

Managementul fluxurilor materiale în optimizarea arhitecturilor de fabricație

- Rezumatul tezei de abilitare -

Dr. ing. Costel Emil COTET

**Universitatea POLITEHNICA din București
Departamentul de Mașini și Sisteme de Producție
Facultatea Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice**

Teza de abilitare reprezintă o sinteză a activității științifice derulate de autor de la finalizarea tezei sale de doctorat. Astfel, teza include cele mai relevante rezultate obținute de autor, ca și contribuțiile sale științifice în domeniul optimizării arhitecturilor de fabricație prin simularea fluxurilor materiale specifice unor aplicații din ingineria industrială. Sunt evidențiate, în special, rezultatele obținute în mai multe proiecte de cercetare în care au fost dezvoltate modele complexe sau algoritmi de optimizare specifici modelului virtual al arhitecturilor de fabricație și procesare. Aceste proiecte de cercetare au fost câștigate prin competiții naționale, autorul fiind fie director/responsabil de proiect al acestor proiecte din partea Universității Politehnica din București (UPB), fie parte din echipa de cercetare.

În toate aceste proiecte, am încercat să păstrez un echilibru între două principii aparent contradictorii. Pe de o parte am considerat că nu în mod necesar ceea ce este mai nou este și mai valoros. Mulți algoritmi ai ingineriei clasice sunt încă valabili și pot da rezultate mult mai corecte decât soluții considerate de ultimă oră. Pe de altă parte, pe fondul uzurii morale rapide a produselor și tehnologiilor, inovarea este principala formulă de profit în ingineria industrială actuală. Soluția rezolvării acestui oximoron nu poate fi decât interdisciplinară, de aceea am căutat să identic soluții din domenii conexe și să creez discipline care să structureze aceste soluții. Cercetările au fost centrate pe Managementul Fluxurilor Materiale care studiază modul în care poate fi optimizată o arhitectură de fabricație în funcție de fluxurile de semifabricate piese și scule, stabilind cum pot fi estimate și gestionate duratele, costurile și productivitatea unei astfel de arhitecturi. Algoritmi de optimizare identificați depășesc granițele arhitecturilor de fabricație extrapolând aplicațiile spre alte zone adiacente, cum ar fi arhitecturile de procesare a deșeurilor. Aceste aplicații au fost create datorită unei cereri de specialiști în proiectarea unor arhitecturi de procesare pentru diferite tipuri de deșeuri. Pentru o astfel de arhitectură am obținut și un brevet în anul 2014 (Metodă și instalație de reciclare a sticlei, Hotărârea nr.4/179 din 29.08.2014).

Activitatea de cercetare a fost structurată pe două mari direcții:

A. Participare în echipa de realizare a unor proiecte.

40 de proiecte de cercetare-dezvoltare-inovare obținute prin competiție pe bază de contract/grant, din care 3 în calitate de director/responsabil de proiect.

B. Evaluare proiecte de cercetare:

Expert evaluator la European Commission - Education, Audiovisual and Culture Executive Agency pentru programul Knowledge Alliances.

Expert evaluator PNCDI 2, Beneficiar CNMP, Programul Parteneriate în domenii prioritare, Domenii de expertiză: 7B/160 Noi paradigme ale sistemelor de fabricație, 1F/47 Arhitecturi, tehnologii și instrumente pentru lucru colaborativ inclusiv pentru organizații virtuale, 1F/53 Metode, modele și algoritmi de simulare și optimizare pentru rezolvarea unor probleme complexe din știință, inginerie, economie și societate.

Pornind de la aceste acumulări am delimitat de-a lungul anilor un domeniu de cercetare bazat pe managementul fluxurilor materiale în optimizarea arhitecturilor de fabricație. Acest rezumat al tezei își propune să inventarieze conceptele fundamentale și algoritmi noi utilizați în cercetările prezentate în această teză de abilitare. Tot aici am considerat util să sintetizăm modul în care aceste elemente pot fi agregate în modele utilizate pentru creșterea unor indicatori de performanță economică în diferite aplicații specifice ingineriei industriale (Cotet & Popa, 2014), fără a insista asupra studiilor de caz prezentate pe larg în această lucrare.

