze parametrii stabiliți anterior. Spațiul restrâns al lucrării nu a permis detalierea instrumentelor folosite în fiecare etapă. Acest lucru este de dorit să se realizeze într-un spațiu mai larg, în care să se poată prezenta și exemple concrete.

Algoritmii sunt adecvați și proiectării celulelor robotizate, agile și SMART. Pe firul roșu prezentat se pot face cu ușurință adaptări specifice.

#### **BIBLIOGRAFIE**

[1] Alfieri, A., M. Cantamessa, M., Montagna, F. „SoS Methodologies for the Definition of Lean Manufacturing Systems”, Proceedings of the 13th IFAC

Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Moscow, Russia, June 3-5, 2009

[2] Cochran, D., „*The Production System Design and Deployment Framework*”, International Automotive Manufacturing Conference and Exposition, Detroit, Michigan May 11-13, 1999, SAE TECHNICAL PAPER SERIES, 1999-01-1644

[3] Cochran, D., Duda, J., Linck, J., Taj, S., „*Design of Manufacturing Cells Using a Combination of New and Existing Equipment*”, Production and Operations Management Society, March, 1998

[4] Caggiano, A., Teti, R., „*Digital factory technologies for robotic automation and enhanced manufacturing cell design*”, Cogent Engineering (2018), 5: 1426676

[5] De Carlo, F., Arleo M. A., Borgia O., Tucci, M., „*Layout Design for a Low Capacity Manufacturing Line: A Case Study*”, Int. j. eng. bus. manag., 2013, Vol. 5, Special Issue Innovations in Fashion Industry, 35:2013

[6] Duda, J., Cochran, D., Castaneda-Vega, J., Baur, M., Anger, R., Taj, S., „*Application of a Lean Cellular Design Decomposition to Automotive Component Manufacturing System Design*”, International Automotive Manufacturing Conference and Exposition Detroit, Michigan, May 11-13, 1999, 1999-01-1620

[7] ElMaraghy, H., ElMaraghy, W., Smart adaptable Assembly System, Procedia CIRP 44 (2016) 4 – 13

[8] LEŠKOVÁ, A., „*Principles of Lean Production to Designing Manual Assembly Workstations*”, ANNALS OF FACULTY ENGINEERING HUNEDOARA –International Journal Of Engineering, Tome XI (Year 2013).Fascicule 2. ISSN 1584–2665

[9] Suh, N. P., Cochran, D. S., Lima, P. C., 1998, „*Manufacturing System Design*,” 48th General Assembly of CIRP, Annals of the CIRP, Vol. 47/2, pp. 627-639.

[10] \* \* \* Bosch Rexroth Corporation „*Lean Manufacturing Principles, Tools and Methods*”, [https://www13.boschrexroth-us.com/Catalogs/Lean\\_Manufacturing\\_Guidebook.pdf](https://www13.boschrexroth-us.com/Catalogs/Lean_Manufacturing_Guidebook.pdf)

[11] \* \* \* <https://ottomotors.com/blog/workcell-design-lean-manufacturing>

[12] \* \* \* WORK CELL DESIGN

<https://www.webpages.uidaho.edu/mindworks/Lean/Lecture%20Notes/ME%20410%20Lecture%20Slides%2007%20Cell%20Design.pdf>

[13] \* \* \* <http://m.strategosinc.com/celldesign.htm>

[14] \* \* \* <https://blog.robotiq.com/the-right-way-to-design-a-cobot-cell-layout>

Prof. Dr. Ing. Livia Dana BEJU  
Universitatea "Lucian Blaga" din Sibiu  
Facultatea de Inginerie  
Departamentul Inginerie Industrială și Management  
E-mail: livia.beju@ulbsibiu.ro