

## PROBLEMA TRANSPORTULUI ÎN DISTRIBUTIA MARFURILOR

Mihaela STET

Universitatea de Vest „Vasile Goldis” Arad – filiala Baia Mare

**ABSTRACT:** Freight distribution with its basic component, freight transport, supposes identifying the best design and management of transport networks for freight delivery. Complexity in freight transport modeling derives from the number of involved elements and constraints imposed by the physical networks. Mathematical models in freight transport include both deterministic models as routing, network flow problems and probabilistic models, as simulation, decision tree, queuing problems. Shortest path problems, general transportation problem, assignment, transshipment problems are various approaches of freight transportation.

### 1. INTRODUCERE

Distributia fizica a marfurilor, a carei componenta esentiala este reprezentata de transportul produselor, presupune identificarea celor mai bune metode de design, control si management a retelelor de transport pentru livrarea marfurilor. În cadrul distributiei marfurilor, distributia urbana, datorita numeroaselor restrictii generate de livrarea în zonele urbane impune utilizarea de instrumente avansate în determinarea variantelor optime. Optimizarea, modelarea stochastica, simularea, modelarea fluxurilor în retele sunt obiective si instrumente în gasirea celor mai adecvate solutii în distributia marfurilor. Modelele matematice în transportul marfurilor includ atât modele deterministe ca programarea matematica, probleme de rutare si a fluxurilor de retea, cât si modele probabilistice ca problemele de asteptare, simulare si arbori de decizie.

### 2. TIPURI DE PROBLEME ASOCIATE TRANSPORTULUI ÎN DISTRIBUTIA URBANA

Distributia marfurilor în mediul urban este un proces extrem de complex, a carui complexitate deriva din procesele implicate, dar si din restrictiile impuse de spatiul urban. Optimizarea procesului de distributie impune gasirea de solutii optime globale sau partiale, luând în considerare toate elementele implicate. Transportul marfurilor, generator de utilitate spatiaza si temporala, pe parcursul timpului, a generat un numar mare de dezvoltari în problemele de cercetare operationala legate de optimizarea procesului de transport. Fluxurile de marfuri generate de diferitele entitati, relatiile de transfer între acestea determina diferite fluxuri de transport. Localizarea geografica distincta a clientilor, aria de servire specifica, presupune tratarea problemelor de transport în raport cu reseaua de cai de comunicatie existenta între diferitele puncte relationate prin procesele de distributie a marfurilor, respectiv abordarea problemelor asociate transportului ca probleme de retea.

În spatiul urban, distributia marfurilor determina fluxuri de trafic suplimentare, cu efecte negative asupra traficului urban (congestii de trafic, prelungirea timpilor de livrare), fiind necesara gasirea de solutii de distributie optima a marfurilor.

Problema generala de transport se subdivide într-o serie de cazuri particulare. Fara a se pretinde tratarea exhaustiva a subiectului, se va încerca prezentarea principalelor tipuri de probleme asociate distributiei fizice a marfurilor.

Probabil, cazul cel mai simplu este acela al unui producator P care distribuie un tip de produs unui numar m de clienti, a caror pozitie geografica este cunoscuta.

Pentru identificarea spatiaa a punctelor de destinatie se utilizeaza ca suport retea infrastructurii de transport, presupunând cazul particular al retelei rutiere, întrucât ofera cea mai mare conectivitate. Legaturile între punctele retelei pot fi într-un singur sens sau bidirectionale, cunoscut fiind ca, retelele de comunicatii rutiere sunt formate atât din strazi cu circulatie pe un singur sens, cât si strazi cu trafic în ambele sensuri.

În fig. 1 este redat cazul unui producator P situat în zona industrială, suburbana a orasului care livreaza produse magazinelor M1 ? M4. Se cunosc distantele între nodurile retelei rutiere I1 ? I12 si distantele dintre punctele de destinatie si nodurile adiacente acestor puncte, figurate pe arcele retelei. Pentru simplificare se considera cazul în care toate legaturile sunt bidirectionale.

