

---

# Compararea eficienței rutelor și coridoarelor de transport\*

- Model de calcul statistico-matematic

**Drd. Anca-Andreea CÂRJAN,**

*Academia de Studii Economice București*

**Drd. Liviu Gabriel GHITULEASA**

**Lector univ. dr. Alexandru-Ionuț PETRIȘOR**

*Universitatea de Arhitectură și Urbanism „Ion Mincu”*

---

## Abstract

În contextul general al importanței acordate accesibilității de politici europene din domeniul amenajării teritoriului, **compararea eficienței rutelor și coridoarelor de transport europene și internaționale** reprezintă o problemă deosebit de relevantă pentru România. În articol se propune o **Metodologie bazată pe determinarea accesibilității potențiale**, calculate pe baza populației totale deservite și a eficienței rutei, cât și prin analogie cu **Metoda celor mai mici pătrate**. Ambele metode au fost aplicate pentru rute interne și pentru rute europene.

**Cuvinte cheie:** Accesibilitate, transport, Metoda celor mai mici pătrate, eficiență, Euro-coridoare, optimizare.

\*\*\*

Problema accesibilității ocupă un loc central pe agenda politicilor europene de dezvoltare spațială. Fundamentarea teoretică a acestora a fost asigurată de studiile realizate prin programele Rețelei Europene a Observatorului de Amenajare a Teritoriului (ESPON). Unul dintre primele proiecte de cercetare, ESPON 1.1.1, a arătat că o dezvoltare durabilă și echilibrată corespunde, din punct de vedere spațial, Modelului policentric, definit ca „*organizare spațială a orașelor caracterizată prin diviziunea funcțională a muncii, integrare economică și instituțională, și cooperare politică*” (Nordic Centre for Spatial Development, 2003), și bazată pe două tipuri de aspecte: morfologia teritoriului (număr de așezări umane, ierarhia și distribuția acestora, inclusiv a ariilor de influență) și relațiile (fluxuri

---

\* Cu referire la rutele și coridoarele de transport europene și internaționale

---

și cooperări) dintre elementele (așezările umane) prezente în teritoriu (Nordic Centre for Spatial Development, 2005). La rândul lor, fluxurile sunt influențate de accesibilitate, alte studii ESPON evidențiind rolul accesibilității în dezvoltarea unei structuri policentrice (ESPON Monitoring Committee, 2004). Accesibilitatea joacă un rol cheie în dezvoltarea teritorială, deoarece „o bună accesibilitate a regiunilor europene determină nu numai o îmbunătățire a poziției lor ierarhice, dar și creșterea competitivității întregului continent” (Spiekermann & Wegener Urban and Regional Research, 2007).

Abordarea problemei accesibilității pare să nu cunoască granițe metodologice, în sensul că atât pe continentul american (National Capital Region Transportation Planning Board, 2006), cât și în Uniunea Europeană (Nordic Centre for Spatial Development, 2005) accesibilitatea este definită cu ajutorul izocroniei de 45 de minute. Prin folosirea Sistemelor Informaționale Geografice, metodele de studiu ale accesibilității se pot extinde luând în calcul lungimea totală sau densitatea drumurilor cu anumite orientări analizate la nivelul județelor sau regiunilor de dezvoltare (Petrișor, 2010). Metodele menționate prezintă un dezavantaj. Utilizarea lor presupune existența unor date statistice specifice, și obținerea lor, mai ales actuale, necesită costuri ridicate.

În context național se propune o metodă de natură să ofere câteva argumente necesare în trasarea coridorului național de securitate, ce se suprapune cu o rută a coridorului IV pan-european. Importanța analizei la nivel național se demonstrează prin necesitatea definirii unei rețele, ce poate fi în mod rezonabil planificată pe termen lung, pentru o modernizare progresivă și pentru o îmbunătățire de până la 160km/h pe secțiunile unde rezultă a fi eficientă, din punctul de vedere al raportului dintre costuri și beneficii. Rețeaua cuprinde aproape toate liniile importante și suportă 80% din traficul de pasageri și de marfă, întreținând în același timp și legăturile cu țările învecinate.

