



Universitatea POLITEHNICA din București
Școala Doctorală Transporturi

Nr. Decizie Senat :

TEZĂ DE DOCTORAT

Rețele de transport cu consolidări de fluxuri
Transport networks with flow consolidation

Autor : As. drd. ing. Armand – Șerban STERE

Conducător de doctorat : Prof. emerit dr. ing. Șerban RAICU

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof.dr.ing. Mihaela POPA	de la	UPB
Conducător de doctorat	Prof.emerit.dr.ing. Șerban RAICU	de la	UPB
Referent	Conf.dr.ing. Dorinela COSTESCU	de la	UPB
Referent	Prof.dr.ing. Ion TABACU	de la	UPIT
Referent	Conf.dr.ing. Luisa DUNGAN	de la	UPT

București, 2022

CUPRINS

1.	INTRODUCERE	
.....		Error!
	Bookmark not defined.	
1.1.	Necesitatea și oportunitatea temei de cercetare.....	4
1.2.	Stadiul actual al cercetărilor din domeniu	5
1.3.	Structura tezei	
.....		Error! Bookmark not defined.
2.	CONSOLIDAREA CERERILOR DE TRANSPORT	Error!
	Bookmark not defined.	
2.1.	Caracterizarea cererii de transport.....	8
2.2.	Acumularea cererilor pentru constituirea fluxurilor de transport.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1.	Depozite	
.....		Error! Bookmark not defined.
2.2.1.1.	Rolul depozitelor în constituirea fluxurilor de transport	
.....		Error! Bookmark not defined.
2.2.1.2	Model probabilistic pentru dimensionarea depozitelor.....	10
2.2.1.3.	Facilități pentru încărcarea mijloacelor de transport.....	11
2.2.1.3.1.	Armonizarea pe niveluri.....	11
2.2.1.3.2.	Model probabilistic de determinare a numărului de echipamente.....	12
2.2.1.4.	Tehnologii de activitate pentru fronturi de manipulare..	13
2.2.2.	Strategii investiționale pentru creșterea performanțelor de constituire a entităților de transport.....	13
3.	CONSTITUIREA ENTITĂȚILOR DE TRAFIC	
.....		Error! Bookmark not defined.

3.1. Modele matematice pentru amplasarea terminalelor pe rețele de consolidare a fluxurilor.....	50
3.1.1. Particularitățile rețelelor hub-and-spoke	Error! Bookmark not defined.
3.1.2. Problema amplasării a k terminale hub	54
3.1.3. Problema medianei	56
3.1.4. Problema acoperirii.....	59
3.2. Configurația rețelelor de transport feroviar.....	60
3.3. Determinarea parametrilor caracteristici consolidării entităților de trafic.....	22
3.4. Sisteme de consolidare a fluxurilor de transport în fluxuri de trafic...	74
3.4.1. Marșrute comerciale.....	26
3.4.2. Marșrute tehnice.....	27
3.5. Modele matematice pentru constituirea entităților de trafic.....	29
3.5.1. Modele matematice pentru constituirea trenurilor monogrup...	82
3.5.1.1. Metoda calculului absolut	82
3.5.1.2. Metoda comparațiilor analitice	94
3.5.1.3. Metoda comparațiilor analitice conjugate	95
3.5.1.4. Metoda euristică	102
3.5.2. Modele matematice pentru constituirea trenurilor multigrup...	114
4. STUDIU DE CAZ	Error! Bookmark not defined.
4.1. Fluxuri interregionale pe magistralele feroviare	37
4.2. Fluxuri pentru distribuția urbană (specifice logisticii colaborative)....	44
5. CONCLUZII	Error!
5.1. Considerații finale	50
5.2. Contribuții personale și direcții viitoare de cercetare.....	52

BIBLIOGRAFIE

.....**Error! Bookmark not defined.**

ANEXE

.....**Error! Bookmark not defined.**

ANEXA 1 - CURENȚII ZILNICI DE VAGOANE PENTRU STAȚIILE DE PE MAGISTRALA FERROVIARĂ

.....**Error! Bookmark not defined.**

ANEXA 2 – CURENȚII ZILNICI DE VAGOANE PENTRU STAȚIILE DE PE MAGISTRALA FERROVIARĂ CU ELIMINAREA STAȚIILOR DE FRONTIERĂ

.....**Error!**

Bookmark not defined.

ANEXA 3 – RELAȚIILE CORESPUNZĂTOARE FIRULUI PAR ȘI IMPAR DE CIRCULAȚIE AL MAGISTRALEI

.....**Error! Bookmark not defined.**

1. INTRODUCERE

1.1. Necesitatea și oportunitatea temei de cercetare

Eficacitatea și eficiența funcționării sectorului transportului mărfurilor sunt fundamentale pentru asigurarea dezvoltării durabile a oricărei regiuni (Raicu, 2007; Ogryzek,

2020). Continua evoluție a interdependențelor dintre sectorul transporturilor de mărfuri și mediul socio-economic necesită cercetări multi- și interdisciplinare asupra structurilor teritoriale și a dinamicii acestora (Raicu și Costescu, 2016; Gattuso și Malara, 2020).

Problemele delicate în cadrul acestor rețele de transport se referă la întârzierile în procesul de distribuție și la scăderea fiabilității serviciului ca urmare a proceselor suplimentare privind consolidarea și manipularea mărfurilor în cadrul terminalelor. Este necesară studierea tuturor etapelor de realizare a consolidării pornind de la consolidarea cererii de transport, proces influențat de caracteristicile de neuniformitate ale cererii (fluctuațiile din decursul unei perioade de timp din punct de vedere al volumelor ce trebuie transportate, rolul depozitelor în realizarea consolidării cererilor precum și dimensionarea corespunzătoare a acestora, gradul diferit de solicitare al utilajelor, numărul de utilaje care să genereze costuri de exploatare minime etc.).

O altă problemă care trebuie atent analizată este reprezentată de constituirea entităților de trafic. Satisfacerea principalului obiectiv al politicilor europene în domeniul creșterii rentabilității transporturilor feroviare presupune apelarea la modele matematice și algoritmi care să raționalizeze fluxurile feroviare de trafic. Trebuie urmărit modul de organizare a transportului feroviar și anume dacă se vor constitui entități de trafic pentru o singură destinație sau pentru destinații multiple. Aceste modele trebuie să asigure în același timp și o repartizare cât mai uniformă a volumelor de transport necesar a fi consolidate în stațiile tehnice și de triaj ale rețelei feroviare.

Problemele care apar în cadrul rețelelor cu consolidări de fluxuri sunt reprezentate de modul lor de configurare, eficientizarea proceselor de consolidare a fluxurilor de transport și a fluxurilor de trafic. Cerințele tot mai stringente referitoare la consumul de resurse materiale și energetice, impuse de obiectivele dezvoltării durabile, adăugate la solicitările tot mai dificile ale beneficiarilor, în condițiile globalizării și specializării producției impun aprofundări ale cercetărilor pentru planificarea transportului mărfurilor.

1.2. Stadiul actual al cercetărilor din domeniu

În realizarea acestei teze, s-au avut în vedere soluții pentru probleme asupra acumulării cererilor de transport în vederea constituirii fluxurilor de transport, configurarea rețelelor pentru consolidarea fluxurilor de transport, formarea entităților de trafic. Analizele

prezentate se bazează pe numeroase lucrări de specialitate, care pot fi împărțite în patru grupe tematice, prezentate în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1. Referințe bibliografice semnificative folosite la elaborarea tezei de doctorat

Grupa tematică principală	Referințe bibliografice principale
1. Modele matematice ale sistemelor de servire în masă pentru consolidarea cererii de transport	Ackoff et al. 1975; Boldur – Lătescu et al. 1979; Raicu și Mașală 1981; Hall 1990; Pepe de Gove 1995; Raicu și Costescu 2006; Raicu, 2007, Raicu et al. 2008, Raicu et al. 2011, Adan et al. 2015; Notteboom et al. 2020.
2. Modele matematice de organizare și constituire a entităților de trafic	Frîncu et al. 1965, Săndulescu 1965; Kocinev și Maksimovici 1969; Raicu și Mașală 1981; Cordeau et. al. 1998; Raicu et al. 2010; Shafia 2010; Yaghini et al. 2011; Yaghini et al. 2014; Bohlin și Gestrelus 2015; Xiao et al. 2016; Butko et al. 2017; Lin 2017; Raicu et al. 2018; Xiao et al. 2018; Raicu et al. 2020.
3. Configurarea rețelelor de transport cu consolidări de fluxuri	O’Kelly et al. 1994; Pepe de Gove 1995; O’Kelly 1998; Bontekoning, 2006, Raicu 2007, Bowersox 2007, Costescu 2010, Raicu et al. 2012, Raicu și Costescu, 2012, Crainic et al. 2013, Schönemann 2016, Rodrigue et al. 2020; Raicu și Costescu 2020.
4. Modele matematice pentru amplasarea terminalelor de consolidare a fluxurilor de transport	O’Kelly 1986; Campbell 1994; O’Kelly și Bryan 1998; Campbell și Ernst 2005; Limbourg 2007; Alumur și Kara 2008; Alumur 2009; Costescu 2010, Raicu et al. 2011; Alumur și Kara 2012; Farahani et al. 2013; Zabihi și Gharakhani 2018; Azizi 2019; Fernandez și Sgalambor 2020.

Primele cercetări privind identificarea variantei optime de constituire a entităților feroviare de trafic au presupus utilizarea unei metode prin care succesiv se elaborau variante mai apropiate de cea considerată optimă folosind condiționări de „necesitate” și „suficiență”. Astfel de metode au necesitat apelarea la ipoteze simplificatoare care înlătură certitudinea faptului că varianta identificată asigură optimul. Aceste metode au fost ulterior îmbunătățite de specialiști sovietici, însă presupuneau un volum mare de calcule intuitive (Tomescu et al., 1961). Alte metode de determinare a variantei optime de constituire a entităților de trafic feroviar sunt cele ale comparațiilor analitice, comparațiilor analitice conjugate, dar și cea euristică. Ulterior, au fost aduse în discuție modele ce permit constituirea entităților de trafic pentru o singură destinație sau pentru destinații multiple (cum sunt cazurile trenurilor grupate, monogrup, trenuri compuse din vagoane goale etc.).

Formarea entităților feroviare de trafic pentru destinații multiple a constituit o problemă care adesea a fost tratată separat. Prima astfel de modelare matematică a fost propusă de Bodin (Bodin et al. 1980) sub forma unei probleme de programare neliniară cu numere întregi. Newton și colab. (1998), respectiv Barnhart și colab. (2000) descriu această problemă drept una de proiectare a rețelei, nodurile și arcele reprezentând stațiile tehnice sau de triaj (Zhu și Crainic, 2014).

În 1998, Cordeau și colaboratorii prezintă o sinteză a modelelor de optimizare pentru problemele de transport feroviar studiate până la momentul respectiv. Pentru fiecare categorie de probleme sunt propuse clasificări ale modelelor și descriu caracteristicile lor importante, accentul fiind pus pe structura modelului, pe aspectele sale algoritmice precum și pe probleme de rutare și programare (Cordeau et. al, 1998). Ei considerau că acestea erau cele mai importante componente ale activităților de planificare în transportul feroviar. Ahuja și colab. (2007) propun un algoritm bazat pe o metodă de căutare metaeuristică de soluționare pentru formularea problemei în numere întregi de formare a trenurilor grupate. Această metodă era destinată să abordeze problemele de mari dimensiuni. Shafia și colaboratorii propun un model de programare în numere întregi pentru problemele planului de formare a trenurilor de marfă în cazul în care datele de intrare sunt supuse incertitudinii (Shafia et al., 2010). Deoarece se consideră că soluția optimă a modelului propus este dificil de identificat, este prezentată o abordare euristică pentru a găsi o soluție apropiată de cea optimă.

Zhu și Crainic (2014) includ constituirea entităților feroviare de trafic într-un cadru de modelare a deciziilor de planificare la nivel tactic a serviciilor de transport feroviar de marfă. Modelul propus integrează selecția și programarea serviciilor de transport, clasificarea trenurilor, formarea și expedierea trenurilor. Modelul este bazat pe o reprezentare spațio – temporală structurată pe trei niveluri ale operațiilor și deciziilor asociate, ale relațiilor dintre acestea, precum și a dimensiunii lor temporale.

2. CONSOLIDAREA CERERILOR DE TRANSPORT

2.1. Caracterizarea cererii de transport

Pentru stabilirea mai ușoară a obiectivelor și restricțiilor ce ar putea fi formulate în configurarea unei rețele de transport cu consolidări de fluxuri, este necesară înțelegerea procesului de consolidare. Pentru început, trebuie făcută o delimitare conceptuală între noțiunile de cerere transport, flux de mărfuri, de transport și de trafic (figura 2.1).

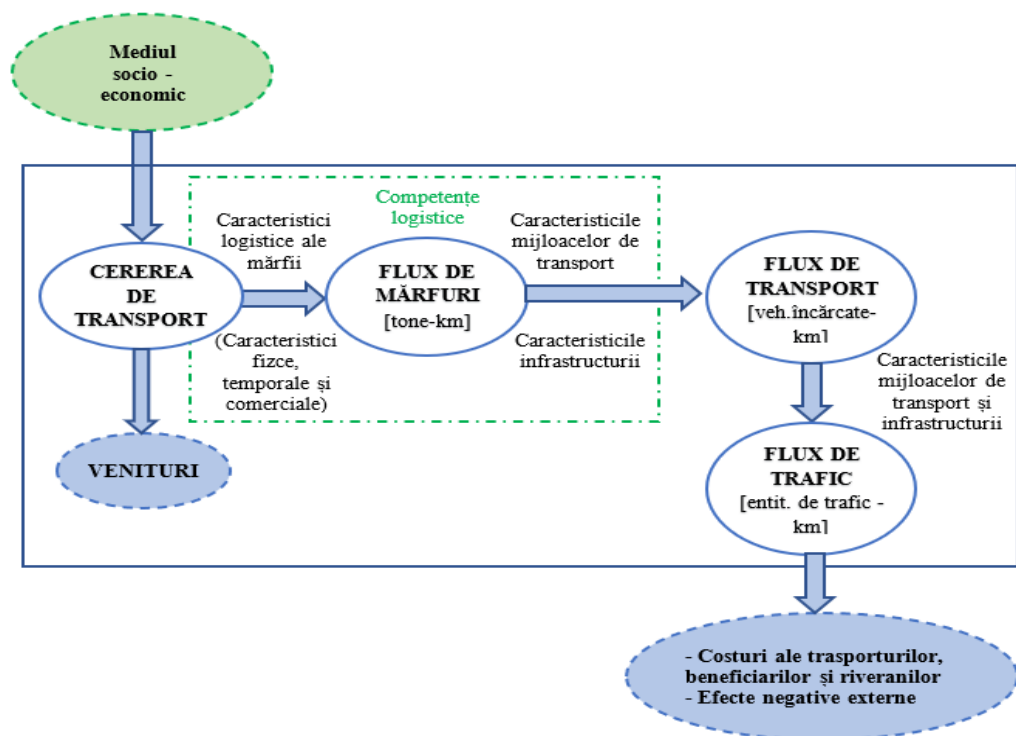


Figura 2.1. Transformarea cererii de transport în flux de mărfuri, de transport și trafic (prelucrare după (Raicu, 2007))

În ceea ce privește cererea de transport, trebuie avut în vedere modul în care activitățile economice sunt distribuite în spațiu, atât la nivel local cât și la nivel regional. În cazul transporturilor de mărfuri, cererea de transport se referă la nevoia de deplasare a bunurilor și este caracterizată prin perechile origine – destinație, mărime și structură care sunt în corelație cu deciziile de amenajare teritorială. Se observă că cererile de transport, care rezultă din nevoile ansamblului activităților socio – economice, conduc treptat la apariția fluxurilor de mărfuri, de transport și trafic (Raicu, 2007). Cererea de transport se caracterizează din perspectiva cantității care face obiectul prestației de transport, a existenței unor termene de realizare care sunt determinante pentru organizarea activității precum și a caracteristicilor comerciale.

Următoarea etapă în tehnologia rețelilor cu consolidări de fluxuri o constituie comasarea cererilor de transport în fluxuri de mărfuri având în vedere caracteristicile logistice ale mărfurilor. *Fluxurile de mărfuri* constituie acea grupare de mărfuri care este colectată / livrată de același transportator (care utilizează întotdeauna aceeași rută și același mijloc de transport) aceluiași destinatar. Fluxurile de mărfuri sunt caracterizate prin volumul total și destinația ce sunt stabilite în raport cu canalul de piață. Mărimea expediției este dependentă de volumul și frecvența serviciului precum și de structura fluxului (Raicu și Costescu, 2012). Consolidarea fluxurilor de mărfuri presupune unificarea fluxurilor mici de mărfuri ce provin de la unul sau mai mulți furnizori și destinate unuia sau mai multor clienți.

Fluxurile de mărfuri, în funcție de caracteristicile mijloacelor de transport și ale infrastructurii, sunt transformate în *fluxuri de transport* și, ulterior, în *fluxuri de trafic*. Fluxul de transport are drept măsură numărul unităților de transport încărcate (autovehicule, trenuri, nave, aeronave etc.) înmulțit cu distanța parcursă (rezultă astfel ca unitate de măsură tren km, autovehicule km etc.). Fluxurile de transport pot fi raportate la unitățile de transport (tone km, călători km etc.) sau la unitatea de timp (calendaristic sau operațional). Principalele avantaje ale unor astfel de unități sunt de a fi aditive și parțial în directă legătură cu cererea de transport iar ca dezavantaj aceea de a nu caracteriza complet fluxul de transport (Raicu, 2007).

Fluxul de trafic constituie suprapunerea conjugată și variată a fluxurilor de transport dar și a altor fluxuri de mijloace de transport sau entități fără încărcătură, respectiv a fluxurilor tehnologice (destinate exploatării sistemului) pe elementele infrastructurii (Raicu, 2007). Pentru o caracterizare detaliată a fluxurilor de trafic, trebuie să se țină seama de caracteristicile lor fizice (mărime, structura eterogenă și parametrii sintetici ai organizării circulației) precum și de efectele resimțite de către participanți (exogene sau de mediu, respectiv endogene).

Prin urmare, pentru eficientizarea serviciului de transport prestat, o soluție o reprezintă consolidarea cererilor de transport. O astfel de abordare urmărește coordonarea mai multor furnizori pentru a-și expedia mărfurile la un terminal de consolidare și de a colecta toate cererile astfel încât acestea să poată fi livrate într-o singură unitate de transport pentru o singură destinație.

2.2. Acumularea cererilor în depozite pentru constituirea fluxurilor de transport

2.2.1. Depozite

2.2.1.1. Rolul depozitelor în constituirea fluxurilor de transport

În cadrul procesului de consolidare a cererilor de transport, unul din rolurile importante în asigurarea continuității și a conexiunii între transporturile pe distanțe mari și cele de acumulare, respectiv distribuție pe distanțe medii și mici îl are depozitul. Depozitele reprezintă o componentă esențială în cadrul lanțurilor de aprovizionare și distribuție, rolurile lor fiind de a asigura o zonă tip ”tampon” (*buffer*) pentru fluxurile materiale, pentru a adapta variația cauzată de factori precum neuniformitatea cererilor de mărfuri, consolidarea cererilor de la diverși furnizori pentru livrarea combinată către clienți, dar și pentru realizarea unor procese cu valoare adăugată, care să conducă la satisfacerea unor solicitări specifice ale beneficiarilor finali (de exemplu, ambalare, etichetare, personalizare a produselor etc.) (Gu et al., 2007). Pentru a eficientiza procesul de consolidare a cererilor de transport, unul dintre principalele aspecte de care trebuie să se țină seama îl constituie dimensionarea corespunzătoare a depozitului în care mărfurile vor fi stocate.

2.2.1.2 Model probabilistic pentru dimensionarea depozitelor

Una din condițiile principale de funcționare a unui depozit o reprezintă existența unei suprafețe libere de depozitare. Există posibilitatea ca mărfurile care sosesc în depozit să fie refuzate în situația în care suprafața de depozitare este complet utilizată. Modelarea acestor sisteme se bazează pe relațiile și condiționările definite între punctele de așteptare și stațiile de servire, care au ca scop transformarea fluxului de intrare în flux de ieșire ca urmare a activităților de servire. Modul de dispunere a stațiilor de servire (în serie sau/și în paralel), precum și condiționările dintre acestea definesc tipologia sistemului. Depozitele pot fi asimilate cu sistemele de servire în masă pentru problemele de dimensionare ce presupun determinarea numărului optim de compartimente (astfel încât să fie asigurată o probabilitate de refuz cât mai redusă pentru depozitarea mărfurilor sosite), mărimea și capacitatea depozitelor, tipul utilajelor de manipulare (Masek et al., 2015). Reprezentarea depozitului ca un sistem de servire în masă este ilustrată în figura 2.2, de unde putem observa că pentru determinarea capacității de depozitare este necesară cunoașterea probabilității de refuz a cererilor depozitate.

