

ASUPRA MODELĂRII REȚELELOR DE TRANSPORT INTERMODAL

Șef lucr.dr.ing. **Dorinela COSTESCU**

Universitatea „Politehnica” din București,
dorinela.costescu@upb.ro

REZUMAT. În strategiile de dezvoltare durabilă, transportul intermodal de mărfuri este considerat o soluție pentru echilibrarea pieței transporturilor și ameliorarea efectelor ambientale negative. Problemele tratate în această lucrare se referă la proiectarea unei rețele de transport intermodal, care să permită concentrarea fluxurilor de intensități mici și înlocuirea transportului rutier pe distanțe mari cu transportul feroviar. În prima parte, vor fi prezentate principalele etape parcurse în modelarea rețelelor de transport intermodal. Se va descrie metodologia de formalizarea a rețelor virtuale, adecvate modelării transportului intermodal. În ultima parte a lucrării, va fi prezentată o aplicație GIS realizată pentru formalizarea rețelei intermodale, pe baza rețelelor feroviare și rutiere din România.

Cuvinte cheie: rețea de transport, transport intermodal, formalizare GIS.

ABSTRACT. In the frame of sustainable transport development policies, intermodal transport is a solution to equilibrate the modal distribution on transport market and to reduce the environmental impact. The problems discussed in this paper deals with the design of the intermodal transport network, that allows to concentrate the reduced intensity flows and to replace road transport on long distance with railway transport. In the first part, the main steps of the modelling of the intermodal transport network are presented. The methodology applied in formalization of the artificial network, appropriate to intermodal transport modelling, is described. The last section presents a GIS application realized for intermodal transport network formalization, based on Romanian railway and road networks.

Keywords: transport network, intermodal transport, GIS formalization.

1. INTRODUCERE

Transportul de mărfuri este o componentă vitală a economiei. El stă la baza producției, comerțului, activităților de consum, asigurând deplasarea și disponibilitatea materiilor prime și produselor. Statisticile înregistrate după anul 2000 au indicat un dezechilibru între modurile de transport utilizate pentru deplasările mărfurilor. Parcursurile de transport rutier au crescut semnificativ, în timp ce parcursurile de transport feroviar au scăzut. În condițiile în care transportul rutier a devenit predominant și consecințele acestei tendințe s-au agravat (congestie, poluare, creșterea numărului de accidente), transportul intermodal este considerat o soluție pentru echilibrarea repartizării modale pe piața transporturilor. Transferarea deplasărilor rutiere pe distanțe mari în sistemul feroviar, și acolo unde este posibil transferarea către sistemul de transport fluvial, poate conduce la ameliorarea efectelor negative ale intensificării transporturilor rutiere. Realizarea acestui obiectiv necesită însă investiții importante pentru

construirea și exploatarea terminalelor intermodale. Deoarece tranzitarea și prelucrarea fluxurilor în terminale conduc la costuri suplimentare de transbordare/transfer, funcțiile și eficiența acestor terminale este esențială pentru dezvoltarea transportului intermodal. Acestea sunt o parte din argumentele care demonstrează necesitatea cercetărilor privind rețeaua transporturilor intermodale și dezvoltarea modelelor matematice și de simulare pentru amplasarea terminalelor.

Proiectarea unei rețele de transport intermodal, care să permită înlocuirea transportului rutier pe distanțe mari, necesită aplicarea modelelor matematice și de simulare pentru rezolvarea următoarelor probleme:

- determinarea amplasării terminalelor în care se face transferul dintre modurile de transport;
- determinarea solicitării rețelelor modale;
- determinarea capacității terminalelor.

Problemele prezentate în această lucrare se referă la transportul intermodal feroviar-rutier. Acest tip de transport cuprinde următoarele etape: transportul rutier inițial pentru colectarea mărfurilor, transbordarea

unităților de încărcătură în terminalul origine, transportul feroviar pe cea mai mare parte a distanței, transbordarea unităților de încărcătură în terminalul destinație și transportul rutier final pentru distribuția mărfurilor (fig. 1). În cazul transportului intermodal la care participă transportul maritim lipsește cursa inițială/finală de transport rutier. Fiecare terminal constituie un punct de colectare și distribuție a unităților de încărcătură cu originea și destinația în regiunea servită de acesta.