În Europa, tendința actuală în dezvoltarea globală a transportului este generată de motivele statelor de a construi o infrastructură feroviară de mare viteză, ce implică în primul rând micșorarea timpului de călătorie pe rutele lungi și îmbunătățirea accesibilității inter-regionale dinspre/înspre regiunile îndepărtate în vederea stimulării integrării europene (Willigers *et al.*, 2005).

Zona U.E. include 27 de state membre, dintre care doar 25 au linii de cale ferată. Harta rutelor feroviare europene prezintă o distribuție relativ omogenă, calitatea și capacitatea liniilor fiind bună. În cadrul strategiei de dezvoltare europeană, realizarea unei rețele de transport pan-european reprezintă un obiectiv important. În Europa există astăzi căi ferate diferite, atât în structură, organizare, finanțare cât și în cererile de deplasare în creștere. În întreaga istorie a acestora, cale ferată a evoluat continuu, în liniile moderne

---

de astăzi intervenind schimbări fundamentale în tehnologie și mentalitate.

Propunerea formulată are rolul de a optimiza coridoarele existente, optându-se pentru prelungirea acestora înspre zonele europene lipsite de astfel de oportunități. Noile propuneri, pe traseul stabilit, înglobează rutele feroviare existente pe teritoriul fiecărui stat membru, cu modificări ale traseului în funcție de mai mulți parametri. Pentru cele zece coridoare pan-europene s-a constatat o eficientizare a doar cinci dintre ele, respectiv coridoarele neconvenționale II, III, IV, V și X. **Coridoare neconvenționale** sunt rutele care nu au fost stabilite printr-o conferință în domeniu la nivel european, ci au fost trasate pe baza unui plan, conforme cu o exterioritate demonstrabilă. Noile coridoare propuse, neconvenționale, construiesc o hartă deschisă, conectabilă, ce trimite la performanță. Concepția hărții de coridoare neconvenționale are caracteristica de a nu recuza celelalte mijloace de transport, ci oferă cea mai optimă variantă de a călătorii spre regiunea dorită.

Realizarea unui sistem în care toate rețelele sunt relaționate, nu este privit doar ca o rețea zonală, ci este indicat a fi inclus într-un **Program internațional**. Transformarea la nivel european într-un sistem eficient pornește chiar de la conceptul de „euro-coridor”. Impulsurile economice la nivel regional și local, în cadrul investițiilor în transporturi pe „euro-coridoare”, sunt de o mare importanță.

Pe baza acestor considerente, se propune un **Model statistico-matematic** de comparare a eficienței coridoarelor de transport, bazate pe construcția unor indicatori care să măsoare din punct de vedere cantitativ accesibilitatea în funcție de importanța și proximitatea centrelor urbane învecinate, pornind de la harta unei regiuni și populația orașelor.

#### **Măsurarea accesibilității potențiale pe baza importanței centrelor urbane învecinate**

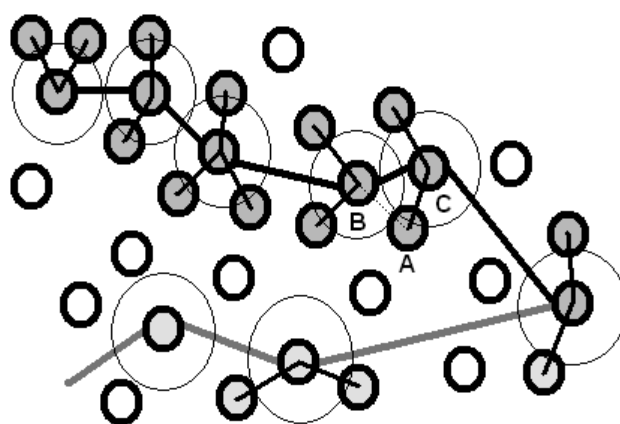
Primul indicator se bazează pe accesibilitatea potențială, definită pe baza izocronelor de 45 de minute (National Capital Region Transportation Planning Board, 2006; Nordic Centre for Spatial Development, 2005), respectiv localitățile accesibile pentru oricare mijloc de transport sau anumite mijloace, în timp de 45 de minute. Indicatorul utilizat nu a fost numărul așezărilor, ci populația lor totală, în încercarea de a măsura importanța serviciului pentru toți locuitorii. Având în vedere că viteza medie este de 90 km/h în afara localității, izocronele de 45 de minute corespund unei distanțe de 67,5 km, rotunjită la 70 km pentru a lua în calcul accelerarea, decelerarea și ambuteiajele de la intrările în localitate. La populația fiecărui nod de cale ferată s-a adăugat cea a unităților administrative aflate la distanța de cel mult

---

70 km. Populația localităților aflate la cel mult 70 km de două sau mai multe noduri de cale ferată a fost adăugată doar celei a nodului celui mai apropiat.