Teoria fluxurilor materiale macroscopice definește trei mari categorii de fluxuri specifice: sociale, naturale și economice. Întrucât subiectul asumat al acestei lucrări îl constituie managementul fluxurilor materiale în ingineria industrială vom lăsa deoparte aspectele teoretice specifice fluxurilor materiale macroscopice sociale și naturale pentru a ne ocupa în special de fluxurile materiale de natură economică (Cotet, Popescu & Popa, 2014). Deoarece la rândul lor fluxurile materiale economice pot fi agricole, comerciale și industriale considerăm necesară precizarea că dintre acestea nu vom aborda particularitățile teoretice caracteristice doar fluxurilor materiale agricole și comerciale concentrându-ne asupra celor utile aplicațiilor industriale.

Astfel din cele șapte nuclee conceptuale majore abordate în cea mai cuprinzătoare abordare teoretică (Xu, 2008) ne vom referi în această lucrare în special la două: ingineria și respectiv industria fluxurilor materiale.

Celelalte considerații teoretice vor fi amintite doar în măsura în care au o valoare universală și se aplică tuturor categoriilor de fluxuri materiale consemnate în taxinomiile menționate anterior.

Așa cum o utilizăm la ora actuală în managementul fluxurilor materiale în ingineria industrială teoria fluxurilor materiale (TFM) s-a dezvoltat în perspectivă istorică în Europa și America de Nord prin dezvoltarea unor concepte provenite din circulația mărfurilor și ulterior din logistică (Cotet, Popescu & Popa, 2014).

Dar varianta cea mai cuprinzătoare a TFM, încercând o unificare conceptuală a comportamentului fluxurilor macroscopice și microscopice indiferent de natura acestora, a fost dezvoltată în China la sfârșitul secolului 20 (Xu, 2008). Conform acestei abordări fluxurile macroscopice și microscopice pot avea unele caracteristici comune de comportament ce pot sta la baza unui model teoretic general în care TFM studiază regulile de stabilire a traiectoriilor fluxurilor materiale ținând cont de un set de constrângeri. Pornind de la această abordare considerăm aici că acest model teoretic poate genera o definiție a fluxurilor materiale valabilă indiferent de natura acestora. Astfel, conform accepției TFM unificate, definim în această lucrare fluxul material ca o mulțime de entități circulante ce se deplasează în interiorul unei arhitecturi generice asociate.

Arhitectura generică asociată este o structură generică a unor elemente fizice conectate între ele printr-un set de atribute de legătură. Această arhitectură impune o serie de constrângeri fluxului material determinând traiectoriile acestuia.

Definițiile date aici pentru fluxurile materiale și arhitecturile generice asociate sunt generale, aplicabile tuturor categoriilor taxonomice de fluxuri materiale menționate, fie ele microscopice sau macroscopice.

Există două modalități prin care arhitectura asociată acționează asupra traseului fluxului material. Pe de o parte elementele structurale ale arhitecturii impun un set de constrângeri volumetrice (o serie de constrângeri fizice datorate volumului pe care îl ocupă elementele arhitecturii și care nu permite deplasarea entităților circulante decât până la limita de contact cu acestea).

Pe de altă parte arhitectura asociată nu conține doar un set de elemente structurale ci și o serie de atribute de legătură ce asigură conexiunile dintre aceste elemente și deplasarea lor, determinând mișcarea fluxurilor materiale. Aceste atribute de legătură constituie al doilea tip de constrângeri în stabilirea traiectoriilor fluxurilor materiale.