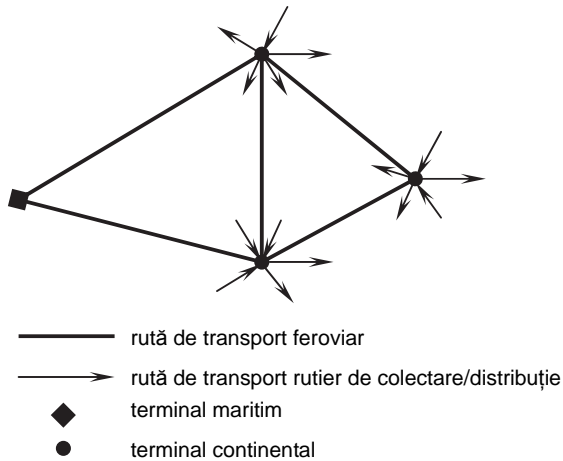


Fig. 1. Reprezentarea schematică a unei rețele de transport intermodal.

În prima parte a acestei lucrări vor fi prezentate principalele etape parcurse în modelarea rețelilor de transport intermodal. Se va descrie metodologia de formalizarea a rețelilor virtuale, adecvate modelării transportului intermodal. Pentru exemplificarea utilizării rețelilor virtuale, în ultima parte a lucrării, va fi prezentată o aplicație GIS realizată pentru formalizarea rețelei intermodale, pe baza rețelilor feroviare și rutiere din România. Procedurile aplicației permit evaluarea indicatorilor pentru transport intermodal și compararea lor cu indicatori obținuți în sistemul rutier, pentru relații similare.

2. STRUCTURA MODELELOR REȚELOR DE TRANSPORT INTERMODAL

Competitivitatea transportului intermodal depinde de amplasarea terminalelor și de costurile de transfer. Pentru rezolvarea problemei amplasării terminalelor intermodale este necesară o mulțime de puncte potențiale de amplasare, precum și matricea fluxurilor și a costurilor.

În cazul unei rețele de mari dimensiuni numărul punctelor potențiale este mare, făcând imposibilă rezolvarea problemei amplasării printr-o metodă deterministă. De aceea trebuie rezolvată problema selectării punctelor potențiale pentru amplasarea terminalelor (Arnold et al. 2002). După determinarea punctelor potențiale, se estimează matricea cererii și matricea costurilor, date care vor reprezenta intrări în problemele de amplasare.

Principalele etape parcurse în selecția punctelor potențiale pentru amplasarea terminalelor sunt:

- *Determinarea distanțelor minime dintre terminale* pentru care transportul intermodal devine competitiv. Se recomandă adecvată valoarea 300 km ca distanță minimă pentru transportul intermodal (ECMT 1998, UIRR 2000). În matricea cererii se vor selecta perechile origine–destinație amplasate la distanțe mai mari de 300 km.

- *Selectarea categoriilor de mărfuri* care pot fi orientate către transportul intermodal; unul din principalele obiective ale modelării este acela de identificare a fluxurilor de transport care pot fi transferate din sistemul rutier în cel intermodal. De aceea trebuie identificate fluxurile pentru categoriile de mărfuri care sunt adecvate transportului intermodal.

- *Alocarea fluxurilor pe itinerarii și ierarhizarea nodurilor* din punct de vedere al fluxurilor; în această etapă se alocă fluxurile pe itinerarii și se identifică cele mai importante coridoare și nodurile de pe aceste coridoare.