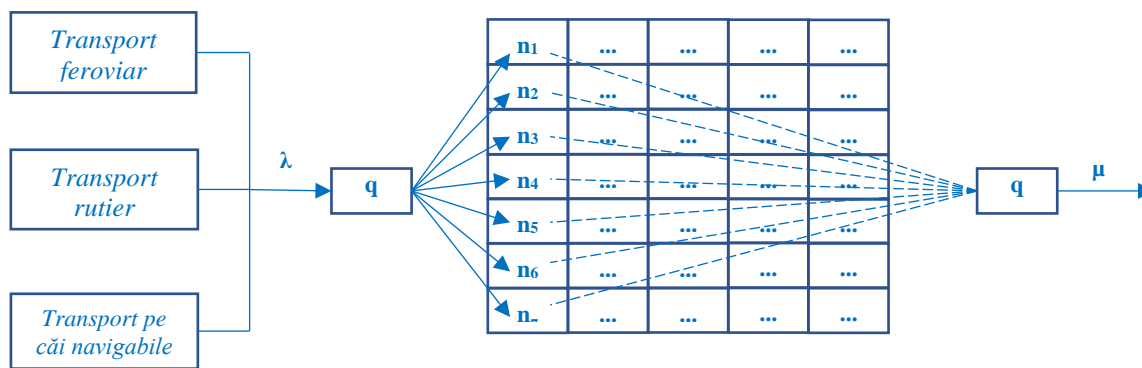


Figura 2.2. Reprezentarea unui depozit ca sistem de servire în masă (Sursa: prelucrare după (Raicu și Costescu, 2006))

2.2.1.3. Facilități pentru încărcarea mijloacelor de transport

2.2.1.3.1. Armonizarea pe niveluri

Este necesar a se face distincție între noțiunile de capacitate maximă și cea efectivă. În cazul capacității maxime, se pot distinge capacitatea de tranzit, respectiv de prelucrare existentă a terminalului. De exemplu, dacă ne raportăm la cazul rețelei de transport feroviar cu terminale de consolidare (stații tehnice sau de triaj), capacitatea de tranzit și de prelucrare este exprimată prin numărul maxim de trenuri (sau de vagoane) de marfă ce pot tranzita, precum și prin numărul maxim de trenuri (sau de vagoane) care se pot prelucra în 24 de ore (Tomescu, 1966).

Noțiunea de capacitate efectivă definește volumul total al activității pe care terminalul îl realizează pe un termen îndelungat ținând cont atât de structura traficului, cât și de indicatorii calitativi ai activității. Îndeplinirea indicatorilor calitativi ai activității de transport și ai terminalului, precum și a stabilității dintre sosirile și expedierile în/din terminal nu poate fi asigurată decât dacă solicitarea instalațiilor și a utilajelor depășește nivelul capacității efective. Capacitatea efectivă este întotdeauna mai mică comparativ cu cea maximă (Raicu și Mașală, 1981). Această corelație dintre capacitățile necesare, efective și maxime ale unui terminal și sarcinile care îi revin în decursul unui interval de timp este ilustrată în figura 2.5.

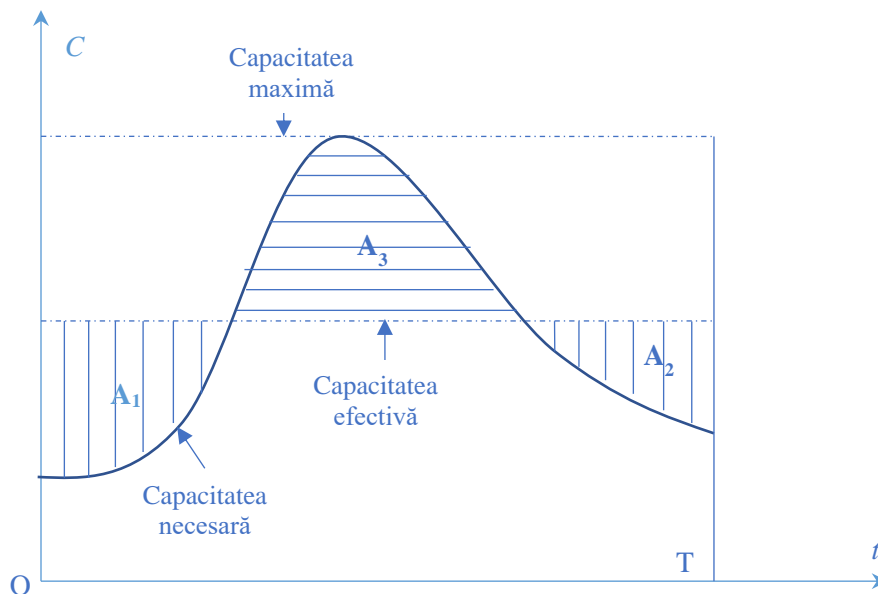


Figura 2.5. Legătura dintre capacitatea necesară și cea efectivă în decursul unei perioade de analiză (Sursa : (Raicu și Mașală, 1981))

2.2.1.3.2. Model probabilistic de determinare a numărului de echipamente

Funcția obiectiv a problemei determinării necesarului de utilaje de manipulare a mărfurilor este:

$$\min F = \min \left(e_{mf} \Phi_{mf} + e_a \Phi_a + e_r \Phi_r + e_{mf} \Psi_{mf} + e_{ast} \Psi_{ast} \right) \quad (2.1)$$

unde Φ_{mf} , Φ_a , Φ_r reprezintă duratele de lucru efectiv, de staționare cu personal de deservire, respectiv fără personal de deservire a utilajelor în decursul unui an;

Ψ_{mf} , Ψ_{ast} - duratele de staționare a mijloacelor de transport la operațiile de încărcare/descărcare, respectiv de așteptare în vederea începerii acestor operații pe parcursul unui an.

Duratele se determină cu următoarele relații (Raicu și Mașală, 1981):

$$\Phi_{mf} = N \cdot b_m = \frac{\lambda T}{\mu} \quad (2.2.a)$$

$$\Phi_a = NT - \Phi_{mf} = \frac{(n\mu - \lambda)T}{\mu} \quad (2.2.b)$$

$$\Phi_r = n(8760 - T) \quad (2.2.c)$$

$$\Psi_{mf} \equiv \Phi_{mf} = \frac{\lambda T}{\mu} \quad (2.2.d)$$

$$\Psi_{ast} = N \cdot \frac{1}{\mu} \cdot (\mu \cdot \bar{t}_{astep}) \quad (2.2.d)$$

2.2.1.4. Tehnologii de activitate pentru fronturi de manipulare

În activitatea de la fronturile de manipulare, toate echipamentele/instalațiile folosite îndeplinesc roluri distincte în tranzitarea cererii prin sistem. Când se modelează servirea cererilor în conformitate cu o tehnologie specifică, se remarcă existența unor echipamente care pot depozita temporar și a altora care nu pot îndeplini această funcție (Raicu, 2007). În cazul activității din terminalele feroviare, este necesar să se identifice și să se coreleze procesele incluse în tehnologiile de prelucrare a diferitelor grupe de vagoane. În cazul vagoanelor care sosesc încărcate, înainte de sosirea acestora, biroul de tranzit avizează (în baza informațiilor primite) destinatarii mărfurilor și pregătesc fronturile de manipulare și mijloacele de manipulare a mărfurilor. După sosirea vagoanelor, acestea se vor introduce la fronturile de manipulare în baza unui program prestabilit și vor fi supuse operațiilor simple sau duble, după caz.

Dacă ne raportăm la tehnologia activității de prelucrare a vagoanelor sosite goale, mai întâi se va întocmi un plan de manevră pentru introducerea vagoanelor la fronturile de manipulare, dispunând ca în paralel eventualele vagoane ce se regăsesc la încărcare să fie scoase de la fronturi. În timpul în care se realizează programarea, biroul de tranzit avizează expeditorii mărfurilor, comunicând numărul vagoanelor care sosesc și categoriile de mărfuri care pot fi încărcate în ele. După ce vagoanele sosesc în stație, ele sunt verificate dacă pot fi supuse operației de încărcare a categoriei respective de mărfuri. Dacă se încarcă marșrute pe mai multe fronturi, se face mai întâi alegerea vagoanelor și apoi introducerea lor la fronturi. Se urmărește ca formarea trenului să se realizeze facil, prin scoaterea vagoanelor după încărcare într-o ordine predefinită.

2.2.2. Strategii investiționale pentru creșterea performanțelor de constituire a entităților de transport

Principalul obiectiv al problemei îl constituie minimizarea expresiei de calcul a unui criteriu de optimizare C_{ik} , urmând a se lua în considerare toate elementele de cheltuieli ce sunt

dependente de valoarea resurselor existente în anul i la frontul de manipulare k . Valoarea criteriului de optimizare C_{ik} este dată de relația :

$$\begin{aligned}
 C_{ik}(I_{ik}) = & \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^2 C_{ik}(I_i, I_{ik}) = (a_1 - a_2)(I_{11} + I_{21} + \dots + I_{m1}) + \\
 & + a_2 [mI_1 + (m-1)I_2 + \dots + I_m] + e_1 \cdot V_1 \left(\frac{Q_{11}^2}{I_{11} \cdot r_{11} \cdot \eta_{11}} + \dots + \frac{Q_{m1}^2}{I_{m1} \cdot r_{m1} \cdot \eta_{m1}} \right) + \\
 & + e_2 \cdot V_2 \left[\frac{Q_{12}^2}{(I_1 - I_{11}) \cdot r_{12} \cdot \eta_{12}} + \frac{Q_{22}^2}{(I_1 + I_2 - I_{21}) \cdot r_{22} \cdot \eta_{22}} + \dots + \right. \\
 & \left. + \frac{Q_{m2}^2}{\left(\sum_{i=1}^m I_i - I_{m1} \right) \cdot r_{m2} \cdot \eta_{m2}} \right].
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

unde :

- a_k este rata anuală de amortizare a investiției pentru utilajele de tip k ;
- e_k - echivalentul valoric al unui vagon-oră staționare raportat la tona de marfă încărcată în vagon;
- r_{ik} - numărul zilnic de reprize în care se introduc vagoanele din anul i la frontul k ;
- η_{ik} - productivitatea de exploatare realizată în anul i de utilajele de la frontul k .

Condițiile care trebuie impuse problemei sunt următoarele:

$$\sum_{i=1}^m I_i \leq I \tag{2.5.a}$$

$$I_{0i1} \leq I_{i1} \leq \sum_{i=1}^m I_i - I_{0i2} \tag{2.5.b}$$

$$\begin{cases}
 I_{011} + I_{012} \leq I_1 \leq I \\
 0 \leq I_2 \leq I - (I_{011} + I_{012}) \\
 \dots\dots\dots \\
 0 \leq I_m \leq I - (I_{0(i-1)1} + I_{0(i-1)2})
 \end{cases} \tag{2.5.c}$$

unde I este valoarea totală a investiției alocate pentru cei m ani pentru cele k fronturi;

I_{0ik} - valoarea minimă a resurselor de care se dispune în anul i în vederea manipulării cantității de marfă Q_{ik} .

Condiția (2.6.a) impune ca investițiile efectuate în fiecare din ce m ani să nu depășească valoare totală I a investiției alocate pentru cele k fronturi de manipulare. Restricția (2.6.b) ține seama de necesitatea asigurării manipulării mecanizate a volumelor de mărfuri de la fiecare dintre cele k fronturi de manipulare. Setul de restricții (2.6.c) urmărește limitarea investițiilor ce sunt realizate în fiecare an. Valoarea parametrului I_{0ik} se determină cu relația (Raicu și Mașală, 1981):

$$I_{0ik} = \frac{Q_{ik} \cdot V_k}{365 \cdot n_s \cdot t_s \cdot \eta_{ik} \cdot \tau_0} \quad (2.7)$$

unde n_s este numărul de schimburi în care se lucrează la un front;

t_s - durata unui schimb (în ore);

τ_0 - coeficientul de folosire a timpului de lucru.

Prin urmare, problema se va rezuma la stabilirea valorii minime a funcției obiectiv (2.4) care să satisfacă restricțiile (2.5.a) – (2.5.c). Pentru a identifica minimul criteriului de optimizare, se va utiliza pentru rezolvare metoda gradientului proiectat (Stere și Roman, 2021). Această metodă este utilizată pentru funcții obiectiv convexe, atât în prezența restricțiilor liniare, cât și a celor neliniare (Dancea, 1976). Schema logică a algoritmului pentru repartizarea optimală a resurselor pentru dotarea fronturilor de manipulare din terminalele de consolidare aplicând metoda gradientului proiectat este reprezentată în figura 2.6.

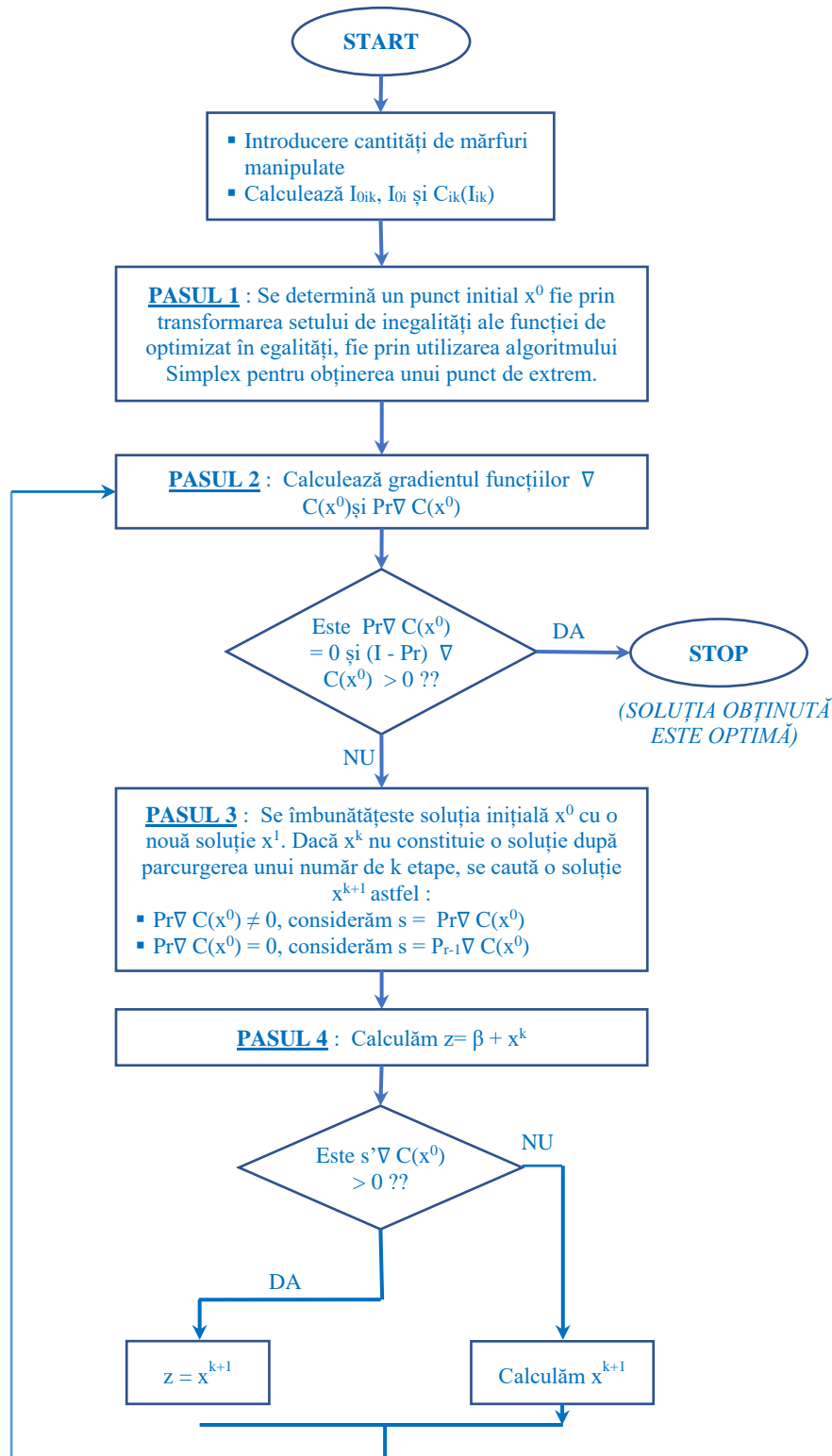


Figura 2.6. Schema logică a modelului de repartizare a resurselor pentru dotarea fronturilor de manipulare (Sursa : (Stere și Roman, 2021))

3. CONSTITUIREA ENTITĂȚILOR DE TRAFIC

3.1. Modele matematice pentru amplasarea terminalelor pe rețele de consolidare a fluxurilor

3.1.1. Particularitățile rețelelor hub – and – spoke

Pentru a crește eficiența transporturilor, se apelează la organizarea serviciilor pe rețele cu configurații *hub-and-spoke* (Costescu, 2010; Raicu et. all, 2011; Stîngă, 2018). Principiul acestor configurații este utilizat de mulți ani în sistemele de transport feroviar și aerian, dar, în ultimele decade, preocupările pentru configurarea acestor tipuri de rețele s-a intensificat la diferite niveluri de operare (Stere, 2020). În sistemele în care trebuie organizate servicii pentru un număr mare de perechi origine-destinație, se recomandă configurații de rețele cu consolidări de fluxuri monomodale sau intermodale (figura 3.1).

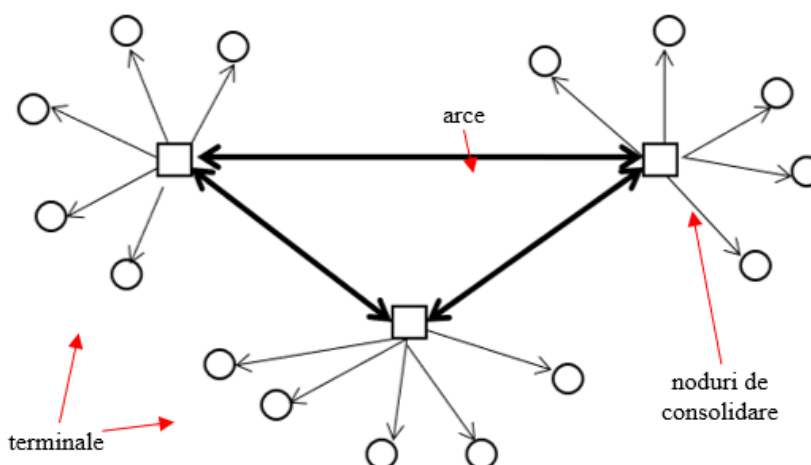


Figura 3.1. Reprezentarea schematică a unei rețele de tip *hub – and – spoke*

Prin intermediul rețelelor cu consolidări de fluxuri sunt eliminate relații directe pentru care cererea de transport este insuficientă pentru a asigura eficiența serviciului. În cazul unei astfel de configurații, relațiile directe dintre două terminale sunt menținute doar dacă cererea este suficientă pentru justificarea serviciului (Schönemann, 2016). Într-o zonă, fluxurile generate care sunt în cantități reduse și au destinații diferite sunt dirijate către un terminal central (hub). Aici sunt descompuse în funcție de zona de destinație și consolidate cu alte fluxuri de mărfuri care au aceeași destinație sau al căror parcurs prezintă un trunchi comun. Modelul rețelelor cu consolidări de fluxuri creează oportunități pentru diversificarea și

îmbunătățirea calității serviciilor de transport. Utilizarea acestor rețele de transport prezintă o serie de avantaje cum sunt (Bontekoning, 2006; Rodrigue et al., 2020) :

- Obținerea *randamentelor de scară* atât pe itinerariile din cadrul rețelei, cât și la nivelul nodurilor hub.
- Obținerea *economiilor de densitate*, date de o frecvență mai ridicată a serviciilor de transport (Jara-Diaz et. all, 2013).

Rețele de transport cu consolidări de fluxuri prezintă și o serie de dezavantaje cauzate în principal de fragmentarea proceselor de transport și de necesitatea transferurilor/prelucrărilor în terminalele de consolidare, cu efecte asupra creșterii duratelor și costurilor. Performanțele unei rețele *hub – and – spoke* nu depind doar de funcțiile terminalului *hub*, ci și de amplasarea sa (Kreutzberger și Konings, 2016). Pentru optimizarea procesului de constituire a entităților de trafic, este importantă atât cunoașterea pozițiilor nodurilor din ansamblul rețelei feroviare unde acestea se pot constitui cât și identificarea principalelor metode care permit alegerea soluției optime de constituire a acestor entități de trafic.

3.1.2. Problema amplasării a k terminale hub

Formularea acestei probleme a fost realizată de O’Kelly în anul 1987, funcția obiectiv pentru amplasarea a k terminale urmărind minimizarea costului total al transferurilor (Farahani et al., 2013). Se presupune existența a trei categorii de costuri de transfer și anume (Zabihi și Gharakhani, 2018):

- costul de transfer al bunurilor de la terminalul de origine la terminalul *hub* (C_{il});
- costul de transfer al bunurilor între terminalele *hub* (C_{lm});
- costul de transfer de la terminalul *hub* la terminalul de destinație (C_{jm}).

Pentru definirea funcției obiectiv, se utilizează următoarele notații:

w_{ij} - fluxul de la nodul de origine i la cel de destinație j ;

Y_{ij} - variabilă binară de decizie, este egală cu 1 dacă nodul i este alocat unui *hub* situat în punctul j și 0 în caz contrar ;

X_j - variabilă binară de decizie cu valoarea 1 dacă nodul j este *hub* și 0 în situația contrară.

α – parametru subunitar care aplicat pentru reducerea costului de transfer între două terminale *hub* datorată randamentului de scară.

Funcția obiectiv a problemei de amplasare a k terminale este (O’Kelly, 1987):

$$\min \left(\sum_i \sum_l Y_{il} c_{il} \left(\sum_j w_{ij} \right) + \sum_j \sum_m Y_{jm} c_{jm} \left(\sum_i w_{ij} \right) + \alpha \sum_i \sum_j \sum_l \sum_m w_{ij} c_{lm} X_l X_m \right) \quad (3.1)$$

cu restricțiile următoare:

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad (3.2)$$

$$\sum_j X_j = k \quad (3.3)$$

Relația (3.1) reprezintă funcția obiectiv care urmărește să minimizeze costul de transfer între nodurile rețelei. În această expresie, primul termen definește costul de transfer al fluxului de ieșire din nodul i către nodul *hub* j . Cel de al doilea termen reprezintă costul de transfer al fluxului de intrare din nodul *hub* m la nodul de serviciu j , în timp ce ultimul termen reprezintă costul de transfer între nodurile *hub* l și m . Restricția (3.2) impune ca fluxul de transport din fiecare nod ce nu îndeplinește funcția de *hub* să fie alocat unuia dintre cele k noduri *hub*, iar restricția (3.3) garantează că numărul de noduri *hub* este egal cu k .

