

Ruxandra-Cristina
STĂNESCU

Carmen
GHEORGHE

CONCEPTE DE LOGISTICĂ ÎN TRANSPORTURILE DE MĂRFURI ȘI PASAGERI

Suport de curs universitar



Editura
Universității
Transilvania
din Brașov

2026

EDITURA UNIVERSITĂȚII TRANSILVANIA DIN BRAȘOV

Adresa: Str. Iuliu Maniu nr. 41A

500091 Brașov

Tel.: 0268 476 050

Fax: 0268 476 051

E-mail: editura@unitbv.ro

Editură acreditată de CNCSIS, cod 81.

ISBN 978-606-19-1878-2 (ebook)

Copyright © Autorii, 2026

Lucrarea a fost avizată de Consiliul Departamentului de Autovehicule și Transporturi, Facultatea de Inginerie mecanică a Universității Transilvania din Brașov.

Cuprins

Curs 1. Introducere în logistica transporturilor: rol, definiții, vocabular, domeniu ..7

1. Definiții fundamentale	8
2. Rolul logisticii în transporturi	9
3. Logistica mărfurilor versus logistica pasageri	10
4. Componentele unui sistem logistic	13
5. Provocările actuale ale logisticii transporturilor	14
6. Bibliografie	15

Curs 2. Evoluția conceptului de logistică și relația cu sistemele de transport.....16

1. Originea conceptului de logistică	17
2. Etapele dezvoltării logisticii	20
3. Relația dintre logistică și transport	20
4. Factori care au influențat dezvoltarea logisticii	25
5. Logistica în era digitală	28
6. Tendințe și perspective	29
7. Bibliografie	30

Curs 3. Sisteme logistice: fluxuri, noduri, rețele, terminale, infrastructură31

1. Conceptul de sistem logistic	32
2. Fluxurile logistice	37
3. Rețele logistice.....	39
4. Nodurile logistice.....	43
5. Terminalele logistice.....	45
6. Infrastructura logistică	45
7. Indicatorii de performanță ai sistemelor logistice.....	47
8. Bibliografie	50

Curs 4. Transportul de mărfuri: caracteristici, moduri, unități de încărcare, lanțuri logistice.....51

1. Rolul transportului de mărfuri în lanțul logistic	53
2. Caracteristicile transportului de mărfuri	55
3. Clasificarea mărfurilor din perspectivă logistică	56
4. Modurile de transport al mărfurilor	58
5. Unitățile de încărcare	61
6. Lanțurile logistice	67
7. Transport multimodal și intermodal.....	67
8. Factorii care influențează alegerea modului de transport	69
9. Bibliografie	69

Curs 5. Transportul de pasageri: cerere de mobilitate, servicii, rețele, calitatea serviciului.....	71
1.Cererea de mobilitate	72
2.Factorii care influențează cererea de mobilitate	74
3.Serviciile de transport de pasageri	76
4.Oferta de transport	78
5.Rețelele de transport de pasageri	79
6.Cererea și oferta în transportul de pasageri.....	84
7.Calitatea serviciului (Level of Service – LOS).....	85
8.Indicatorii de performanță.....	87
9.Integrarea modală.....	88
10.Bibliografie	89
Curs 6. Proiectarea transporturilor în strategia de amplasare a infrastructurilor logistice.....	90
1.Infrastructura logistică	92
2.Rolul transportului în proiectarea infrastructurilor logistice.....	94
3.Tipuri de infrastructuri logistice	95
4.Strategia de amplasare a infrastructurilor logistice.....	98
5.Criterii de amplasare a infrastructurilor logistice	100
6.Modele de amplasare utilizate în logistică.....	101
7.Relația dintre infrastructură și costurile logistice	103
8.Infrastructuri logistice pentru transportul de mărfuri și pasageri.....	104
9.Bibliografie	106
Curs 7. Costuri și performanță în transporturile logistice	107
1.Conceptul de cost logistic	108
2.Structura costurilor de transport	109
3.Factorii care influențează costurile transportului	111
4.Performanța logistică și indicatorii de performanță (KPI)	113
5.Relația dintre cost, nivelul serviciului și productivitate	116
6.Benchmarking în logistică	119
7.Costuri și performanță în transportul de mărfuri și de pasageri	120
8.Digitalizarea și utilizarea datelor în managementul performanței logistice	122
9.Bibliografie	123
Curs 8. Criterii pentru strategiile logistice și servirea clienților/utilizatorilor	124
1.Conceptul de strategie logistică	125
2.Nivelurile deciziilor strategice	126
3.Criterii pentru elaborarea strategiilor logistice	127
4.Segmentarea clienților și strategiile logistice	129
5.Cerințele privind nivelul serviciului	129

6.Strategii de servire a clienților	131
7.Evaluarea performanței serviciului logistic	133
8.Digitalizarea relației cu clienții	135
9.Bibliografie	137

Curs 9. Managementul pericolelor, riscurilor și siguranței în activitatea

logistică	138
1.Noțiuni fundamentale.....	139
2.Categorii de riscuri în activitatea logistică.....	141
3.Surse de risc în transport.....	142
4.Riscuri asociate mărfurilor periculoase	144
5.Procesul de management al riscurilor	145
6.Metode de identificare și evaluare a riscurilor.....	148
7.Managementul continuității activității logistice.....	149
8.Rolul tehnologiilor digitale în reducerea riscurilor.....	150
9.Riscuri specifice transportului de mărfuri și transportului de pasageri	150
10.Indicatori utilizați în managementul riscurilor logistice	151
11.Exemplu aplicativ: evaluarea riscului unei rute logistice	152
12.Concluzii	153
13.Bibliografie	153

Curs 10. Factorii care influențează activitățile logistice: infrastructură, tehnologie, om, mediu

om, mediu	154
1.Infrastructura logistică și de transport.....	155
2.Tehnologia și digitalizarea activităților logistice	157
3.Factorul uman în activitățile logistice.....	159
4.Mediul și sustenabilitatea.....	161
5.Cererea, piața și comportamentul utilizatorilor.....	162
6.Organizarea și managementul proceselor logistice.....	163
7.Interdependența factorilor	164
8.Exemplu aplicativ	164
9.Concluzii	165
10.Bibliografie	166

Curs 11. Stocuri, depozitare și relația dintre logistică și producție/distribuție....

1.Rolul stocurilor în logistică.....	168
2.Tipuri de stocuri	170
3.Costurile asociate stocurilor.....	172
4.Relăția dintre stocuri și transport	173
5.Depozitarea în sistemele logistice.....	173
6.Centre de distribuție și cross-docking.....	175
7.Relatia dintre logistică și producție.....	176

8. Relația dintre logistică și distribuție	176
9. Managementul stocurilor	177
10. Indicatori utilizați în managementul stocurilor și depozitării	178
11. Exemplu aplicativ.....	179
12. Concluzii	179
13. Bibliografie	180
Curs 12. Optimizarea activităților logistice: rute, alocări, circuite, decizii multicriteriale.....	181
1. Conceptul de optimizare logistică.....	182
2. Nivelurile optimizării logistice	183
3. Modele clasice utilizate în logistică	188
4. Decizii multicriteriale	189
5. Optimizarea transportului de mărfuri și de pasageri.....	191
6. Rolul cercetării operaționale	192
7. Concluzii	193
8. Bibliografie	193
Curs 13. Logistică urbană, intermodalitate și integrarea transportului de mărfuri cu cel de pasageri.....	194
1. Conceptul de logistică urbană.....	195
2. Intermodalitatea și multimodalitatea.....	201
3. Distribuția de ultim kilometru (Last Mile Logistics).....	204
4. Concluzii	206
5. Bibliografie	206
Curs 14. Digitalizare, sustenabilitate și tendințe actuale în logistica transporturilor	208
1. Evoluția logisticii către Logistics 4.0 și Logistics 5.0	209
2. Tehnologii digitale în logistica transporturilor	210
3. Automatizare, robotizare și transport autonom.....	214
4. Logistica verde și economia circulară	215
5. Mobilitate inteligentă și integrarea sistemelor de transport.....	217
6. Reziliența și viziunea asupra logisticii în 2040–2050.....	218
7. Concluzii	220
8. Bibliografie	220

CURS 1

Introducere în logistica transporturilor: rol, definiții, vocabular, domeniu

Obiectivele cursului

La finalul acestui curs, studentul trebuie să fie capabil să:

- definească logistica și transportul;
- distingă între logistica mărfurilor și logistica pasagerilor;
- explice rolul transportului în lanțul logistic;
- utilizeze corect terminologia specifică domeniului;
- înțeleagă principalele componente ale unui sistem logistic.

Introducere

Mobilitatea reprezintă una dintre condițiile fundamentale ale dezvoltării economice și sociale. Activitățile economice, funcționarea orașelor, accesul la educație, sănătate, muncă, comerț și servicii depind de capacitatea sistemelor de transport de a deplasa persoane și mărfuri între puncte de origine și destinație.

În fiecare zi, persoane, produse, materii prime, colete, echipamente, alimente, combustibili și informații asociate acestor fluxuri circulă prin rețele de transport locale, regionale, naționale și internaționale. Această circulație nu este întâmplătoare. Ea presupune planificare, organizare, coordonare, control și adaptare permanentă la cerere, costuri, capacitate, infrastructură, timp și constrângeri tehnologice sau de mediu.

Simpla existență a unui vehicul sau a unei infrastructuri de transport nu garantează eficiența deplasării. Un camion poate fi disponibil, dar încărcat ineficient. O rută poate fi scurtă, dar congestionată. Un depozit poate fi bine echipat, dar amplasat nepotrivit. Un serviciu de transport public poate avea vehicule suficiente, dar orare nesincronizate cu cererea. În toate aceste situații, problema nu este doar una de transport, ci una de logistică.

Logistica intervine tocmai pentru a coordona activitățile implicate în deplasarea fluxurilor, astfel încât bunurile sau persoanele să ajungă la destinație în condiții corespunzătoare de timp, cost, siguranță și calitate a serviciului. În acest sens, logistica poate fi înțeleasă ca activitatea de organizare inteligentă a fluxurilor într-un sistem de transport și distribuție.

În abordarea modernă, logistica nu mai este redusă la transportul mărfurilor. Ea este privită ca un proces integrat de proiectare, planificare, implementare și control al fluxurilor fizice, informaționale și financiare. Literatura prezintă logistica drept un domeniu al instrumentelor analitice și manageriale folosite pentru proiectarea și operarea sistemelor logistice și a lanțurilor integrate de aprovizionare, cu accent pe îmbunătățirea performanței și reducerea costului total al sistemului (Ballou, 2004).

Transportul este una dintre componentele cele mai vizibile ale logisticii. În multe cazuri, este și una dintre cele mai costisitoare componente, deoarece implică vehicule, combustibil sau energie, personal, infrastructură, taxe, mentenanță, timpi de așteptare, manipulare și riscuri operaționale. Totuși, transportul nu poate fi analizat izolat. El trebuie înțeles în relație cu depozitarea, stocurile, comenzile, cererea, nivelul serviciului, localizarea terminalelor și organizarea rețelelor.

De aceea, în cadrul acestui curs, logistica transporturilor va fi abordată ca un sistem. Nu interesează doar deplasarea propriu-zisă, ci întregul ansamblu de decizii care face posibilă deplasarea eficientă a mărfurilor și pasagerilor.

1. Definiții fundamentale

DEFINIȚIA LOGISTICII

Logistica poate fi definită ca procesul de planificare, implementare și control eficient al fluxului și stocării bunurilor, serviciilor și informațiilor de la punctul de origine până la punctul de consum, cu scopul satisfacerii cerințelor utilizatorilor (Christopher, 2016).

Această definiție evidențiază câteva elemente importante. În primul rând, logistica este un proces, nu o activitate izolată. Ea include mai multe etape, de la planificare la execuție și control. În al doilea rând, logistica se referă atât la fluxuri fizice, cât și la fluxuri informaționale. În al treilea rând, obiectivul logisticii nu este doar deplasarea, ci satisfacerea cererii în condiții de eficiență.

Într-o formulare adaptată pentru transporturi, logistica reprezintă ansamblul activităților prin care sunt planificate, organizate și controlate fluxurile de mărfuri și pasageri, împreună cu informațiile și resursele necesare, astfel încât deplasarea acestora să se realizeze în condiții optime de cost, timp, siguranță și calitate a serviciului.