- *Stabilirea tipurilor de terminale* pentru nodurile selectate; deoarece se pot utiliza mai multe categorii de terminale, pentru nodurile selectate în etapa anterioară trebuie stabilită categoria în care se încadrează fiecare. Clasificarea se poate realiza în funcție de volumul total de unități de încărcătură alocate terminalului, precum și de alte criterii (distanța minimă între terminalul propus și un terminal existent, distanța minimă între terminalul propus și un port, distanța maximă între terminalul propus și un nod feroviar etc.).

- *Stabilirea zonei de influență pentru fiecare terminal* și evaluarea fluxului care poate fi alocat unui terminal; în urma studiilor realizate în cadrul proiectului Recordit s-a stabilit valoare 50 km ca distanță maximă pentru transportul rutier inițial până la terminalul origine și transportul rutier final de la terminalul destinație la beneficiar (Recordit, 2001).

- *Estimarea fluxurilor de mărfuri între punctele potențiale*; fiind definită zona de influență a terminalelor, se pot determina punctele de cerere alocate fiecărui terminal. Pe baza cererii, determinate în zona de influență a fiecărui terminal potențial, se poate defini matricea fluxurilor de unități de încărcătură $[Q_{ij}]$.

▪ *Estimarea costurilor de transport pentru fiecare pereche de puncte potențiale*; după determinarea distanțelor pentru fiecare pereche de terminale potențiale, se determină matricea costurilor de transport, în funcție de costurile unitare.

Pentru a evalua amplasarea terminalelor în punctele selectate este necesară analiza fluxurilor de transport și a diferitelor variante pentru formarea trenurilor care satisfac cererea de transport între terminale (deoarece lungimea și frecvența trenurilor influențează costul total de transport). Utilizarea unor trenuri cu lungimi mari va descrește numărul de relații servite. Formarea trenurilor cu lungimi reduse creează însă condiții pentru introducerea unui număr mai mare de relații de transport intermodal și servirea unei rețele dense de terminale. O rețea densă de terminale poate conduce la reducerea distanțelor inițiale și finale de transport rutier pentru concentrarea și distribuția mărfurilor în/din terminale. În plus, dacă a fost stabilit un serviciu între două terminale, introducerea unor trenuri cu lungimi reduse poate conduce la creșterea frecvenței transporturilor, contribuind la creșterea calității serviciilor. În concluzie, utilizarea unor trenuri cu lungimi mici poate contribui la creșterea calității serviciilor de transport intermodal prin creșterea frecvenței trenurilor, servirea mai multor relații, reducerea costului de transport rutier inițial/final și reducerea costului de transport total.

3. FORMALIZAREA REȚELOR DE TRANSPORT INTERMODAL

Transportul intermodal feroviar-rutier utilizează rețeaua rutieră și feroviară și infrastructuri speciale

în terminale, pentru realizarea transbordărilor între cele două moduri de transport. Aceste particularități impun cerințe suplimentare în modelarea rețelilor de transport intermodal, comparativ cu modelele dezvoltate pentru transporturi modale. Pentru a putea aplica proceduri de determinare a itinerariilor și alocare a fluxurilor și pentru a ține seama de duratele și costurile suplimentare intervenite în terminale, rețelele de transport intermodal se formalizează ca rețele virtuale.

O caracteristică importantă a rețelei virtuale este aceea că permite alocarea fluxurilor pe rețele între mai multe moduri de transport, permițând reprezentarea parcursurilor pentru transporturi intermodale. O altă caracteristică este aceea că fiecare terminal este tratat ca un nod complex, căruia îi este asociat un graf (Raicu, 2007). Graful asociat nodului complex permite descrierea proceselor realizate în cadrul acestuia, prin introducerea unor arce suplimentare, cărora le sunt atribuite costuri, durate sau alte variabile. Pentru fiecare tip de operație realizată în nod (încărcare, descărcare, transbordare) se crează un arc virtual, construindu-se astfel un graf pentru fiecare nod.