3.1.3. Problema medianei

În vederea modelării unei rețele de terminale *hub* este necesară parcurgerea următoarelor etape (Raicu et al., 2011) :

- determinarea poziției optime de amplasare a terminalelor *hub*;
- alocarea punctelor de origine și destinație a terminalelor *hub*;
- identificarea rutelor între terminalele *hub*;
- afectarea fluxurilor pe rețelele *hub – and – spoke*.

Se constată faptul că soluțiile celor patru etape anterior enumerate sunt dependente între ele. În mod practic însă, pentru a permite o rezolvare matematică cât mai facilă, se recomandă o tratare secvențială și se apelează la simplificări. O ipoteză frecvent utilizată este aceea că valoarea costului de transport este independentă de volumul fluxului de transport. În aceste condiții, costul unitar pentru ruta dintre două noduri notate i și j (care nu sunt terminale

hub) care include terminalele hub l și m este (Farahaniși Hekmaftar, 2009; Farahani et al., 2013):

$$c_{ij}^{lm} = \chi \cdot c_{il} + \alpha \cdot c_{lm} + \delta \cdot c_{ij} \quad (3.4)$$

unde c_{ij} , este costul unitar pentru ruta cuprinsă între cele două noduri i și j ;
 c_{lm} - costul unitar pentru ruta dintre terminalele hub l și m ;
 χ - coeficientul de variație a costurilor pe rutele de colectare;
 α - coeficientul de reducere a costului pe ruta dintre terminalele hub;
 δ - coeficient de variație a costurilor pe ruta de distribuție (de regulă, valoarea lui este egală cu 1).

Pentru alegerea poziției optime de amplasare a terminalelor se consideră următoarele variabile binare de decizie:

Z_{ij}^{lm} - variabilă egală cu 1 dacă fluxul între nodurile i și j include punctele potențiale pentru amplasarea terminalelor hub l și m și 0 în caz contra ;

Y_l - variabilă care este egală cu 1 dacă în nodul l este amplasat un terminal hub și 0 în caz contrar.

Ținând seama de notațiile enumerate mai sus, funcția obiectiv pentru minimizarea costului total de transport este (Costescu, 2010; Farahani et al., 2013):

$$\min \sum_i \sum_j \sum_l \sum_m c_{ij}^{lm} \cdot w_{ij} \cdot Z_{ij}^{lm} \quad (3.5)$$

cu restricțiile:

$$\sum_l Y_l = k \quad (3.6)$$

$$\sum_l \sum_m Z_{ij}^{lm} = 1 \quad (3.7)$$

$$Z_{ij}^{lm} \leq Y_l, \forall i, j, l, m \in N \quad (3.8)$$

$$Z_{ij}^{lm} \leq Y_m, \forall i, j, l, m \in N \quad (3.9)$$

$$Z_{ij}^{lm} \geq 0 \quad \forall i, j, l, m \in N \quad (3.10)$$

Funcția obiectiv (3.5) urmărește minimizarea costului total al transporturilor. Numărul terminalelor hub (egal cu k) este verificat prin intermediul restricției (3.6). Condiția (3.7) arată că fiecărei perechi origine-destinație (i, j) îi este alocată pe o relație de terminale hub (l, m). În ipoteza în care perechile origine-destinație (i, j) sunt arondate unui singur nod hub, atunci $l =$

m . Restricțiile (3.8) – (3.10) asigură faptul că, mai întâi, trebuie selectate nodurile l și m ca terminale *hub* și abia ulterior se face alocarea fluxului de la nodul i către nodul j .

3.1.4. Problema acoperirii

În cazul acestei categorii de probleme, se pornește de la ipoteza că fiecare pereche de noduri de origine este situată la o distanță predefinită (valoarea maximă acceptată din punct de vedere al serviciului) de nodurile *hub*, fiind considerate astfel acoperite. De asemenea, se consideră costul transportului de la originea i la destinația j prin nodurile *hub* -ului selectat mai mic sau egal cu o valoare predeterminată φ_{ij} ($c_{ij}^{lm} \leq \varphi_{ij}$). Prin urmare, ar trebui să se ia în considerare costul amplasării terminalului *hub* în nodul l , notat cu F_l . Termenul φ_{ij} reprezintă costul maxim pentru acoperirea conexiunilor dintre nodurile i și j , iar parametrul V_{ij}^{lm} reprezintă o variabilă binară de decizie egală cu 1 dacă nodurile *hub* situate în nodurile l și m sunt incluse pe ruta (i, j) și 0 în caz contrar.

3.2. Configurația rețelelor de transport feroviar

Rețeaua de transport este un sistem complex alcătuit din numeroase elemente cu funcțiuni determinate în procesul de transport (Raicu, 2007). Pentru formalizarea rețelei feroviare în vederea modelării constituirii entităților de trafic este necesară structurarea datelor pentru descrierea arcelor și nodurilor, care să permită identificarea stațiilor care delimitează împărțirea administrativă a rețelei feroviare și a principalelor funcții asigurate (figura 3.3).

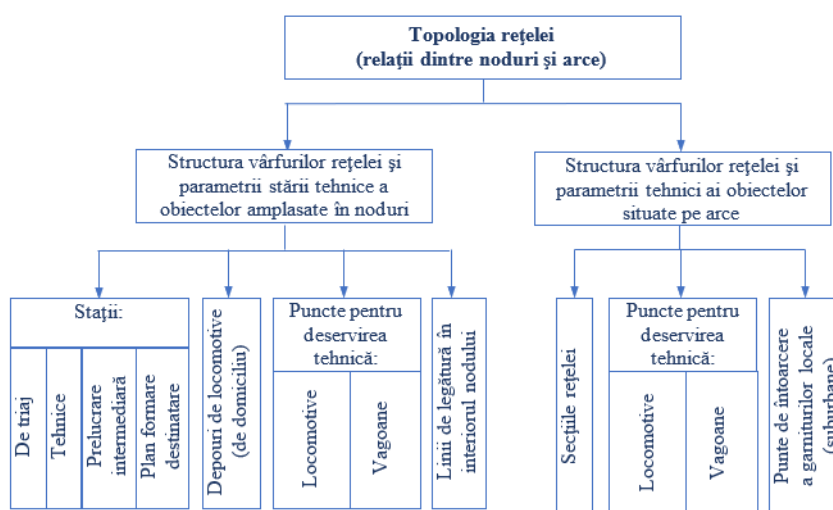


Figura 3.3. Structura informațiilor pentru formalizarea stării rețelei de cale ferată (Sursa : adaptare după (Raicu, 2007))

Nodurile rețelei feroviare în care se realizează constituirea entităților de trafic sunt stațiile tehnice, de triaj și de prelucrare intermediară. Acestea reprezintă, de fapt, punctele de secționare ale unei rețele de transport feroviar care sunt dotate cu construcții și instalații cu ajutorul cărora se realizează operațiile de prelucrare a trenurilor de marfă (Dragu, 2010). În figura 3.4 sunt reprezentate stațiile rețelei feroviare din România care îndeplinesc funcțiile enunțate anterior.

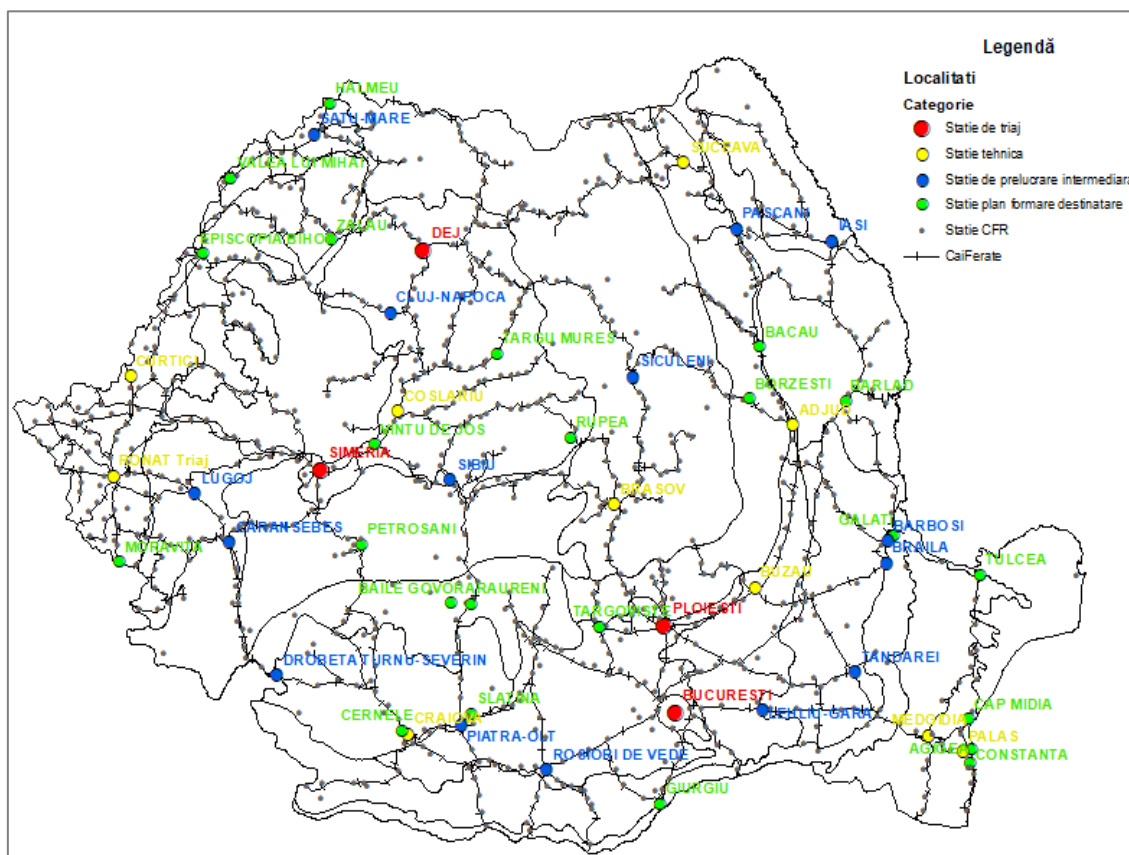


Figura 3.4. Stațiile tehnice, de triaj, de prelucrare intermediară și plan formare destinatare ale rețelei feroviare din România (Sursa : (Stere, 2020))

3.3. Determinarea parametrilor caracteristici consolidării entităților de trafic

Constituirea și consolidarea entităților de trafic, descompunerea lor și transferul mărfurilor către destinatar necesită realizarea unei succesiuni de procese în terminalele de transport. Stația de triaj poate fi asimilată cu un sistem care asigură lanțuri tehnologice care conectează secțiile de circulație de intrare, grupa de sosire (grupa A), dispozitivul de triere, grupa de triere – formare, liniile de tragere pentru formare, grupa de expediere și secțiile de circulație de ieșire (figura 3.5).

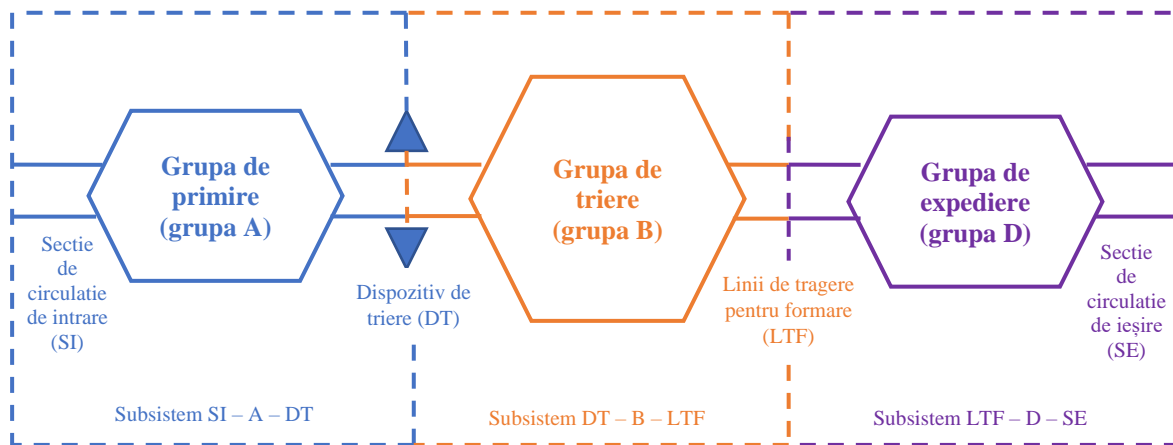


Figura 3.5. Subsistemele componente ale unei stații de triaj

Pe baza componentelor și a proceselor tehnologice cărora le sunt destinate (primirea trenurilor, trierea, compunerea trenurilor, expedierea), stația de triaj poate fi structurată ca un sistem complex de servire în masă, în care elementele sunt grupate în raport cu tipurile de operații (așteptare, realizarea operațiilor, acumulare) (figura 3.6):

- *G: Generatoarele de cereri* din cadrul sistemului conduc la procesul de ocupare a locurilor de așteptare și determină caracteristicile fluxurilor de intrare.
- *A: Punctele de așteptare* sunt reprezentate de elemente în care se înregistrează timpii de așteptare în vederea realizării diferitelor procese.
- *SS: Stațiile de servire* au rol în asigurarea continuității procesului de servire/tranzit al entităților de trafic.
- *E: Punctele de ieșire* constituie elemente alimentate de stațiile de servire, locurile de așteptare și, în unele cazuri, chiar și de generatoarele de cereri.

Multitudinea relațiilor directe și inverse dintre elemente (figura 3.6) relevă gradul ridicat de complexitate necesar modelării unei asemenea structuri. Obiectivul principal al modelării îl reprezintă armonizarea activităților elementelor componente în vederea obținerii unor solicitări raționale în condiții de exploatare date. Din cauza complexității modelării terminalelor de consolidare a entităților de trafic în care este necesară integrarea factorilor principali care intervin în costurile de exploatare, se apelează la ipoteze simplificatoare și la descompunerea pe diferite regimuri de servire. În cazul modelării terminalelor feroviare cu consolidări de fluxuri (stații tehnice și de triaj), este recomandată formalizarea ca sisteme de servire în masă „în cascadă”.

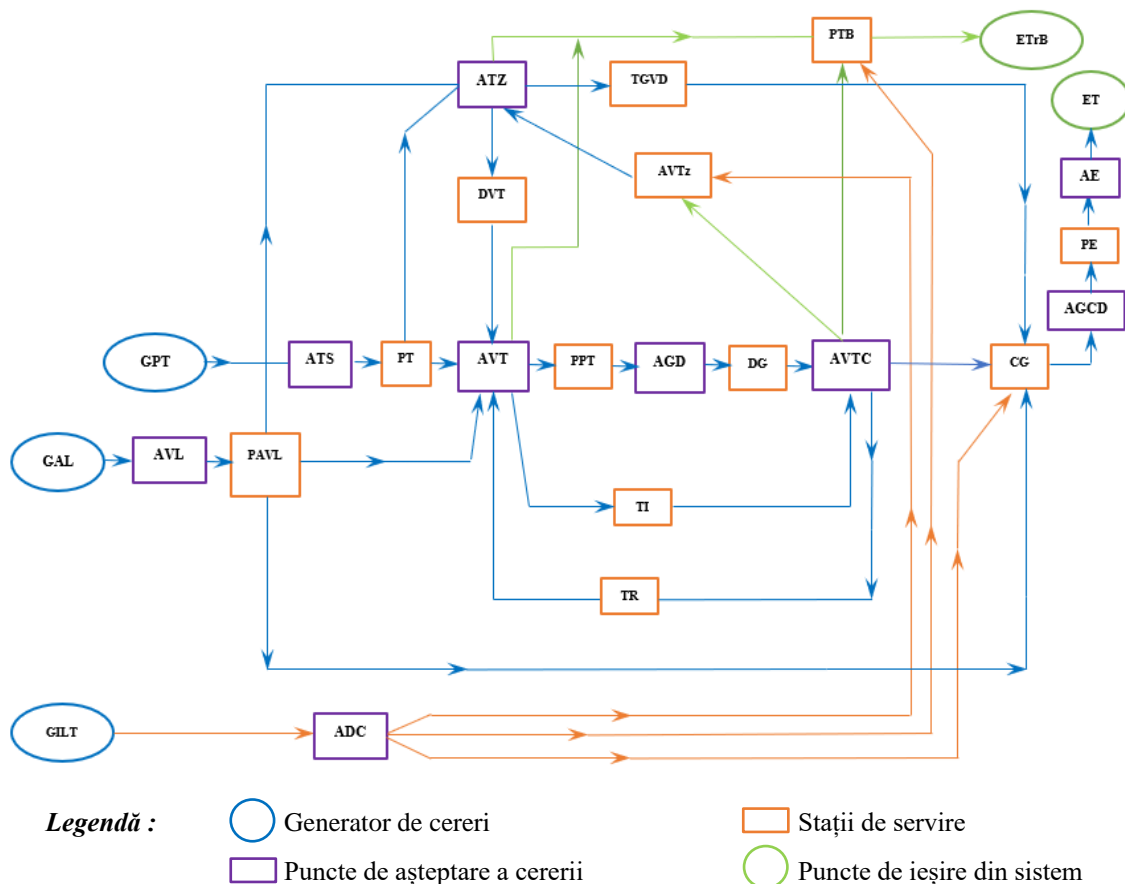


Figura 3.6. Sistem complex de servicii în masă unui terminal feroviar de consolidare (stație de triaj)

Durata totală cât o cerere se regăsește în sistemele cu stații de servicii „în cascadă” se calculează astfel:

$$t_{med} = \sum_{i=1}^f t_{sv,i} + \sum_{i=1}^f t_{a,i} \quad (3.9)$$

unde $t_{sv,i}$ este durata medie a servirii pentru fiecare fază i a servirii;

$t_{a,i}$ - durata medie a așteptării în faza i ;

f - numărul fazelor în care este descompusă servirea.

Din cele prezentate anterior se observă că unul din procesele care influențează constituirea entităților de trafic în completele de triere îl reprezintă acumularea vagoanelor. Acest proces începe din momentul sosirii primei grupe de vagoane având o destinație specificată de pe secție și se termină în momentul sosirii în stație, de pe secțiile adiacente sau

din încărcările proprii, a ultimei grupe care are menționată aceeași destinație. Este necesară considerarea în calcule a următoarei expresii a consumului de vagoane – ore destinate acumulării care ține cont de mărimea garniturii și de parametrul de acumulare :

$$\Omega = c \cdot m \quad (3.10)$$

unde prin c este notat parametrul de acumulare iar termenul m reprezintă mărimea grupei de vagoane. Parametrul de acumulare reprezintă un indicator care caracterizează procesul de acumulare a vagoanelor unei garnituri. Expresia parametrului de acumulare este dată de relația:

$$c = 0,5 \cdot T_{ac} \cdot \left(1 - \frac{n_{tr,exped}}{n_{tr,sos} \cdot \gamma} \right) = 12 \cdot \left(1 - \frac{n_{tr,exped}}{n_{tr,sos} \cdot \gamma} \right) \quad (3.11)$$

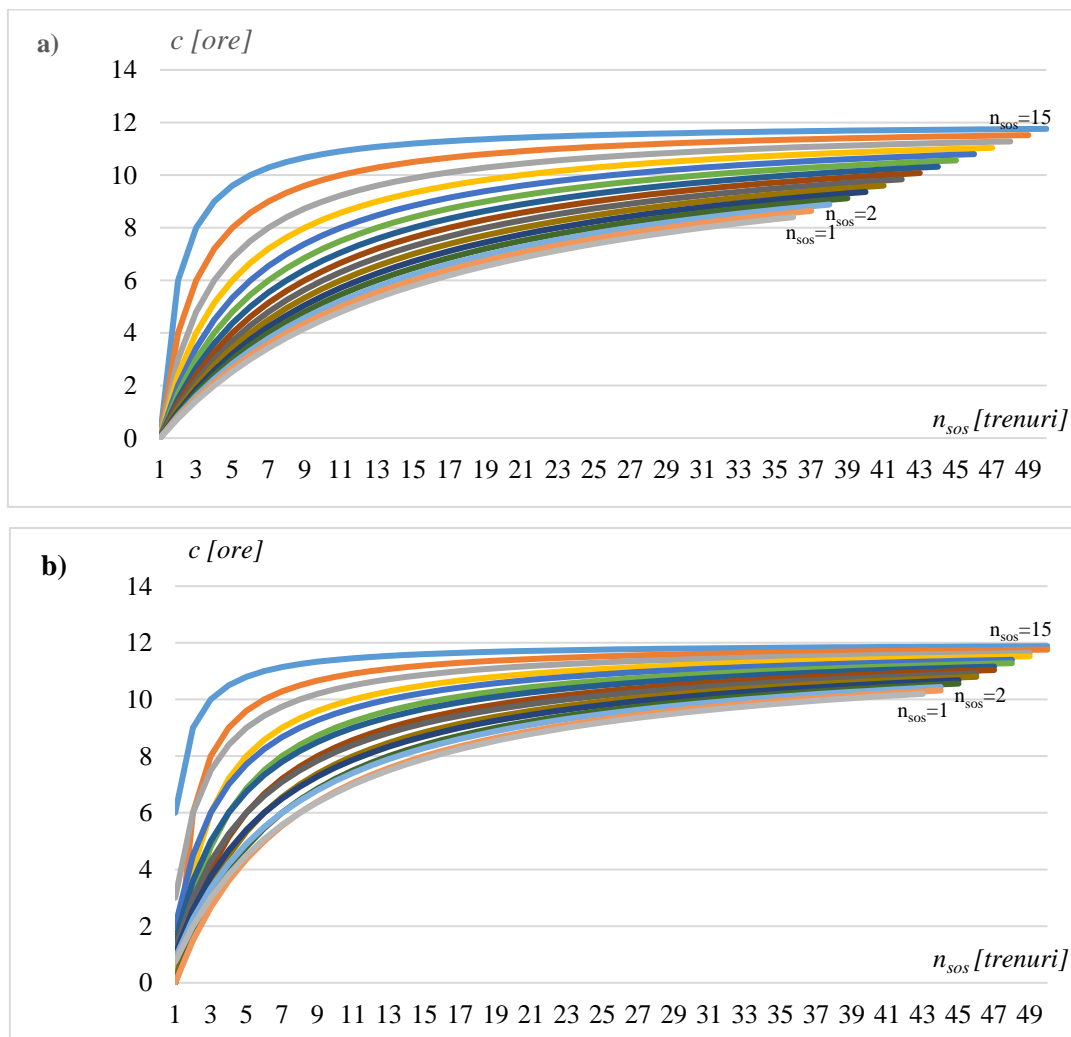


Figura 3.7. Variația parametrului de acumulare în raport cu numărul de trenuri sosite (n_{sos}) și numărul de trenuri după care nu mai rămâne niciun vagon pe linia de acumulare afectată unei destinații $\gamma = 1$ (a) și $\gamma = 2$ (b)

(Sursa : (Stere, 2021))

În baza acestei relații, se va analiza variația parametrului de acumulare pentru un număr al trenurilor care au fost expediate cuprins între 1 și 15 și pentru valori ale parametrului γ corespunzător frecvenței întreruperilor apărute în cadrul procesului de acumulare egale cu 1 și 2 (figura 3.7). Din această figură se observă cu ușurință faptul că parametrul de acumulare scade concomitent cu creșterea curentului de vagoane care urmează a fi expediat pentru același valori ale lui $n_{tr,exped}$. De asemenea, parametrul de acumulare tinde să descrească odată cu reducerea numărului de trenuri sosite în stație care conțin vagoane pentru o anumită destinație $n_{tr,sos}$ precum și o creștere datorată măririi valorii parametrului γ .

