

IMPLEMENTAREA CONCEPTULUI DE “PHYSICAL INTERNET” ÎN LOGISTICĂ PRIN CONTAINERE DE TIP PI

SCUTELNICU Petru

Facultatea: IIR, Specializarea: Inginerie Industrială, Anul de studii: IV, e-mail:

scutelnicu.petru1@gmail.com

Conducător științific: Prof.dr.ing. **Cristina PUPAZA**

REZUMAT: Conceptul de Physical Internet (PI) a apărut în 2010 când Montreuil [7] și-a prezentat viziunea asupra logisticii pentru anul 2050. Containerul de tip PI (Pi-Container) este o parte esențială a noului concept. Se dorește crearea unui container inteligent modular, cu trasabilitate, securizată demontabil, ușor de utilizat și de reciclat. Este gândit un design minimalist pentru container folosind un concept integrat anterior (MODULUSCHA) și un studiu realizat pe tipuri posibile de îmbinări și fixări, apoi o simulare în ARENA care arată eficacitatea rețelei PI în care containerele sunt obiectele fizice transportate. Rezultatele sunt promițătoare: noul container utilizează o structură interioară de tip fagure, îmbinările dintre panouri sunt ușor de utilizat și durabile, iar rețeaua PI arată funcționalitatea conceptului, dar și importanța existenței unui număr echilibrat de vehicule.

CUVINTE CHEIE: *Physical Internet, Pi-Container, ARENA, Simulare, Structura fagure*

1 Introducere

În 2010 Montreuil a prezentat simptomele sistemului logistic actual și a propus implementarea conceptului de Internet Fizic care înglobează soluții pentru simptomele descoperite. Acest concept simplificat poate fi văzut ca o piață deschisă pentru transportul de mărfuri în stil e-Bay. Rețelele de transport și distribuție sunt deschise și partajate cu o vastă comunitate de utilizatori și fiecare furnizor va avea o certificare și evaluări de către utilizatori pentru a evalua performanța logistică. În ordine tehnologică, poziționarea este după Internetul digital (DI) și, respectiv, Internet of Things (IoT). În acest caz, IoT este puntea care face posibilă implementarea Internetului fizic. [7] Pentru a implementa un astfel de concept la scară globală, sunt necesare mai multe elemente. Containerul de tip PI este un element cheie prin care mărfurile pot fi transferate, stocate, verificate și urmărite în siguranță pe întreaga sa rută. Aceste containere ar imita datele digitale care călătoresc pe internet într-un format standardizat. Astfel, trebuie să fie standardizate, de la dimensiuni până la fixări, apoi să fie modulare, inteligente și ușor de reciclat. Se propune un nou studiu asupra structurii panourilor prin introducerea unor panouri de tip “sandwich” [2] cu structură de tip fagure la interior, soluție găsită după analiza mai multor studii realizate pe rezistența acestei structuri. Asupra modularității containerului se intervine prin propunerea unor tipuri de îmbinări, diferite de cele studiate de Stefan Roth [8], asemănătoare cu noul dispozitiv de prindere. Aceste containere trebuie să fie cumva asigurate și se vor fixa după modelul de tip maritim [10], folosit în prezent. Dispozitivul de prindere este așadar inspirat de la containerul de tip maritim. În ceea ce privește rețeaua PI, se propune crearea unui model în mediul ARENA Simulation. Modelul este adaptat la versiunea clasică, prezentă în prezent în logistică, iar apoi mișcarea containerelor de tip PI este simulată folosind transportul rutier. Modelul este un concept și a fost limitat de versiunea de student a software-ului care îi limitează dimensiunea, așa că a fost propus să se testeze rezistența, flexibilitatea și eficacitatea, caracteristici ale unei rețele PI. În cele din urmă, se observă cum numărul de vehicule prezente într-o rețea influențează costurile și care sunt pierderile sau câștigurile aduse de creșterea sau scăderea acestui număr de vehicule.