**Principiul Metodei bazată pe accesibilitatea potențială, utilizată pentru compararea eficienței a două coridoare de transport. Orașul A este mai aproape de orașul C decât de orașul B; în consecință, populația sa va accesa gara situată în orașul C.**

*Fig. 1.*



Sursa: Date referitoare la populație (Institutul Național de Statistică, 2008).

#### **Măsurarea eficienței traseului pe baza proximității centrelor urbane învecinate**

Metoda se bazează pe același principiu ca Regresia liniară simplă din statistică (Legendre, 1806), respectiv pe Metoda celor mai mici pătrate (Dumitrana *et al.*, 2006). Traseul optim potrivit unei mulțimi de puncte este cel care minimizează suma pătratelor distanțelor în linie dreaptă dintre fiecare punct și traseu (Anghelache, 2006; Odăgescu I. și Odăgescu A., 2009). Ruta optimă este cea care minimizează suma pătratelor distanțelor în linie dreaptă dintre centrele tuturor localităților accesibile (definite, din nou, pe baza izocronei de 45 de minute) și fiecare traseu. Indicatorul utilizat în acest caz: suma pătratelor distanțelor, este o măsură simplificată a eficienței rutei, fără a ține seama de eventuale devieri determinate de configurația reliefului. Calculele au fost efectuate pe direcția nord-sud, corespunzătoare Metodei

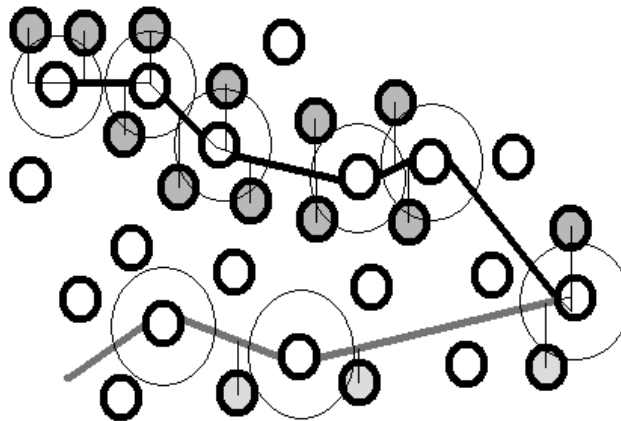
---

celor mai mici pătrate, și pe direcția est-vest, când orientarea rutei a impus această modificare.

Metodele au fost aplicate așezărilor umane cu statut de „oraș” sau „municipiu” (Legea nr. 351 din 2001 privind aprobarea Planului de Amenajare a Teritoriului Național – Secțiunea a IV-a -Rețeaua de Localități).

**Principiul Metodei derivată din regresia liniară simplă, utilizată pentru compararea eficienței a două coridoare de transport.**

*Fig. 2*



Au fost comparate caracteristicile a două trasee, respectiv unul pentru ruta București – Arad și ruta București – Oradea, prin utilizarea a 126 de orașe pentru Metoda proiecției ortogonale, 51 de orașe pentru proiecția pe direcția E-V și 165 de orașe pentru metoda proiecției radiale, pornind de la prevederile Legii nr. 363 din 21 septembrie 2006 privind aprobarea Planului de Amenajare a Teritoriului Național - Secțiunea I - Rețele de transport, publicată în Monitorul Oficial nr. 806 din 26 septembrie 2006, în care este previzionată ipoteza existenței unui coridor de transport strategic pentru România.