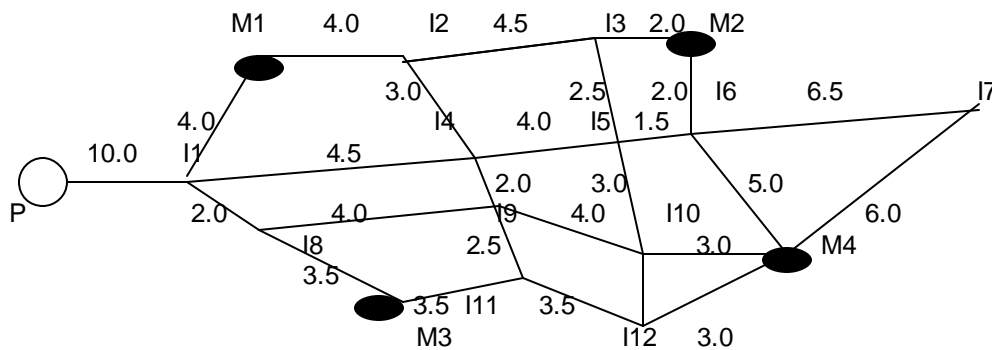


Fig. 1. Reteaua de transport pentru livrarea marfurilor la destinatii

Daca în cazul magazinelor M1 si M3 rutele minime sunt evidente (14.0, respectiv 15.5), putându-se determina relativ usor, în cazul magazinelor M2 si M4 gasirea drumurilor minime în retea între punctele de origine si cele de destinatie presupune utilizarea metodelor bine cunoscute, respectiv algoritmiului lui Ford sau Bellman Kalaba [5].

Utilizând o varianta a algoritmului lui Ford, prin asocierea fiecarui vârf al grafului de numere  $d_i^k = \min_{x_i \rightarrow x_j} \{d_i^{k-1} + l(i, j)\}$ , se obtin urmatoarele drumuri minime:  $d(P, M2) =$

22.0, respectiv  $d(P, M4) = 23.0$ .

Un alt algoritm utilizat din ce în ce mai frecvent în problemele de rutare este metoda de etichetare Dijkstra. Acest algoritm iterativ porneste de la un nod sursa, determinându-se prin etichetare permanenta cele mai scurte distante de la acest nod la un set de noduri, printr-o structura de tip arbore. Pentru reducerea numarului de iteratii si reducerea complexitatii cautarii, Pohl a dezvoltat, pornind de la acest algoritm, o metoda de cautare bidirectionala [3].

În modelele de rutare este important sa se utilizeze timpii de transport si nu doar distantele. Înlocuind distantele între aceste noduri cu costurile de transport pe arcele respective sau cu timpii de transport se pot obtine costul minim între origine si destinatie, respectiv timpul minim de transport.

Solutionarea problemelor de transport trebuie sa tina cont de faptul ca retelele de transport dispun de capacitati limitate pe diferitele arce ale retelei. Pornind de la teorema lui Ford Fulkerson care precizeaza ca valoarea maxima a unui flux este egala cu capacitatea maxima a unei taieturi se poate determina fluxul maxim în retea.

Pornind de la problema voiajorului comercial, problema referitoare la analiza combinatorie si teoria grafurilor, s-au dezvoltat în timp o gama extinsa de modele de rutare. Solutia teoretica a problemei comis-voiajorului se bazeaza pe rezolvarea unei probleme de programare discreta. Pentru problema de cost minim a fost dezvoltat un procedeu iterativ, algoritmul lui Little, care consta în partitia succesiva a multimii itinerariilor admisibile si care are la baza metoda „branch and bound”, utilizata în rezolvarea problemei cu ajutorul calculatorului [1].

În aplicatiile practice, coordonatorii transportului opereaza destul de rar cu rutarea unui singur vehicul, de obicei dispunând de un parc de vehicule pentru care trebuie stabilite rutele optime de livrare pentru fiecare vehicul.

Pentru cazul prezentat anterior se considera ca produsele livrate sunt bunuri obisnuite, din categoria celor cu utilizare cotidiana, a marfurilor alimentare, de genul produselor lactate sau de panificatie, care presupun livrari zilnice.