DEFINIȚIA TRANSPORTULUI

Transportul reprezintă activitatea prin care persoane sau mărfuri sunt deplasate între două sau mai multe locații, utilizând infrastructura, vehiculele și regulile specifice fiecărui mod de transport.

Transportul creează utilitate de loc, deoarece aduce bunul sau persoana în locul în care există nevoie de acesta sau aceasta. De asemenea, creează utilitate de timp, deoarece valoarea unui transport depinde de momentul în care are loc deplasarea. Un produs livrat prea târziu își poate pierde valoarea economică. Un autobuz care ajunge după ora necesară utilizatorului nu mai satisface cererea reală de mobilitate.

Transportul nu este doar o activitate tehnică. Este și o activitate economică, socială și organizațională. El consumă resurse, ocupă infrastructură, produce costuri, generează efecte asupra mediului și influențează direct competitivitatea firmelor și calitatea vieții populației.

Definiția sistemului logistic

Un sistem logistic este ansamblul componentelor materiale, informaționale, financiare și decizionale care permit organizarea fluxurilor de mărfuri sau pasageri între puncte de origine și destinație. Un sistem logistic poate include furnizori, producători, depozite, terminale, operatori de transport, vehicule, infrastructură, centre de distribuție, clienți, pasageri, sisteme informatice, autorități publice și fluxuri financiare. Aceste elemente nu funcționează independent, ci sunt interconectate.

Performanța unui sistem logistic nu este dată doar de performanța fiecărei componente luate separat (Council of Supply Chain Management Professionals [CSCMP], 2023). Un depozit eficient poate fi inutil dacă este prost conectat la rețeaua de transport. O flotă modernă poate avea performanță scăzută dacă rutele sunt prost planificate. O infrastructură bună poate fi insuficient valorificată dacă nu există coordonare între operatori.

Din acest motiv, analiza logistică trebuie să fie sistemică. Aceasta înseamnă că deciziile sunt evaluate în funcție de efectul lor asupra întregului sistem.

2. Rolul logisticii în transporturi

Transportul reprezintă legătura fizică dintre componentele lanțului logistic. El conectează furnizorii cu producătorii, producătorii cu depozitele, depozitele cu centrele de distribuție, centrele de distribuție cu magazinele sau clienții finali. În cazul pasagerilor, transportul conectează locuințele cu locurile de muncă, instituțiile de învățământ, serviciile medicale, centrele comerciale, zonele de recreere și alte activități sociale. Astfel principalele funcții sunt:

- conectarea furnizorilor cu producătorii;
- distribuția produselor către clienți;
- asigurarea mobilității populației;
- reducerea timpilor de livrare;
- optimizarea costurilor;
- creșterea nivelului serviciilor.

Rolul logisticii este de a organiza aceste conexiuni astfel încât transportul să fie eficient (Rodrigue, 2020). Eficiența nu înseamnă doar cost minim. Înseamnă echilibru între cost, timp, calitate, siguranță, flexibilitate, fiabilitate și impact asupra mediului.

În cazul transportului de mărfuri, obiectivul principal este livrarea produsului:

- la locul potrivit;
- în momentul potrivit;
- în cantitatea potrivită;
- în condițiile potrivite;
- cu cost minim.

În transportul de pasageri, logistica urmărește:

- reducerea timpului de călătorie;
- sincronizarea conexiunilor;
- creșterea accesibilității;
- reducerea aglomerației;
- îmbunătățirea confortului și siguranței.

Dacă pentru marfă accentul cade adesea pe cost și integritatea produsului, pentru pasageri devin foarte importante timpul de călătorie, punctualitatea, frecvența, conectivitatea, confortul și siguranța.

Logistica are un rol și în reducerea ineficiențelor. Rutele prost alese, vehiculele subîncărcate, timpii mari de așteptare, lipsa coordonării între moduri de transport, depozitele amplasate necorespunzător sau serviciile nesincronizate cu cererea produc costuri suplimentare și scad calitatea serviciului.

În abordarea modernă, logistica transporturilor urmărește optimizarea întregului sistem.

3. Logistica mărfurilor versus logistica pasagerilor

Logistica mărfurilor și logistica pasagerilor folosesc adesea aceeași infrastructură: drumuri, terminale, gări, aeroporturi, porturi, sisteme informatice, puncte de transfer și rețele de transport. Totuși, ele au obiective, indicatori și constrângeri diferite.

În logistica mărfurilor, obiectul transportului este produsul. Acesta poate fi materie primă, componentă, colet, produs finit, aliment, combustibil, marfă periculoasă sau produs cu cerințe speciale de temperatură, manipulare ori securitate. Obiectivul principal este livrarea eficientă și sigură a produsului.

În logistica pasagerilor, obiectul transportului este persoana. Aceasta are preferințe, constrângeri de timp, nevoi de confort, siguranță, accesibilitate și predictibilitate. Un pasager nu poate fi tratat ca o unitate de încărcătură, deoarece experiența de călătorie influențează direct calitatea serviciului.

O diferență importantă este flexibilitatea. Mărfurile pot fi adesea consolidate, depozitate temporar sau transportate în afara orelor de vârf. Pasagerii au, în general, ferestre de timp mai rigide: ora de începere a programului, conexiunea cu alt mijloc de transport, durata acceptabilă de așteptare sau necesitatea de a ajunge la o anumită activitate.

Indicatorii principali diferă, de asemenea. Pentru mărfuri, se urmăresc costul logistic, timpul de livrare, integritatea produsului, gradul de încărcare, trasabilitatea și fiabilitatea. Pentru pasageri, se urmăresc timpul de deplasare, punctualitatea, frecvența, confortul, siguranța, accesibilitatea și satisfacția utilizatorului.

Cu toate acestea, există și concepte comune: optimizarea rutelor, planificarea rețelelor, alocarea vehiculelor, managementul flotelor, localizarea terminalelor, reducerea costurilor, creșterea fiabilității și utilizarea datelor pentru luarea deciziilor (Rushton et al., 2022).

Tabelul 1 – Caracteristicile transporturilor de marfă și pasageri

Caracteristică	Transport de mărfuri	Transport de pasageri
Obiect transportat	Produse, colete, materii prime, bunuri	Persoane
Obiectiv principal	Livrare eficientă	Mobilitate eficientă
Indicator dominant	Cost logistic, timp de livrare	Timp de deplasare, punctualitate
Cerere	Dependentă de economie, producție, comerț	Dependentă de activități sociale și mobilitate
Flexibilitate	Poate permite stocare, consolidare, livrare programată	Limitată de programul utilizatorilor
Calitatea serviciului	Livrare la timp, integritatea mărfii	Confort, siguranță, frecvență, accesibilitate

În practică, multe concepte logistice sunt comune ambelor domenii:

- optimizarea rutelor;
- planificarea rețelelor;
- localizarea terminalelor;
- managementul flotelor;
- alocarea resurselor.

VOCABULAR SPECIFIC LOGISTICII

Înțelegerea logisticii transporturilor presupune utilizarea corectă a unui vocabular specific. Termenii de bază trebuie introduși încă de la început, deoarece vor fi utilizați pe tot parcursul disciplinei.

Tabelul 2 - Definiții

Termen	Definiție
Logistică	Managementul fluxurilor materiale, informaționale, financiare și decizionale necesare satisfacerii cererii
Transport	Deplasarea persoanelor sau mărfurilor între două sau mai multe locații
Lanț logistic	Sucesiunea activităților și organizațiilor implicate în deplasarea produsului sau serviciului de la origine la beneficiar

Termen	Definiție
Supply Chain	Rețea integrată de furnizori, producători, distribuitori, operatori logistici și clienți
Flux logistic	Mișcarea bunurilor, persoanelor, informațiilor sau resurselor într-un sistem logistic
Nod logistic	Punct al rețelei în care are loc depozitare, transfer, sortare, încărcare sau descărcare
Hub	Nod major de concentrare, distribuție sau transbordare
Terminal	Facilitate specializată pentru încărcare, descărcare, transfer sau schimb modal
Intermodalitate	Utilizarea succesivă a mai multor moduri de transport pentru același flux
Multimodalitate	Transport realizat prin două sau mai multe moduri, în cadrul unei organizări integrate
Last Mile	Etapă finală a distribuției către client sau utilizator
Nivel de serviciu	Gradul în care sistemul logistic satisface cererea în condiții de timp, calitate și fiabilitate
Lead Time	Durată totală dintre lansarea unei cereri/comenzi și satisfacerea acesteia
Cost logistic total	Totalitatea costurilor generate de transport, stocare, manipulare, depozitare, întârzieri și alte activități logistice

DOMENIUL LOGISTICII TRANSPORTURILOR

Logistica transporturilor are mai multe ramuri, în funcție de modul de transport, tipul fluxului și mediul în care se desfășoară activitatea.

Logistica rutieră include distribuția urbană, transportul regional, transportul național și internațional de mărfuri, transportul de persoane cu autobuze, autocare sau autoturisme și activitățile asociate flotelor rutiere. Este caracterizată prin flexibilitate ridicată, acces direct la origine și destinație, dar și prin expunere la congestie, accidente, restricții de acces și emisii.

Logistica feroviară este importantă pentru transportul de volume mari, transport combinat, fluxuri regulate și distanțe medii sau lungi. În cazul pasagerilor, transportul feroviar poate asigura mobilitate regională, interurbană și metropolitană, cu capacitate mare și impact relativ redus asupra mediului.

Logistica aeriană este utilizată mai ales pentru mărfuri cu valoare ridicată, produse perisabile, transport expres sau situații în care timpul este criteriul dominant. Pentru pasageri, transportul aerian este esențial în mobilitatea pe distanțe lungi și în conectivitatea internațională.

Logistica navală este specifică transportului de volume mari, containerelor, vracului solid și lichid și lanțurilor logistice internaționale. Porturile funcționează ca noduri logistice majore, conectând transportul naval cu transportul rutier și feroviar.

Logistica urbană se ocupă cu organizarea fluxurilor de mărfuri în interiorul orașelor. Ea include livrările comerciale, curieratul, aprovizionarea magazinelor, livrările *e-commerce*, microhub-urile, restricțiile de acces, utilizarea vehiculelor nepoluante și reducerea impactului asupra traficului urban (Taniguchi et al., 2016).

Logistica transportului public se ocupă cu planificarea traseelor, dimensionarea flotei, programarea curselor, sincronizarea conexiunilor, informarea pasagerilor, adaptarea la cerere și evaluarea calității serviciului. Ea este o formă de logistică a mobilității, în care fluxul principal este format din persoane.

4. Componentele unui sistem logistic

Un sistem logistic modern este alcătuit din mai multe categorii de componente: infrastructură, vehicule, terminale, depozite, sisteme informatice, personal, operatori, autorități publice și utilizatori.

Infrastructura include drumuri, căi ferate, porturi, aeroporturi, terminale, stații, autogări, platforme logistice, parcuri, centre de transfer și zone de încărcare-descărcare. Fără infrastructură adecvată, fluxurile logistice devin lente, costisitoare și nesigure.

Vehiculele reprezintă mijloacele prin care se realizează deplasarea: camioane, autoutilitare, autobuze, autocare, trenuri, tramvaie, nave, avioane, biciclete cargo sau vehicule autonome. Alegerea vehiculului depinde de tipul fluxului, distanță, capacitate, cost, disponibilitate și restricții.

Terminalele și depozitele sunt puncte în care fluxurile sunt concentrate, sortate, stocate, transferate sau redistribuite. Ele au un rol esențial în conectarea modurilor de transport și în gestionarea relației dintre transport și stocuri.

Sistemele informatice permit planificarea, monitorizarea și controlul fluxurilor. Ele includ sisteme de management al transportului, sisteme de management al depozitelor, urmărire GPS, platforme de comandă, baze de date, aplicații GIS și instrumente de analiză.

Personalul și operatorii logistici asigură planificarea, conducerea, manipularea, controlul și coordonarea proceselor. În logistică, factorul uman rămâne important chiar și atunci când tehnologia este avansată, deoarece deciziile operaționale trebuie adaptate permanent la situații reale.