Integrând grafurile corespunzătoare nodurilor în grafurile rețelei se obține rețeaua virtuală (fig. 2). Fiecare arc al rețelei reale de transport poate fi scindat în mai multe arce virtuale care asigură legăturile dintre nodurile virtuale ale rețelelor corespunzătoare nodurilor de transport. În acest mod se pot descrie toate variantele de transport între două puncte geografice. La construirea rețelei virtuale se folosesc reguli de codificare pentru arcele reale și pentru arcele virtuale din nodurile de transport care să permită atribuirea ulterioară a funcțiilor de cost.

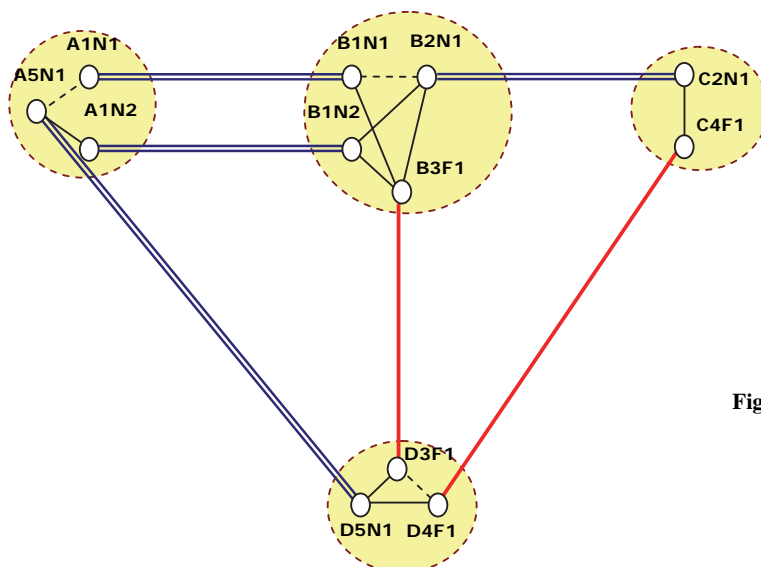


Fig. 2. Exemplu de rețea virtuală.

4. FORMALIZAREA REȚELOR DE TRANSPORT INTERMODAL ÎN FORMAT GIS

Sistemele informatice geografice (GIS) pot prelucra orice tip de date, dar în special date geografice referențiate la sisteme de coordonate geografice. Una din principalele particularități ale acestor sisteme constă în capacitatea de a suprapune seturi de date organizate pe straturi tematice (*layer-e*), care conțin informații despre un anumit tip de obiecte sau elemente. O altă particularitate importantă constă în posibilitatea asocierii reprezentării geografice a unei baze de date cu atribute (numite și date non-geografice) care descriu proprietățile entităților geografice. Având în vedere aceste caracteristici, procedurile GIS sunt adecvate pentru modelarea rețelelor de transport intermodal, care necesită prelucrarea unui volum mare de date și reprezentarea rețelelor de transport.

Utilizând proceduri GIS a fost formalizată rețeaua virtuală pe baza rețelei rutiere și feroviare din România. A fost propusă astfel o rețea de transport intermodal pentru care au fost comparate rute de transport rutier și intermodal feroviar-rutier. Deoarece nu au fost disponibile date referitoare la fluxurile de transport de mărfuri la nivel național, s-a considerat că indicatorii analizați (populația, populația ocupată, veniturile nete și cheltuielile) sunt proporționali cu activitățile economice și implicit cu activitatea și fluxurile de transport (Maat 1997). În urma analizei datelor disponibile s-a pus un set de puncte inițiale, considerate puncte potențiale pentru amplasarea terminalelor (fig. 3). În jurul punctelor inițiale selectate pentru amplasarea terminalelor s-au definit zone de influență pentru raze de 50, 100 și 150 km. Zonele de influență pentru raze de 100 km acoperă aproximativ 24% din aria României, iar cele pentru raze cu valoarea 150 km acoperă aproape integral aria României. De asemenea s-au determinat diagramele Voronoi, putând astfel aloca orice localitate celui mai apropiat terminal.