3.4. Sisteme de consolidare a fluxurilor de transport în fluxuri de trafic

3.4.1. Marșrute comerciale

Marșruta comercială definește categoria de tren formată din vagoane ce sunt încărcate numai într-o singură stație de unul sau mai mulți expeditori pentru anumite stații de destinație, pentru unul sau mai mulți destinatari, fără a suferi niciun fel de manevră sau prelucrare pe parcursul deplasării (aceasta poate fi la rândul ei clasificată în marșrută comercială pe destinatar, respectiv pe expeditor). Constituirea entităților de trafic în trenuri marșrute comerciale (componentă a procesului de constituire a entităților de trafic feroviar) presupune (Săndulescu, 1965):

- Stabilirea curenților de vagoane încărcate sau goale pregătite pentru a fi expediați din locurile de încărcare până la locurile lor destinație;
- Descrierea dotărilor tehnice ale stațiilor tehnice și de triaj, precum și capacitățile lor de încărcare-descărcare;
- Definirea programelor de încărcare și descărcare a trenurilor marșrute în stațiile de origine și cele de destinație;
- Planificarea proceselor tehnologice pentru formarea trenurilor marșrute în stațiile origine și coordonarea operațiilor de manipulare (încărcare-descărcare);
- Analiza indicatorilor activităților de formare a trenurilor marșrute în stațiile tehnice principale ale căilor ferate.

3.4.2. Marșrute tehnice

Marșruta tehnică constituie trenul format din acumularea vagoanelor într-o stație tehnică, de triaj sau de dispoziție care are ca destinație pentru descompunere o altă stație tehnică și care circulă în tranzit fără manevră și prelucrare prin una sau mai multe stații tehnice. Caracteristica comună atât a marșrutelor tehnice, cât și a celor comerciale constă în faptul că sunt formate la locurile de încărcare, tranzitează una sau două stații tehnice fără manevră și prelucrare și sunt descărcate la una sau mai multe stații de destinație.

Se constată că circulația vagoanelor din compunerea trenurilor marșrute tehnice, în tranzit prin stațiile tehnice ale rețelei feroviare, conferă o economie de timp pentru fiecare vagon în parte. Această valoare se determină pentru fiecare stație tehnică în parte și ține seama atât de normele de timp stabilite pentru efectuarea operațiilor tehnologice asupra vagoanelor cât și de graficul de circulație al trenurilor. Dacă raportăm această economie la un singur vagon din compunerea trenului de marfă, avem :

$$t_{ec} = t_{prel} - t_{tranz} - t_{ac} \quad (3.12)$$

Trebuie menționat faptul că mărimea parametrului t_{ac} se stabilește în conformitate cu normele proceselor tehnologice de lucru ale stației de triaj, fără a ține seama de staționarea vagoanelor în așteptarea expedierii trenului în conformitate cu graficul de circulație. Astfel, durata de staționare a vagoanelor în stațiile tehnice se calculează cu o relație care ține seama de mărimea curentului de vagoane prelucrate și consumurile de vagoane – ore acumulare. Matematic, expresia se scrie astfel :

$$\sum t_{teh} = \sum N_{pr} \cdot t_{ec} + \sum k \cdot c \cdot m \quad (3.13)$$

și în care termenul $\sum t_{teh}$ reprezintă partea din vagoane – ore staționare care variază dependent de modul de constituire a entităților feroviare de trafic.

Un alt element cu influență directă asupra comparării variantelor de constituire a entităților feroviare de trafic este echivalentul de prelucrare. Acesta permite echivalarea vagoanelor – ore de prelucrare în vagoane – ore staționare, fiind o mărime care caracterizează eficacitatea activității de prelucrare dintr-o anumită stație. Dacă în relația (3.13) se ia în considerare și mărimea echivalentului de prelucrare r , vom obține expresia finală a consumului

de vagoane – ore staționare echivalate pentru staționare în stațiile tehnice ale rețelei feroviare (Stere, 2021):

$$\sum t'_{teh} = \sum N_{pr} \cdot (t_{ec} + r) + \sum k \cdot c \cdot m \quad (3.14)$$

În figura 3.8 este ilustrată variația relațiilor (3.13) și (3.14) pentru diferite moduri de organizare a curenților de vagoane drept consecință a variațiilor termenilor $\sum N_{pr} \cdot t_{ec}$ și $\sum N_{pr} \cdot (t_{ec} + r)$ în funcție de numărul vagoanelor prelucrate în stațiile tehnice și de triaj. În urma analizării reprezentării grafice se observă că există o valoare a numărului de vagoane prelucrate căruia îi corespunde un minim al celor două funcții. Mai exact, există o variantă de constituire a entităților de trafic feroviar (cea care se consideră drept optimă) care conferă o durată de staționare minimă a vagoanelor în stațiile tehnice ale rețelei feroviare. Prin urmare, printr-o organizare judicioasă a curenților de vagoane se obține o accelerare a rulajului vagonului.

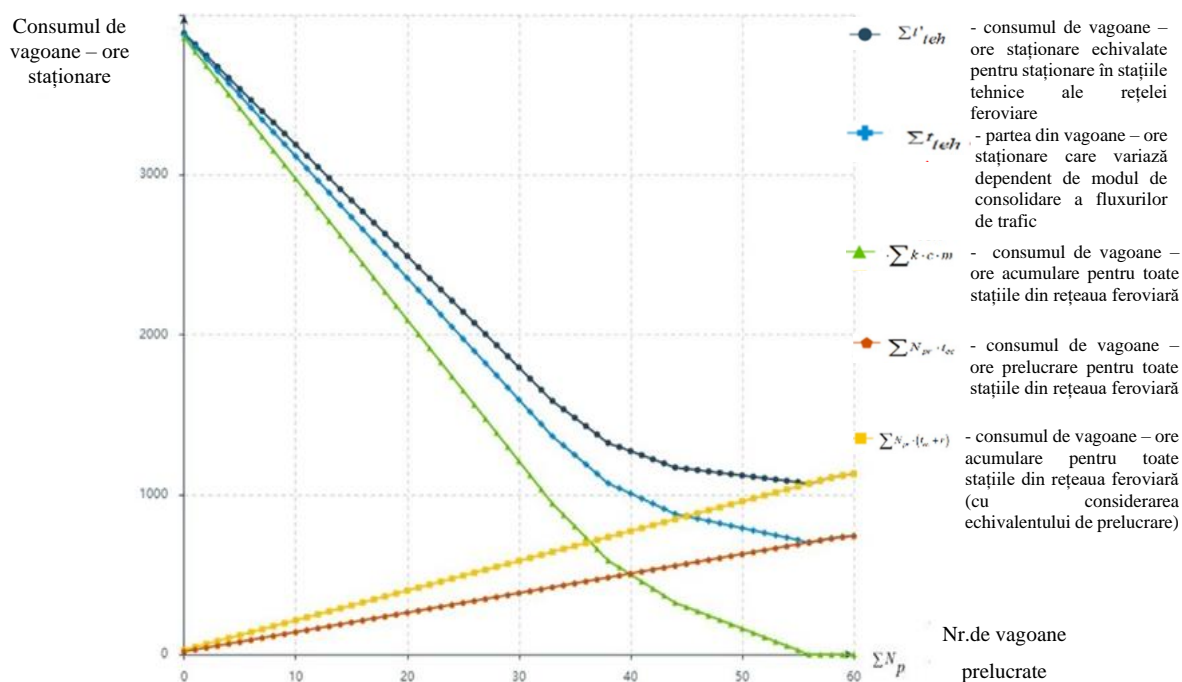


Figura 3.8. Variațiile funcțiilor Σt_{teh} și $\Sigma t'_{teh}$ în funcție de parametrul ΣN_{pr} (Sursa : (Stere, 2021))

Astfel, pentru o mai bună organizare a transporturilor feroviare de mărfuri, este necesară constituirea entităților de trafic prin elaborarea planului de formare a trenurilor care urmărește alocarea rațională a operațiilor de triere între stațiile de triaj în strânsă concordanță

cu dotările lor tehnice (Frâncu și Raicu, 1986; Butko et al., 2017). Constituirea entităților de trafic, prin intermediul planului de formare a trenurilor de marfă, reprezintă unul din cele mai importante domenii de cercetare în planificarea transporturilor feroviare (Yaghini et al., 2013; Yaghini et al., 2014) deoarece identificarea variantei optime reprezintă o sarcină dificil de rezolvat.

3.5. Modele matematice pentru constituirea entităților de trafic

3.5.1 Modele matematice pentru constituirea trenurilor monogrup

3.5.1.1. Metoda calculului absolut

Identificarea variantei optime de constituire a entităților feroviare de trafic prin metoda calculului absolut presupune, în esență, calculul unor indicatori pentru fiecare variantă în parte. Pentru identificarea variantei optime, se vor examina toate acele fluxuri feroviare de trafic (exceptând acei curenți de secție) care îndeplinesc condiția de necesitate :

$$N_{vg} \cdot \sum t_{ec} \geq cm \quad (3.15)$$

unde N_{vg} reprezintă curentul de vagoane dintr – o stație de origine către o stație de destinație iar termenul $\sum t_{ec}$ se referă la o însumare a economiilor temporale datorate tranzitării fără prelucrare a trenurilor de marfă prin stațiile tehnice de pe parcurs.

În situația în care curentul N_{vg} nu îndeplinește această condiție, se verifică dacă combinarea acestuia cu fluxuri feroviare de trafic învecinate respectă această condiție. Dacă nici prin combinare nu este îndeplinită relația (3.15), curentul respectiv de vagoane nu se va lua în considerare în calculele viitoare.

Dacă condiția este îndeplinită, se va trece în varianta de consolidare în forma combinată care a satisfăcut relația (3.15). Pentru variantă optimă de constituire a entităților feroviare de trafic, se va alege cea variantă în care numărul de vagoane – ore are valoarea minimă și care asigură în același timp și o împărțire cât mai uniformă a sarcinilor de triere între stațiile de triaj în strânsă concordanță cu dotările lor tehnice. Schema logică a algoritmului de identificare a variantei de constituire a entităților feroviare de trafic monogrup prin metoda calculului absolut este ilustrată în figura 3.9.

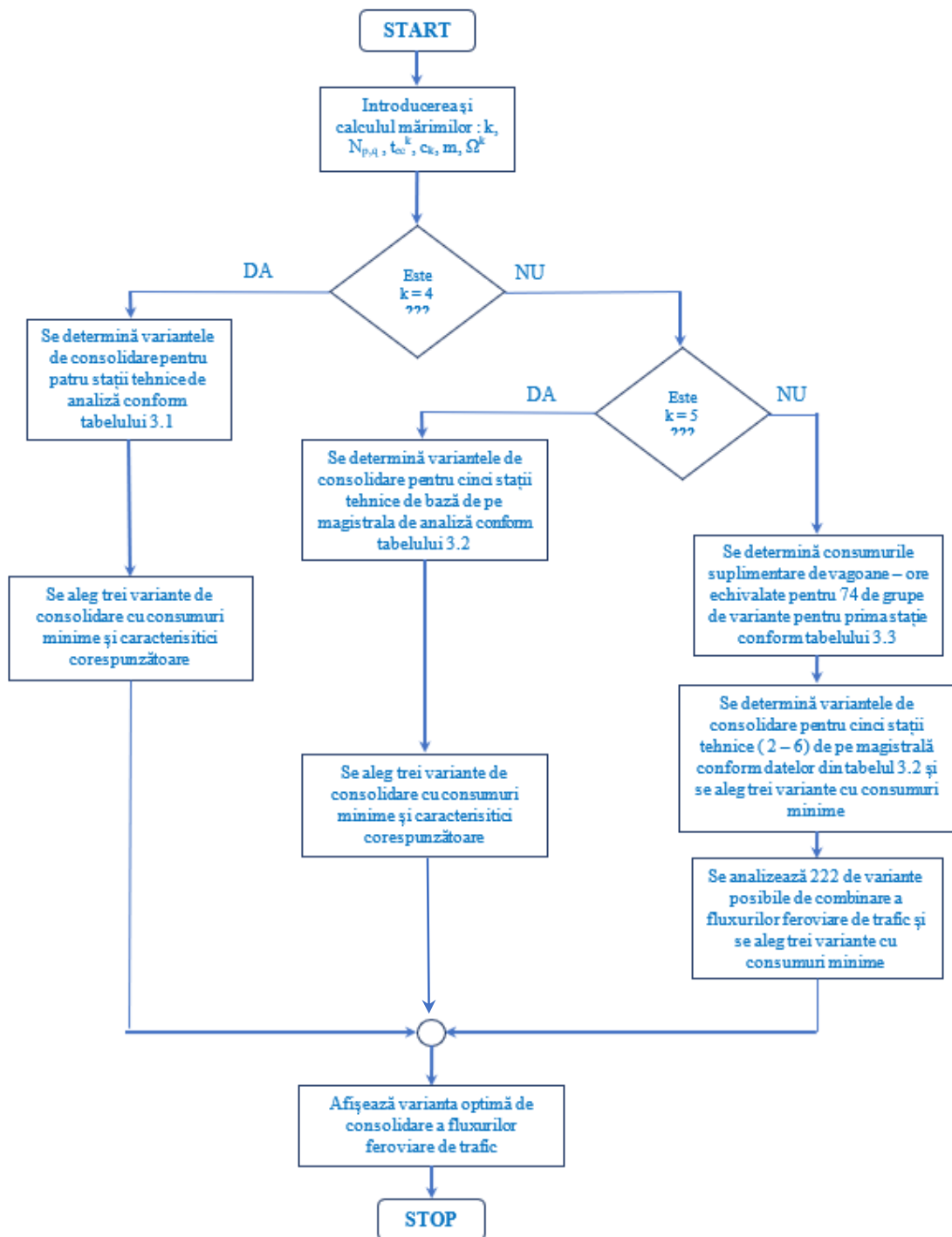


Figura 3.9. Schema logică a algoritmului de constituire a entităților feroviare de trafic monogrup prin folosirea metodei calculului absolut

Dacă numărul stațiilor tehnice este egal cu cinci, se va trece direct la analiza posibilităților de consolidare a fluxurilor feroviare de trafic După calculul consumurilor de vagoane – ore echivalate pentru fiecare dintre cele cinci stații tehnice de bază, se identifică trei variante cu consum minim de vagoane – ore și cu caracteristicile corespunzătoare celor mai

bune variante de consolidare a fluxurilor feroviare de transport. Dacă numărul stațiilor tehnice este egal cu șase, este necesar calculul consumului suplimentar de vagoane – ore echivalate pentru un număr de 74 de grupe de variante pentru prima stație tehnică de bază.. Apoi se determină cele 103 de variante de consolidare a fluxurilor feroviare de trafic pentru cele cinci stații tehnice de pe magistrala considerată (pornind de la cea de a doua și terminând cu a șasea).

3.5.1.2. Metoda comparațiilor analitice

Metoda comparațiilor analitice are la bază principiul analizei treptate a curenților de vagoane și al separării lor în diferite relații convenționale în varianta optimă de constituire a entităților feroviare de trafic. Examinarea diferitelor relații care conțin un număr de curenți de vagoane se realizează fie în baza condiției de suficiență dată de inegalitatea (Săndulescu, 1965):

$$N_{vg} \cdot \sum t_{urm} \geq cm \quad (3.16)$$

fie în baza condiției de necesitate dată de inegalitate (3.15). În relația (3.16), termenul $\sum t_{urm}$ reprezintă totalitatea economiei de timp rezultată ca urmare a tranzitării fără prelucrare a stațiilor tehnice de pe itinerariu de către trenurile de marfă care circulă pe distanța cea mai lungă. Respectarea condiției de suficiență asigură separarea curenților de vagoane luați în considerare în varianta optimă de constituire a entităților feroviare de trafic, fiecare curent în parte având o destinație independentă.

În ipoteza îndeplinirii numai a condiției de necesitate de către un curent de vagoane, este necesar a se verifica dacă din punct de vedere economic este indicată combinarea acestuia cu un alt curent ce îndeplinește la rândul său această condiție și se află în aceeași stație (sau într-una aflată în proximitate). În varianta optimă se stabilesc curenții de vagoane pentru toate stațiile tehnice și de triaj ce satisfac concomitent condiția de suficiență și necesitate sau doar una din aceste condiții. Dacă un curent de vagoane nu respectă niciuna din cele două condiții, acesta se va combina cu ceilalți curenți de vagoane.

3.5.1.3. Metoda comparațiilor analitice conjugate

Această metodă se bazează pe principiul alegerii treptate a relațiilor celor mai avantajoase, altfel spus, eliminarea relațiilor ineficiente. Într-o primă etapă se va verifica care dintre fasciculele de vagoane din diagrama în trepte satisfac condiția de suficiență

$N_{vg} \cdot \sum t_{urm} \geq cm$. În ipoteza în care curentul de vagoane îndeplinește această condiție, acesta va fi inclus în varianta optimă de consolidare a fluxurilor feroviare de trafic.

În cazul în care este satisfăcută doar condiția de necesitate, sunt necesare calcule suplimentare pentru determinarea economiei maxime posibile de vagoane – ore ce rezultă prin combinarea acestui curent de vagoane cu altul sau cu altele care circulă fie de la stația tehnică de bază respectivă, fie din următoarele stații tehnice de pe itinerariu.

În cea de a doua etapă, se identifică care dintre curenții alcătuiți din mai multe fascicule conferă cea mai semnificativă economie de vagoane – ore. În această alegere trebuie să se respecte condiția ca fiecare fascicul cuprins între două stații tehnice de bază să respecte condiția de suficiență $N_{vg} \cdot \sum t_{urm} \geq cm$. În caz contrar, perechea origine – destinație pentru un curent de vagoane nu va putea fi inclusă ca variantă optimă de consolidare a fluxurilor de transport. Prin urmare, se trece la următorul curent de vagoane compus din unul sau mai multe fascicule și se aplică din nou principiul anterior prezentat.

Algoritmul de constituire a entităților feroviare de trafic prin utilizarea metodei comparațiilor analitice conjugate presupune parcurgerea pașilor detaliați în schema logică a programului ilustrată în figura 3.10. Avantajul principal al metodei comparațiilor analitice conjugate constă în posibilitatea de analizare a tuturor variantelor de constituire a entităților feroviare de trafic pentru o singură destinație, neavând influență numărul și amplasarea stațiilor de formare a trenurilor. De asemenea, fasciculele de vagoane pot fi combinate în toate variantele posibile, pornind atât spre stațiile vecine cât și spre celelalte.