Autoritățile publice influențează sistemul logistic prin reglementări, investiții în infrastructură, politici de mobilitate, restricții de acces, taxe, norme de siguranță și politici de mediu.

Utilizatorii sunt beneficiarii sistemului: clienți, firme, pasageri, comunități, instituții publice. Nivelul de serviciu este evaluat în funcție de modul în care sistemul răspunde nevoilor acestora.

Toate aceste componente sunt conectate prin fluxuri materiale, informaționale, financiare și decizionale. Fluxurile materiale se referă la mișcarea bunurilor sau persoanelor. Fluxurile informaționale includ comenzi, programări, date despre trafic, urmărirea livrărilor și comunicarea cu utilizatorii. Fluxurile financiare includ costuri, plăți, tarife și investiții. Fluxurile decizionale includ planificarea rutelor, alocarea vehiculelor, stabilirea frecvențelor și alegerea modurilor de transport.

5. Provocările actuale ale logisticii transporturilor

Logistica transporturilor se află într-o perioadă de transformare rapidă. Creșterea comerțului electronic a schimbat modul de organizare a distribuției, în special în orașe. Clienții solicită livrări rapide, flexibile și transparente, ceea ce crește presiunea asupra operatorilor logistici și asupra infrastructurii urbane.

Congestia urbană reprezintă o problemă majoră. Atât transportul de marfă, cât și transportul de pasageri concurează pentru aceeași infrastructură rutieră. Creșterea numărului de livrări, a serviciilor de curierat și a deplasărilor individuale poate conduce la întârzieri, consum suplimentar de combustibil, emisii și scăderea calității vieții urbane.

Reducerea emisiilor de carbon este o provocare actuală. Transporturile contribuie semnificativ la consumul de energie și la poluare, iar logistica modernă trebuie să includă soluții de eficientizare energetică, utilizare a vehiculelor electrice, optimizare a rutelor, consolidare a livrărilor, intermodalitate și logistică verde.

Digitalizarea schimbă modul în care sunt planificate și controlate fluxurile logistice. Datele în timp real, sistemele GPS, platformele digitale, *Internet of Things*, inteligența artificială și digital twins permit o mai bună monitorizare și optimizare a sistemelor de transport. Literatura de specialitate include explicit teme precum proiectarea rețelelor, planificarea transporturilor, rutarea, programarea și analiza operațională, ceea ce arată importanța instrumentelor analitice în logistica modernă (Ben-Daya et al., 2019).

Reziliența lanțurilor logistice a devenit, de asemenea, o temă importantă. Evenimentele neprevăzute, cum ar fi blocajele de infrastructură, crizele economice, schimbările geopolitice, pandemiile, fenomenele meteo extreme sau întreruperile de aprovizionare, pot afecta funcționarea

sistemelor logistice. Un sistem logistic performant trebuie să fie nu doar eficient, ci și capabil să se adapteze.

În acest context, logistica transporturilor nu mai poate fi tratată doar ca o problemă operațională. Ea devine o problemă strategică, care implică proiectarea rețelelor, integrarea tehnologiilor, colaborarea între actori, reducerea impactului asupra mediului și creșterea calității serviciilor pentru utilizatori.

6. Bibliografie

- Ballou, R. H. (2004). *Business logistics/supply chain management: Planning, organizing, and controlling the supply chain* (5th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management* (5th ed.). Pearson.
- Council of Supply Chain Management Professionals. (2023). *CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary*. CSCMP.
- Rodrigue, J.-P. (2020). *The geography of transport systems* (5th ed.). Routledge.
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2022). *The handbook of logistics and distribution management* (7th ed.). Kogan Page.
- Taniguchi, E., Thompson, R. G., & Yamada, T. (2016). *City logistics: Mapping the future*. CRC Press.
- Ben-Daya, M., Hassini, E., & Bahroun, Z. (2019). Internet of things and supply chain management: A literature review. *International Journal of Production Research*, 57(15–16), 4719–4742.

CURS 2

Evoluția conceptului de logistică și relația cu sistemele de transport

Obiectivele cursului

La finalul acestui curs, studentul trebuie să fie capabil să:

- explice originea și evoluția conceptului de logistică;
- identifice principalele etape ale dezvoltării logisticii moderne;
- înțeleagă rolul transportului în cadrul sistemelor logistice;
- diferențieze abordarea tradițională de cea integrată a logisticii;
- analizeze relația dintre logistică, transport și lanțul de aprovizionare;
- descrie impactul digitalizării și al sustenabilității asupra logisticii contemporane.

Introducere

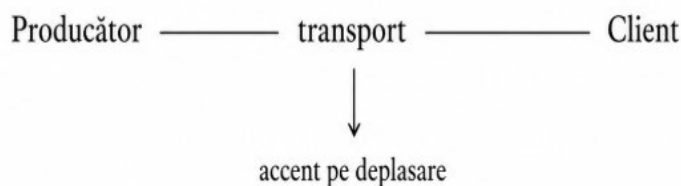
Deplasarea mărfurilor și a persoanelor a fost întotdeauna esențială pentru dezvoltarea societății. Activitățile economice, schimburile comerciale, dezvoltarea orașelor, mobilitatea forței de muncă și accesul populației la servicii depind direct de existența unor sisteme de transport capabile să lege punctele de origine de punctele de destinație.

Mult timp, accentul a fost pus aproape exclusiv pe transport, considerat activitatea principală prin care bunurile ajung de la producător la consumator, iar persoanele ajung de la locuință la locul de muncă, la școală sau la alte activități. În această abordare tradițională, transportul era privit mai ales ca o funcție tehnică: alegerea vehiculului, alegerea traseului și efectuarea deplasării.

Începând cu a doua jumătate a secolului al XX-lea, dezvoltarea comerțului internațional, extinderea piețelor, containerizarea, creșterea complexității producției industriale, apariția tehnologiilor informaționale și globalizarea au arătat că transportul, deși indispensabil, reprezintă doar o componentă a unui sistem mai amplu.

Acest sistem include aprovizionare, depozitare, gestiunea stocurilor, manipulare, ambalare, planificarea rețelelor, coordonarea informațiilor, relația cu clienții și evaluarea performanței.

ABORDARE TRADIȚIONALĂ



ABORDARE LOGISTICĂ MODERNĂ

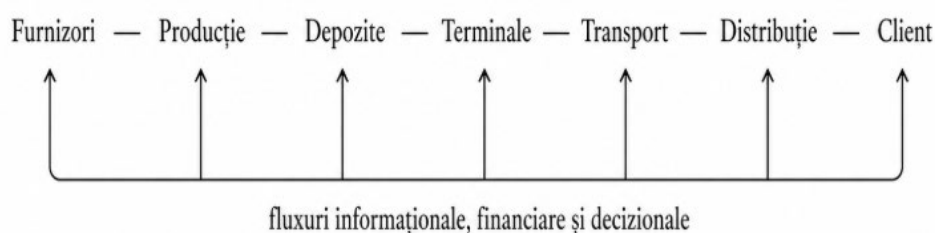


Figura 1 – Logistica – tradițional vs. modern

Astăzi, logistica este definită ca un proces integrat de planificare, organizare și control al fluxurilor de mărfuri, pasageri, informații și resurse financiare. Transportul rămâne unul dintre procesele sale fundamentale, dar nu mai poate fi analizat izolat. Într-un sistem logistic modern, transportul trebuie corelat cu cererea, capacitatea infrastructurii, localizarea depozitelor, nivelul stocurilor, costurile totale, calitatea serviciului și impactul asupra mediului.

1. Originea conceptului de logistică

Termenul **logistică** provine din cuvântul grecesc *logistikos*, care desemna arta calculului și a organizării. Ulterior, termenul a fost preluat în Imperiul Bizantin și apoi în armatele europene pentru a descrie activitățile necesare susținerii operațiunilor militare.

Înainte de a deveni un concept economic și managerial, logistica a avut o dezvoltare importantă în domeniul militar. În acest context, ea desemna activitățile necesare susținerii operațiunilor militare prin aprovizionare, transport, depozitare și distribuția resurselor.

În domeniul militar, logistica includea aprovizionarea trupelor, transportul armamentului și muniției, distribuția alimentelor, asigurarea combustibilului, organizarea echipamentelor, stabilirea depozitelor și planificarea rutelor de aprovizionare. Succesul campaniilor militare depindea nu doar de strategia de luptă, ci și de capacitatea logistică de a furniza resursele necesare la locul potrivit și în momentul potrivit.

Această idee este esențială și astăzi. În economia modernă, o firmă poate avea un produs competitiv, dar dacă nu îl poate livra la timp, în condiții bune și cu un cost acceptabil, avantajul său comercial se reduce. La fel, un sistem de transport public poate avea vehicule moderne, dar dacă acestea nu sunt programate corect, nu sunt sincronizate sau nu deservește zonele de cerere, calitatea serviciului scade.

În forma sa modernă, logistica a depășit domeniul militar și s-a transformat într-o funcție strategică a organizațiilor. Ea nu mai înseamnă doar „aprovizionare” sau „transport”, ci coordonarea fluxurilor care permit funcționarea întregului sistem economic și social.

Tabelul 3 – Elemente militare și corespondențe în logistica economică modernă

Logistică militară	Logistică economică / civilă
Aprovizionarea trupelor	Aprovizionarea producției și distribuției
Transportul muniției și echipamentelor	Transportul mărfurilor, pieselor, produselor finite
Depozite militare	Depozite, centre logistice, platforme de distribuție
Rute de aprovizionare	Coridoare de transport, rute logistice, rețele multimodale
Coordonarea operațiunilor	Planificare logistică, sisteme informatice, management operațional
Continuitatea resurselor	Continuitatea lanțului de aprovizionare și reziliență

EVOLUȚIA LOGISTICII ÎN MEDIUL ECONOMIC

După cel de-al Doilea Război Mondial, numeroase concepte logistice dezvoltate în domeniul militar au fost adaptate sectorului civil. În anii 1950–1960, activitățile de transport, depozitare, aprovizionare și distribuție erau gestionate în mare parte separat. Fiecare departament urmărea eficiența propriei activități, fără o analiză completă a efectelor asupra întregului sistem.

Această abordare fragmentată avea limite clare. De exemplu, un departament putea reduce costul transportului prin alegerea unor livrări mai rare și mai mari, dar această decizie putea crește costurile de stocare și putea reduce flexibilitatea față de client. Invers, livrările foarte frecvente puteau reduce stocurile, dar puteau crește costurile de transport. Din această tensiune s-a dezvoltat ideea de cost logistic total.

Începând cu anii 1970, creșterea complexității economice a determinat integrarea activităților logistice. Transportul, stocurile, depozitarea și distribuția au început să fie analizate împreună. Obiectivul nu mai era minimizarea fiecărui cost separat, ci optimizarea costului total și îmbunătățirea nivelului serviciului.

În anii 1980 și 1990, dezvoltarea conceptului de Supply Chain Management a extins logistica dincolo de limitele unei singure organizații. Logistica a devenit o activitate de coordonare între furnizori, producători, operatori de transport, distribuitori, comercianți și clienți. În acest context, informația a devenit la fel de importantă ca fluxul fizic. Cunoașterea cererii, urmărirea comenzilor, planificarea livrărilor și sincronizarea actorilor au devenit elemente esențiale.

Council of Supply Chain Management Professionals definește managementul logisticii ca acea parte a managementului lanțului de aprovizionare care planifică, implementează și controlează fluxul direct și invers, precum și stocarea bunurilor, serviciilor și informațiilor asociate, între punctul de origine și punctul de consum, pentru satisfacerea cerințelor clienților. Aceeași sursă subliniază că logistica este o funcție integratoare, care coordonează și optimizează activitățile logistice și le integrează cu alte funcții ale organizației.