La nivel european au fost comparate două variante de rute de coridoare, respectiv câte un traseu „Magellan” și „Columbus” pentru fiecare coridor în parte, prin calcul distanțelor în funcție de metodele de analiză, respectiv un număr de 274 de orașe pentru Metoda proiecției ortogonale și 718 orașe pentru Metoda proiecției radiale, urmat de compararea statistică cu ajutorul analizei varianței (ANOVA).

Rezultatele sunt prezentate în continuare cu informații referitoare la numărul așezărilor situate la distanța de cel mult 70 km de oricare gară sau coridor, și suma pătratelor distanțelor, în cazul folosirii primei metode, sau a populației totale în cazul celei de-a doua.

Rezultatele la nivel european sunt exemplificate atât pentru Metoda proiecției ortogonale, cât și pentru varianta proiecției radiale. Nu este necesar ca orașele din cele două proiecții de grafuri, respectiv cea radială și cea ortogonală, să fie aceleași, dar pe rutele comparate trebuie să existe aceleași orașe pentru fiecare proiecție în parte.

În situația prezentată, nu se mai pune problema eficienței rutelor feroviare, ci a extinderii serviciului feroviar pentru un număr mai mare de orașe și de locuitori deserviți, argumentația fiind chiar „plusul” de orașe și de locuitori beneficiari direcți și potențiali.

### Comparație multicriterială a coridoarelor București – Arad și București – Oradea

*Tabelul 1*

Metodă	Parametru	Valoare pentru coridorul București – Arad	Valoare pentru coridorul București – Oradea
Accesibilitate potențială	Populație totală (număr)	2085673	1729108
Accesibilitate potențială	Număr de așezări	84	78
Ruta optimă (N-S)	Suma pătratelor distanțelor	73457,6	504459,6
Ruta optimă (N-S)	Număr de așezări	56	49
Ruta optimă (E-V)	Suma pătratelor distanțelor	13694,29	165641,5
Ruta optimă (E-V)	Număr de așezări	12	1

În cazul pătratelor distanțelor, nu s-au înregistrat diferențe semnificative. Din literatura științifică rezultă că se raportează valoarea testului statistic ( $F=1,6$ ) și valoarea  $p$  asociată ( $p=0,1753 > 0,05$ , deci ne semnificativ). În cazul distanțelor, nu s-au găsit diferențe semnificative. Rezultatele se plasează în așa-numita zonă de incertitudine ( $0,05 < p \leq 0,1$ ); se consideră că în acest caz mai multe date ar îmbunătăți semnificația statistică. Valoarea testului statistic este  $F=2,12$  cu valoarea  $p=0,0785$ .

---

**Analiza diferențelor între coridoare prin Metoda de proiecție ortogonală**

**Tabelul 2**

Sursă	Nr. grade de libertate	SS	MS	F	p
Model	9	789950,59	87772,29	6,42	<0,001
Eroare	538	7353657,61	13668,51		
Total	547	8143608,20			

**Analiza diferențelor între coridoare prin Metoda de proiecție ortogonală**

**Tabelul 3**

Variabilă	DF	SS	MS	F	p
Traseu (Magellan sau Columbus)	1	272776,07	272776,07	19,96	<0,001
Coridor (II, III, IV, V sau X)	4	350684,24	87671,06	6,41	<0,001
Combinăția coridor-traseu	4	128911,48	32227,87	2,36	0,05

Analiza diferențelor între coridoare prin Metoda de proiecție ortogonală arată un coeficient de determinare de  $R^2$  de 0,097 și unul de variație CV de 70,09. În contextul analizei, s-a obținut un rezultat semnificativ statistic, testul  $F=6,42$ , valoarea  $p<0,001$  pentru testul global, existând diferențe semnificative în funcție de: traseu -  $F=19,96$ ,  $p<0,001$ , coridor -  $F=6,41$ ,  $p<0,001$  și combinația lor -  $F=2,36$ ,  $p=0,05$ .

Pe porțiunile coridoarelor II, III, IV și V pe care s-a aplicat această metodă se constată că traseul „Magellan” este mai bun decât „Columbus”, în timp ce pe coridorul X situația este inversă.

Pentru varianta de proiecție radială, susținerea matematică prin numărul de orașe accesibile (limita de distanță este de 50 km), oferă indicatori ce arată o accesibilitate mai bună a traseului prin variantele „Magellan”- „Columbus”.