Pentru arhitecturile generice principalul atribut este productivitatea. Acest atribut cuantifică măsura în care arhitectura generică determină o viteză mai mare sau mai mică a fluxurilor materiale. Pentru cazul fluxurilor materiale specifice ingineriei industriale acest atribut evoluează conform ecuației productivității pentru o arhitectură de fabricație sau arhitectură de procesare asociată:

Pe baza definițiilor fluxurilor materiale și teoriei fluxurilor materiale enunțate anterior, puntem acum da o definiție a managementului fluxurilor materiale, valabilă atât pentru fluxurile materiale microscopice cât și pentru cele macroscopice, indiferent de natura acestora. Managementul fluxurilor materiale reprezintă estimarea și gestionarea traiectoriilor, timpilor și costurilor implicate de mobilitatea fluxurilor materiale luând în considerare constrângerile impuse de arhitecturile generice asociate. În cazul particular al managementului fluxurilor materiale în ingineria industrială, acesta reprezintă estimarea și gestionarea traiectoriilor, timpilor și costurilor implicate de mobilitatea fluxurilor materiale specifice (semifabricate, piese, scule) luând în considerare constrângerile impuse de arhitecturile de fabricație fluxurilor materiale respective.

Am stabilit astfel definițiile fundamentale ale teoriei fluxurilor materiale (TFM) și respectiv managementului fluxurilor materiale (MFM), relaționate între ele pe baza definițiilor fluxurilor materiale și arhitecturilor generice asociate.

În continuare considerăm necesară prezentarea taxonomiei fluxurilor materiale și arhitecturilor generice asociate, pentru a identifica acele categorii și aplicații specifice ingineriei industriale. Cea mai importantă clasificare a fluxurilor materiale se face în funcție de natura entităților circulante.

Astfel definim un flux material cu valori discrete dacă entitățile circulante sunt distincte și numărabile. O succesiune de pachete care se deplasează pe o bandă transportoare reprezintă o imagine tipică a unui flux material cu valori discrete. Dacă entitățile circulante nu sunt distincte și numărabile definim un flux material continuu. Un fluid care circulă prin conducte într-o instalație industrială ilustrează un flux material continuu.

Dacă avem o combinație a celor două tipuri de fluxuri materiale definite anterior în sensul că entitățile circulante sunt distincte dar nu sunt numărabile definim un flux material hibrid. O bandă transportoare plină cu nisip pe care îl ridică dintr-un punct în altul reprezintă un flux hibrid.

Cea mai importantă clasificare a arhitecturilor generice asociate se face în funcție de relația dintre acestea și traiectoriile fluxurilor materiale respective. Astfel definim o arhitectură generică asociată închisă în cazul în care fluxurile materiale descriu o traiectorie completă în interiorul

arhitecturii respective. Arhitectura generică asociată deschisă acoperă doar parțial traiectoria fluxului material.

O altă clasificare importantă a arhitecturilor generice asociate este realizată prin analogie cu clasificarea anterioară a fluxurilor materiale, pentru că un flux material poate reprezenta o arhitectură asociată pentru un alt flux material. Ca urmare putem defini analog cu cele enunțate anterior arhitecturi generice asociate cu elemente structurale discrete, continue sau hibride.

Indiferent de tipul fluxurilor materiale și arhitecturilor generice asociate, TFM își propune identificarea unor soluții de optimizare pe baza unor modele matematice sau virtuale. Optimizarea unui flux presupune maximizarea respectiv minimizarea valorilor unor indicatori de performanță în funcție de natura acestora (de exemplu costul este un indicator de performanță exprimat printr-o funcție ce trebuie minimizată, productivitatea este un indicator de performanță exprimat printr-o funcție ce trebuie maximizată).

Una dintre variantele cele mai utilizate de optimizare se bazează pe identificarea punctelor unde fluxul material este încetinit sau chiar blocat (concentratori de flux) precum și identificarea soluțiilor de eliminare a lor cu sau fără modificarea arhitecturii asociate. Astfel de optimizări folosesc de cele mai multe ori modelul virtual al arhitecturii asociate și se bazează pe un simulator de flux (o aplicație soft dedicată simulării comportamentului fluxurilor materiale în timp). Teoria fluxurilor materiale propune un astfel de algoritm general pentru optimizarea arhitecturilor asociate ce determină traiectoria fluxurilor.