2 Stadiul actual

2.1 Containerul de tip PI

Eficiența sectorului global de transport a fost estimată a fi mai mică de 10% când Montreuil et al. a publicat manifestul său. În SUA, statisticile oficiale raportau că camioanele călătoresc încărcate doar cu 60% din capacitatea totală. Internetul fizic face conexiunea cu planurile UE pentru emisiile de carbon până în 2050 atunci când valorile CO₂ ar trebui reduse la 20% la scară globală. În prezent MODULUSCHA este primul proiect prin care a fost realizat un concept de container tip PI și integrat deja de P&G, lider pe piața globală. Acesta implică o cutie cu dimensiuni fixe, cu panouri din fagure (pentru rezistență) și un dispozitiv de blocare pentru siguranță. Concluziile indicate de Landschützer et al. [4], arată că prototipul nu este încă pregătit pentru a fi integrat în viitoarea rețea PI. De asemenea, structura este slabă, iar defectele apar foarte ușor și sunt realizate dintr-un material plastic. Așadar, Containerele Pi vor avea panouri cu structură de tip fagure la mijloc. Structura de fagure este utilizată într-o zonă largă de industrii, în special în industria aerospațială datorită performanțelor mecanice ridicate (rigiditate ridicată și rezistență) și pentru a fi o structură ușoară în același timp. [1] Aceasta structura este împărțită în două planuri principale atunci când este supusă zdrobirii: *out-plain* (din plan sau fețele perpendiculare pe axa X) și *in-plain* (în plan sau fețele) perpendicular pe axa y și z). Odată cu dezvoltarea tehnologiei, forma a suferit modificări de consolidare pentru diferite aplicații. Forma hexagonală este recunoscută pentru densitatea relativă scăzută și capacitatea de a rezista forțelor de forfecare și de compresie aplicate în afara planului, mai degrabă decât în plan. [3] Platoul de stres la încărcarea din afara planului este influențat liniar de dimensiunile structurii, de viteza de încărcare și nu de densitatea relativă. O creștere a platoului este obținută atunci când densitatea relativă și rata de încordare cresc. În general, proprietățile mecanice ale fagurelui sunt influențate de densitatea relativă, care este evaluată ca raport între cantitatea de material folosită pentru o celulă (practic pereții) și suprafața ocupată de acea celulă. [9] Rezultatele obținute de Wierzbicki au fost satisfăcătoare când tensiunea de flux (σ_0) a fost înțeleasă ca de 0.7 ori mai mare decât valoarea de stress final pentru materiale neferoase precum aluminiu și cupru. În timpul deformării, celulele aplică o procedură de pliere. [11] Structuri mai mari ca mărime dezvoltă o instabilitate de tip forfecare care se găsește într-o bandă îngustă de celule. Structuri mai mici se confruntă cu zdrobirea de-a lungul benzilor orizontale, în timp ce pentru dimensiuni mai mari se împletesc laturile laterale.



Fig.1. Cutie M-Box – proiect MODULUSCHA – cu defect [12]

2.2 Simulare PI in ARENA software

Simularea este o unealtă puternică care evaluează performanța unui sistem și pe baza căreia se pot lua decizii corecte. Un proiect de simulare trebuie să urmeze pași diferiți. Este un model de simulare a evenimentelor discrete (DES), folosind date stocastice și cu variabilele care se schimbă în timp. Problema simulării constă dintr-o rețea de lanț de aprovizionare simplă, apoi dintr-o rețea de lanț de aprovizionare fizică pe Internet pe baza căreia se va rula simularea. Pentru a putea cuantifica performanța și calitatea, vor fi luate în considerare câteva KPI (indicatori cheie de performanță). Primul model (din stânga - figura 1a) este construit dintr-o fabrică / fabrică principală care este conectată la două DC (Centrul de distribuție), respectiv DC1. Se vor implementa încă 2 depozite (WH1 și WH2), fiecare conectat cu unul dintre DCS și

așa mai departe. Aceste conexiuni extind aria rețelei și rezistența acesteia. Obiectivul final ar fi în total 8 clienți, câte doi pentru WH1, DC3, WH2 și DC4. Al-2-lea (în dreapta - figura 1a) este noul concept [5] aplicat peste sistemul logistic clasic. PI este definit ca „un sistem logistic global deschis bazat pe interconectivitatea fizică, digitală și operațională prin încapsulare, interfețe și protocoale”. [6] Deoarece este un concept nou, este important să evaluați performanța sa înainte de implementare.