3.5.1.4. Metoda euristică

O altă metodă de determinare a variantei ideale de constituire a entităților feroviare de trafic o reprezintă metoda euristică. Această metodă are ca principiu de bază clasificarea curenților de vagoane în patru categorii principale și anume: curenți de bază, suplimentari, unificabili și de completare (Raicu, 1963). *Curenții de bază* reprezintă acei curenți de vagoane care, la tranzitarea fără prelucrare printr-o stație tehnică, conferă o economie cel puțin egală cu consumul de vagoane – ore pentru o singură destinație. Matematic, această condiție se va scrie astfel (Raicu, 1963; Stere și Olteanu, 2020):

$$N_{vg} \cdot t_{ec}^k \geq c \cdot m > N_{vg} \cdot t_{ec}^{\min} \quad (3.17)$$

Curenții suplimentari constituie acei curenți pentru care suma vagoanelor – ore economie rezultate prin tranzitarea stațiilor tehnice de pe parcurs este mai mare sau egală cu valoarea consumului de vagoane – ore acumulare pentru o singură destinație. Matematic, această inegalitate este de forma (Stere și Olteanu, 2020):

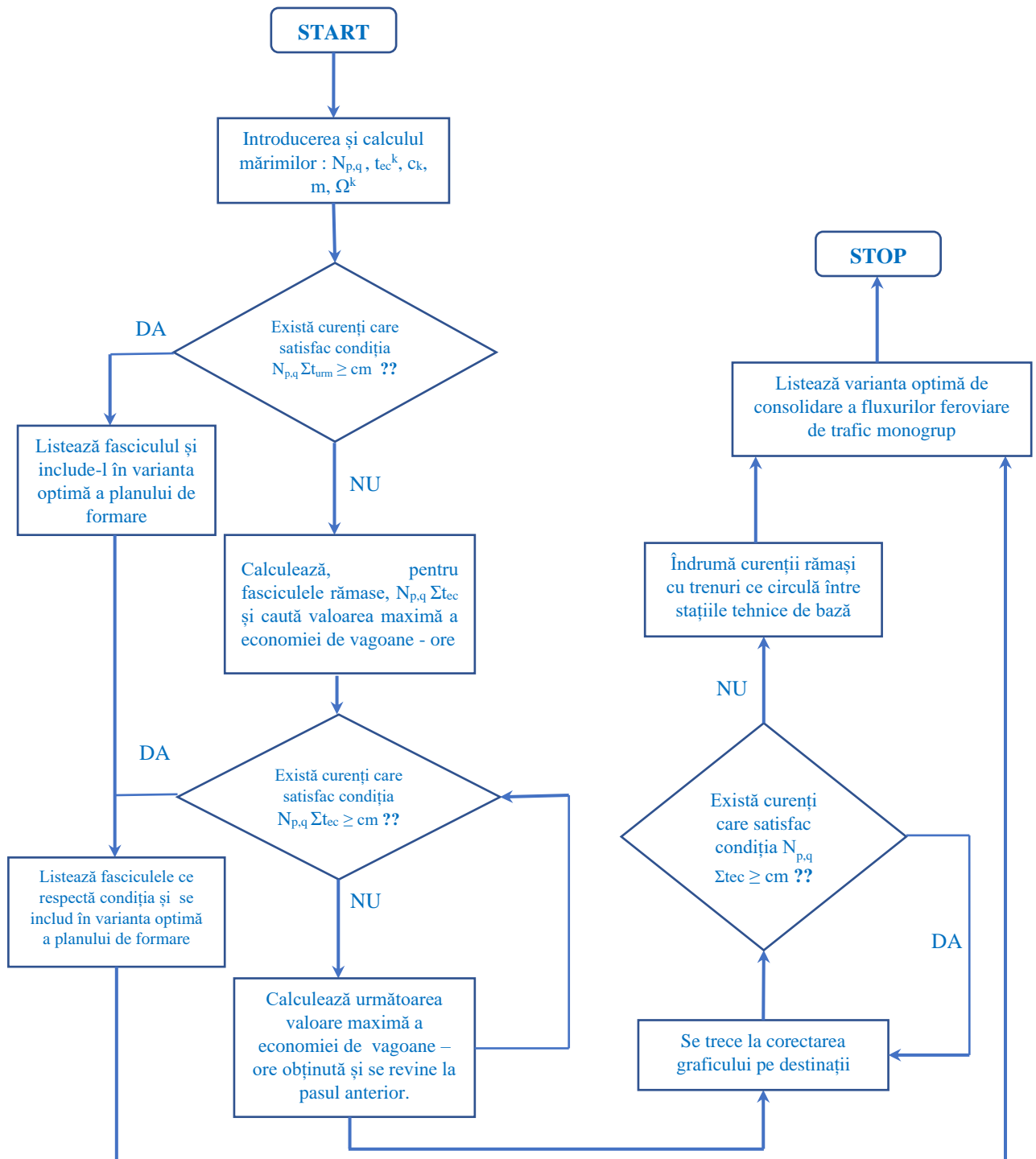


Figura 3.10. Schema logică a algoritmului de constituire a entităților feroviare de trafic monogrup prin folosirea metodei comparațiilor analitice conjugate

$$N_{vg} \cdot \sum t_{ec} \geq c \cdot m > N_{vg} \cdot t_{ec}^{\max} \quad (3.18)$$

Prin curenți unificabili sunt definiți acei curenți de vagoane pentru care economia care se obține prin tranzitarea lor fără prelucrare prin mai multe stații tehnice este cel puțin egală (sau chiar mai mare) comparativ cu vagoanele – ore de acumulare în timp ce pentru fiecare curent în parte este întotdeauna mai mică. Matematic, această condiție se scrie astfel (Stere și Olteanu, 2020):

$$\sum (N_{vg} \cdot \sum t_{ec}) \geq c \cdot m > N_{vg}^{\max} \cdot \sum t_{ec} \quad (3.19)$$

Curenții de completare consitutie acei curenți a căror sumă a economiei de vagoane – ore rezultată în urma tranzitării prin toate stațiile tehnice de pe itinerariu este mai mică în comparație cu numărul de vagoane – ore la acumulare. Această categorie de curenți nu trebuie divizați pe destinații deoarece separarea lor nu are justificare economică. Această inegalitate se exprimă astfel (Stere și Olteanu, 2020):

$$\sum (N_{vg} \cdot \sum t_{ec}) < c \cdot m > N_{vg}^{\max} \cdot \sum t_{ec} \quad (3.20)$$

Schema logică a acestuia este ilustrată în figura 3.11. Metoda euristică pentru stabilirea variantei optime de constituire a entităților feroviare de trafic prezintă avantajul identificării rapide a acesteia în strictă concordanță cu posibilitățile de prelucrare ale stațiilor tehnice sau de triaj ale rețelei feroviare. Pentru cazul magistralelor feroviare ce prezintă variații semnificative în timp ale volumelor transportate, această metodă permite o corectare facilă, stabilind cu precizie acei curenți de vagoane a căror variații necesită schimbarea variantei optime de constituire a entităților feroviare de trafic.

3.5.2. Modele matematice pentru constituirea entităților de trafic multigrup

Prin noțiunea de *tren de marfă grupat* se înțelege acea categorie de trenuri compuse dintr-un număr de grupe de vagoane care circulă până la anumite stații de destinație. Astfel, dacă trenul are în compunerea sa o singură grupă, acesta va fi *tren monogrup*. Dacă trenul are în compunerea sa două sau mai multe grupe de vagoane (având origini și destinații diferite), atunci acesta poartă denumirea de *trenuri multigrup* (Xiao și Lin, 2016). Formarea trenurilor multigrup presupune „adunarea” mai multor vagoane în grupe de vagoane și deservirea a două sau mai multor destinații.

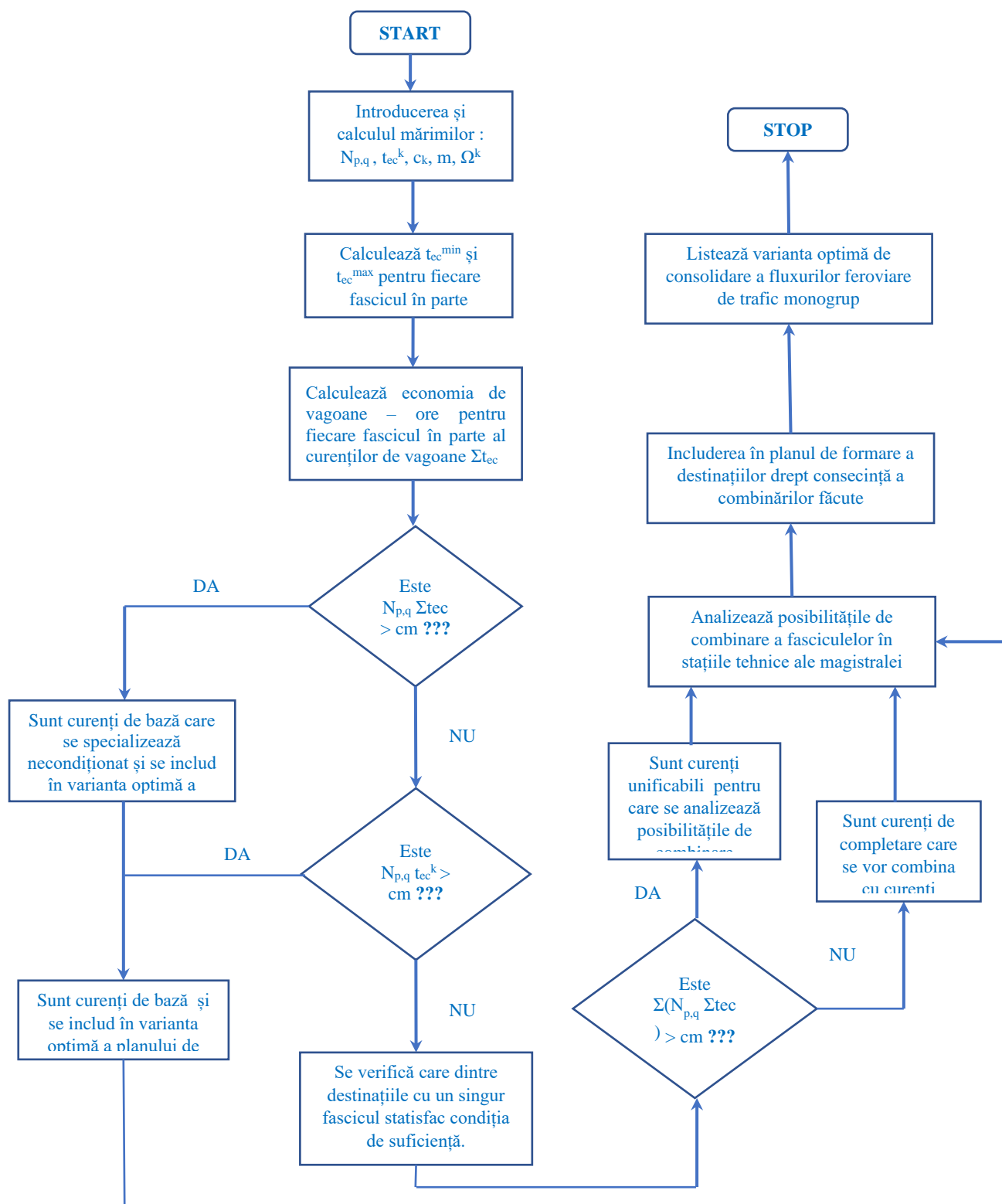


Figura 3.11. Schema logică a algoritmului de constituire a entităților feroviare de trafic monogrup prin folosirea metodei euristice

Principalele avantaje ale formării unor astfel de trenuri îl constituie reducerea staționării vagoanelor la acumulare și permite concentrarea activității de triere pentru un număr

mai mic de stații de triaj (Ivić și Kosijer, 2012). De asemenea, se realizează trenuri cu o capacitate de transport utilizată la maxim pe secțiuni comune lungi, fără ca toate vagoanele să aibă aceeași destinație (Troche, 2009). Un algoritm care să permită constituirea entităților feroviare de trafic pentru destinații multiple trebuie să faciliteze determinarea consumurilor de vagoane – ore pentru fiecare variantă de consolidare a trenurilor monogrup. Ulterior, trebuie alese variantele care urmează să fie calculate în baza legăturii existente dintre numărul de vagoane corespunzător fiecărei destinații în parte dar și calculul consumului de vagoane – ore al variantelor alese. Apoi se vor alege primele trei variante cu cele mai mici consumuri și a posibilității de aplicare în practică a acestor soluții. Pornind de la aceste observații, schema logică a acestui algoritm este ilustrată în figura 3.12.

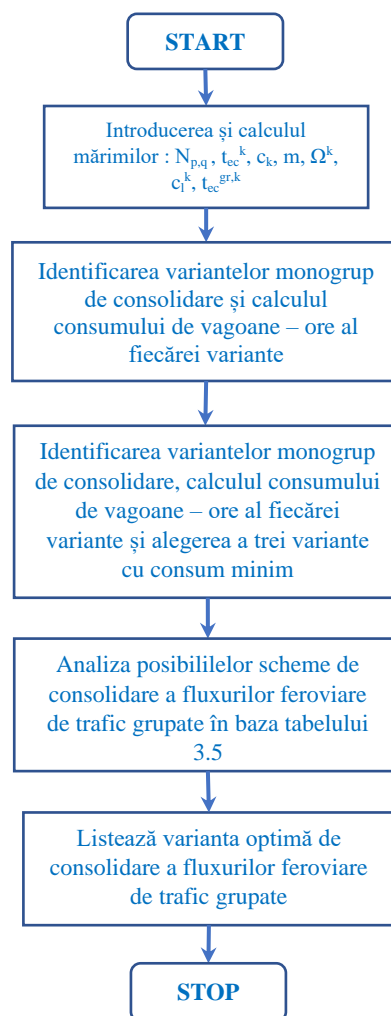


Figura 3.12. Schema logică a algoritmului pentru constituirea entităților de trafic grupate (pentru destinații multiple)

4. STUDIU DE CAZ

4.1. Fluxuri interregionale pe magistralele feroviare

Prima etapă în alegerea variantei ideale de constituire a entităților feroviare de trafic o constituie stabilirea curenților de vagoane. Mai precis, trebuie cunoscute acele direcții pe baza cărora se realizează formarea trenurilor precum și stațiile tehnice de bază pentru fiecare direcție în parte. O condiție importantă o constituie faptul că limitele direcțiilor trebuie să coincidă cu punctele de modificare bruscă a curenților de vagoane. La determinarea curenților de vagoane se va considera ipoteza simplificatoare conform căreia curenții de vagoane apar și se sting în câteva stații tehnice de bază. În continuare se consideră următoarea schemă a rețelei feroviare care va fi utilizată în exemplificarea modului de constituire a entităților feroviare de trafic (figura 4.1). Cu litere mici (a,b,c) au fost notate stațiile de frontieră între cele 4 magistrale feroviare considerate (Lehliu – Gară, Videle și Orșova în cazul de față).

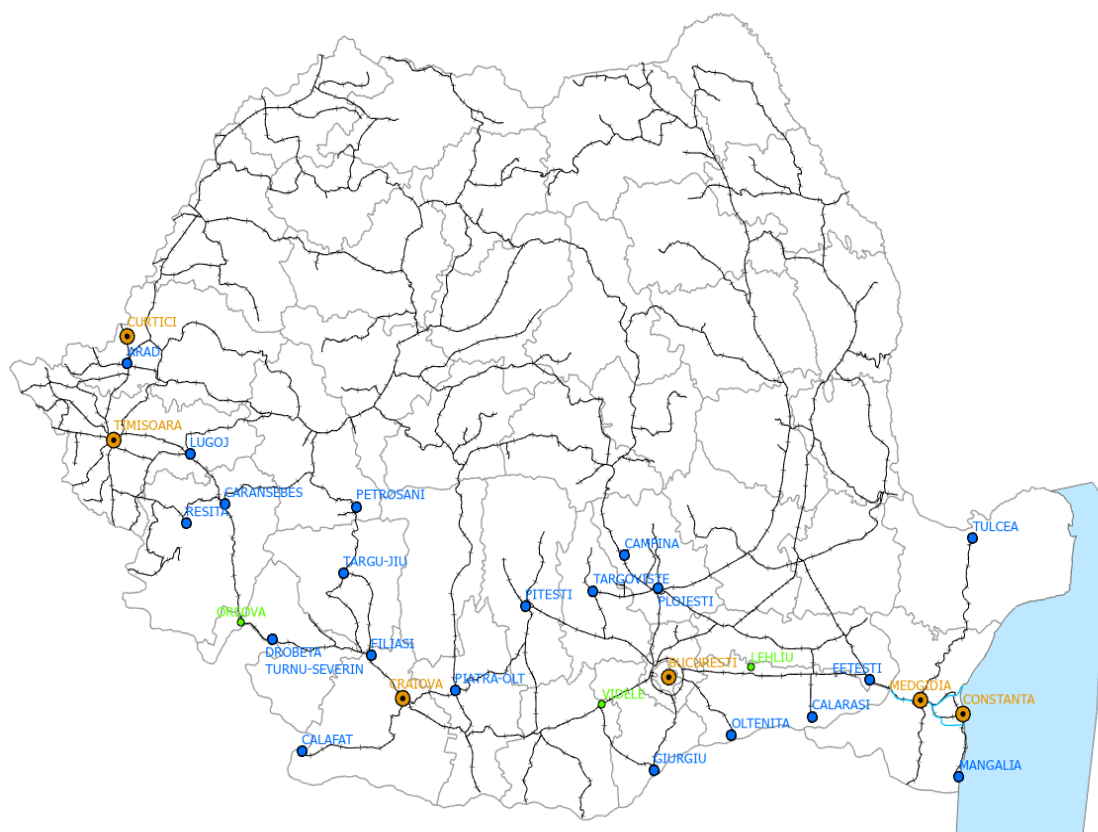


Figura 4.1. Rețeaua feroviară analizată pentru obținerea variantei optime de constituire a entităților feroviare de trafic

O altă ipoteză luată în calcul este aceea că între stațiile tehnice din ansamblul rețelei feroviare considerate există puncte de secționare în care se efectuează operații de încărcare sau descărcare a mărfurilor din vagoane. Schimbul de vagoane între regionalele de cale ferată considerate (R₁ – Regionala București, R₂ – Regionala Constanța, R₃ – Regionala Craiova și R₄ – Regionala Timișoara) este prezentat în continuare sub formă tabelară (tabelul 4.1).

Tabelul 4.1. Schimbul de vagoane dintre cele patru magistrale feroviare

De la \ La	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	Total
R ₁	374	228	178	167	947
R ₂	248	251	195	177	871
R ₃	305	250	366	359	1271
R ₄	416	338	402	480	1636
Total	1343	1067	1141	1174	4725

Toate vagoanele expediate de pe o regională feroviară sunt raportate la cea mai apropiată stație tehnică (care se află în zona de influență a regionalei de cale ferată) în sensul de mers al garniturilor de tren. Tabelele 4.2 și 4.3 sunt întocmite pentru ambele fire de circulație ale magistralei. Mărimile care caracterizează procentul din schimbul total de vagoane dintre regionale sunt valori în general constante pentru o relație origine – destinație. Valorile sunt determinate în baza curenților de vagoane realizați în conformitate cu modul de calcul anterior prezentat.