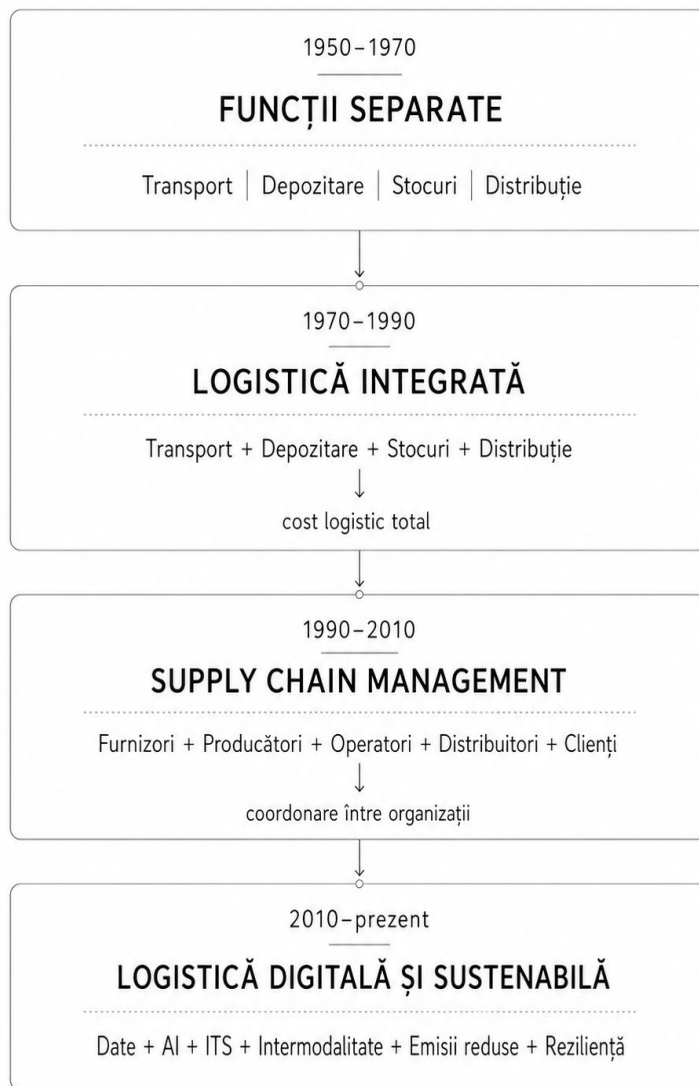


Figura 2 – Evoluția logisticii

2. Etapele dezvoltării logisticii

Evoluția logisticii poate fi sintetizată în cinci etape principale. Această împărțire nu trebuie interpretată rigid, deoarece perioadele se suprapun și diferă de la o regiune la alta sau de la un sector economic la altul. Totuși, ea este utilă pentru a înțelege trecerea de la o logistică operațională la o logistică strategică și integrată.

Tabelul 4 – Etapele dezvoltării logisticii

Perioada	Caracteristici principale	Rolul transportului	Tip de decizie dominantă
Antichitate – secolul XIX	Logistică militară, aprovizionare, organizarea resurselor	Deplasarea trupelor și resurselor	Operațională
1950 – 1970	Transport și depozitare tratate separat	Activitate tehnică de livrare	Funcțională
1970 – 1990	Integrarea funcțiilor logistice	Parte a costului logistic total	Managerială
1990 – 2010	Supply Chain Management, globalizare, outsourcing	Legătură între organizații și piețe	Strategică
2010 – prezent	Logistică digitală, inteligentă, sustenabilă, rezilientă	Componentă a rețelelor conectate și optimizate	Sistemică și predictivă

Trecerea de la o etapă la alta arată că logistica s-a transformat treptat dintr-o activitate de suport într-o sursă de avantaj competitiv. În prezent, o organizație poate concura nu doar prin produs, ci și prin rapiditatea livrării, flexibilitatea serviciului, trasabilitate, cost logistic redus, impact de mediu mai mic și capacitatea de a răspunde la perturbări.

Această evoluție este vizibilă și în transportul de pasageri. În trecut, accentul era pus pe existența mijlocului de transport și pe acoperirea unei rute. În prezent, sistemele moderne de mobilitate urmăresc integrarea modurilor, informarea în timp real, reducerea timpilor de așteptare, accesibilitatea, intermodalitatea și sustenabilitatea.

3. Relația dintre logistică și transport

Transportul reprezintă procesul fizic prin care mărfurile și pasagerii sunt deplasați între două sau mai multe locații. Logistica include transportul, dar îl completează prin activități precum planificarea rutelor, gestionarea stocurilor, depozitarea, manipularea încărcăturilor, coordonarea informațiilor, programarea operațiunilor și evaluarea performanței.

Prin urmare, transportul poate fi considerat componenta operațională vizibilă, iar logistica reprezintă cadrul managerial și strategic care organizează această componentă împreună cu celelalte activități ale sistemului.

Un sistem logistic eficient nu urmărește doar reducerea costului transportului. El urmărește optimizarea costului total și creșterea nivelului serviciului. De exemplu, utilizarea unui mod de transport mai rapid poate avea un cost direct mai mare, dar poate reduce costurile de stocare, poate crește disponibilitatea produsului și poate îmbunătăți satisfacția clientului. În alte situații, un transport mai lent, dar mai ieftin și mai puțin poluant, poate fi potrivit pentru mărfuri care nu sunt urgente.

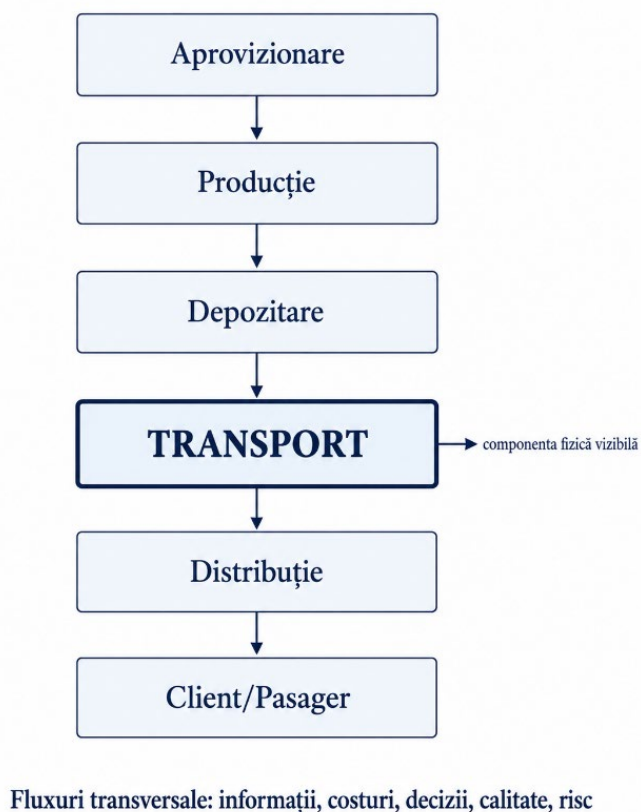


Figura 3 – Sistem logistic

Exemplu explicativ

O firmă care livrează produse alimentare către magazine poate alege între două soluții. Prima soluție presupune livrări zilnice cu autoutilitare mici. Costul de transport este mai mare, dar magazinele au nevoie de stocuri mai mici, produsele sunt mai proaspete, iar nivelul serviciului este ridicat. A doua soluție presupune livrări la trei zile cu camioane mai mari. Costul pe unitate transportată poate scădea, dar cresc stocurile în magazine și riscul de lipsă sau degradare a produselor. Decizia logistică nu se ia doar pe baza costului de transport, ci pe baza costului total și a nivelului serviciului.

Același principiu se aplică transportului de pasageri. Un operator de transport public poate reduce costurile prin scăderea frecvenței curselor, dar această decizie crește timpul de așteptare, reduce atractivitatea serviciului și poate determina utilizatorii să aleagă autoturismul personal. Costul operatorului scade local, dar costul social al sistemului poate crește prin congestie, emisii și reducerea accesibilității.

• **Logistica transportului de mărfuri și logistica transportului de pasageri**

Deși transportul de mărfuri și transportul de pasageri utilizează adesea aceeași infrastructură, cele două domenii au obiective și indicatori specifici.

Logistica transportului de mărfuri

În logistica transportului de mărfuri, obiectivul principal este deplasarea bunurilor în cantitatea solicitată, la destinația corectă, în timpul stabilit, în condiții de siguranță și cu un cost acceptabil. Bunurile pot fi materii prime, componente, produse finite, colete, mărfuri perisabile, produse cu valoare ridicată, mărfuri periculoase sau bunuri transportate în containere.

Indicatorii utilizați includ costul logistic total, timpul de livrare, fiabilitatea livrării, gradul de utilizare a capacității, integritatea mărfii, frecvența livrărilor, trasabilitatea și nivelul serviciului.

Transportul de mărfuri este puternic influențat de organizarea producției și distribuției. Modelele de tip just-in-time, comerțul electronic, globalizarea și externalizarea serviciilor logistice au crescut importanța coordonării între firme, operatori logistici și infrastructuri.

Transportul de marfă trebuie înțeles ca parte a unui sistem logistic integrat, în care performanța nu depinde doar de deplasarea fizică a bunurilor, ci și de organizarea fluxurilor, localizarea nodurilor logistice, structura rețelelor și coordonarea activităților de distribuție (Hesse & Rodrigue, 2004).

Logistica transportului de pasageri

În cazul transportului de pasageri, accentul se mută de la bunuri la experiența utilizatorului. Obiectivele principale sunt reducerea timpului de călătorie, minimizarea timpului de așteptare, asigurarea conexiunilor între moduri de transport, creșterea accesibilității, îmbunătățirea confortului, siguranței și predictibilității.

Transportul de pasageri are o particularitate importantă: cererea este foarte legată de timp. Orele de vârf, programul de lucru, programul școlar, evenimentele urbane și sezonabilitatea influențează puternic fluxurile. Spre deosebire de mărfuri, pasagerii nu pot fi „depozitați”, iar toleranța lor la așteptare este limitată.

În ultimii ani, transportul de pasageri este tot mai mult analizat în legătură cu sustenabilitatea, accesibilitatea și calitatea vieții urbane. International Transport Forum subliniază că sistemele de transport public bine finanțate și eficiente sunt importante pentru decarbonizare, acces la oportunități și orașe mai locuibile. (OECD)

Tabelul 5 – Comparație între logistica mărfurilor și logistica pasagerilor

Criteriu	Logistica mărfurilor	Logistica pasagerilor
Obiectul fluxului	Bunuri, colete, materii prime, produse	Persoane
Obiectiv principal	Livrare eficientă și sigură	Mobilitate accesibilă, sigură și confortabilă
Indicatori principali	Cost, timp de livrare, fiabilitate, trasabilitate	Timp de călătorie, punctualitate, frecvență, confort
Flexibilitate temporală	Uneori ridicată; marfa poate fi stocată	Redusă; pasagerii au constrângeri de timp
Rolul terminalelor	Depozitare, sortare, transbordare	Transfer, îmbarcare/debarcare, conexiuni
Probleme specifice	Stocuri, manipulare, deteriorare, last mile	Așteptare, accesibilitate, aglomerație, siguranță
Tendențe actuale	E-commerce, automatizare, intermodalitate, logistică verde	MaaS, ITS, transport public integrat, mobilitate partajată

• Logistica și sistemele de transport

Sistemele de transport reprezintă suportul fizic și operațional prin care sunt realizate fluxurile logistice. Ele includ infrastructura rutieră, feroviară, navală, aeriană și intermodală, dar și vehiculele, terminalele, operatorii, regulile de funcționare, sistemele informatice și utilizatorii. Din perspectiva logisticii, transportul nu este analizat izolat, ci ca parte a unei rețele mai largi de activități care permit deplasarea mărfurilor, pasagerilor și informațiilor între punctele de origine și destinație.

În literatura de specialitate, sistemele de transport sunt frecvent analizate ca rețele formate din noduri, legături și fluxuri. Nodurile pot fi depozite, terminale, gări, porturi, aeroporturi, stații de transport public, centre de distribuție sau platforme logistice. Legăturile sunt reprezentate de drumuri, căi ferate, rute maritime, rute aeriene sau coridoare intermodale. Fluxurile sunt reprezentate de mărfuri, pasageri, vehicule, informații, costuri și decizii. Rodrigue definește rețeaua de transport ca un cadru de rute care conectează un sistem de locații identificate ca noduri, rutele putând fi infrastructuri fizice, cum sunt drumurile și căile ferate, sau coridoare mai puțin tangibile, cum sunt rutele aeriene și maritime (Rodrigue,).