Susținerea statistică este, ca și în cazul metodei anterioare, analiza varianței ANOVA. Metoda compară mediile distanțelor între diferitele variante, în cazul de față coridoarele II, III, IV, V și X. S-au înregistrat diferențe semnificative. Din literatura științifică rezultă valoarea testului statistic ( $F=16,24$ ) și valoarea  $p$  asociată ( $p<0,001$ , fiind semnificativ). Se realizează și analiza statistică prin intermediul analizei bifactoriale a varianței, cu un coeficient de determinare  $R^2=0,073$  și  $CV=66,75$ .

În cadrul analizei, la care s-a obținut un rezultat semnificativ statistic, testul  $F=12,43$ ,  $p<0,001$  pentru testul global au fost identificate diferențe

semnificative în funcție de traseu -  $F=16,70$ ,  $p<0,001$ , coridor -  $F=12,55$ ,  $p<0,001$  și combinația lor -  $F=8,13$ ,  $p<0,001$ .

#### Analiza diferențelor între coridoare prin Metoda de proiecție radială

**Tabelul 4**

Sursă	Nr. grade de libertate	SS	MS	F	p
Model	9	1471815,69	163535,08	12,43	<0,001
Eroare	1430	18811369,43	13154,80		
Total	1439	20283185,12			

#### Analiza diferențelor între coridoare prin Metoda de proiecție radială

**Tabelul 5**

Variabilă	DF	SS	MS	F	p
Traseu (Magellan sau Columbus)	1	878636,47	219659,12	16,70	<0,001
Coridor (II, III, IV, V sau X)	4	165137,49	165137,49	12,55	<0,001
Combinația coridor-traseu	4	428041,72	107010,43	8,13	<0,001

În urma analizei proiecțiilor ortogonală și radială, s-a constatat că cele două variante propuse spre comparație pentru fiecare coridor în parte nu diferă semnificativ, ceea ce înseamnă că pentru alegerea variantei optime de coridoare neconvenționale sunt necesare și alte criterii.

#### Centralizarea rezultatelor din analizele de comparare a rutelor neconvenționale

**Tabelul 6**

Indicatori	Valoarea indicatorului pentru coridorul Columbus (km)	Valoarea indicatorului pentru coridorul Magellan (km)	Varianta pentru care indicatorul prezintă valoarea optimă**
Distanța totală de la orașe la traseu	39.184,03 (ortogonal) 116.004,47(radial)	52.225,29 (ortogonal) 131.424,92 (radial)	Columbus (ortogonal) Columbus (radial)
Distanța totală de la orașele importante la traseu, pentru Modelul ortogonal	C.X-1.511.871,5	C.II-4.858.045,6 C.III-3.227.181,5 C.IV-2.633.247,0 C.V-2.500.074,2	Magellan
Numărul celor mai importante orașe accesibile* la orașul-gară, pentru modelul radial	C.III-21 C.IV-18 C.V-7	C.II-17 C.X-8	Columbus

\* Conform programului ESPON; \*\* Se optează pentru valoarea maximă sau minimă.



---

Rezultă că pe unele porțiuni este mai bine să se aleagă traseul „Magellan”, iar pe alte porțiuni este mai bună alegerea variantei coridorului „Columbus” (Tabelul 6).

### Concluzii

Analiza pe rutele interne s-a axat în primul rând pe dispozițiile legislative naționale și pe necesitatea integrării sistemul feroviar românesc în cel al Uniunii Europene. Pentru îmbinarea rutelor interne cu cele internaționale s-a optat pentru demararea analizei în jurul traseului aferent coridorului pan-european IV, cu modificări în funcție de diferiți parametri. Coridorul pan-european IV traversează teritoriul României prin două ramuri, cu conexiuni spre Europa Centrală și spre Turcia. Se oferă o legătură favorabilă cu exteriorul, și reprezintă punctul de plecare și elementul cheie, valoros și indispensabil, în cercetarea efectuată.