În plus, spatiul urban poate introduce restrictii semnificative în ceea ce priveste intervalele în care diferitele vehicule pot sa efectueze o livrare sau colectare la o locatie specifica, asa numitele „ferestre de timp”, fiind necesara dezvoltarea de modele cu ferestre temporale. Vehiculul care efectueaza livrarea sau colectarea marfurilor prezinta limitari ale capacitatii, care pot restrictiona în acest mod lungimea maxima a unei rute, atunci când acesta deserveste mai multe astfel de puncte. În plus, în ceea ce priveste accesul vehiculelor de marfa în spatiul urban se considera ca în zona urbana nu au acces, cel puțin în anumite intervale orare, vehiculele cu capacitati mai mari de  $q$  tone.

În general, construirea rutelor de livrare este o sarcina dificila, datorita factorilor care intervin, cum sunt: parcul de vehicule si caracteristicile acestuia, numarul de clienti, diferitele restrictii determinate de conditii specifice, dar si datorita faptului ca aceste rute trebuie stabilite în perioade foarte scurta de timp, putând vorbi astfel de o rutare dinamica a vehiculelor de marfuri.

Sunt necesare proceduri de cea mai scurta ruta, flexibile si eficiente, atât din punct de vedere al timpului de procesare, cât si în ceea ce priveste memoria necesara stocarii si procesarii datelor asociate acestor algoritmi. Cercetarea în acest domeniu se orienteaza spre proiectarea si implementarea procedurilor euristice de cea mai scurta ruta, capabile sa surprinda particularitatile proceselor de distributie a marfurilor, cu luarea în considerare, în acelasi timp, a reducerii timpilor de livrare si a obtinerii costului de distributie minim.

O posibila abordare în ceea ce priveste solutionarea problemelor de cea mai scurta ruta ar putea fi precalcularea si stocarea celor mai scurte rute dintre fiecare nod si celelalte noduri. Aceasta ar putea permite oferirea unui raspuns într-un interval de timp constant la interogarea celei mai scurte rute. Însa, marimea spatiului, memoriei necesare de stocare si timpii de calcul cresc cu patratul numarului de noduri, ceea ce impune gasirea de tehnici de cautare a rutei optime în timp real.

În cazul distributiei marfurilor în marile aglomeratii urbane, caracterizata de retele mari, cu un numar ridicat al punctelor de livrare, tehnicile conventionale pentru rezolvarea acestui tip de probleme nu mai sunt adecvate, întrucât ele necesita spatii mari de stocare si nu sunt suficient de rapide. Se încearca astfel, reducerea timpilor de procesare prin exploatarea structurii fizice a retelei rutiere si utilizarea tehnicilor de preprocesare a retelei.

Noile tehnologii de informatii si comunicatii ofera instrumente perfectionate în trasarea rutelor si urmarirea vehiculelor în cursele de livrare. Sistemele inteligente de transport fac parte din aceasta categorie, putând fi grupate în doua categorii: sisteme centralizate si sisteme descentralizate.

În sistemele centralizate, un centru informational colecteaza si proceseaza informatiile de retea si trafic si furnizeaza conducatorilor de vehicule la cerere rutele optime pentru diversele destinatii. Sistemele descentralizate contin informatii colectate din sursele de informatii locale despre retelele stradale, pe dispozitive optice si electronice, pentru alimentarea GPS si ofera informatii soferilor, pe baza carora la bordul vehiculelor sunt calculate rutele optime [3].

În problema de distributie prezentata exista o singura sursa si mai multe destinatii. Satisfacerea cererilor cu costuri minime este o problema de rutare, în care, prin înlocuirea distanțelor cu costurile asociate unitare pe arcele rețelei se obtin rutele optime.