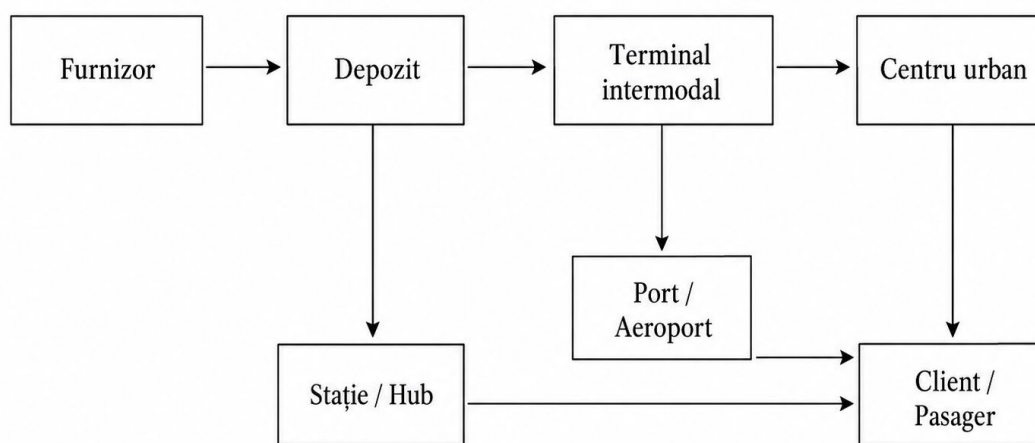
Într-un sistem logistic, rețeaua de transport are rolul de a susține deplasarea fluxurilor. Totuși, performanța sistemului nu depinde doar de existența infrastructurii, ci și de modul în care aceasta este utilizată. Un drum, o cale ferată sau un terminal nu produc valoare logistică prin simpla lor existență, ci prin capacitatea de a conecta eficient origini, destinații, operatori și utilizatori.

O rețea logistică eficientă trebuie să asigure conectivitate, capacitate, fiabilitate, siguranță și flexibilitate. Conectivitatea indică măsura în care nodurile sunt legate între ele. Capacitatea arată volumul de fluxuri care poate fi preluat de infrastructură. Fiabilitatea se referă la predictibilitatea timpilor de transport. Flexibilitatea arată capacitatea sistemului de a se adapta la schimbări de cerere, incidente sau constrângeri operaționale.

Din punct de vedere logistic, sistemele de transport trebuie analizate atât pentru transportul de mărfuri, cât și pentru transportul de pasageri. În cazul mărfurilor, accentul cade pe cost, timp de livrare, siguranța încărcăturii, trasabilitate și integrarea cu depozitarea sau distribuția. În cazul pasagerilor, accentul cade pe accesibilitate, timp de călătorie, frecvență, confort, punctualitate și siguranță. Chiar dacă indicatorii diferă, principiul rămâne același: fluxurile trebuie organizate astfel încât resursele sistemului să fie utilizate eficient.

O idee importantă în logistica modernă este că sistemele de transport nu mai pot fi tratate separat de lanțurile de aprovizionare și de cererea de mobilitate. Transportul de marfă trebuie înțeles ca parte a unui sistem logistic integrat, în care performanța nu depinde doar de deplasarea fizică a bunurilor, ci și de organizarea fluxurilor, localizarea nodurilor logistice, structura rețelelor și coordonarea activităților de distribuție (Hesse & Rodrigue, 2004).

În mod similar, transportul de pasageri este tot mai mult integrat în sisteme de mobilitate care includ infrastructură, servicii, date, orare, aplicații digitale, conexiuni între moduri și politici publice. Transportul public, mobilitatea partajată, mersul pe jos, bicicleta, transportul feroviar regional și sistemele de informare în timp real pot fi analizate ca elemente ale unei rețele logistice a mobilității.



Noduri: depozite, terminale, stații, porturi, aeroporturi

Legături: drumuri, căi ferate, rute maritime/aeriene

Fluxuri: mărfuri, pasageri, informații, decizii

Figura 4 – Sistem de transport modelat ca rețea logistică

4. Factori care au influențat dezvoltarea logisticii

Dezvoltarea logisticii moderne a fost influențată de transformări economice, tehnologice și sociale majore. Printre cei mai importanți factori se numără globalizarea comerțului, containerizarea, dezvoltarea tehnologiilor informaționale, comerțul electronic și cerințele privind sustenabilitatea.

Acești factori au schimbat atât modul în care sunt deplasate mărfurile, cât și modul în care sunt organizate serviciile de transport pentru pasageri. Logistica nu mai este doar o funcție internă a unei firme, ci o activitate de coordonare între organizații, infrastructuri, tehnologii și utilizatori.

- **Globalizarea comerțului**

Globalizarea a extins lanțurile logistice la scară internațională. Produsele sunt astăzi proiectate, fabricate, asamblate, transportate, depozitate și comercializate în regiuni diferite ale lumii. Un produs finit poate conține componente provenite din mai multe țări, iar transportul devine legătura fizică dintre aceste activități distribuite geografic.

Această extindere a lanțurilor logistice a crescut importanța porturilor, aeroporturilor, coridoarelor internaționale, terminalelor intermodale și sistemelor informatice de urmărire. Logistica globală trebuie să gestioneze distanțe mari, diferențe legislative, formalități vamale, riscuri geopolitice, variații ale costurilor, timpuri de tranzit și incertitudine.

Prin globalizare, logistica s-a transformat dintr-o activitate predominant operațională într-o funcție strategică. O organizație nu concurează doar prin produsul pe care îl oferă, ci și prin capacitatea de a-l livra rapid, sigur, predictibil și la un cost competitiv.

- **Containerizarea**

Containerizarea este unul dintre cei mai importanți factori care au transformat transportul de marfă. Containerul standardizat a permis manipularea rapidă a mărfurilor și transferul eficient între transportul rutier, feroviar și naval. Înainte de containerizare, mărfurile erau manipulate individual la fiecare transfer, ceea ce implica timpuri mari, costuri ridicate și risc crescut de deteriorare.

Prin utilizarea containerului, marfa este grupată într-o unitate standardizată, care poate fi transferată între moduri de transport fără manipularea directă a conținutului. Acest lucru reduce timpul de operare în terminale, crește siguranța mărfii, facilitează intermodalitatea și permite organizarea unor lanțuri logistice globale.

Containerizarea a contribuit la dezvoltarea transportului intermodal și a modificat profund rolul porturilor, terminalelor feroviare și centrelor logistice. Terminalul nu mai este doar un punct de încărcare sau descărcare, ci un nod strategic în care se realizează transferul între moduri și coordonarea fluxurilor.

Containerizarea reprezintă un element central al transportului intermodal, deoarece utilizarea unei unități standardizate de încărcare facilitează conectarea eficientă a diferitelor moduri de transport și a terminalelor într-un lanț logistic integrat (Rodrigue, 2024).

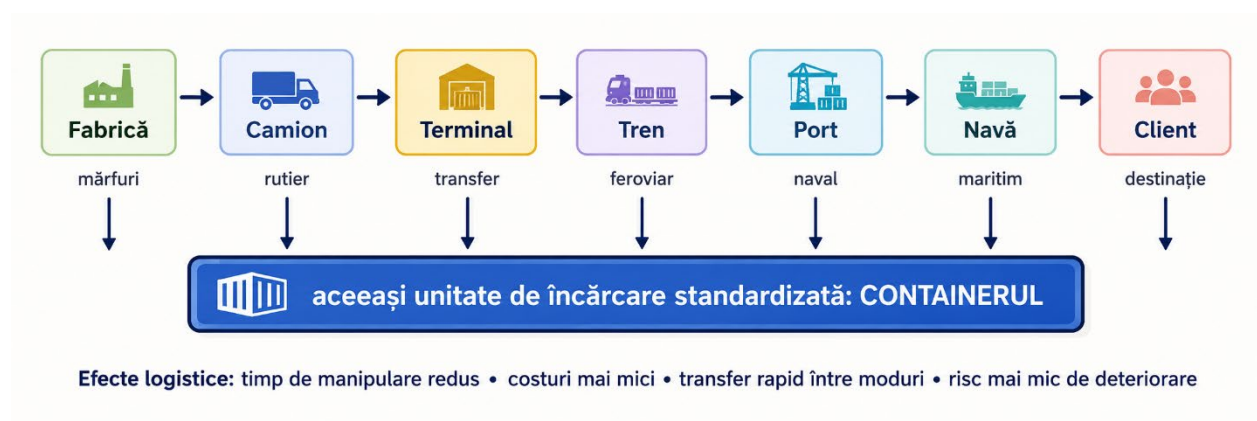


Figura 5 – Containerizarea

- **Dezvoltarea tehnologiilor informaționale**

Tehnologiile informaționale au schimbat fundamental modul de planificare, monitorizare și control al activităților logistice. În sistemele tradiționale, informațiile circulau lent, iar deciziile erau luate pe baza unor date incomplete sau întârziate. În prezent, sistemele digitale permit colectarea, transmiterea și analizarea datelor aproape în timp real.

Sistemele ERP integrează informațiile despre resursele organizației. Sistemele TMS sprijină planificarea și monitorizarea transporturilor. Sistemele WMS gestionează activitățile din depozite. Sistemele ITS contribuie la managementul traficului și la informarea utilizatorilor. Aplicațiile GIS permit analiza spațială a rețelelor, rutelor și amplasamentelor logistice.

Informația a devenit o resursă logistică esențială. Dacă un operator cunoaște poziția vehiculului, starea traficului, capacitatea disponibilă, ora estimată de sosire și nivelul cererii, poate lua decizii mai bune privind rutarea, alocarea vehiculelor și comunicarea cu beneficiarii. În transportul de pasageri, informarea în timp real reduce incertitudinea și crește atractivitatea serviciului.

Definiția CSCMP a managementului logisticii include explicit fluxul și stocarea bunurilor, serviciilor și informațiilor asociate între punctul de origine și punctul de consum, ceea ce confirmă rolul central al informației în logistica modernă (Council of Supply Chain Management Professionals, n.d.).

- **Comerțul electronic**

Comerțul electronic a schimbat profund logistica de distribuție. În modelul tradițional, multe fluxuri erau organizate sub forma unor livrări mari către magazine, depozite regionale sau centre comerciale. În modelul comerțului electronic, o parte importantă a fluxurilor se transformă în livrări mici, frecvente și dispersate către clienți individuali.

Această transformare a crescut importanța logisticii de ultim kilometru. Ultimul kilometru este etapa finală a distribuției, în care produsul ajunge la clientul final. Deși reprezintă o distanță relativ mică, această etapă poate fi una dintre cele mai costisitoare și mai dificile, deoarece implică adrese multiple, ferestre de timp scurte, trafic urban, dificultăți de parcare, încercări repetate de livrare și așteptări ridicate ale clienților.

Comerțul electronic a determinat dezvoltarea centrelor de distribuție automatizate, a microhub-urilor urbane, a *lockerelor*, a livrărilor cu vehicule electrice și a soluțiilor de distribuție prin biciclete cargo sau vehicule ușoare. Astfel, comportamentul consumatorilor influențează direct organizarea logisticii și utilizarea infrastructurii urbane.

- **Cerințele privind sustenabilitatea**

Sustenabilitatea a devenit un criteriu esențial în proiectarea sistemelor logistice. Transporturile consumă energie, produc emisii, ocupă spațiu, contribuie la congestie și generează zgomot. În acest context, logistica modernă trebuie să urmărească nu doar eficiența economică, ci și reducerea impactului asupra mediului și asupra comunităților.

Soluțiile de sustenabilitate includ optimizarea rutelor, creșterea gradului de încărcare, reducerea curselor goale, utilizarea vehiculelor electrice, transferul către moduri mai puțin poluante, dezvoltarea transportului intermodal, consolidarea livrărilor și integrarea criteriilor de mediu în deciziile logistice.

ITF Transport Outlook 2023 analizează impactul politicilor de transport asupra cererii globale de transport și asupra emisiilor de CO₂ până în anul 2050, acoperind atât transportul de pasageri, cât și transportul de marfă, pe toate modurile de transport (International Transport Forum, 2023).