Pentru a determina itinerariile de transport intermodal și, ulterior, pentru a analiza opțiunile de consolidare a fluxurilor de transport în terminale, este necesară definirea unei rețele care să permită modelarea transferului de la un mod de transport la altul. O primă etapă în realizarea acestui obiectiv constă în editarea punctelor de transfer virtuale și a arcelor de transfer virtuale, cărora să li se asocieze atribute corespunzătoare operațiilor realizate în terminale (costuri, durate, consumuri de energie

etc.). Pentru calcul costurilor s-au utilizat valorile medii prezentate în studiul Recordit (Recordit 2001), iar pentru calculul consumurilor energetice și al emisiilor poluante (CO_2 , NO_x și SO_2) s-au utilizat date din studiul EcoTransIT (EcoTransIT 2008).

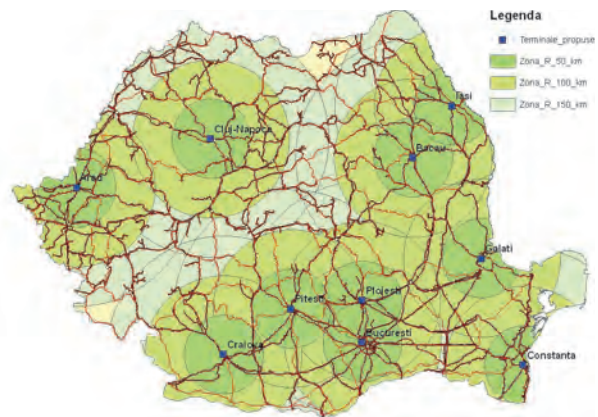


Fig. 3. Zonele de influență delimitate pentru raze de 50, 100 și 150 km.

După completarea bazelor de date necesare, este necesară integrarea lor într-un format GIS complex (fig. 4), care să permită definirea relațiilor de conectivitate, pe două niveluri, între elementele rețelelor modale, și care să asigure ulterior transferurile intermodale. Pe baza datelor create se pot determina itinerariile de transport intermodal, formate din transport rutier inițial între punctul origine și cel mai apropiat terminal, transport feroviar între terminalul inițial și cel mai apropiat terminal de destinație, și transport rutier de la terminalul final la destinație. Modelul GIS propus constituie un instrument pentru evaluarea indicatorilor de transport intermodal, precum și pentru o primă evaluare a pozițiilor terminalelor, în funcție de conectivitatea și accesibilitatea rețelelor feroviare și rutiere.

Pentru mulțimea de terminale propuse s-au determinat itinerariile și s-au selectat perechile pentru care distanța de transport feroviar este mai mare de 300 km. Relațiile selectate au fost grupate în patru intervale, în funcție de distanța dintre ele, pentru a simplifica reprezentările și a facilita analiza rezultatelor. Calcularea indicatorilor rutelor de transport intermodal s-a realizat pentru două cazuri. Pentru fiecare terminal selectat s-a considerat în primul caz o zonă de influență circulară cu raza 50 km și s-a presupus că distanța medie de transport rutier inițial, respectiv final este 25 km. În al doilea caz se consideră zone de influență circulare cu raza 100 km și se presupune că distanța medie de transport rutier inițial, respectiv final este 50 km.