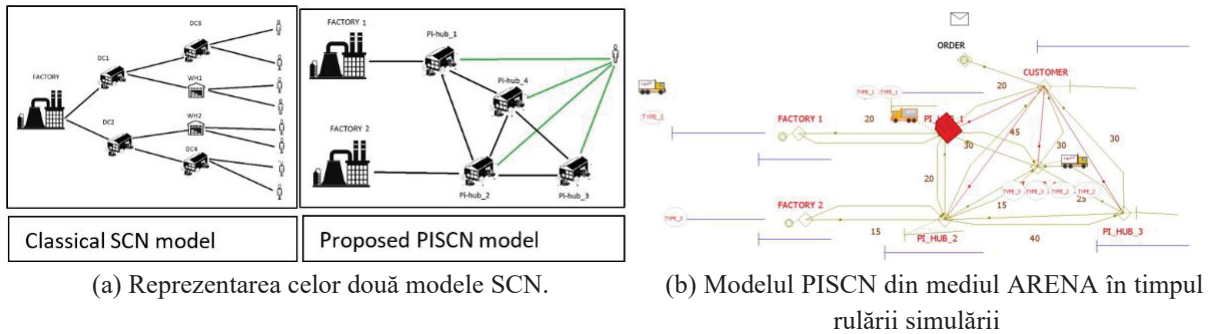


Fig. 2. Cele două modele de rețea logistica și rețeaua PI în mediul ARENA

Obiectivul este de a lua rețeaua de la prima problemă și de a o adapta la Internetul fizic. Pentru modelul prezent rețeaua fizică a lanțului de furnizare de internet este compusă din 4 noduri reprezentând hub-urile Pi, 2 fabrici de producție conectate la rețea și client. Fiecare Pi-Hub poate primi orice tip de produs în timpul simulării, deoarece ideea din spatele conceptului PI este de a avea o rețea globală deschisă, gata să fie accesată de orice utilizator al acesteia în orice moment. Pentru proiectarea experimentală sunt propuse 2 scenarii. În scenariul 1, voi analiza modelul cu 2 transportatori, în timp ce în scenariul 2 vor fi implementate încă 2 operatori, în total 4. În fiecare simulare, vor exista 5 replici.

2.2.1 Rezultate scenariul I

Fiecare replicare are propriile fișiere de date brute. Le-am procesat făcând valori medii pentru fiecare KPI / replicare, iar la final media totală. Primele rezultate din figura 2a indică vârful simulării și care sunt valorile maxime pentru fiecare KPI. În acest caz, vârful este situat la a-3-a replicare. Corelând cu costurile din figura 2b, costurile respective ale vârfului (evidențiate cu galben) sunt cele mai mari în comparație cu celelalte. Acest lucru se poate explica prin existența vârfului pentru timpul de așteptare care are o mare valoare non-adăugată introdusă în sistem. Un alt fapt este că replicarea a-3-a a înregistrat și cea mai mare valoare pentru distanța parcursă, aceasta fiind replica în care se află vârful timpului de așteptare, iar acest lucru poate însemna că numărul de camioane disponibile în rețea nu a fost suficient pentru a furniza numărul de solicitări de la clienți și agenții de producție. Analiza este bună pentru verificarea rezistenței unei rețele la un număr specific de vehicule pe ea. Graficul cu locația transportatorilor și timpul petrecut acolo (a se vedea figura 2c) arată nivelul cererii din rețea. Amplitudinea este locația transportatorului (8 este Stația de comandă, 7 este Stația de clienți și 5,6 Stația de fabrici), iar lungimea este timpul. Toți transportatorii petrec foarte mult timp între două rute și, în realitate, acest lucru poate crește oboseala șoferilor sau poate face ca nici măcar să nu poată susține acest efort. Mai mult decât atât acest comportament sigur ar crește costurile de întreținere pentru vehicule. Graficul cu eficiența transportului este legat de timpul de așteptare și de încărcare pentru produse și, desigur, de momentul în care sunt procesate ca făcând parte dintr-o comandă. În figura 2e se poate observa că intervalul de timp dintre un produs este încărcat și apoi procesat pentru o singură comandă este destul de mare și în apropierea vârfurilor pentru timpul de așteptare este tot mai mare. Coloanele verzi înainte de o creștere a valorii liniei galbene reprezintă noul stoc proaspăt de produse care pot fi procesate prin orice comandă. Acest lucru se întâmplă din cauza indisponibilității transportatorilor. Pauzele mari dintre ele reprezintă indisponibilitatea produselor solicitate printr-o comandă, astfel stocurile nu au produsele