Tabelul 6 – Impactul politicilor de transport

Factor	Efect asupra logisticii	Efect asupra transporturilor
Globalizarea	Lanțuri logistice internaționale	Creșterea fluxurilor pe distanțe lungi
Containerizarea	Standardizarea unităților de încărcare	Transfer rapid între moduri
Tehnologiile informaționale	Coordonare și control în timp real	Rutare, tracking, management flotă
Comerțul electronic	Livrări mici, rapide și dispersate	Dezvoltarea logisticii de ultim kilometru
Sustenabilitatea	Integrarea criteriilor de mediu	Electrificare, intermodalitate, reducerea emisiilor

5. Logistica în era digitală

În prezent, logistica este caracterizată prin integrarea tehnologiilor digitale în toate etapele lanțului logistic. Digitalizarea nu înseamnă doar utilizarea calculatoarelor, ci transformarea modului în care sunt colectate datele, analizate procesele, luate deciziile și coordonate fluxurile.

Printre cele mai importante tehnologii se numără Internet of Things, inteligența artificială, Big Data, Cloud Computing, Blockchain, Digital Twins, vehicule autonome, drone pentru livrare și sisteme inteligente de transport.

Internet of Things permite conectarea vehiculelor, containerelor, coletelor, infrastructurii și echipamentelor prin senzori. Datele colectate pot indica poziția, temperatura, viteza, consumul, starea încărcăturii sau eventualele întârzieri. În cazul transportului de pasageri, datele pot proveni din validări de bilete, aplicații mobile, senzori de trafic sau sisteme de informare în timp real.

Inteligența artificială poate sprijini prognoza cererii, optimizarea rutelor, alocarea vehiculelor, identificarea riscurilor și automatizarea unor decizii operaționale. Big Data permite analiza unor volume mari de date provenite din trafic, comenzi, senzori, aplicații mobile și sisteme de urmărire.

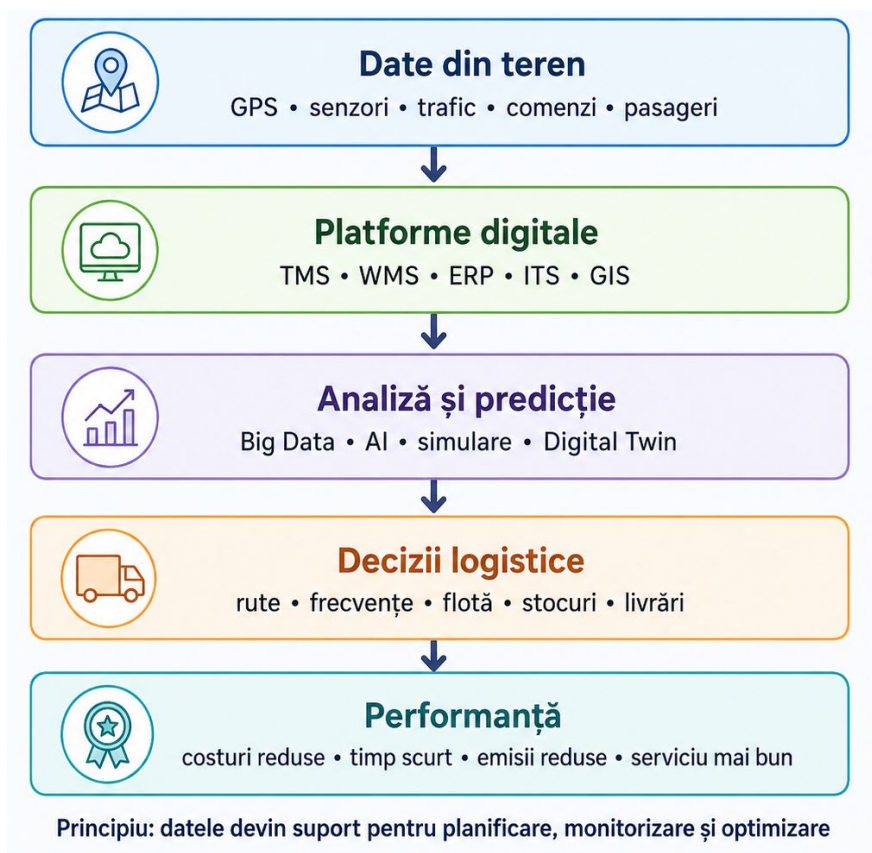


Figura 6 – Logistica în era digitală

Digital Twins creează reprezentări digitale ale unor sisteme reale, cum ar fi un depozit, un terminal, o rețea de transport sau un flux logistic. Prin simulare, pot fi testate scenarii înainte ca deciziile să fie aplicate în realitate. De exemplu, se poate testa efectul modificării unei rute, introducerii unui microhub urban sau schimbării frecvenței unui serviciu de transport public.

Sistemele inteligente de transport permit monitorizarea traficului, informarea utilizatorilor, managementul incidentelor, prioritizarea transportului public și integrarea datelor în deciziile de mobilitate. În acest sens, digitalizarea creează o legătură tot mai strânsă între logistică, transport, infrastructură și utilizator.

6. Tendințe și perspective

În următorii ani, evoluția logisticii va fi influențată de dezvoltarea rețelelor multimodale, electrificarea flotelor de transport, utilizarea inteligenței artificiale în planificare, automatizarea terminalelor și depozitelor, creșterea rezilienței lanțurilor de aprovizionare și integrarea obiectivelor de sustenabilitate în strategiile logistice.

Rețelele multimodale vor deveni tot mai importante deoarece permit combinarea avantajelor fiecărui mod de transport. Transportul rutier oferă flexibilitate și acces direct. Transportul feroviar poate oferi capacitate mare și eficiență energetică. Transportul naval este potrivit pentru volume mari și distanțe lungi. Transportul aerian este util pentru fluxuri urgente sau cu valoare ridicată. Intermodalitatea permite combinarea acestor avantaje într-un lanț logistic coerent.

Electrificarea flotelor va influența atât transportul de mărfuri, cât și transportul de pasageri. În distribuția urbană, vehiculele electrice pot reduce emisiile locale și zgomotul, dar necesită infrastructură de încărcare, planificarea autonomiei și adaptarea rutelor. În transportul public, autobuzele electrice, troleibuzele, tramvaiele și trenurile electrice pot contribui la reducerea impactului de mediu și la creșterea calității vieții urbane.

Automatizarea terminalelor și depozitelor va modifica procesele de manipulare, sortare și pregătire a comenzilor. Roboții, benzile automate, sistemele de scanare, algoritmi de alocare și platformele informatice pot reduce timpii de operare și pot crește acuratețea proceselor. Totuși, automatizarea presupune investiții, competențe digitale și integrare între sistemele fizice și cele informatice.

Reziliența lanțurilor de aprovizionare va deveni o temă majoră. Pandemiile, conflictele, crizele energetice, fenomenele meteo extreme, blocajele portuare, atacurile cibernetice sau întreruperile infrastructurii pot afecta transporturile și distribuția. Un sistem logistic modern trebuie să fie nu doar eficient, ci și capabil să se adapteze la perturbări.

Logistica nu mai este privită doar ca suport pentru activitățile economice, ci ca factor strategic care influențează competitivitatea, mobilitatea și dezvoltarea durabilă. În transporturi, această schimbare este esențială: nu este suficient să existe infrastructură și vehicule, ci acestea trebuie integrate într-un sistem coerent, flexibil, eficient și sustenabil.

Tabelul 7 – Tendințe în logistică

Tendință	Aplicație în transportul de mărfuri	Aplicație în transportul de pasageri
Digitalizare	Tracking, TMS, WMS, optimizare rute	ITS, informare în timp real, aplicații de mobilitate
Electrificare	Vehicule electrice pentru distribuție urbană	Autobuze electrice, trenuri, micro-mobilitate
Intermodalitate	Container, terminale, coridoare logistice	Park & ride, tren + autobuz + bike sharing
AI și Big Data	Proгноză cerere, rutare, alocare flotă	Predicția fluxurilor, frecvențe adaptate
Sustenabilitate	Reducerea emisiilor și curselor goale	Transport public atractiv, reducerea dependenței de autoturism
Reziliență	Rute alternative, furnizori multipli	Continuitatea serviciului în condiții de perturbare

7. Bibliografie

- Council of Supply Chain Management Professionals. (n.d.). *CSCMP supply chain management definitions and glossary*.
- Hesse, M., & Rodrigue, J.-P. (2004). The transport geography of logistics and freight distribution. *Journal of Transport Geography*, 12(3), 171–184.
- International Transport Forum. (2023). *ITF transport outlook 2023*. OECD Publishing.
- MIT OpenCourseWare. (2006). *Logistics systems (ESD.260J / 1.260J / 15.770J)*. Massachusetts Institute of Technology.
- Rodrigue, J.-P. (2024). *The geography of transport systems* (6th ed.). Routledge.

CURS 3

Sisteme logistice: fluxuri, noduri, rețele, terminale, infrastructură

Obiectivele cursului

La finalul acestui curs, studentul trebuie să fie capabil să:

- definească noțiunea de sistem logistic;
- identifice componentele unui sistem logistic;
- distingă tipurile de fluxuri logistice;
- explice rolul nodurilor și al rețelelor de transport;
- descrie funcțiile terminalelor logistice;
- înțeleagă rolul infrastructurii în performanța transporturilor;
- analizeze relațiile dintre componentele unui sistem logistic integrat.

Introducere

Dezvoltarea economică și socială contemporană este caracterizată de intensificarea continuă a fluxurilor de mărfuri, persoane și informații, ceea ce determină o creștere semnificativă a complexității activităților logistice și a sistemelor de transport. În acest context, transporturile nu mai pot fi analizate ca activități independente, limitate la deplasarea bunurilor sau a pasagerilor între două locații, ci ca elemente integrante ale unor sisteme logistice complexe, în care numeroase componente materiale, informaționale și organizaționale interacționează permanent.

Un sistem logistic reprezintă un ansamblu organizat de resurse, infrastructuri, procese și actori implicați în planificarea, coordonarea și desfășurarea fluxurilor necesare satisfacerii cererii de mobilitate și distribuție (Bowersox et al., 2013). Acesta include infrastructura de transport, terminalele logistice, mijloacele de transport, depozitele, sistemele informatice, operatorii economici și instituțiile responsabile de reglementarea și administrarea activităților logistice. Funcționarea eficientă a sistemului depinde de cooperarea și sincronizarea tuturor acestor componente, fiecare având un rol bine definit în cadrul lanțului logistic.

În literatura de specialitate, sistemele logistice sunt abordate din perspectiva teoriei sistemelor, conform căreia performanța unui sistem nu este determinată exclusiv de caracteristicile individuale ale fiecărei componente, ci de relațiile existente între acestea și de modul în care acestea funcționează împreună. Astfel, eficiența unui sistem logistic nu depinde numai de capacitatea infrastructurii, de performanțele tehnice ale autovehiculelor sau de viteza de deplasare, ci și de organizarea fluxurilor, coordonarea operațiunilor, schimbul de informații și integrarea diferitelor moduri de transport.

Un sistem logistic modern este caracterizat prin existența unor fluxuri multiple și interdependente. Fluxurile fizice sunt reprezentate de deplasarea mărfurilor și a pasagerilor, în timp ce fluxurile informaționale permit transmiterea comenzilor, monitorizarea transporturilor și coordonarea operațiunilor logistice. La acestea se adaugă fluxurile financiare, care reflectă transferurile monetare generate de activitățile comerciale și de transport. Funcționarea eficientă a sistemului presupune sincronizarea acestor categorii de fluxuri, astfel încât informația să însoțească permanent fluxul fizic, iar deciziile manageriale să poată fi fundamentate pe date actualizate în timp real.

În cadrul unui sistem logistic, infrastructura de transport, terminalele, depozitele și centrele logistice constituie nodurile rețelei, iar drumurile, căile ferate, căile navigabile, rutele aeriene și celelalte conexiuni dintre acestea reprezintă legăturile prin care sunt realizate fluxurile logistice. Din perspectiva cercetării operaționale, aceste sisteme pot fi reprezentate prin modele de rețea, în care nodurile și legăturile sunt analizate pentru optimizarea costurilor, reducerea timpilor de transport, creșterea accesibilității și utilizarea eficientă a resurselor disponibile.