Tabelul 4.2. Relațiile corespunzătoare firului par de circulație al magistralei

Nr crt	Nume relație	Regionala de expediere	Regionala de destinație	Mărime curent	Mărime curent între regionale	Pondere [%]
1	Constanța - Medgidia	R ₂	R ₂	66	251	26,29
2	Constanța – București	R ₂	R ₁	147	248	59,27
3	Constanța – Craiova	R ₂	R ₃	99	195	50,77
4	Constanța – Timișoara	R ₂	R ₄	58	177	32,77
5	Constanța – Curtici	R ₂	R ₄	54	177	30,51
6	Medgidia- București	R ₂	R ₁	61	248	24,60
7	Medgidia- Craiova	R ₂	R ₃	78	195	40,00
8	Medgidia- Timișoara	R ₂	R ₄	29	177	16,38
9	Medgidia- Curtici	R ₂	R ₄	30	177	16,95
10	București - Craiova	R ₁	R ₃	177	178	99,44
11	București – Timișoara	R ₁	R ₄	75	167	44,91

Nr crt	Nume relație	Regionala de expediere	Regionala de destinație	Mărime curent	Mărime curent între regionale	Pondere [%]
12	București - Curtici	R ₁	R ₄	74	167	44,31
13	Craiova – Timișoara	R ₃	R ₃	83	366	22,68
14	Craiova – Curtici	R ₃	R ₄	156	359	43,45
15	Timișoara - Curtici	R ₄	R ₄	200	359	55,71
				132	480	27,50

Tabelul 4.3. Relațiile corespunzătoare firului impar de circulație al magistralei

Nr crt	Nume relație	Regionala de expediere	Regionala de destinație	Mărime curent	Mărime curent între regionale	Pondere [%]
1	Curtici – Timșoara	R ₄	R ₄	28	480	5,83
2	Curtici – Craiova	R ₄	R ₄	11	480	2,29
		R ₄	R ₃	48	402	11,94
3	Curtici – București	R ₄	R ₁	64	416	15,38
		R ₃	R ₁	31	305	10,16
4	Curtici – Medgidia	R ₄	R ₂	16	338	4,73
5	Curtici – Constanța	R ₄	R ₂	38	338	11,24
6	Timișoara – Craiova	R ₄	R ₄	126	480	26,25
		R ₄	R ₃	172	402	42,79
7	Timișoara – București	R ₄	R ₁	238	416	57,21
		R ₄	R ₃	72	402	17,91
8	Timișoara – Medgidia	R ₄	R ₂	65	338	19,23
9	Timișoara – Constanța	R ₄	R ₂	175	338	51,78
10	Craiova - București	R ₃	R ₃	145	366	39,62
		R ₃	R ₁	199	305	65,25
11	Craiova - Medgidia	R ₃	R ₂	62	250	24,80
12	Craiova – Constanța	R ₃	R ₂	152	250	60,80
13	București – Medgidia	R ₃	R ₂	11	250	4,40
		R ₁	R ₂	77	228	33,77
14	București – Constanța	R ₃	R ₂	25	250	10,00
		R ₁	R ₂	145	228	63,60
15	Medgidia - Constanța	R ₂	R ₂	61	251	24,30

Tabelul 4.4. Curenții de vagoane între cele șase stații tehnice de bază de pe magistrală

De la \ La	Constanța (1)	Medgidia (2)	București (3)	Craiova (4)	Timișoara (5)	Curtici (6)
Constanța (1)	-	66	147	99	58	54
Medgidia (2)	61	-	61	78	29	30
București (3)	170	88	-	177	75	74
Craiova (4)	152	62	344	-	239	200
Timișoara (5)	65	175	310	298	-	132
Curtici (6)	38	16	95	59	28	-

Prin aplicarea relației de calcul a conșmului de vagoane – ore acumulare a unei garnituri, vom obține :

$$\Omega_{ac,1} = 0,5 \cdot 22 \cdot \left(1 - \frac{1}{5 \cdot 1,2}\right) \cdot 60 = 550 \text{ vag.} - \text{ore acumulare}$$

$$\Omega_{ac,2} = 0,5 \cdot 20 \cdot \left(1 - \frac{1}{5 \cdot 1,2}\right) \cdot 60 = 500 \text{ vag.} - \text{ore acumulare}$$

$$\Omega_{ac,3} = 0,5 \cdot 24 \cdot \left(1 - \frac{1}{5 \cdot 1,2}\right) \cdot 60 = 600 \text{ vag.} - \text{ore acumulare}$$

$$\Omega_{ac,4} = 0,5 \cdot 21 \cdot \left(1 - \frac{1}{5 \cdot 1,2}\right) \cdot 60 = 525 \text{ vag.} - \text{ore acumulare}$$

$$\Omega_{ac,5} = \Omega_{ac,6} = 0,5 \cdot 20 \cdot \left(1 - \frac{1}{4 \cdot 1,2}\right) \cdot 60 = 500 \text{ vag.} - \text{ore acumulare}$$

Se va determina și economia de timp rezultată din tranzitarea curentului de vagoane fără prelucrare în stațiile tehnice (t_{ec}^k):

- pentru stația (2) : $t_{prel}^{II} = 12,3$ [ore], $t_{acum}^{II} = 11$ [ore], $t_{tranz}^{II} = 0,3$ [ore] și $r_1^{II} = 2 \Rightarrow$ economia de timp va fi $t_{ec}^{II} = 12,3 - 11 - 0,3 + 2 = 3$ [ore]
- pentru stația (3) : $t_{prel}^{III} = 13$ [ore], $t_{acum}^{III} = 11,7$ [ore], $t_{tranz}^{III} = 0,3$ [ore] și $r_2^{III} = 3 \Rightarrow$ economia de timp va fi $t_{ec}^{III} = 13 - 11,7 - 0,3 + 3 = 4$ [ore]
- pentru stația (4) : $t_{prel}^{IV} = 11,4$ [ore], $t_{acum}^{IV} = 10$ [ore], $t_{tranz}^{IV} = 0,4$ [ore] și $r_3^{IV} = 2 \Rightarrow$ economia de timp va fi $t_{ec}^{IV} = 11,4 - 10 - 0,4 + 2 = 3$ [ore]
- pentru stația (5) : $t_{prel}^V = 12,5$ [ore], $t_{acum}^V = 10$ [ore], $t_{tranz}^V = 1$ [ore] și $r_1^V = 2 \Rightarrow$ economia de timp va fi $t_{ec}^V = 12,5 - 10 - 1 + 2 = 3,5$ [ore]

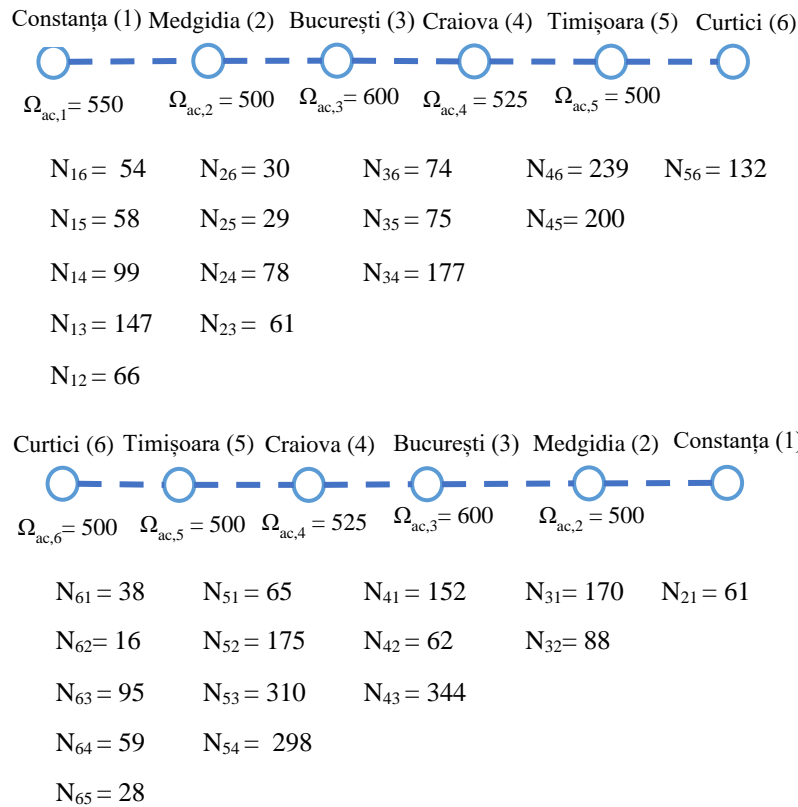


Figura 4.2. Diagramele curentilor de vagoane de pe magistrala de analiză pe firul par și firul impar de circulație

Pornind de la diagramele în trepte ale curentilor de vagoane pentru ambele fire de circulație ale magistralei de analiză (figura 4.2), se va trece la următoarea etapă și anume aplicarea algoritmilor care au la bază metodele comparațiilor analitice conjugate, metoda euristică și metoda calculului absolut. Aplicarea metodelor comparațiilor analitice conjugate și a calculului analitic direct au stat la baza variantelor optime de constituire a entităților feroviare de trafic pentru o singură destinație din figurile 4.3 și 4.4.

Varianta optimă de consolidare a fluxurilor feroviare de trafic

Consumul de vagoane – ore al variantei

Constanța (1) Medgidia (2) București (3) Craiova (4) Timișoara (5) Curtici (6)



$$\Omega_{ac,1} = 550 \quad \Omega_{ac,2} = 500 \quad \Omega_{ac,3} = 600 \quad \Omega_{ac,4} = 525 \quad \Omega_{ac,5} = 500$$

$$N_{14} = 99$$

$$N_{15} + N_{25} + N_{16} + N_{26} = 249$$

$$N_{46} = 239$$

$$\begin{array}{ccccccc} N_{12} + N_{13} + N_{15} & \rightarrow & N_{13} + N_{23} & \rightarrow & N_{24} + N_{34} + N_{35} & \rightarrow & N_{35} + N_{36} + \\ + N_{16} = 325 & & + N_{24} = 286 & & + N_{36} = 404 & & N_{35} = 349 \end{array}$$

Constanța (1) Medgidia (2) București (3) Craiova (4) Timișoara (5) Curtici (6)



$$\Omega_{ac,1} = 550 \quad \Omega_{ac,2} = 500 \quad \Omega_{ac,3} = 600 \quad \Omega_{ac,4} = 525 \quad \Omega_{ac,5} = 500$$

$$N_{14} = 99$$

$$N_{15} + N_{25} + N_{16} + N_{26} = 249$$

$$N_{46} = 239$$

$$\begin{array}{ccccccc} N_{12} + N_{13} + N_{15} & \rightarrow & N_{13} + N_{23} & \rightarrow & N_{24} + N_{34} + N_{35} & \rightarrow & N_{35} + N_{36} + \\ + N_{16} = 325 & & + N_{24} = 286 & & + N_{36} = 404 & & N_{45} = 349 \end{array}$$

Constanța (1) Medgidia (2) București (3) Craiova (4) Timișoara (5) Curtici (6)



$$\Omega_{ac,1} = 550 \quad \Omega_{ac,2} = 500 \quad \Omega_{ac,3} = 600 \quad \Omega_{ac,4} = 525 \quad \Omega_{ac,5} = 500$$

$$N_{24} = 78$$

$$N_{46} = 239$$

$$\begin{array}{ccccccc} N_{12} + N_{13} + N_{14} & \rightarrow & N_{13} + N_{14} + & \rightarrow & N_{15} + N_{16} + & \rightarrow & N_{15} + N_{16} + \\ + N_{15} + N_{16} & & + N_{15} + N_{16} + & & N_{25} + N_{26} + & & N_{25} + N_{35} + \\ & & N_{23} + N_{25} & & N_{34} + N_{35} & & N_{36} + N_{45} \\ & & + N_{26} & & + N_{36} & & + N_{26} \end{array}$$

Prin metoda comparațiilor analitice conjugate :

- Număr vagoane prelucrate : 725
- Vagoane – ore acumulare : 2125
- Vagoane – ore prelucrare : 2308
- Total vagoane – ore acumulare și prelucrare : 4433 vagoane – ore

Prin metoda euristică :

- Număr vagoane prelucrate : 725
- Vagoane – ore acumulare : 2125
- Vagoane – ore prelucrare : 2308
- Total vagoane – ore acumulare și prelucrare : 4433 vagoane – ore

Prin metoda calculului absolut :

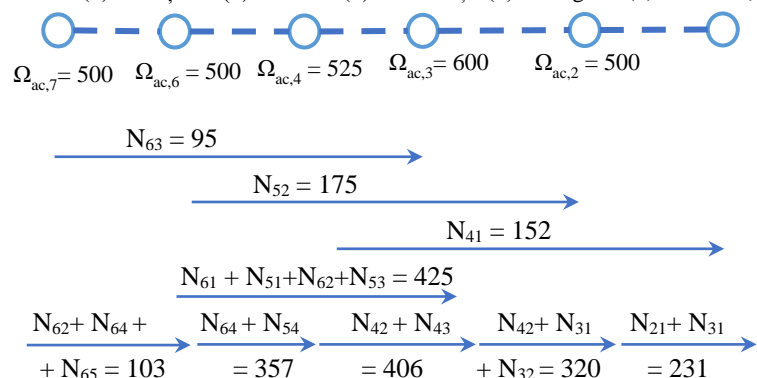
- Total vagoane – ore acumulare și prelucrare : $\Omega_2 + \Omega_4 + (N_{2,5} + N_{2,6}) t_{ec}^4 + (N_{3,5} + N_{3,6}) t_{ec}^4 + (N_{1,3} + N_{1,4} + N_{1,5} + N_{1,6}) t_{ec}^5 = 2902$ vagoane – ore

Figura 4.3. Varianta optimă de constituire a entităților feroviare de trafic monogrup pentru firul par al magistralei analizate

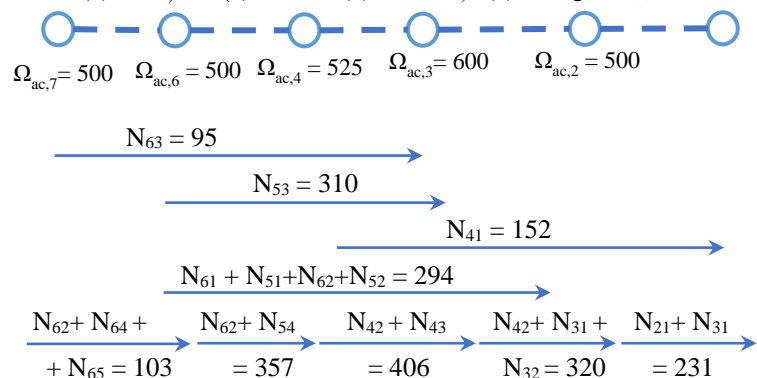
Varianta optimă de consolidare a fluxurilor feroviare de trafic

Consumul de vagoane – ore al variantei

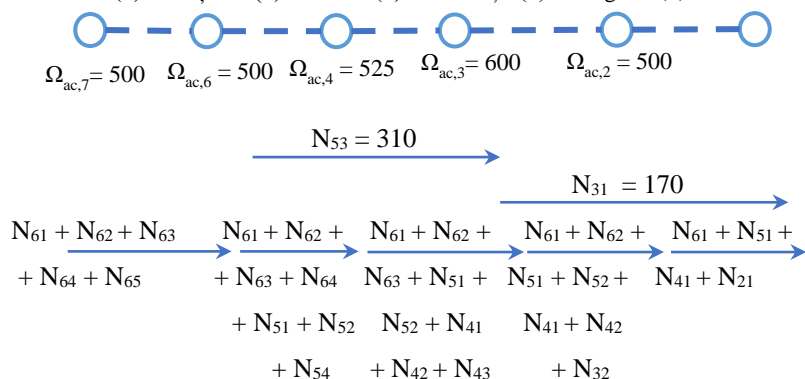
Curtici (6) Timișoara (5) Craiova (4) București (3) Medgidia (2) Constanța (1)



Curtici (6) Timișoara (5) Craiova (4) București (3) Medgidia (2) Constanța (1)



Curtici (6) Timișoara (5) Craiova (4) București (3) Medgidia (2) Constanța (1)



Prin metoda comparațiilor analitice conjugate :

- Număr vagoane prelucrate : 736
- Vagoane – ore acumulare : 2125
- Vagoane – ore prelucrare : 2273
- Total vagoane – ore acumulare și prelucrare : 4398 vagoane – ore

Prin metoda euristică :

- Număr vagoane prelucrate : 580
- Vagoane – ore acumulare : 2125
- Vagoane – ore prelucrare : 1829
- Total vagoane – ore acumulare și prelucrare : 3954 vagoane – ore

Prin metoda calculului absolut :

- Total vagoane – ore acumulare și prelucrare : $\Omega_5 + \Omega_3 + (N_{5,1} + N_{5,2}) t_{ec}^3 + (N_{4,1} + N_{4,3}) t_{ec}^3 + (N_{6,4} + N_{6,3} + N_{6,2} + N_{6,1}) t_{ec}^5 = 4797$ vagoane – ore

Figura 4.4. Varianta optimă de constituire a entităților feroviare de trafic monogrup pentru firul impar al magistralei analizate

4.2. Fluxuri pentru distribuția urbană (specifice logisticii colaborative)

Transporturile de mărfuri în marile aglomerații urbane reprezintă una din marile provocări datorită importanței sale în funcționarea economică a localității precum și a impactului său asupra nivelului calității vieții locuitorilor săi. Fluxurile de mărfuri legate de logistica urbană (în funcție de mărime, frecvență și structură) sunt considerate ca făcând parte din distribuția mare (Crainic et al., 2013). Prin urmare, este necesară identificarea unei metodologii care să permită alegerea soluțiilor avantajoase pentru eficientizarea procesului de consolidare a fluxurilor de mărfuri necesare distribuției urbane. În vederea obținerii unei soluții logistice fezabile și de durată, se va alege o schemă logistică colaborativă care conține un număr de patru centre de distribuție și care este ilustrată în figura 4.5. Ipotezele de lucru ale studiului de caz sunt următoarele (Raicu et al., 2020):

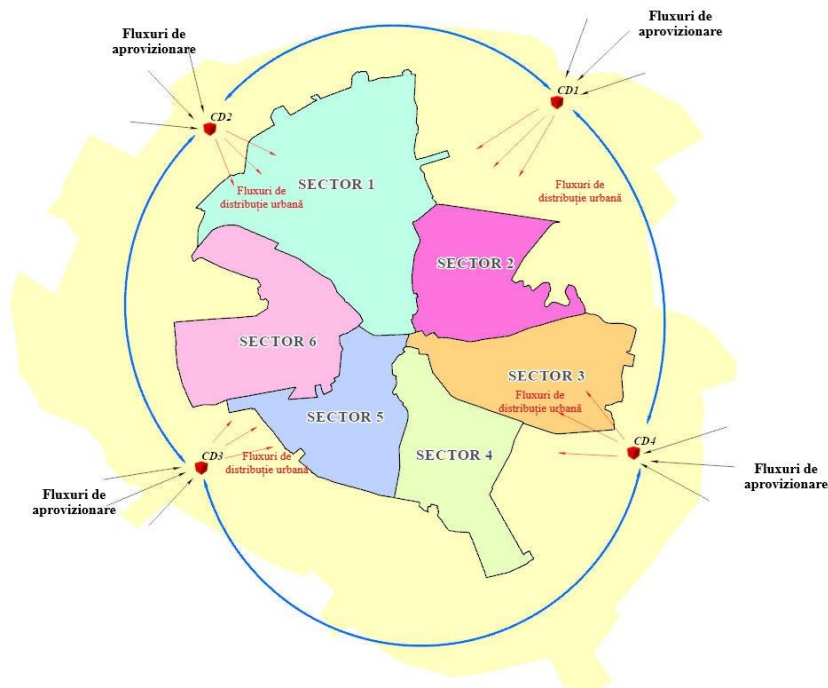


Figura 4.5. Amplasarea celor patru centre de distribuție urbană în schema de colaborare pe orizontală considerată

- fiecare furnizor aprovizionează un singur centru de distribuție urbană (care este cel mai puțin afectat de condițiile de congestie a traficului) ;
- toate cele patru centre de distribuție urbană considerate sunt amplasate în așa fel să se poată asigura facil transferul mărfurilor între ele ;

- producătorii nu dispun de capacitățile necesare de asociere pentru a putea realiza platforma de consolidare ;
- livrările (în acest caz, ele sunt reprezentate de mărfuri paletizate) care sosesc în unul din centrele de distribuție urbană considerate sunt ulterior transmise celorlalte centre ;
- între fiecare centru de distribuție urbană se pot realiza schimburi reciproce de mărfuri de diferite categorii astfel încât să poată răspunde solicitărilor comercianților pentru anumite sortimente de produse ;
- fiecare din cele patru centre de distribuție urbană dispune de un depozit destinat servirii tuturor clienților arondați precum și de o platformă logistică în care sunt primite, consolidate și expediate sortimentele de mărfuri către celelalte centre de distribuție.

Se vor analiza următoarele trei scenarii de distribuție urbană (acestea sunt exemplificate în figura 4.6) :

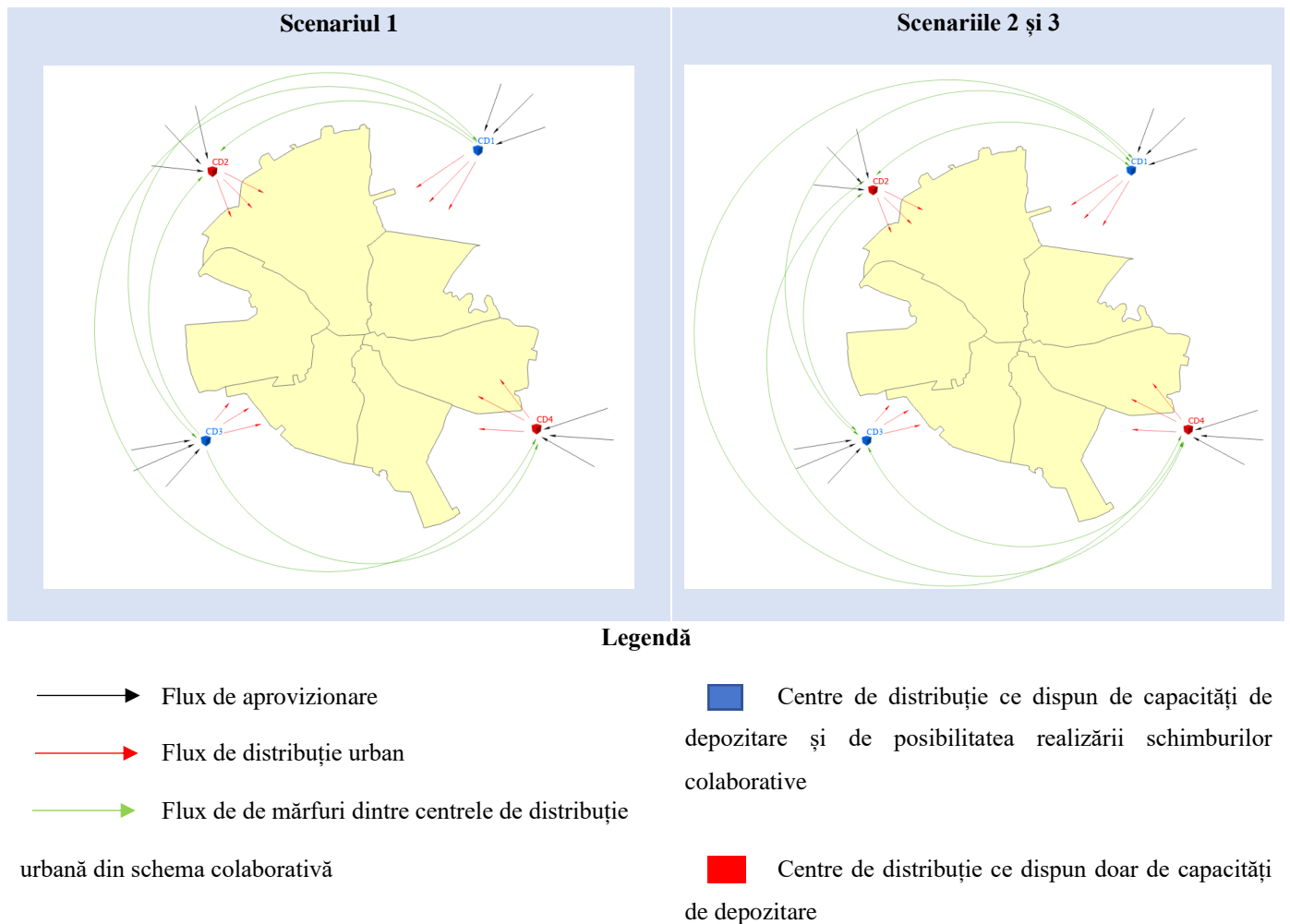


Figura 4.6. Schemele de consolidare a fluxurilor de mărfuri corespunzătoare celor trei scenarii considerate

- ✚ **Scenariul 1** : Din cele patru centre de distribuție urbană considerate, doar trei dintre ele au accesibilitate în conformitate cu cerințele furnizorilor.
- ✚ **Scenariul 2** : Similar cu scenariul unu, principala deosebire constituind – o faptul că segmentul din rețeaua rutieră pe care se regăsesc centrele de distribuție urbană a fost închis cu efecte în sensul reducerii distanțelor între unele centre de distribuție urbană.
- ✚ **Scenariul 3** : Similar cu scenariul 2 cu deosebirea că în acest caz se analizează posibilitatea realizării consolidării fluxurilor urbane de trafic grupate.