1. Modelarea arhitecturii asociate folosind elementele specifice unui simulator de flux. Stabilirea traiectoriilor fluxurilor materiale în interiorul arhitecturii.
2. Simularea fluxurilor materiale pentru modelul inițial. Diagnoza performanțelor arhitecturii preliminare. Determinarea gradului de utilizare a fiecărui element structural pe durata pe care se face evaluarea performanțelor fluxurilor materiale.
3. Identificarea concentratorilor de flux și a soluțiilor de eliminare a acestora. Modificarea modelului în conformitate cu soluția aleasă.
4. Simularea fluxurilor materiale pentru modelul modificat. Diagnoza performanțelor arhitecturii optimizate.
5. Validarea economică a investițiilor făcute pentru optimizare prin creșterea performanțelor în termeni financiari.

Așa cum spuneam ceva mai devreme astfel de algoritmi de optimizare se bazează pe simularea fluxurilor materiale asociate unei arhitecturi generice.

Considerăm necesar aici ca în primul rând să facem distincția între simulările de flux și simulările de proces din punct de vedere al algoritmilor utilizați. Aceasta deoarece, atunci când dorim să realizăm simulări de fluxuri materiale care să preia rezultatele simulărilor de proces de la nivelul unui element structural, acești algoritmi trebuie armonizați.

Simulările de proces asociate elementelor structurale sunt simulări ciclice în buclă închisă. Astfel de simulări reprezintă o succesiune de cicluri identice ce nu pot fi modificate parametric decât fiecare în parte. Nu există legi generale care să permită modificarea unor cicluri încă de la începutul simulării.

Simulările de flux asociate arhitecturii generice sunt simulări ciclice în buclă deschisă. Astfel de simulări reprezintă o succesiune de cicluri nu neapărat identice, ce pot fi modificate parametric după legi generale ce permit programarea modificării unor cicluri încă de la începutul simulării.

O altă clasificare consideră din punct de vedere al duratei două categorii de simulări pentru fluxurile materiale.

Simularea cu durată determinată (mai este numită și simulare finită), în care există un eveniment specific (de multe ori cu o apariție ciclică) care stabilește sfârșitul simulării. Un exemplu tipic al

unei astfel de simulări îl constituie modelul unei secții de fabricație ce funcționează pe durată unui schimb de opt ore de lucru.

Simularea cu durată nedeterminată (mai este numită impropriu și simulare infinită), în care nu există un eveniment care să determine sfârșitul simulării. În acest caz simularea se oprește la momentul dorit de utilizator, după un interval de timp considerat relevant de către acesta.

Considerăm aici domeniul ingineriei industriale centrat în jurul ciclului de viață al unui produs, acoperind arealul sistemelor de fabricație și proceselor de prelucrare. Arhitecturile asociate luate în considerare au fost însă atât cele de tip arhitecturi de fabricație (folosind tehnici de prelucrare prin așchiere sau tehnici aditive) cât și respectiv arhitecturi de procesare a deșeurilor pentru fluxurile hibride. Pentru aplicațiile TFM am asimilat în această lucrare instalațiile de procesare a deșeurilor domeniului inginerie industrială datorită următoarelor considerente: Instalațiile de procesare au aceleași elemente structurale ca și arhitecturile de fabricație specifice ingineriei industriale (puncte de lucru, sisteme de transport, sisteme de transfer și sisteme de stocare). De asemenea, modul în care se realizează modelarea, parametrizarea, stabilirea traiectoriilor și indicatorii de performanță centrați pe productivitate corespund pentru ambele tipuri de arhitecturi. Conform acestor argumente am tratat în mod unitar modelarea și simularea fluxurilor materiale pentru cele două tipuri de arhitecturi.