În ultimii ani, dezvoltarea tehnologiilor digitale a modificat profund modul de funcționare al sistemelor logistice. Integrarea sistemelor informatice, utilizarea tehnologiilor Internet of Things (IoT), a sistemelor de poziționare globală (GPS), a platformelor de management al transporturilor (Transportation Management Systems – TMS) și a soluțiilor bazate pe inteligență artificială permit monitorizarea în timp real a fluxurilor și optimizarea continuă a operațiunilor logistice. Astfel, sistemele logistice actuale evoluează către ecosisteme inteligente, caracterizate printr-un nivel ridicat de conectivitate, automatizare și capacitate de adaptare la modificările cererii și ale condițiilor de exploatare.

Înțelegerea structurii și funcționării sistemelor logistice reprezintă fundamentul tuturor activităților specifice transporturilor moderne. Analiza fluxurilor, a nodurilor, a rețelelor și a infrastructurii logistice permite proiectarea unor sisteme de transport eficiente, reziliente și sustenabile, capabile să răspundă cerințelor actuale privind mobilitatea mărfurilor și a pasagerilor, utilizarea rațională a resurselor și reducerea impactului asupra mediului.

1. Conceptul de sistem logistic

Un sistem logistic reprezintă ansamblul elementelor fizice, informaționale și organizaționale implicate în deplasarea mărfurilor sau pasagerilor între origine și destinație.

Din perspectiva cercetării operaționale, sistemul logistic poate fi modelat ca un graf, în care nodurile reprezintă punctele de transfer sau procesare, iar arcele reprezintă legăturile de transport. Această reprezentare permite analiza accesibilității, a costurilor și a performanței rețelei (Ghiani et al., 2013).

- **Componentele unui sistem logistic**

Indiferent de dimensiunea sau domeniul de aplicare, orice sistem logistic poate fi analizat prin intermediul unui număr redus de componente fundamentale, între care există relații permanente de interdependență. Literatura de specialitate identifică cinci categorii principale de componente: fluxurile, nodurile, legăturile, operatorii și sistemele informaționale. Aceste componente alcătuiesc arhitectura funcțională a sistemului logistic și permit descrierea modului în care sunt realizate procesele de transport, depozitare, distribuție și coordonare.

Performanța sistemului logistic rezultă din interacțiunea dintre aceste componente. O infrastructură performantă nu poate genera rezultate satisfăcătoare în absența unor fluxuri bine organizate, iar existența unor tehnologii moderne de monitorizare nu poate compensa o amplasare inadecvată a terminalelor sau o dimensionare insuficientă a rețelei de transport (Coyle et al., 2021).

- **Fluxurile**

Fluxurile reprezintă componenta dinamică a sistemului logistic și exprimă deplasarea continuă a resurselor între diferitele componente ale rețelei logistice. Din punct de vedere funcțional, existența fluxurilor justifică însăși existența infrastructurii și a tuturor celorlalte elemente ale sistemului logistic.

În literatura de specialitate, fluxurile logistice sunt clasificate în mai multe categorii.

Fluxuri fizice

Fluxurile fizice reprezintă deplasarea efectivă a mărfurilor sau a pasagerilor între origine și destinație.

Exemple:

- transportul materiilor prime către unitățile de producție;
- distribuția produselor finite către centrele comerciale;
- transportul containerelor între porturi și terminale intermodale;
- deplasarea pasagerilor prin intermediul transportului rutier, feroviar, aerian sau naval.

Fluxuri informaționale

Acestea includ toate informațiile necesare planificării și coordonării activităților logistice.

Exemple:

- comenzile clienților;
- documentele electronice de transport;
- poziția autovehiculelor în timp real;
- informațiile privind gradul de ocupare al terminalelor;
- prognozele privind cererea.

Fluxuri financiare

Reprezintă transferurile monetare generate de activitățile logistice.

Exemple:

- plata serviciilor de transport;
- achitarea taxelor portuare;
- plata tarifelor de utilizare a infrastructurii;
- decontarea comenzilor.

Fluxuri documentare

Acestea includ documentele necesare desfășurării activităților logistice:

- scrisori de trăsură;
- documente vamale;
- avize de expediție;
- manifeste de încărcare;
- documente privind trasabilitatea mărfurilor.

În sistemele logistice moderne, fluxurile informaționale și documentare însoțesc permanent fluxurile fizice, permițând monitorizarea și controlul operațiunilor în timp real. De aceea, literatura actuală consideră că informația reprezintă o resursă logistică la fel de importantă precum infrastructura sau mijloacele de transport (Simchi-Levi et al., 2021).

• Nodurile

Nodurile reprezintă punctele rețelei logistice în care fluxurile sunt generate, transformate, consolidate, redistribuite sau transferate între diferite moduri de transport. Din punct de vedere al cercetării operaționale, nodurile constituie elementele fundamentale ale modelelor de rețea și au un rol determinant în performanța întregului sistem logistic.

În funcție de activitățile desfășurate, nodurile logistice pot avea funcții diferite și pot deservi atât transportul de mărfuri, cât și transportul de pasageri.

Exemple de noduri logistice sunt:

- unități de producție;
- depozite;
- centre logistice;
- centre de distribuție;
- terminale intermodale;
- porturi maritime și fluviale;
- aeroporturi;
- gări;
- autogări;
- platforme logistice urbane.

Principalele funcții îndeplinite de noduri sunt:

- recepția și expedierea mărfurilor;
- încărcarea și descărcarea unităților de transport;
- depozitarea temporară;
- consolidarea și deconsolidarea încărcăturilor;
- sortarea comenzilor;
- transferul între moduri de transport;
- procesarea informațiilor logistice;
- coordonarea operațiunilor de distribuție.

În transportul de pasageri, nodurile facilitează îmbarcarea, debarcarea și transferul între diferite moduri de transport, contribuind la reducerea timpilor de călătorie și la creșterea accesibilității rețelei.

Localizarea și dimensionarea nodurilor reprezintă decizii strategice majore, deoarece acestea influențează costurile logistice, accesibilitatea și nivelul serviciului oferit utilizatorilor.

• **Legăturile (Links)**

Legăturile reprezintă conexiunile fizice dintre nodurile sistemului logistic și permit deplasarea fluxurilor de mărfuri, pasageri și informații. Din punct de vedere al teoriei grafurilor, acestea sunt reprezentate prin arce care conectează nodurile rețelei.

În funcție de modul de transport utilizat, legăturile pot fi reprezentate de:

- infrastructura rutieră;
- infrastructura feroviară;
- căile navigabile interioare;
- rutele maritime;
- coridoarele aeriene;
- conductele pentru transportul produselor fluide.

Performanța unei legături este caracterizată prin mai mulți indicatori tehnici și operaționali:

- lungimea traseului;
- capacitatea de transport;
- viteza medie de deplasare;
- nivelul de serviciu;
- fiabilitatea;
- gradul de congestionare;
- costul utilizării infrastructurii;
- siguranța circulației.

În practica logistică, alegerea unei anumite legături nu este determinată exclusiv de distanță, ci și de timpul de transport, costuri, restricțiile de circulație și impactul asupra întregului lanț logistic (Daganzo, 2005).

- **Operatorii**

Operatorii reprezintă actorii care planifică, organizează și desfășoară activitățile logistice. Ei asigură funcționarea sistemului prin utilizarea infrastructurii și coordonarea fluxurilor dintre diferitele componente ale rețelei.

Principalele categorii de operatori sunt:

- operatori de transport rutier, feroviar, aerian și naval;
- operatori portuari și aeroportuari;
- administratori ai infrastructurii de transport;
- operatori de terminale intermodale;
- companii de curierat și expres;
- furnizori de servicii logistice (3PL și 4PL);
- autorități publice și organisme de reglementare.

Activitatea acestora presupune coordonarea resurselor materiale, financiare și informaționale pentru asigurarea unui nivel ridicat al serviciului logistic.

- **Sistemele informaționale**

În logistica contemporană, sistemele informaționale reprezintă elementul care asigură integrarea și coordonarea tuturor componentelor sistemului logistic. Dacă în trecut informațiile circulau independent de fluxurile fizice, în prezent acestea sunt generate, transmise și analizate aproape instantaneu, facilitând luarea deciziilor în timp real.

Principalele tehnologii utilizate sunt:

- Global Positioning System (GPS) pentru localizarea autovehiculelor și monitorizarea deplasărilor;
- Radio Frequency Identification (RFID) pentru identificarea și trasabilitatea mărfurilor;
- codurile de bare și codurile QR;
- Internet of Things (IoT) pentru colectarea datelor de la senzori distribuiți în infrastructură, vehicule și depozite;
- Geographic Information Systems (GIS) pentru analiza spațială și planificarea rețelelor;
- Enterprise Resource Planning (ERP) pentru integrarea proceselor organizaționale;
- Transportation Management Systems (TMS) pentru planificarea și monitorizarea transporturilor;
- Warehouse Management Systems (WMS) pentru administrarea operațiunilor din depozite.

Integrarea acestor tehnologii permite monitorizarea în timp real a fluxurilor logistice, optimizarea rutelor, prognoza cererii, reducerea costurilor operaționale și creșterea transparenței întregului lanț logistic. În prezent, sistemele informaționale constituie una dintre componentele esențiale ale conceptului Logistics 4.0, facilitând transformarea logisticii într-un sistem inteligent, conectat și orientat către decizii bazate pe date (Ivanov et al., 2021).

2. Fluxurile logistice

Fluxurile logistice reprezintă elementul dinamic al sistemului logistic și constituie obiectul principal al activităților de planificare, organizare și control din logistică. Dacă infrastructura, terminalele și mijloacele de transport reprezintă componentele fizice ale sistemului, fluxurile exprimă modul în care acestea sunt utilizate pentru realizarea deplasării mărfurilor, pasagerilor, informațiilor și resurselor financiare între diferitele componente ale rețelei logistice.

Din perspectivă sistemică, un sistem logistic există și funcționează numai în măsura în care permite desfășurarea acestor fluxuri. Infrastructura de transport, depozitele sau terminalele logistice nu au valoare operațională în absența unor fluxuri care să utilizeze capacitatea acestora. În consecință, proiectarea și administrarea sistemelor logistice urmăresc, în primul rând, optimizarea fluxurilor și sincronizarea acestora astfel încât resursele disponibile să fie utilizate cât mai eficient.

În funcție de natura lor, fluxurile logistice pot fi clasificate în fluxuri fizice, informaționale, financiare și inverse. Deși fiecare categorie are caracteristici specifice, acestea funcționează într-o strânsă interdependență, iar performanța întregului sistem depinde de sincronizarea lor.

- **Fluxurile fizice**

Fluxurile fizice reprezintă deplasarea efectivă a mărfurilor sau a pasagerilor între punctul de origine și destinația finală și constituie componenta cea mai vizibilă a sistemului logistic. Acestea se desfășoară prin intermediul infrastructurii de transport și utilizează diferite categorii de mijloace de transport, în funcție de caracteristicile încărcăturii, distanța de transport și cerințele privind timpul de livrare.

În transportul de mărfuri, fluxurile fizice includ aprovizionarea unităților de producție cu materii prime și materiale, transportul produselor aflate în diferite stadii de fabricație între secțiunile de producție, precum și distribuția produselor finite către centre logistice, unități comerciale sau consumatori finali. În transportul de pasageri, fluxurile fizice sunt reprezentate de deplasarea persoanelor prin intermediul transportului rutier, feroviar, aerian sau naval, în scopul desfășurării activităților profesionale, educaționale, sociale sau recreative.

Caracteristicile fluxurilor fizice sunt influențate de numeroși factori, precum volumul transportat, frecvența deplasărilor, distanța parcursă, capacitatea infrastructurii și nivelul de serviciu oferit de sistemul de transport. Gestionarea eficientă a acestor fluxuri urmărește reducerea timpilor de transport, optimizarea gradului de utilizare a capacității și diminuarea costurilor logistice.

- **Fluxurile informaționale**

Fluxurile informaționale reprezintă ansamblul datelor și informațiilor care însoțesc și coordonează fluxurile fizice pe întreaga durată a desfășurării procesului logistic. În logistica modernă, acestea au o importanță comparabilă cu fluxurile de mărfuri sau pasageri, deoarece permit planificarea, monitorizarea și controlul operațiunilor în timp real.