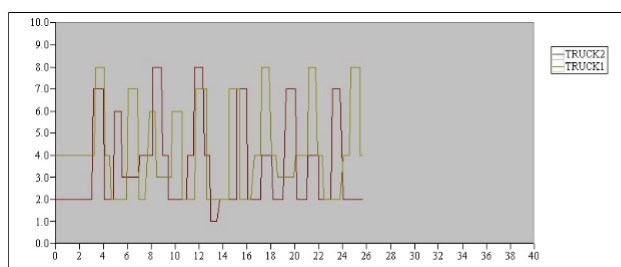
potrivite sau nu există multe produse gata de procesare. Astfel, prea multe pauze între liniile verzi cu intervale mari pentru linia galbenă arată că rețeaua poate prelucra un număr mai mare de produse sau prognoza agenților de producție pentru cererea produselor lor nu este exactă. De asemenea, poate însemna că activitățile de încărcare și de descărcare necesită prea mult timp și ar trebui optimizate.

	Loaded Time	Delivered Time	Delivered Time	Wait Time	Traveled Distance
R1	14.21	16.76	2.55	1.54	3.83
R2	12.40	15.13	2.73	1.66	4.09
R3	13.28	16.44	3.16	2.54	4.74
R4	12.36	15.11	2.74	1.62	4.12
R5	12.62	15.58	2.96	1.88	4.44
S.AVG.	12.97	15.80	2.83	1.85	4.24

(a) KPI pentru fiecare replicare.

	TOTAL COST
REPLICATION1	63,058.68
REPLICATION2	53,383.24
REPLICATION3	63,925.95
REPLICATION4	51,204.34
REPLICATION5	60,882.67
S.AVG	58,490.98

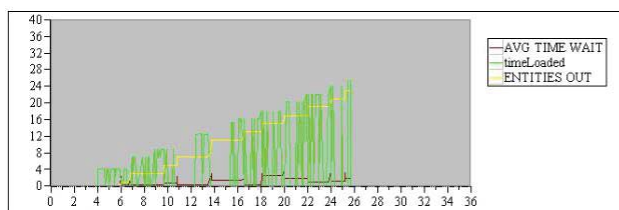
(b) Media costului pentru produse - inclusiv valoarea adăugată și non-adăugată.



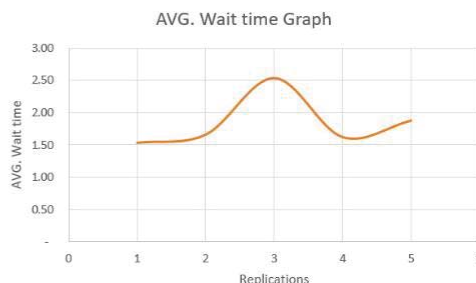
(c) Locația transportatorilor în timp.

R1	3.70 Days
R2	3.27 Days
R3	3.28 Days
R4	3.24 Days
R5	3.21 Days
S.AVG.	3.34 Days

(d) Timp total petrecut în zile pentru livrarea a 8 comenzi / replicare.



(e) Eficiența transportului pentru livrarea produselor.



(f) Timpul de așteptare pentru livrarea a 8 comenzi / replicare.

Fig. 3. SCENARIUL I - 2 transportatori; capacitate de 2 containere Pi.