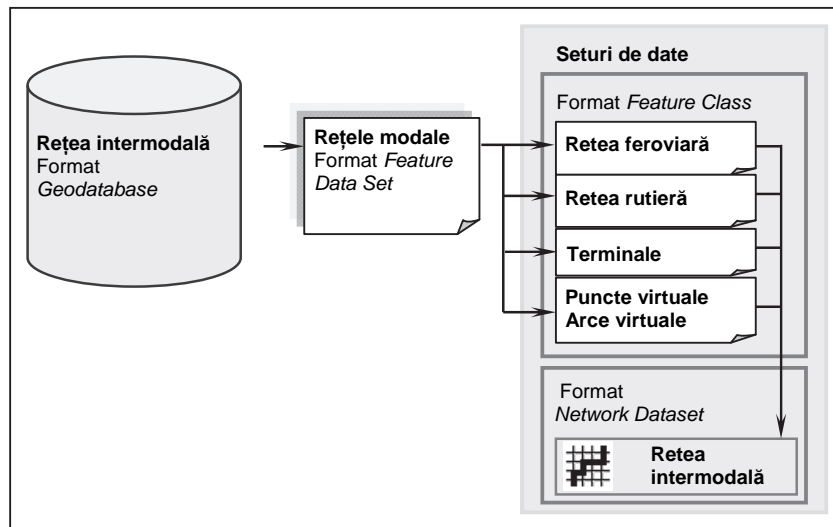


Fig. 4. Organizarea structurilor de date pentru definirea rețelei intermodale în format GIS.

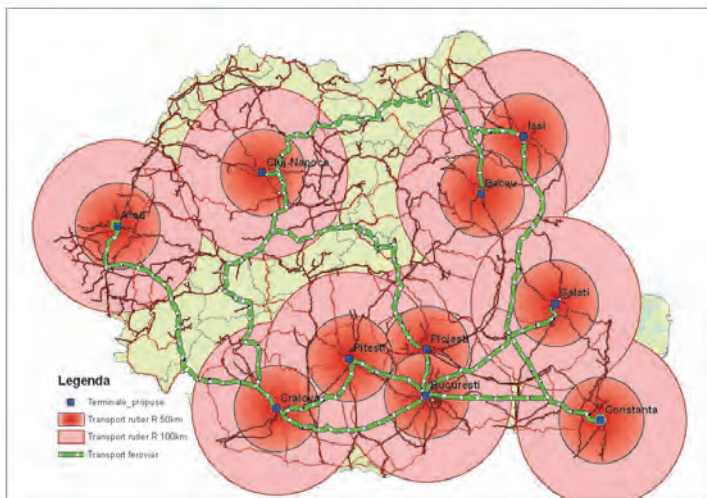


Fig. 5. Selecția relațiilor de transport intermodal cu transport feroviar pe distanțe între 400 și 500 km.

Pentru fiecare relație selectată s-au calculat distanța totală de transport, durata medie, costul mediu pentru transportul unei unități de masă, consumul mediu de energie, emisiile poluante (CO₂, NO_x și SO₂). De asemenea, pentru fiecare relație s-au determinat itinerariile de transport rutier, s-au calculat indicatorii corespunzători și s-au comparat cu cei obținuți pentru transport intermodal feroviar-rutier. Pentru exemplificarea comparațiilor s-au reprezentat relațiile de transport intermodal cu transport feroviar pe distanțe între 400 km și 500 km (fig. 5) și s-au prezentat o parte din indicatorii calculați (fig. 6).

Pe baza rezultatelor obținute s-a observat că distanțele de transport intermodal sunt în general mai mici decât cele de transport rutier pentru relațiile din

primul interval (adică pentru transport feroviar pe distanțe între 300 și 400 km). Pentru cazurile cu transport feroviar pe distanțe mai mari de 500 km se obțin distanțe mai mici pentru transportul rutier, comparativ cu cele pentru transport intermodal. În toate cazurile considerate s-au observat diferențe extrem de mari între duratele de transport rutier și intermodal, cauzate de duratele de transfer din terminalele inițial, respectiv final. În schimb, pentru transportul intermodal, pentru toate relațiile, se obțin reduceri semnificative ale costurilor și consumurilor energetice. De asemenea se observă reduceri mari ale emisiilor de dioxid de carbon și oxizi de azot, pentru toate cazurile în care se utilizează transport intermodal.