Din analiza proiectării pe hartă a rutei optime, la nivel național cele două variante alese spre comparație sunt destul de bine definite. În urma măsurătorilor au rezultat două zone comune, respectiv de la Constanța la București (165,25 km) și de la Giurgiu la București (70,9 km). Chiar dacă ruta București – Arad este mai scurtă - 619 km și traversează 6 municipii reședință de județ, și varianta București – Oradea oferă accesibilitate pentru 7 municipii pe o lungime de 649 km, cele două criterii nu sunt suficiente pentru alegerea optimă a traseului feroviar de securitate.

În urma calculelor statistice, rezultatele indică coridorul București – Arad drept ruta optimă în România deoarece, indiferent de metoda de analiză, acesta servește mai multe așezări. În plus, fiecare metodă subliniază alte avantaje ale coridorului București – Arad: pe baza accesibilității potențiale, coridorul servește o populație mai mare ca cel București – Oradea, iar în ceea ce privește traseul optim, coridorul București – Arad minimizează suma pătratelor distanțelor față de așezările accesibile, indiferent de calculul acestora pe direcția Nord-Sud sau Est-Vest.

La nivel european abordarea comprehensivă a dezvoltării spațiale confirmă că soluția aceasta nu poate fi globală, ci segmentată pe porțiuni. Sunt necesare și rezultatele obținute din proiectarea propriu-zisă a rutelor coridoarelor, pentru argumentarea „însurării” lor în varianta finală, ca hartă a coridoarelor feroviare pan-europene neconvenționale.

### BIBLIOGRAFIE

- ANGHELACHE, C. S. (2006), The method of regression. *Revista Română de Statistică*, **1**
- DUMITRANA, M., CARAIANI, C., and DASCĂLU, C. (2006), Least squares method: computation and managerial technique in accounting & statistic. *Revista Română de Statistică*, **12**

- 
- ESPON MONITORING COMMITTEE (2004), *ESPON Project 1.2.1. Transport services and networks: territorial trends and basic supply of infrastructure for territorial cohesion*, Tours, Franța: University of Tours.
  - *Anuarul Statistic al României*, București, Institutul Național de Statistică.
  - LEGENDRE, A. M. (1806), *Nouvelles méthodes pour la détermination des orbites des comètes avec un supplément contenant divers perfectionnemens de ces méthodes et leur application aux deux Comètes de 1805*. Paris, France: Courcier.
  - NATIONAL CAPITAL REGION TRANSPORTATION PLANNING BOARD (2006), *Regional Mobility and Accessibility Study: Alternative Land Use and Transportation Scenarios, Phase I. Technical Report*. Washington, DC, USA: Metropolitan Washington Council of Governments.
  - NORDIC CENTRE FOR SPATIAL DEVELOPMENT (2003), *ESPON 1.1.1. Third interim report. The role, specific situation and potentials of urban areas as nodes in a polycentric development*, Stockholm, Suedia: NORDREGIO.
  - NORDIC CENTRE FOR SPATIAL DEVELOPMENT (2005), *ESPON 1.1.1. Potentials for polycentric development. Final Report*, Stockholm, Suedia: NORDREGIO.
  - ODĂGESCU, I., and ODĂGESCU, A. (2009), Parameter determination for regression analyses and extrapolation. *Revista Română de Statistică*, 3
  - Legea nr. 351 din 2001 privind aprobarea Planului de Amenajare a Teritoriului Național – Secțiunea a IV-a, Rețeaua de localități, *Monitorul Oficial*, 408, Partea I.
  - Legea nr. 363 din 21 septembrie 2006 privind aprobarea Planului de Amenajare a Teritoriului Național – Secțiunea I, Rețele de transport, *Monitorul Oficial* 806, Partea I.
  - PETRIȘOR, A. I., Orientation of communication routes and balanced regional development, *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management* 7(16)
  - SPIEKERMANN & WEGENER URBAN AND REGIONAL RESEARCH (2007), *Update of Selected Potential Accessibility Indicators. Final Report*, Oldenburg, Germania: RRG Spatial Planning and Geoinformation.
  - WILLIGERS, J., FLOOR, H, van WEE, B. (2005), *High-Speed Rail's Impact on the Location of Office Employment Within the Dutch Randstad Area*, 45th Congress of the European Regional Science Association Amsterdam, August 23-27.