În cazul firmelor de distributie, care realizeaza livrarea marfurilor amplasate de la producatori sau centre de distributie, problema livrării marfurilor este problema clasica de transport, în care un produs omogen, disponibil la depozitele producatorilor sau distribuitorilor  $S_i$  în cantitatile  $a_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , este livrat la un numar  $n$  de magazine  $M_j$  în cantitatile cerute  $b_j$ . Problema presupune o serie de conditii, o prima conditie fiind aceea ca totalul cantitatilor disponibile sa fie mai mari sau cel puțin egale cu cantitatile cerute. De asemenea, cantitatile expediate de la o anumita sursa nu pot depasi cantitatea disponibila, iar cantitatile livrate trebuie sa acopere cantitatile cerute [4].

$$\sum_{i=1}^m a_i \geq \sum_{j=1}^n b_j, \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j \quad (1)$$

Pornind de la datele problemei anterioare, cu aceeași amplasare a punctelor de livrare, respectiv a magazinelor locat în cele patru puncte ale orasului se reconsidera problema livrării marfurilor din perspectiva unui distribuitor care dispune de trei depozite amplasate în afara orasului. Se cunosc cantitatile disponibile la depozitele distribuitorului si cererile la punctele de livrare, precum si costurile asociate transportului între diferitele puncte ale rețelei.

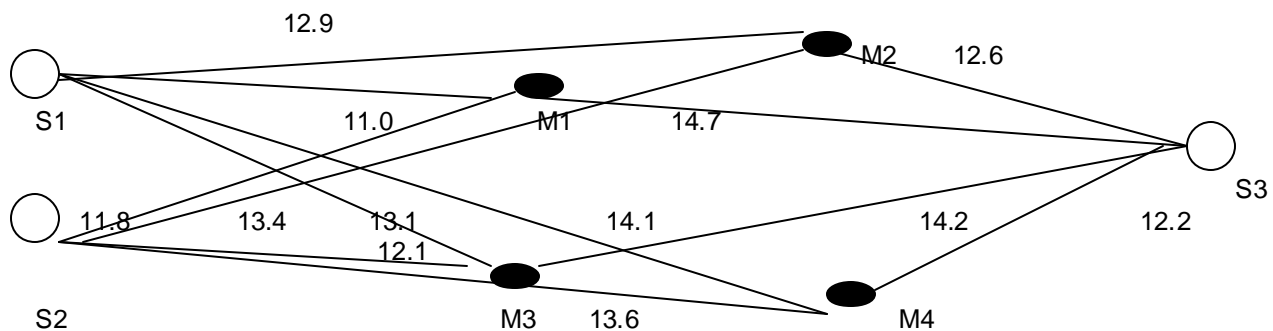


Fig. 2. Graful asociat problemei de transport

Se considera cazul problemei de transport echilibrat, în care cantitatile cerute egaleaza cantitatile disponibile la sursele  $S_1$ ,  $S_2$  si  $S_3$ . Matricea asociata este redată mai jos:

	M1	M2	M3	M4	Disponibil
S1	11.0	12.9	13.1	14.1	200
S2	11.8	13.4	12.1	13.6	240
S3	14.7	12.6	14.2	12.2	160
Necesar	150	140	60	250	600

Tabel 1. Datele initiale ale problemei de transport

Pentru determinarea solutiei initiale de baza s-a utilizat metoda diferentei maxime.

	M1	M2	M3	M4	Disponibil
S1	11.0 150	12.9 50	13.1	14.1	200
S2	11.8	13.4 90	12.1 60	13.6 90	240
S3	14.7	12.6	14.2	12.2 160	160
Necesar	150	140	60	250	600

Tabel 2. Solutia initiala de baza

În urma procesului iterativ de verificare a posibilitatilor de îmbunatatire a solutiei initiale de baza se constata ca solutia initiala de baza este cea optima.

Functia costului minim în acest caz poate fi scrisa:

$$F = 11.0 \times 150 + 12.9 \times 50 + 13.4 \times 90 + 12.1 \times 60 + 13.6 \times 90 + 12.2 \times 160 = 7403 \text{ u.m.}$$

Solutia problemei de cost minim este:

De la	La	Cantitatea transportata	Cost unitar	Costul total
S1	M1	150	11.0	1650
S1	M2	50	12.9	645
S2	M2	90	13.4	1206
S2	M3	60	12.1	726
S2	M4	90	13.6	1224
S3	M4	160	12.2	1952
<b>Total</b>		<b>600</b>		<b>7403</b>