2.2.2 Rezultate scenariul II

Pentru scenariul 2 lucrurile diferă puțin. În primul rând, analizând figura 3a, vârful timpului de așteptare este pentru replica 2, dar valorile au scăzut și sunt mai constante decât în figura 2a. Distanța parcursă a crescut și, de asemenea, costurile totale (a se vedea figura 3b), în special din cauza numărului de transportatori. Aici trebuie făcută o dezvoltare suplimentară pentru a vedea dacă nu creșterea numărului de transportatori va facilita ușurința livrării, dar va crește costurile. Pentru a fi eficiente, costurile adăugării de noi transportatori ar trebui să se deprecieze prin reducerea valorii care nu este adăugată în sistem și a numărului de produse vândute. Singurele valori care scad sunt sarcinile și timpul de așteptare. Astfel, creșterea flotei poate fi o soluție inadecvată pentru a rezolva problema eficienței transportului în interiorul rețelei. Graficul din

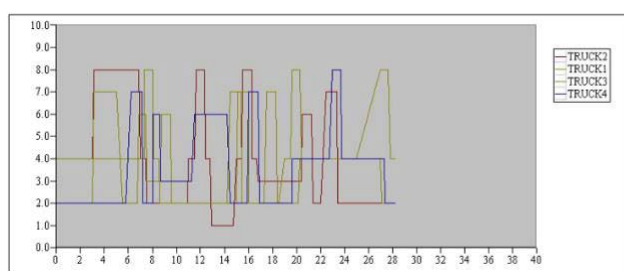
figura 3f confirmă stabilitatea timpului de așteptare pentru produsele din interiorul rețelei, iar avantajul aici poate fi timpul pentru livrare poate fi mai ușor prevăzut acum.

	Loaded Time	Delivered Time	Delivered Time	Wait Time	Traveled Distance
R1	10.60	14.57	3.97	1.43	5.96
R2	13.33	17.79	4.46	1.39	6.69
R3	10.65	16.11	5.46	1.45	8.19
R4	11.32	16.03	4.71	1.43	7.06
R5	12.23	16.79	4.56	1.49	6.84
S.AVG.	11.62	16.26	4.63	1.44	6.95

	TOTAL COST
REPLICATION1	55,619.18
REPLICATION2	90,282.47
REPLICATION3	71,053.60
REPLICATION4	67,319.32
REPLICATION5	86,671.25
S.AVG.	74,189.17

(a) KPI pentru fiecare replicare.

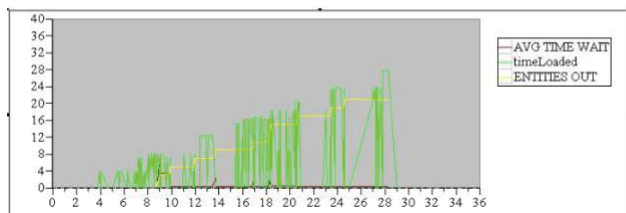
(b) Media costului pentru produse - inclusiv valoarea adăugată și non-adăugată.



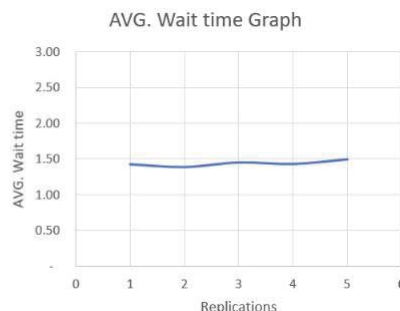
(c) Locația transportatorilor în timp.

R1	2.93 Days
R2	3.88 Days
R3	3.14 Days
R4	3.25 Days
R5	3.84 Days
S.AVG.	3.41 Days

(d) Timp total petrecut în zile pentru livrarea a 8 comenzi / replicare..



(e) Eficiența transportului pentru livrarea produselor.



(f) Timpul de așteptare pentru livrarea a 8 comenzi / replicare.

Fig. 4. SCENARIUL II - 4 transportatoare; capacitate de 2 containere Pi.