Se va considera că se folosește un singur tip de vehicul în realizarea distribuției dintre platformele logistice și care are o capacitate de încărcare $m = 20$ de palete, mărimea parametrului ce caracterizează acumularea paletelor în centrele de distribuție urbană $c =$

$$0,5 \cdot 24 \cdot \left(1 - \frac{1}{5 \cdot 1,2}\right) = 10 \text{ [ore]}.$$

Pentru identificarea soluției optime de consolidare a fluxurilor de trafic urbane, se vor analiza variantele posibile de consolidare aplicând metodele calculului absolut și a comparațiilor analitice conjugate, respectiv algoritmul de consolidare a fluxurilor de trafic grupate. Dacă se ia în considerare **Scenariul 1**, se presupune că doar două din cele patru centre de distribuție urbană au accesibilitate în conformitate cu cerințele furnizorilor. Fluxurile dintre cele două centre de distribuție ce dispun de platformă logistică și restul centrelor care nu dispun de o asemenea facilitate sunt reprezentate în figura 4.7.

	CD 1	CD 2	CD 3	CD 4
	■	■	■	■
	$Q_{12} = 140$ → $Q_{13} = 200$ →→ $Q_{14} = 80$ →→→ ←←← $Q_{32} = 200$ ← $Q_{31} = 140$ ←→→→ $Q_{34} = 260$			
Total sosiri în spațiile de depozitare	520	340	900	440
Sosiri din alte centre de distribuție urbană	240	340	200	440
Expedieri către alte centre de distribuție urbană	520	0	700	0

Figura 4.7. Fluxul de mărfuri paletizate de la furnizori către cele trei centre de distribuție urbană ce dispun de platforme logistice conform scenariului 1

Scenariul 2 presupune faptul că toate cele patru centre de distribuție urbană considerate pot fi folosite de către furnizori, generând astfel fluxul de mărfuri paletizate din figura 4.8. În acest scenariu, se analizează nouă posibile variante de consolidare a fluxurilor dată de metoda calculului absolut și se identificată acea care garantează minimumul precum și cea optimă dată de metodele comparațiilor analitice conjugate și a calculului analitic direct.

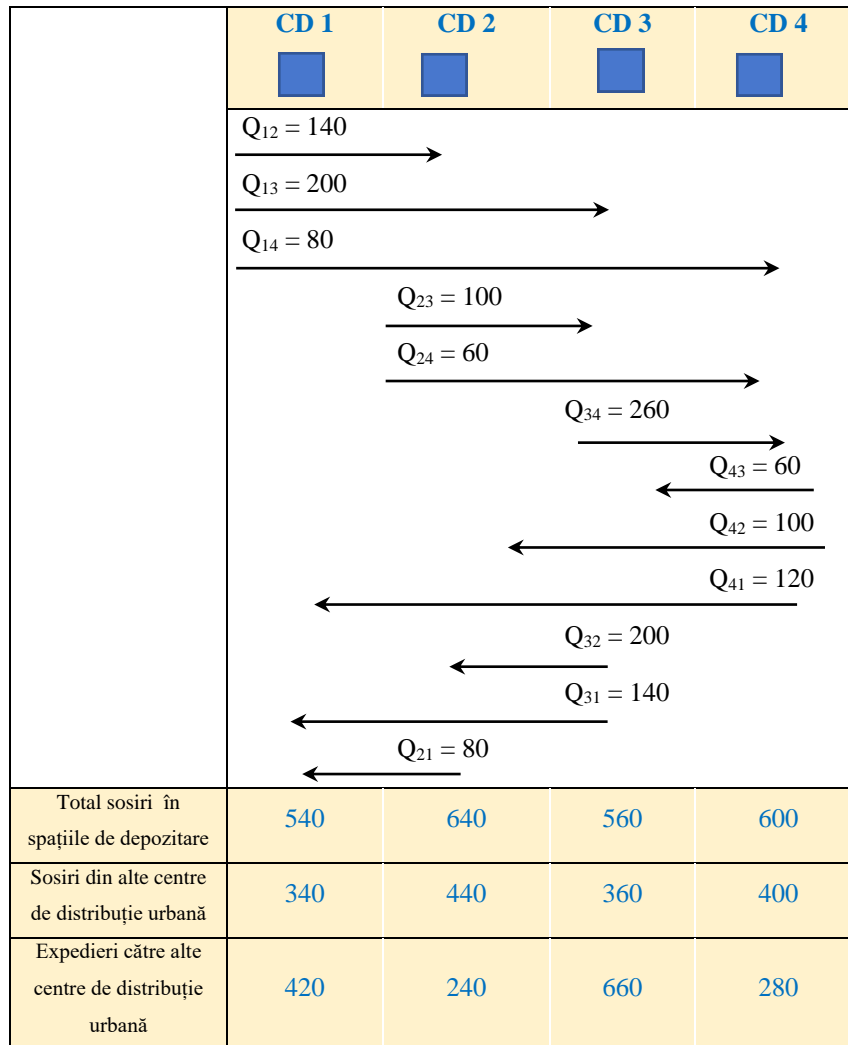


Figura 4.8. Fluxul de mărfuri paletizate de la furnizori către cele șase centre de distribuție urbană considerate în cazul scenariului 2

Aplicând metodele comparațiilor analitice conjugate și a celei euristice de consolidare a fluxurilor de trafic, soluțiile identificate pentru cele două sensuri de circulație prin sunt ilustrate în figura 4.9.

METODA CALCULULUI ABSOLUT DE CONSOLIDARE A FLUXURILOR DE TRAFIC							
Sensul CD ₁ – CD ₄				Sensul CD ₄ – CD ₁			
Nr. var	Mod îndrumare a fluxurilor	Consum palete – ore acumulare și prelucrare	Valoare variantă [palete – ore]	Nr. var	Mod îndrumare a fluxurilor	Consum palete – ore acumulare și prelucrare	Valoare variantă [palete – ore]
1	Q ₁₃ , Q ₁₄ , Q ₂₄	2Ω ₁ + Ω ₂	600	1	Q ₄₂ , Q ₄₁ , Q ₃₁	2Ω ₄ + Ω ₃	600
2	Q ₁₂ + Q ₁₃ , Q ₁₄ , Q ₂₄	Ω ₁ + Ω ₂ + Q _{1,3} t _{ec} ²	700	2	Q ₄₃ + Q ₄₂ , Q ₄₁ , Q ₃₁	Ω ₄ + Ω ₃ + Q _{4,2} t _{ec} ³	600
3	Q ₁₃ + Q ₁₄ , Q ₂₄	Ω ₁ + Ω ₂ + Q _{1,4} t _{ec} ²	520	3	Q ₄₂ + Q ₄₁ , Q ₃₁	Ω ₄ + Ω ₃ + Q _{4,1} t _{ec} ³	640
4	Q ₁₂ + Q ₁₃ + Q ₁₄ , Q ₂₄	Ω ₂ + (Q _{1,3} + Q _{1,4}) t _{ec} ²	620	4	Q ₄₁ + Q ₄₂ + Q ₄₃ , Q ₃₁	Ω ₃ + (Q _{4,2} + Q _{4,1}) t _{ec} ³	640
5	Q ₁₃ , Q ₁₄ , Q ₂₃ + Q ₂₄	2Ω ₁ + Q _{2,4} t _{ec} ³	520	5	Q ₄₂ , Q ₄₁ , Q ₃₂ + Q ₃₁	2Ω ₄ + Q _{3,1} t _{ec} ²	610
6	Q ₁₂ + Q ₁₃ , Q ₁₄ , Q ₂₃ + Q ₂₄	Ω ₁ + Q _{1,3} t _{ec} ² + Q _{2,4} t _{ec} ³	640	6	Q ₁₂ + Q ₁₃ , Q ₁₄ , Q ₃₂ + Q ₃₁	Ω ₄ + Q _{4,2} t _{ec} ³ + Q _{3,1} t _{ec} ²	610
7	Q ₁₃ + Q ₁₄ , Q ₂₃ + Q ₂₄	Ω ₁ + Q _{1,4} t _{ec} ³ + Q _{2,4} t _{ec} ³	480	7	Q ₄₂ + Q ₄₁ , Q ₃₂ + Q ₃₁	Ω ₄ + Q _{4,1} t _{ec} ² + Q _{3,1} t _{ec} ²	590
8	Q ₁₂ + Q ₁₃ + Q ₁₄ , Q ₂₃ + Q ₂₄	(Q _{1,3} + Q _{1,4}) t _{ec} ² + (Q _{1,4} + Q _{2,4}) t _{ec} ³	700	8	Q ₄₁ + Q ₄₂ + Q ₄₃ , Q ₃₂ + Q ₃₁	(Q _{4,2} + Q _{4,1}) t _{ec} ³ + (Q _{4,1} + Q _{4,2}) t _{ec} ²	770
9	Q ₁₂ + Q ₁₄ , Q ₁₃ , Q ₂₄	Ω ₁ + Ω ₂ + Q _{1,4} t _{ec} ³	560	9	Q ₄₃ + Q ₄₁ , Q ₄₂ , Q ₃₁	Ω ₄ + Ω ₃ + Q _{4,1} t _{ec} ²	580
CD1	CD2	CD3	CD4	CD4	CD3	CD2	CD1

METODA CALCULULUI COMPARAȚIILOR ANALITICE DE CONSOLIDARE A FLUXURILOR DE TRAFIC							
Sensul CD ₁ – CD ₄				Sensul CD ₄ – CD ₁			
CD1	CD2	CD3	CD4	CD4	CD3	CD2	CD1
Q ₁₄				Q ₄₁			
Q ₁₃					Q ₃₁		
Q ₁₂	Q ₂₃ + Q ₂₄	Q ₂₄ + Q ₃₄		Q ₄₃ + Q ₄₂	Q ₄₂ + Q ₃₂	Q ₂₁	

METODA EURISTICĂ PENTRU CONSOLIDAREA FLUXURILOR DE TRAFIC							
Sensul CD ₁ – CD ₄				Sensul CD ₄ – CD ₁			
CD1	CD2	CD3	CD4	CD4	CD3	CD2	CD1
Q ₁₄				Q ₄₁			
Q ₁₃					Q ₃₁		
Q ₁₂	Q ₂₃ + Q ₂₄	Q ₂₄ + Q ₃₄		Q ₄₃ + Q ₄₂	Q ₄₂ + Q ₃₂	Q ₂₁	

Figura 4.9. Soluțiile optime de constituire a entităților de trafic urban pentru cele două sensuri de circulație

În **scenariul 3** se va analiza posibilitatea constituirii entităților de trafic grupate în ansamblul schemei de colaborare orizontală considerată, fapt ce presupune analiza unui număr de 22 de posibile variante de constituire a entităților de trafic urban din perspectiva consumului de palete – ore acumulare și prelucrare. Analiza variantelor posibile de consolidare a fluxurilor urbane de trafic grupate a fost realizată în tabelul 4.5 pentru cele două sensuri.

Tabloul 4.5. Analiza variantelor de constituire a entităților de trafic urban grupate pentru sensul CD1 – CD4, respectiv CD4 – CD1

Nr.var	Schema variantei de consolidare pentru sensul CD1 – CD4	Condiția de aplicare a variantei de constituire a entităților de trafic	Schema variantei de consolidare pentru sensul CD4 – CD1	Condiția de aplicare a variantei de constituire a entităților de trafic	Consumul de palete – ore sensul CD1 – CD4	Consumul de palete – ore sensul CD4 – CD1
1	$Q_{14}, Q_{13}, Q_{12}, Q_{24} + Q_{23}, Q_{24} + Q_{34}$	$Q_{24} = Q_{23}$	$Q_{43}, Q_{42}, Q_{43}, Q_{31} + Q_{32}, Q_{31} + Q_{21}$	$Q_{31} = Q_{32}$	1100,625	1199,037
2	$Q_{14}, Q_{13} + Q_{12}, Q_{24} + Q_{23}, Q_{13} + Q_{23} - Q_{34}, Q_{24} + Q_{34}$	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{24} < Q_{14} + Q_{24} + Q_{34}$	$Q_{41}, Q_{42} + Q_{43}, Q_{31} + Q_{32}, Q_{42} + Q_{32} - Q_{21}, Q_{32} + Q_{21}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{32} + Q_{31} < Q_{41} + Q_{31} + Q_{21}$	1721,05	1449,090
3	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{12}, Q_{14} + Q_{24} + Q_{34}, Q_{13} + Q_{24} - Q_{34}$	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{24} > Q_{14} + Q_{24} + Q_{34}$	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{12}, Q_{14} + Q_{24} + Q_{34}, Q_{13} + Q_{24} - Q_{34}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{32} + Q_{31} > Q_{41} + Q_{31} + Q_{21}$	1609,692	1717,560
4	$Q_{14} + Q_{13}, Q_{12}, Q_{24} + Q_{34} - Q_{13}, Q_{13} + Q_{24} - Q_{34}$	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{24} > Q_{14} + Q_{24} + Q_{34}$ și $Q_{34} > Q_{13}$	$Q_{41} + Q_{42}, Q_{43}, Q_{31} + Q_{32} - Q_{42}, Q_{43} + Q_{31} - Q_{21}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{32} + Q_{31} > Q_{41} + Q_{31} + Q_{21}$ și $Q_{21} > Q_{42}$	1045,35	1225,098
5	$Q_{14} + Q_{13}, Q_{12}, Q_{24} + Q_{23}, Q_{14} + Q_{24} + Q_{34}, Q_{24} - Q_{14} - Q_{13}$	$Q_{23} > Q_{14} + Q_{34}$	$Q_{41} + Q_{42}, Q_{43}, Q_{31} + Q_{32}, Q_{41} + Q_{31} + Q_{21}, Q_{21} - Q_{41} - Q_{42}$	$Q_{31} > Q_{41} + Q_{21}$	1104,926	1249,411
6	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{12}, Q_{14} + Q_{24} + Q_{34}, Q_{24} - Q_{12} + Q_{23}$	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{12} < Q_{14} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{24}$	$Q_{43} + Q_{42} + Q_{43}, Q_{41} + Q_{31} + Q_{21}, Q_{31} - Q_{43} + Q_{32}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{43} < Q_{41} + Q_{42} + Q_{32} + Q_{31}$	1285,416	1247,184
7	$Q_{14}, Q_{13} + Q_{12}, Q_{24} + Q_{34}, Q_{24} + Q_{23} - Q_{12}$	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{12} < Q_{14} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{24}$	$Q_{41}, Q_{42} + Q_{43}, Q_{31} + Q_{21}, Q_{31} + Q_{32} - Q_{43}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{43} < Q_{41} + Q_{42} + Q_{32} + Q_{31}$	1258,45	1152,573
8	$Q_{14} + Q_{24}, Q_{13} + Q_{12} - Q_{24}, Q_{24}, Q_{24} + Q_{23} - Q_{12}, Q_{34}$	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{12} < Q_{14} + Q_{24} + Q_{34}$ și $Q_{12} > Q_{24}$	$Q_{41} + Q_{31}, Q_{42} + Q_{43} - Q_{31}, Q_{31}, Q_{31} + Q_{32} - Q_{43}, Q_{21}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{43} < Q_{41} + Q_{31} + Q_{21}$ și $Q_{42} > Q_{31}$	1007,783	1100,514
9	$Q_{12} + Q_{13} + Q_{14}, Q_{12} - Q_{23}, Q_{14} + Q_{34}, Q_{24}$	$Q_{12} > Q_{23}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{43}, Q_{43} - Q_{32}, Q_{41} + Q_{21}, Q_{31}$	$Q_{41} > Q_{32}$	1340	1242,214
10	$Q_{14}, Q_{13} + Q_{12}, Q_{24}, Q_{23} - Q_{12}, Q_{34}$	$Q_{12} < Q_{23}$	$Q_{41}, Q_{42} + Q_{43}, Q_{31}, Q_{32} - Q_{43}, Q_{21}$	$Q_{43} < Q_{32}$	1313,333	1152,5
11	$Q_{14} + Q_{13}, Q_{12}, Q_{24}, Q_{23}, Q_{24} - Q_{13}$	$Q_{13} < Q_{34}$	$Q_{41} + Q_{42}, Q_{43}, Q_{31}, Q_{32}, Q_{31} - Q_{42}$	$Q_{13} < Q_{34}$	1284,395	1136,8
12	$Q_{14} + Q_{24}, Q_{13} + Q_{12} - Q_{24}, Q_{13} + Q_{23}, Q_{23} - Q_{13} - Q_{12}, Q_{34}$	$Q_{24} < Q_{13} + Q_{12}$	$Q_{41} + Q_{31}, Q_{42} + Q_{43} - Q_{31}, Q_{42} + Q_{32}, Q_{32} - Q_{42} - Q_{43}, Q_{21}$	$Q_{31} < Q_{42} + Q_{43}$	1391,428	1292,307
13	$Q_{12} + Q_{13} + Q_{14}, Q_{23} - Q_{13} - Q_{12}, Q_{13} + Q_{23}, Q_{34}$	$Q_{24} > Q_{13} + Q_{12}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{43}, Q_{32} - Q_{42} - Q_{43}, Q_{42} + Q_{32}, Q_{21}$	$Q_{31} > Q_{42} + Q_{43}$	1567 *	1259,254 *
14	$Q_{14} + Q_{13}, Q_{12}, Q_{24} + Q_{23}, Q_{24} + Q_{34} - Q_{13}$	$Q_{14} + Q_{24} + Q_{34} > Q_{14} + Q_{13}$	$Q_{42} + Q_{43}, Q_{31} + Q_{32}, Q_{31} + Q_{21} - Q_{42}$	$Q_{41} + Q_{31} + Q_{21} > Q_{41} + Q_{42}$	1948,21 *	1219,256 *
15	$Q_{12} + Q_{13} + Q_{14}, Q_{24} + Q_{34} - Q_{12} - Q_{13}, Q_{13} + Q_{23} - Q_{34}$	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{24} = Q_{14} + Q_{24} + Q_{34} > Q_{14} + Q_{13} + Q_{12} + Q_{34}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{43}, Q_{31} + Q_{21} - Q_{43} - Q_{42}, Q_{42} + Q_{32} - Q_{21}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{32} + Q_{31} = Q_{41} + Q_{31} + Q_{21} > Q_{41} + Q_{42} + Q_{43} + Q_{21}$	Se obține o valoare negativă, prin urmare se exclude din calcule	Se obține o valoare negativă, prin urmare se exclude din calcule
16	$Q_{12} + Q_{13} + Q_{14}, Q_{24}, Q_{23} - Q_{12}, Q_{34} - Q_{23} - Q_{12}$	$Q_{13} + Q_{14} + Q_{23} + Q_{24} > Q_{14} + Q_{24} + Q_{34} = Q_{14} + Q_{13} + Q_{12} + Q_{24}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{43}, Q_{31}, Q_{32} - Q_{43}, Q_{21} - Q_{32} - Q_{41}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{32} + Q_{31} > Q_{41} + Q_{31} + Q_{21} = Q_{41} + Q_{42} + Q_{43} + Q_{31}$	714,852 *	1150,785 *
17	$Q_{14}, Q_{13} + Q_{12}, Q_{24} - Q_{23} - Q_{12}, Q_{34} - Q_{23} - Q_{12}$	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{12} < Q_{14} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{24}$	$Q_{41}, Q_{42} + Q_{43}, Q_{31} - Q_{32} - Q_{43}, Q_{21} - Q_{32} - Q_{43}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{43} < Q_{41} + Q_{42} + Q_{32} + Q_{31}$	1288,748 *	2642,187 *
18	$Q_{12} + Q_{13} + Q_{14}, Q_{24} - Q_{23} - Q_{12}, Q_{34} - Q_{23} - Q_{13}$	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{12} < Q_{14} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{24} < Q_{14} + Q_{24} + Q_{34}$	$Q_{41}, Q_{42} + Q_{43}, Q_{31} - Q_{32} - Q_{43}, Q_{21} - Q_{32} - Q_{43}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{43} < Q_{41} + Q_{42} + Q_{32} + Q_{31} < Q_{41} + Q_{31} + Q_{21}$	1304,892 *	1538,881 *
19	$Q_{14}, Q_{13} + Q_{12}, Q_{24} + Q_{34} - Q_{12} - Q_{13}, Q_{24} + Q_{34} - Q_{12} - Q_{13}$	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{12} < Q_{14} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{24} < Q_{14} + Q_{24} + Q_{34}$	$Q_{41}, Q_{42} + Q_{43}, Q_{31} + Q_{21} - Q_{43} - Q_{43}, Q_{31} + Q_{21} - Q_{43} - Q_{42}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{43} < Q_{41} + Q_{42} + Q_{32} + Q_{31} < Q_{41} + Q_{31} + Q_{21}$	1431,148 *	1300,627 *
20	$Q_{14} + Q_{24} + Q_{34}, Q_{12} + Q_{13} - Q_{24} - Q_{34}, Q_{24} + Q_{23} - Q_{12}$	$Q_{14} + Q_{24} + Q_{34} < Q_{14} + Q_{13} + Q_{12} < Q_{14} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{24}$ și $Q_{13} > Q_{34}$ și $Q_{12} > Q_{24}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{43}, Q_{43} + Q_{42} - Q_{31} - Q_{21}, Q_{31} + Q_{323} - Q_{43}$	$Q_{41} + Q_{31} + Q_{21} < Q_{41} + Q_{42} + Q_{43} < Q_{41} + Q_{42} + Q_{32} + Q_{31}$ și $Q_{42} > Q_{21}$ și $Q_{43} > Q_{31}$	1669,272	1568,021 *
21	$Q_{12} + Q_{13} + Q_{14}, Q_{24} + Q_{23} - Q_{13}, Q_{24} + Q_{34} - Q_{12} - Q_{13}$	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{24} > Q_{14} + Q_{24} + Q_{34} < Q_{14} + Q_{24} + Q_{34}$ și $Q_{24} > Q_{12}$	$Q_{43} + Q_{42} + Q_{41}, Q_{31} + Q_{32} - Q_{42}, Q_{31} + Q_{21} - Q_{43} - Q_{42}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{32} + Q_{31} > Q_{41} + Q_{31} + Q_{21} < Q_{41} + Q_{31} + Q_{21}$ și $Q_{31} > Q_{43}$	1194,410	1179,859
22	$Q_{12} + Q_{13} + Q_{14}, Q_{24} + Q_{23} - Q_{13}, Q_{24} + Q_{34} - Q_{12} - Q_{13}$	$Q_{14} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{24} > Q_{14} + Q_{24} + Q_{34} < Q_{14} + Q_{24} + Q_{34}$	$Q_{43} + Q_{42} + Q_{41}, Q_{31} + Q_{32} - Q_{42}, Q_{31} + Q_{21} - Q_{43} - Q_{42}$	$Q_{41} + Q_{42} + Q_{32} + Q_{31} > Q_{41} + Q_{31} + Q_{21} < Q_{41} + Q_{31} + Q_{21}$	1371,250	1328,937