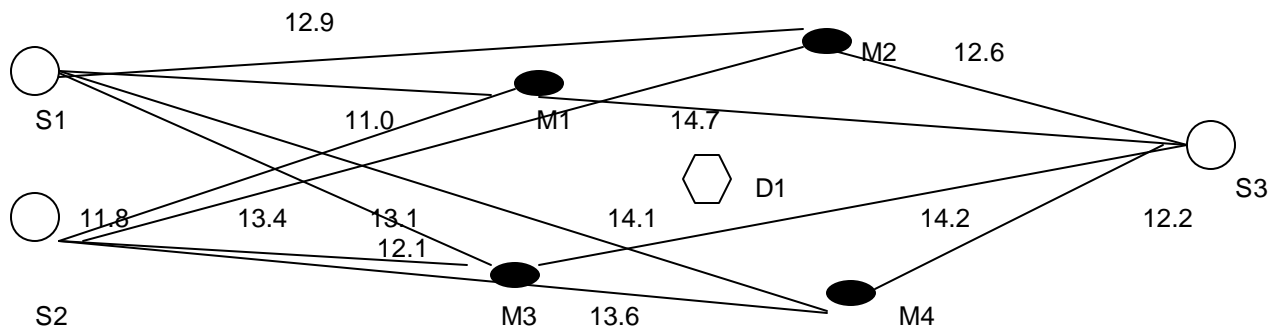
Tabel 3. Solutia problemei de cost minim

Problema clasica a transportului cunoaste o serie de generalizari, derivate de situatiile reale întâlnite în practica distributiei marfurilor. Una dintre acestea este cazul problemei de transport cu cerere excedentara, în care cererile la punctele de livrare depasesc cantitatile existente în depozite. Similara cu aceasta este problema de transport cu oferta excedentara, ambele situatii solutionându-se prin introducerea de noduri fictive cu costuri nule asociate transporturilor fictive [6].

De asemenea, pot exista limitari ale capacitatilor de transport pe anumite rute ceea ce determina, pentru solutionarea problemei, aplicarea unei variante a algoritmului simplex pentru acest tip de situatii, obtinându-se un algoritm de transport modificat.

În varianta în care între punctele de origine și cele de destinație apare necesitatea utilizării unor centre intermediare se întâlnește un alt caz particular al problemei de transport, așa numita „problema de transfer” [2].

În cazul problemei date se ia în considerare amplasarea unui depozit intermediar D1, a unui centru de distribuție urbană cu facilități de stocare.



**Fig. 3. Cazul particular al problemei de transport cu centru intermediar**

Se presupune cunoscute costurile unitare de transport între centrele de distribuție situate în afara spațiului urban și acest centru de distribuție urbană, precum și costurile de la acesta la punctele de livrare. Matricea asociată este redată în tabelul următor:

	D1	M1	M2	M3	M4	Disponibil
S1	10.7	11.0	12.9	13.1	15.1	200
S2	10.2	11.8	13.4	12.1	13.6	240
S3	9	14.7	12.6	14.2	12.2	160
D1		2.0	1.3	1.1	0.4	
Necesar		150	140	60	250	

**Tabel 4. Datele initiale ale problemei de transfer**

Prin aplicarea metodei diferențelor maxime s-a obținut soluția de cost minim în cazul particular al problemei de transport cu centru intermediar, respectiv problema de transfer. Funcția obiectiv în acest caz ia valoarea de mai jos, în condițiile în care întreaga cantitate de marfuri este tranzitată prin centrul de distribuție D1:

$$F = 10.7 \times 200 + 10.2 \times 240 + 9 \times 160 + 2.0 \times 150 + 1.3 \times 140 + 1.1 \times 60 + 0.4 \times 250 = 6676 \text{ u.m.}$$

Cu toate că soluția obținută în acest caz se caracterizează printr-un cost de transport mai redus decât în cazul anterior, soluția obținută nu este cea optimă, în urma iteratiilor îmbunătățindu-se soluția și obținându-se noua funcție obiectiv:

$$F = 10.7 \times 50 + 11 \times 150 + 10,2 \times 240 + 9 \times 160 + 1.3 \times 140 + 1.1 \times 60 + 0.4 \times 250 = 6421$$