În al doilea rând, în figura 3c se poate observa că transportatorii petrec mai mult timp la locație. Chiar dacă acest lucru ar trebui considerat ca o creștere a timpului de așteptare, modelul care se suprapune arată că faptul că are mai mulți transportatori ajută să nu folosească la capacitate maximă toți transportatorii (ca în SCENARIUL 1; verificați figura 2c), astfel, costul de întreținere este semnificativ redus. În al treilea rând, în figura 3e se observă mai multe goluri între liniile verzi cu intervale mari ale liniei galbene, în comparație cu figura 2e. După cum s-a presupus, deoarece flota s-a dublat și numărul loturilor eliberate de agenții de producție (cele două fabrici) a rămas același, productivitatea potențială a rețelei nu este pe deplin exploatată. Pe lângă aceasta, se observă mai câteva diferențe. O dată, valorile timpului încărcat și al produselor prelucrate, precum și timpul de așteptare sunt reduse. Doi, linia galbenă, care reprezintă momentul în care un produs este procesat prin comandă, are o formă ușoară de curbură. Acest lucru se datorează faptului că, în unele momente, mai multe produse pot fi procesate prin mai multe comenzi, cu o mică diferență între intervalele de timp. Trei, timpul

încărcat este în aceeași situație, cu o ușoară formă de curbură, din cauza posibilității de a încărca mai multe produse la intervale mici de timp.

3 Concluzii

În concluzie, containerul de tip PI rămâne un subiect de aprofundare în viitor, fiind un obiect complex care necesită studii profunde asupra fiecărui element. Totuși, s-a găsit o modalitate prin care se poate fixa, iar apoi o soluție la rezistența lui. Este un subiect complex și va fi dezvoltat în profunzime într-o lucrare dedicată special. Cât despre rețeaua PI, creșterea flotei, poate fi o opțiune de a diminua timpul de așteptare pentru loturile din rețeaua de internet fizic. Rezultatele sunt verificate cu graficele din software-ul ARENA, unde se poate observa îmbunătățirea KPI. O altă opțiune este de a avea un interval de timp mai precis pen-tru producție, astfel încât transportul să poată fi programat. Simularea a arătat că costurile sunt influențate, arătând proprietatea directă proporțională a timpului de așteptare, mai ales fiind un proces fără valoare adă-ugată. Cu toate acestea, adăugarea mai multor transportatori va crește costurile de transport. Pentru cele două scenarii, m-am așteptat să observ o îmbunătățire a Scenariului 2, astfel rezultatele timpului de așteptare petrecut de un produs în sistem sunt destul de realiste.

4 Bibliografie

- [1] Foo, C. C., Chai, G. B., and Seah, L. K. (2007). Mechanical properties of Nomex material and Nomex honeycomb structure. *Composite Structures*80(4):588–594.
- [2] KAczl, J. and Geeile, R. (1961). Honeycomb domain structure. *Institute of Physics Czechosl. Acad. Sci.*, page 16.
- [3] Khan, M., Baig, T., and Mirza, S. (2012). Experimental investigation of in-plane and out-of-plane crushing of aluminum honeycomb. *Materials Science and Engineering: A*, 539:135–142.
- [4] Landschützer, C., Ehrentrauț F., and Jodin, D. (2015). Containers for the Physical Internet: requirements and engineering design related to FMCG logistics. *Logistics Research*, 8(1):8.
- [5] Montreuil, B. (2011). Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge. *Logistics Research*, 3(2-3):71–87.
- [6] Montreuil, B., Meller, R. D., and Balloț E. (2012). Physical Internet Foundations. *IFAC Proceedings Volumes*45(6):26–30.
- [7] Montreuil, P. B. (2010). Transforming the way physical objects are moved, stored, realized, supplied and used, aiming towards greater efficiency and sustainability. *Physical Internet Manifesto*, page 76.
- [8] Stefan Roth, F. E. (2017). Possibilities for the joining mechanism of, a modular PI handling container. *TU Graz Insitut fur Technische Logistik*.
- [9] Xu, S., Beynon, J. H., Ruan, D., and Lu, G. (2012). Experimental study of the out-of-plane dynamic compression of hexagonal honeycombs. *Composite Structures*94(8):2326–2336.
- [10] Ma, S., Zhou, C., Zhang, L., Hong, W., and Tian, Y.(2014). 3D irregula robject recognition for twist-lock handling system. In The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC), pages2729–2734, Changsha, China. IEEE
- [11] Wierzbicki, T. (1983). Crushing analysis of metal honeycombs. *International Journal of ImpactEngineering*, 1(2):157–174.
- [12] Marcel Huschebeck (2016). MODULUSCHA, *Project Final Report*

5 Notatii

Următoarele simboluri sunt utilizate în cadrul lucrării:

PI – Physical Internet