Nr.var	Schema variantei de consolidare pentru sensul CD1 – CD4	Condiția de aplicare a variantei de constituire a entităților de trafic	Schema variantei de consolidare pentru sensul CD4 – CD1	Condiția de aplicare a variantei de constituire a entităților de trafic	Consumul de palete – ore sensul CD1 – CD4	Consumul de palete – ore sensul CD4 – CD1
* Condiția de aplicare a variantei de consolidare nu este îndeplinită, prin urmare nu se poate aplica și, în unele cazuri, nu se poate calcula consumul de palete – ore acumulare și prelucrare corespunzător						
Schema de constituire a entităților de trafic pentru sensul CD1 – CD4			Schema de constituire a entităților de trafic pentru sensul CD4 – CD1			
Var. nr. 8			Var. nr. 8			

5. CONCLUZII

5.1. Considerații finale

În urma elaborării tezei de doctorat intitulată „Rețele de transport cu consolidări de fluxuri” se trag următoarele concluzii :

- ✚ Problema de constituire a entităților feroviare de trafic este una complexă, fiind de natură combinatorială în care trebuie considerate multiple variante de organizare a curenților de vagoane dar și a posibilităților lor de combinare. Pe lângă analiza acestor variante, o serie de parametri – mărimea curenților de vagoane, durata de staționare a vagoanelor în stațiile tehnice, durata necesară acumulării vagoanelor, parametrul de acumulare, echivalentul de prelucrare – influențează semnificativ alegerea variantei optime.
- ✚ Metodele pentru constituirea entităților feroviare de trafic pentru o anumită destinație sunt reprezentate de metodele calculului absolut, a comparațiilor analitice conjugate și a calculului analitic direct. S-a observat că aplicarea algoritmului de constituire a entităților feroviare de trafic prin metoda calculului absolut prezintă dezavantajul că, în cazul în care magistrala feroviară are mai mult de șapte stații tehnice de bază și dacă se iau în considerare și variantele matematice posibile, numărul variantelor crește considerabil, mare parte dintre acestea fiind și neeconomice.
- ✚ Algoritmul metodei comparațiilor analitice conjugate pornește de la principiul alegerii treptate a relațiilor celor mai avantajoase și eliminarea celor ineficiente. Avantajul principal al algoritmului constă în posibilitatea de analizare a tuturor variantelor de

constituire a entităților feroviare de trafic, neavând influență numărul și amplasarea stațiilor de formare a trenurilor. De asemenea, algoritmul permite combinarea entităților feroviare de trafic în toate variantele posibile, pornind atât spre stațiile vecine cât și spre celelalte. În acest mod pot fi stabilite atât varianta optimă de consolidare cât și cele apropiate de aceasta.

- ✚ Algoritmul metodei euristice pentru stabilirea variantei optime de constituire a entităților feroviare de trafic pornește de la clasificarea acestora în curenți de bază ce se specializează necondiționat, curenți de bază, suplimentari, de completare și unificabili. Algoritmul prezintă avantajul identificării rapide a acestora în strictă concordanță cu posibilitățile de prelucrare ale stațiilor tehnice sau de triaj ale rețelei feroviare. Utilitatea acestei metode este evidentă în special pentru acele magistrale cu un număr ridicat de stații tehnice, fiind astfel caracterizată printr-un plus de operativitate și simplitate a calculelor.
- ✚ Pentru eficientizarea activității de transport feroviar trebuie analizată și posibilitatea de identificare a variantei ideale de constituire a entităților de trafic pentru mai multe destinații deoarece acestea asigură reducerea consumului de vagoane – ore destinate acumulării, fapt care conduce și la reducerea rulajului vagoanelor. Algoritmul de constituire a entităților feroviare de trafic grupate facilitează determinarea consumurilor de vagoane – ore pentru fiecare variantă de consolidare a trenurilor pentru o singură destinație. Se aleg apoi variantele care urmează să fie calculate în baza legăturii existente dintre numărul de vagoane corespunzător fiecărei destinații în parte dar și calculul consumului de vagoane – ore al variantelor considerate. Ulterior, se vor alege primele trei variante cu cele mai mici consumuri și se verifică posibilitățile de aplicare în practică a acestor soluții. Ele vor fi verificate în ordinea crescătoare a consumului, algoritmul oprindu-se în momentul în care varianta verificată corespunde situației existente. Trebuie să se țină seama că, pentru a îndruma trenurile în baza unei variante, ea trebuie verificată atât din punctul de vedere al capacității de prelucrare a stației cât și din punctul de vedere a capacității de tranzit a diagonalelor schimbătoarelor de cale.

5.2. Contribuții personale și direcții viitoare de cercetare

Contribuțiile autorului la dezvoltarea domeniului de studii Ingineria Transporturilor sunt subliniate de diferite elemente atât de natură teoretică cât și practică ce sunt prezentate în teza de doctorat ca rezultate. Dintre acestea pot fi menționate următoarele:

- ✚ Realizarea unui studiu complex al literaturii și structurarea lucrărilor științifice identificate pe categorii tematice. Astfel, au fost studiate lucrări științifice din sfera tehnicilor generale privind realizarea consolidării cererii de transport din depozitele rețelelor de transport (mai exact, de aplicare a unor modele matematice de dimensionare și optimizare a activității din cadrul depozitelor) și a modului în care influențează acest proces întreaga prestație din transporturi, a modelelor matematice de consolidare a fluxurilor de mărfuri prin identificarea poziției optime de amplasare a terminalelor în cadrul rețelei de transport precum și a modelelor matematice de consolidare a fluxurilor feroviare de trafic pentru o singură destinație sau pentru destinații multiple.
- ✚ Realizarea unor modele matematice pentru eficientizarea consolidării cererii de transport. Datorită variațiilor neuniforme și tot mai crescânde a cererii de transport, apare problema de dimensionare a tuturor acelor construcții și instalații supuse solicitărilor de exploatare variabile. În acest sens a fost conceput și aplicat un model probabilistic de dimensionare a depozitelor din cadrul terminalelor de consolidare, determinarea numărului optim de utilaje necesare dotării fronturilor de manipulare precum și repartizarea corespunzătoare a resurselor disponibile pentru dotarea fronturilor de manipulare și care trebuie să fie concordantă cu toate variațiile cererii de transport.
- ✚ Realizarea unor modele matematice de elaborare și identificare a variantei optime de constituire a entităților feroviare de trafic pentru o singură destinație sau pentru destinații multiple. Modelele matematice urmăresc alegerea variantei optime de consolidare a entităților feroviare de trafic (atât pentru o destinație cât și pentru multiple destinații) din prisma consumului de vagoane – ore destinate acumulării și prelucrării.
- ✚ Adaptarea și aplicarea modelelor matematice de constituire a entităților feroviare de trafic (atât pentru o singură destinație cât și pentru destinații multiple) pentru cazul distribuției mărfurilor în marile aglomerații urbane.

În ceea ce privește direcțiile viitoare de cercetare, o primă categorie de probleme o constituie dificultățile de realizare a consolidării cererii de transport. Astfel, trebuie identificate

și dezvoltate noi modele care să permită eficientizarea procesului de consolidare a cererii de transport în cadrul depozitelor folosind simularea numerică, de dezvoltare de noi facilități pentru încărcarea mărfurilor în mijloacele de transport precum și a unor noi modele matematice (cu considerarea mai multor criterii) pentru eșalonarea investițiilor necesare creșterii performanțelor de constituire a entităților de transport.

O altă categorie de probleme discutată în cadrul tezei o constituie modalitățile de consolidare a fluxurilor de trafic. Direcțiile de cercetare viitoare ar trebui să vizeze în primul rând perfecționarea modelelor matematice de constituire a entităților de trafic pentru o singură destinație (metoda calcului absolut, a comparațiilor analitice conjugate și a calcului direct) și pentru destinații multiple. În al doilea rând, noi metode care să eficientizeze constituirea entităților de trafic ale oricărui mod ar trebui dezvoltate prin considerarea diferitelor modele ale cercetării operaționale (algoritmi genetici, inteligență artificială etc.). De asemenea, toate categoriile de probleme anterior enumerate ar trebui extinse și adaptate în cadrul rețelelor de transport cu consolidări ale fluxurilor de călători.

BIBLIOGRAFIE (selectivă)

- [1] Abramović, B., Zitricky, V., Biškup, V., *Organisation of railway freight transport: case study CIM/SMGS between Slovakia and Ukraine*, in European Transport Research Review, vol. 8(4), 2016, pag. 1 – 13
- [2] Ackoff, R., Sansieni, W. , *Bazele cercetării operaționale*, Editura Tehnică, București, 1975
- [3] Adan, I, Resing, J., *Queueing systems*, Department of Mathematics and Computing Science, Eindhoven, 2015
- [4] Belošević, I., Jing, Y., Ivic, M., & Jovanovic, P., *Optimization Model for Multi-Stage Train Classification Problem at Tactical Planning Level*, 8th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (ICROMA), Norrköping, Sweden, June 17th–20th 2019, No. 69, pag. 116-127, Linköping University Electronic Press
- [5] Bodin, L. D., B. L. Golden, A. D. Schuster, W. Romig, *A model for the blocking of trains*, Transportation Res. B 14(1-2), pag. 115–120, 1980

- [6] Bontekoning, Y., *Hub exchange operations in intermodal hub-and-spoke operations: comparison of the performances of four types of rail-rail exchange facilities*, Thesis (Ph.D.) -Technische Universiteit Delft, 2006
- [7] Butko, T., Prokhorov, V., Chekhunov, D., *Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms*, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, [S.l.], v. 1, n. 3 (85), pag. 55 – 61, 2017, ISSN 1729-4061
- [8] Campbell, J.F, *Modeling economies of scale in transportation hub networks*, 46th Hawaii International Conference on System Sciences, pag. 1154 –1163, 2013
- [9] Campbell, J., Ernst, A., Krishnamoorthy, M., *Hub Arc Location Problems: Part I—Introduction and results*, Vol. 51, No. 10, pag. 1540 –1555, 2005
- [10] Campbell, J., Ernst, A., Krishnamoorthy, M., *Hub Arc Location Problems: Part II—Formulations and Optimal Algorithms*, Vol. 51, No. 10, pag. 1556 –1571, 2005
- [11] Cordeau, J., Toth, P., Vigo, D., *A Survey of Optimization Models for Train Routing and Scheduling*, Volume 32, Issue 4, November 1998, pag. 306 – 404
- [12] Costescu, D., *Cercetări privind rețeaua transporturilor multimodale la distanțe medii. Modele matematice și de simulare pentru amplasarea și dezvoltarea terminalelor*, Teză de doctorat, București, 2010
- [13] Costescu, D., *Asupra modelării rețelelor de transport intermodal*, Buletinul AGIR, Supliment 1/2012, pag. 22 – 27
- [14] *** *Council Regulation (EU) No 642/2014 of 16 June 2014* establishing the Shift2Rail Joint Undertaking, Official Journal of the European Union, vol. 57, June 2014, pag. 9 – 33
- [15] Crainic, T.G., Ferland, J.A., Rousseau, J.M., *A tactical planning model for rail freight transportation*, in Transportation Science, vol. 18, no. 2, 1984, pag. 165 – 184
- [16] Crainic, T.G., Marcotte, S., Rei, W., Takouda P.M., *Proactive Order Consolidation in Global Sourcing*. In: Bookbinder J. (eds) Handbook of Global Logistics. International Series in Operations Research & Management Science, vol 181. Springer, New York, NY, 2013
- [17] Dancea, I., *Metode de optimizare*, Editura Dacia, Cluj – Napoca, 1976

- [18] Engström, R., *The Roads Role in the freight transport systems*, Transportation Research Procedia, Volume 14, 2016, pag.1443 – 1452
- [19] Farahani, RZ, Hekmaftar, M., Arabani, AB, *Hub location problems: a review of models, classification, solution techniques, and application*. Computers & Industrial Engineering, Volume 64, Issue 4, pag.1096-1109, 2013
- [20] Frîncu, P., Tănăsuică, I., Raicu, Ș., *Folosirea mașinilor electronice cifrice în transportul feroviar*, Editura Transporturilor și Telecomunicațiilor, 1965
- [21] Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R., *Introduction to logistics systems planning and control*, John Wiley & Sons, 2004
- [22] Gattuso, D., Malara, M., Cassone, G.C., *Planning and Simulation of Intermodal Freight Transport on International Networks. Hub and Spoke System in Euro-Mediterranean Area*. Sustainability 2020, 12, 776
- [23] Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L. F., *Research on warehouse operation: A comprehensive review*, European Journal of Operational Research, Volume 177, Nr. 1, pag. 1 – 21, 2007
- [24] Ivić, M., & Kosijer, M., *Conditions for simultaneous formation of multigroup freight trains*, Građevinar, vol.64, no.7, pag. 553 – 563, 2012
- [25] Jara-Díaz, S. R., Cortés, C. E., & Morales, G. A., *Explaining changes and trends in the airline industry: Economies of density, multiproduct scale, and spatial scope*, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 60, pag.13 – 26, 2013
- [26] Kocinev, F.P., Maksimovici, M., Tihonov, K.K., Cernomordik, G.I. , *Organizarea circulației la căile ferate*, Ministerul Căilor Ferate. Centrul de Documentare și Publicații Tehnice, 1969
- [27] Kondratjev, J. , *Logistics.Transportation and warehouse in supply chain*, PhD Thesis, March 2015
- [28] Kreutzberger, E., Konings, R., *The challenge of appropriate hub terminal and hub-and-spoke network development for seaports and intermodal rail transport in Europe*, Research in Transportation Business and Management, 2016, 19, pag. 83 – 96
- [29] Masek, J., Camaj, J., Nedeliakova, E., *Application on the Queuing Theory in the Warehouse Optimization*, World Academy of Science, Engineering and

- Technology International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering, Volume 9, No.11, 2015
- [30] Morganti, G., Crainic, T.G., Frejinger, E. and Ricciardi, N., *Block planning for intermodal rail: Methodology and case study*. Transportation Research Procedia, 47, pag.19 – 26, 2020
- [31] O’Kelly, M.E., *A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities*, European journal of operational research, 32(3), pag. 393 – 404, 1987
- [32] Ogryzek, M., Adamska-Kmiec, D., Klimach, A., *Sustainable Transport : An Efficient Transportation Network – Case Study*, Sustainability 2020,12, 8274
- [33] Raicu, Ș. , *Sisteme de transport*, Editura AGIR, București, 2007, ISBN: 978-973-720-152-2
- [34] Raicu, Ș., *Despre metodele de calcul a variantei optime a planului de formare a trenurilor*, Revista Căilor Ferate nr.8, 1963
- [35] Raicu, Ș., Costescu, D., *Mobilitate. Infrastructuri de trafic*, Editura AGIR, București, 2020
- [36] Raicu Ș., Costescu D., *Model probabilistic pentru dimensionarea depozitelor*, în volumul „*Concepte intermodale în transporturi – Lucrările seminarului proiectului IM7Danube*”, Cucev I. (Coord.), Editura AGIR, București, 2006, ISBN 973-720-045-4, pag. 201 – 208
- [37] Raicu, Ș., Costescu, D., Burciu, Ș., *Distribution system with flow consolidation at the boundary of urban congested areas*, Sustainability, Vol.2, Issue 3, pag. 1 – 17, 2020
- [38] Raicu, Ș., Costescu, D., Popa, M., *Analisis of the intermodal freight transport impacts on energy consumption*, Buletinul AGIR nr. 3/2012, pag. 753 – 764
- [39] Raicu, Ș., Mașală, Ghe., *Transport feroviar. Funcționare. Dezvoltare. Eficiență*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1981
- [40] Raicu Ș., Popa M., Mocuța G., Burciu Ș., *Logistica transporturilor*, Editura AOSR, București, 2011
- [41] Raicu Ș., Raicu R., Costescu Dorinela, Popa M. *City Logistics with Collaborative Centers*, Chapter in Taniguchi E., Thompson R.G. (Eds.), *City Logistics 1: New Opportunities and Challenges*, ISTE Wiley, pag. 231 – 250, 2018

- [42] Rodrigue, J., *The Geography of Transport Systems*, Editura ROUTLEDGE, USA, New York, 456 pag, 2020, ISBN 978-0-367-36463-2
- [43] Roșca, E., Raicu, Ș., *Optimizarea manipulării containerelor în terminale de transport*, în volumul „*Concepte intermodale în transporturi – Lucrările seminarului proiectului IM7Danube*”, Cucev I. (Coord.), Editura AGIR, București, 2006, ISBN 973-720-045-4, pag.227 – 232
- [44] Săndulescu, I., *Planul de formare a trenurilor de marfă*, Editura Transporturilor și Telecomunicațiilor, 1965
- [45] Schönemann, R., *Scheduling rail freight node operations through a slot allocation approach*, PhD Thesis, TU Berlin, 2016
- [46] Shafia, M. A., Sadjadi, S. J., & Jamili, A., Robust train formation planning. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 224(2), pag. 75 – 90, 2010
- [47] **Stere, A. Ș.**, *Configurarea rețelelor hub-and-spoke în transporturile terestre*, Tendințe ale cercetării științifice în ingineria transporturilor vol. 2/ coord.: Mihaela Popa, Vasile Dragu, Dorinela Costescu, Editura Politehnica Press, București, 2020, ISBN 978-606-515-942-6
- [48] **Stere, A. Ș.**, Roman, E. A., *Distribution of resources for equipping handling fronts in rail consolidation terminal*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Volume 1037, Issue 1, 2021
- [49] **Stere, A. Ș.**, *Train formation plan on hub–and–spoke network configuration*, UPB Scientific Bulletin, Series D, Vol. 83, Iss. 2, 2021, ISSN 1454-2358
- [50] **Stere, A. Ș.**, Olteanu, S., *Mathematical framework for determining optimal variant of train formation plan*, Solid State Technology, Vol. 63, No.6, pag.19359 – 19368, 2020
- [51] Stînga, V.G., *Rețele de transport intermodal*, Teză de doctorat, București, 2018
- [52] Troche, G., *Activity – Based Rail Freight Costing : A model for calculating transport costs in different production systems*, Doctoral Thesis in Railway Traffic Planning, Stockholm, Sweden 2009
- [53] Xiao, J., Lin, B., *Comprehensive optimization of the one-block and two-block train formation plan*, Journal of Rail Transport Planning & Management, Volume 6, Issue 3, pag. 218 – 236, December 2016

- [54] Yaghini, M., Momeni, M., Sarmadi, M., *An improved local branching approach for train formation planning*, Appl. Math. Modell., 37 (4), pag. 2300 – 2307, 2013
- [55] Yaghini, M., Momeni, M., Sarmadi, M., *Solving train formation problem using simulated annealing algorithm in a simplex framework*, Journal of Advanced Transport, Volume 48, Issue 5, August 2014, pag. 402 – 416
- [56] Zabihi, A., Gharakhani, M., *A literature survey of hub location problems and methods with emphasis on the marine transportations*, Uncertain Supply Chain Management 6, pag. 91–116, 2018
- [57] Zgonc, B., Tekavčić, M., Jakšič, M., *The impact of distance on mode choice in freight transport*. European Transport Research Review, 11(1) 10, 2019
- [58] Zhu, E., Crainic, T.G., Gendreau, M., *Scheduled Service Network Design for Freight Rail Transportation*, Operation Research, Vol.62, No.2, pag. 383 – 400, 2014