Se observa ca, în acest caz, nu întreaga cantitate transportata este tranzitata prin centrul intermediar, în cazul sursei S1 doar o cantitate de 50 de unitati fiind tranzitata prin centrul de distributie D1. Se observa ca în acest caz se obtine un cost de transport mai redus decât în cazul variantei anterioare. Solutia finala este:

De la	La	Cantitatea transportata	Cost unitar	Costul total
S1	D1	50	10.7	535
S1	M1	150	11.0	1650
S2	D1	240	10.2	2448
S3	D1	160	9	1440
D1	M2	140	1.3	182
D1	M3	60	1.1	66
D1	M4	250	0.4	100
<b>Total</b>				<b>6421</b>

*Tabel 5. Solutia problemei de cost minim în cazul problemei de transfer*

În cazul în care se introduc anumite limitari în ceea ce priveste capacitatea de tranzit a centrului de distributie urbana, respectiv luându-se în calcul capacitatea maxima de tranzit de 400 unitati cantitative se obtin urmatoarele rezultate:

De la	La	Cantitatea transportata	Cost unitar	Costul total
S1	D1	50	10.7	535
S1	M1	150	11.0	1650
S2	D1	190	10.2	1938
S2	M3	50	12.1	605
S3	D1	160	9	1440
D1	M2	140	1.3	182
D1	M3	10	1.1	11
D1	M4	250	0.4	100
<b>Total</b>				<b>6461</b>

*Tabel 6. Solutia problemei de cost minim în cazul problemei de transfer cu capacitate limitata a centrului de distributie*

În cazurile prezentate s-au luat în calcul doar costurile transportului în distributia marfurilor, în schimb, pentru determinarea costurilor logistice totale vor trebui considerate si costurile tranzitarii prin centrele de distributie urbana.

În problemele legate de transportul marfurilor, trebuie luati în considerare, de asemenea, si timpii de transport pe arcele rețelei, timpii de asteptare pentru accesul la punctele de livrare, daca acestea sunt ocupate cu preluarea altor marfuri, timpii de stationare pe rutele

rețelei și la punctele finale, pentru livrarea produselor, precum și modul cum acești timpi influențează costurile transportului de marfuri.

### 3. CONCLUZII

Transportul, ca activitate esențială în distribuția marfurilor, cunoaște o gamă largă de abordări, în sensul încercărilor de optimizare a acestui proces. Minimizarea distanțelor de transport, a costurilor și, nu în ultimul rând, a timpului de transport sunt problemele fundamentale cu care se confruntă logisticienii în încercările de a realiza o distribuție optimă a produselor la clienții finali. În ceea ce privește livrarea marfurilor în spațiul urban, datorită numeroaselor restricții pe care le induce acest spațiu, precum și a numărului mare de elemente care trebuie luate în calcul și care influențează transportul marfurilor, soluțiile de optimizare a acestuia sunt extrem de complexe, dovadă și numărul mare de algoritmi și modele generate.

În concluzie, creșterea eficienței transportului în livrarea marfurilor se poate realiza prin optimizarea dinamică a rutelor de transport, a utilizării vehiculelor de livrare, monitorizarea vehiculelor și a loturilor de marfuri, reducerea intervalului de livrare, utilizarea tehnologiilor informaționale și a comunicației mobile, a sistemelor inteligente de transport.

### BIBLIOGRAFIE

- [1] Ackoff, R.L., Sasieni, M.W. – Bazele cercetării operaționale, Ed. Tehnica, București, (1975)
- [2] Beasley, J.E. – OR-Notes – Network flow, (2002)
- [3] Faramroze, E. – Fast Shortest Path Algorithms for Large Road Networks, Auckland, (2002)
- [4] Maracine, V. – Probleme de optimizare în rețele de transport și distribuție, București, (2002)
- [5] Vrânceanu Gh., Mititelu St. – Probleme de cercetare operațională, București, Editura Tehnica, (1978)
- [6] Zidaroiu, C. – Programare liniară, București, Editura Tehnica, (1983)