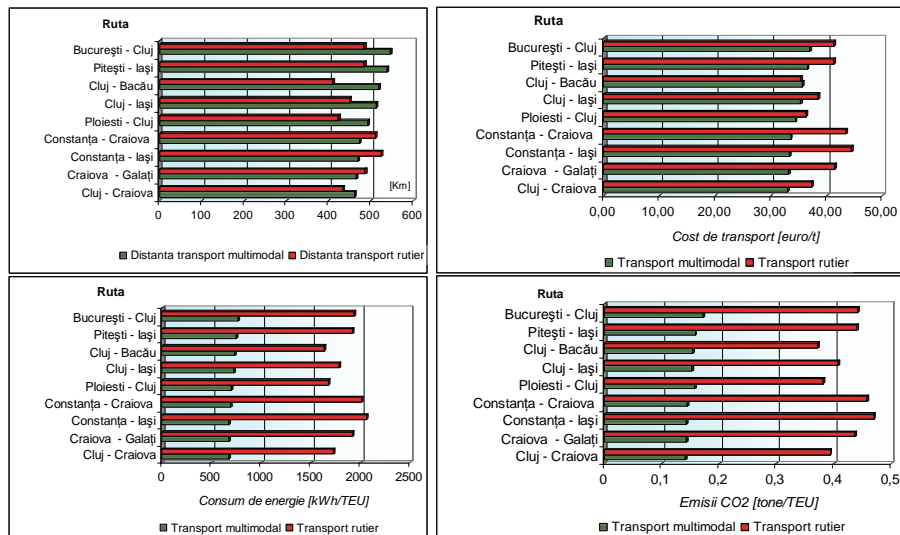


Fig. 6. Compararea indicatorilor pentru transportul rutier, respectiv intermodal cu distanțe de transport rutier pe distanțe medii de 25 km și transport feroviar pe distanțe între 400 și 500 km.

5. CONCLUZII

Rezolvarea problemei amplasării terminalelor intermodale necesită o mulțime de puncte potențiale de amplasare. În cazul unei rețele de mari dimensiuni numărul punctelor potențiale este mare, făcând dificilă rezolvarea problemei amplasării printr-o metodă deterministă. Este recomandată dezvoltarea unui model de simulare în care principalele variabile sunt: cererea de transport, parametrii de alegere a fiecărui mod de transport, lungimea trenurilor, spațiul servit de rețeaua de terminale și costurile de transport.

Pentru a analiza și planifica transportul intermodal este necesară dezvoltarea unor rețele virtuale, care să includă nu numai formalizarea rețelelor geografice, ci și operațiile realizate în terminale. Sistemele informatice geografice oferă instrumente adecvate pentru modelarea rețelelor de transport. Utilizând pachetul de programe ArcGIS, cu extensia Network Analyst a fost formalizată rețeaua virtuală care include rețeaua rutieră și rețeaua feroviară din România și care permite transferuri intermodale.

Aplicația constituie un instrument util pentru cuantificarea avantajelor înlocuirii transportului rutier cu transport intermodal.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Arnold, P., Peeters, D., Thomas, I. (2004) *Modelling a rail/road intermodal transportation system*, Transportation Research Part E, 40, pag. 255–270;
- [2] Jourquin, B., Beuthe, M. (1996) *Transportation Policy Analysis with a GIS: Transportation in Europe*, Transportation Research C, Vol 4 (6), pag. 359-371;
- [3] Maat, C. (1997) *Using Network Models to Determine Locations for Rail Terminals*, în „Proceedings for the the 12th Annual Esri User Conference”, Copenhagen;
- [4] Raicu, Ș. (2007) *Sisteme de transport*, Editura Agir, București;
- [5] *** (2008) *EcoTransIT: Ecological Transport Information Tool. Environmental Methodology and Data*, Institut für Energieund Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg, www.ecotransit.org;
- [6] *** (2001) *RECORDIT - Real Cost Reduction of Door-to-door Intermodal Transport*, 5th RTD FP, European Commission, <http://www.recordit.org/>;
- [7] *** (2000) *Statistiques annuelles/Jahresstatistik 2000*, UIRR, Bruxelles.