Fluxurile informaționale sunt generate încă din etapa lansării unei comenzi sau efectuării unei rezervări și continuă pe parcursul întregului proces logistic, incluzând schimbul de documente de transport, confirmările privind încărcarea și descărcarea mărfurilor, informațiile referitoare la poziția autovehiculelor, actualizarea rutelor de transport și comunicarea cu beneficiarii serviciilor logistice. În transportul de pasageri, acestea includ informații privind orarele de circulație, disponibilitatea locurilor, emiterea și validarea titlurilor de călătorie, precum și informarea în timp real privind eventualele întârzieri sau modificări ale serviciilor.

Dezvoltarea tehnologiilor digitale a condus la transformarea fluxurilor informaționale într-un element central al logisticii contemporane. Utilizarea sistemelor GPS, a tehnologiilor RFID, a platformelor Transportation Management Systems (TMS) și Warehouse Management Systems (WMS), precum și integrarea acestora cu sistemele Enterprise Resource Planning (ERP), permit monitorizarea continuă a operațiunilor și fundamentarea deciziilor logistice pe baza unor informații actualizate în timp real.

- **Fluxurile financiare**

Fluxurile financiare reprezintă totalitatea transferurilor monetare asociate desfășurării activităților logistice și reflectă dimensiunea economică a sistemului logistic. Acestea însoțesc permanent fluxurile fizice și informaționale, asigurând finanțarea operațiunilor și decontarea serviciilor furnizate de diferiți actori implicați în lanțul logistic.

Fluxurile financiare includ plata serviciilor de transport și depozitare, achitarea tarifelor pentru utilizarea infrastructurii și a terminalelor, taxele vamale, primele de asigurare, costurile cu manipularea mărfurilor și cele generate de administrarea sistemelor logistice. În cazul transportului de pasageri, acestea sunt reprezentate, în principal, de plata titlurilor de călătorie, subvențiile acordate operatorilor de transport public, taxele de utilizare a infrastructurii și alte venituri provenite din exploatarea serviciilor de mobilitate.

Analiza fluxurilor financiare este esențială pentru evaluarea performanței economice a sistemului logistic, deoarece permite identificarea principalelor categorii de costuri și fundamentarea deciziilor privind optimizarea transporturilor și a proceselor de distribuție.

- **Fluxurile inverse (Reverse Logistics)**

În sistemele logistice moderne, circulația mărfurilor nu este orientată exclusiv dinspre producător către utilizatorul final. O categorie tot mai importantă de activități este reprezentată de fluxurile inverse, care descriu deplasarea produselor, materialelor și ambalajelor dinspre utilizatori către producători sau către centre specializate de colectare și procesare.

Fluxurile inverse includ returnarea produselor neconforme sau defecte, recuperarea ambalajelor reutilizabile, colectarea echipamentelor scoase din uz, reciclarea materialelor și gestionarea deșeurilor rezultate în urma proceselor de producție și consum. În cazul transportului de pasageri, exemple de fluxuri inverse pot fi întâlnite în activitățile de recuperare și reutilizare a componentelor vehiculelor, colectarea echipamentelor electronice utilizate în sistemele de ticketing sau reciclarea materialelor rezultate din întreținerea infrastructurii.

Importanța fluxurilor inverse a crescut semnificativ în contextul dezvoltării conceptului de **economie circulară**, care promovează utilizarea eficientă a resurselor și reducerea cantității de deșeuri generate. Spre deosebire de modelul economic liniar, bazat pe succesiunea „producție–consum–eliminare”, economia circulară urmărește menținerea produselor și materialelor în circuitul economic pentru o perioadă cât mai îndelungată, prin reutilizare, reparare, recondiționare și reciclare.

În consecință, managementul fluxurilor inverse reprezintă astăzi o componentă esențială a logisticii sustenabile și contribuie atât la reducerea impactului asupra mediului, cât și la creșterea eficienței economice a organizațiilor prin valorificarea resurselor recuperate (Waters, 2009).

3. Rețele logistice

Rețeaua logistică reprezintă structura spațială și funcțională prin intermediul căreia sunt organizate fluxurile de mărfuri, pasageri și informații între diferitele componente ale sistemului logistic. Din punct de vedere conceptual, aceasta este alcătuită dintr-un ansamblu de noduri, reprezentate de punctele de origine, destinație sau transfer, și legături, reprezentate de infrastructura care permite deplasarea fluxurilor între aceste noduri.

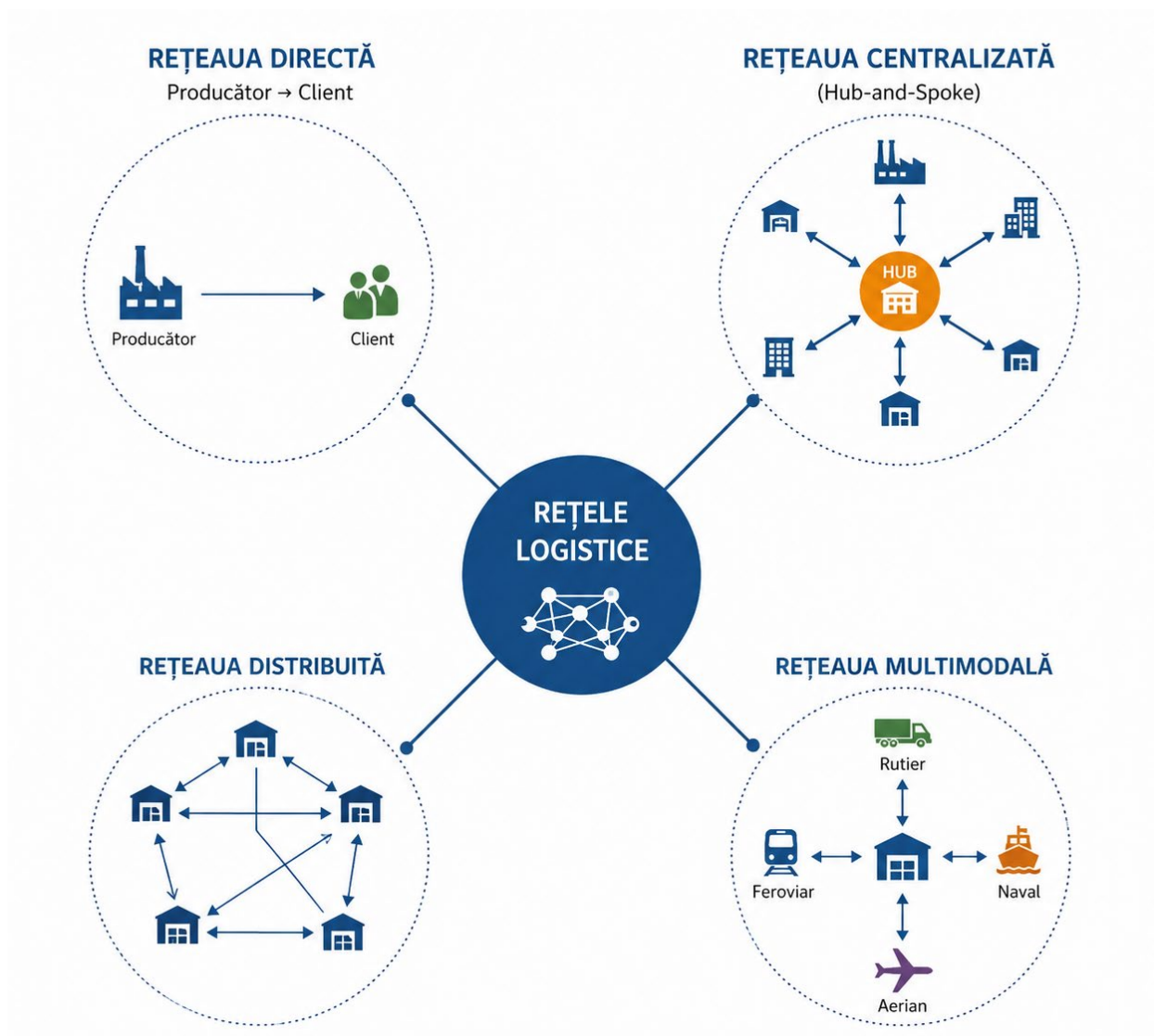


Figura 7 – Tipuri de rețele logistice

În literatura de specialitate, proiectarea rețelei logistice este considerată una dintre cele mai importante decizii strategice, deoarece influențează direct costurile de transport și depozitare, nivelul serviciului oferit beneficiarilor, accesibilitatea diferitelor regiuni și capacitatea sistemului de a răspunde la modificările cererii. Alegerea unei anumite configurații de rețea depinde de numeroși factori, precum distribuția geografică a clienților, caracteristicile mărfurilor transportate, volumul fluxurilor, infrastructura disponibilă și obiectivele economice ale organizației.

Din perspectiva cercetării operaționale, rețelele logistice sunt reprezentate prin grafuri, în care nodurile și legăturile pot fi analizate cu ajutorul modelelor matematice de optimizare pentru determinarea configurației care minimizează costurile și timpii de transport sau maximizează nivelul serviciului. În practică, cele mai utilizate structuri sunt rețelele directe, centralizate, distribuite și multimodale.

- **Rețeaua directă**

Rețeaua directă reprezintă cea mai simplă formă de organizare a unui sistem logistic. În această configurație, fluxurile sunt realizate direct între punctul de origine și destinația finală, fără utilizarea unor centre intermediare de consolidare sau distribuție.

În transportul de mărfuri, acest model este întâlnit frecvent în relațiile dintre producători și clienți industriali importanți, unde volumele transportate justifică efectuarea unor curse directe. În transportul de pasageri, un exemplu îl constituie serviciile expres sau cursele directe dintre două localități, fără opriri intermediare.

Principalul avantaj al rețelei directe constă în reducerea timpului total de transport și a numărului de operațiuni de manipulare, ceea ce contribuie la diminuarea riscului de deteriorare a mărfurilor și la simplificarea proceselor administrative. Totodată, traseele directe facilitează monitorizarea transporturilor și permit o planificare operațională relativ simplă.

Cu toate acestea, rețelele directe sunt mai puțin flexibile în cazul unui număr mare de destinații, deoarece fiecare relație origine–destinație necesită o legătură dedicată. În consecință, costurile totale de exploatare cresc odată cu extinderea ariei geografice și cu diversificarea cererii, ceea ce limitează aplicabilitatea acestui model în sistemele logistice complexe.

- **Rețeaua centralizată (Hub-and-Spoke)**

Rețeaua de tip Hub-and-Spoke este una dintre cele mai răspândite structuri logistice utilizate la nivel internațional. În acest model, fluxurile provenite din mai multe puncte de origine sunt concentrate într-un hub principal, unde sunt consolidate, sortate și redistribuite către destinațiile finale.

Funcționarea acestui sistem permite reducerea numărului total de conexiuni necesare între noduri și conduce la utilizarea mai eficientă a infrastructurii și a mijloacelor de transport. Consolidarea fluxurilor favorizează obținerea unor grade ridicate de încărcare a vehiculelor și contribuie la reducerea costurilor operaționale, în special în cazul rețelelor extinse (Crainic & Laporte, 1997).

Acest model este utilizat pe scară largă în transportul aerian de pasageri, unde aeroporturile de tip hub concentrează fluxurile provenite din diferite regiuni înainte de redistribuirea acestora către destinațiile finale. De asemenea, rețelele Hub-and-Spoke sunt specifice serviciilor de curierat și distribuție expres, în care coletele sunt colectate într-un centru logistic principal, sortate automat și expediate ulterior către centre regionale sau direct către destinatari.

Deși această configurație oferă avantaje importante din punctul de vedere al eficienței economice, ea prezintă și o vulnerabilitate ridicată. Funcționarea întregii rețele depinde într-o măsură considerabilă de hub-ul central, astfel încât orice perturbare produsă la nivelul acestuia, precum avarii tehnice, condiții meteorologice severe sau întreruperi operaționale, poate afecta simultan un număr mare de fluxuri logistice.

- **Rețeaua distribuită**

Rețeaua distribuită este caracterizată prin existența mai multor centre logistice sau noduri regionale interconectate, fiecare având capacitatea de a deservi o anumită zonă geografică și, în anumite situații, de a prelua temporar activitatea altor centre.

Comparativ cu structura Hub-and-Spoke, această configurație distribuie mai uniform fluxurile logistice și reduce dependența față de un singur nod central. Din acest motiv, rețelele distribuite sunt considerate mai reziliente și mai flexibile, fiind capabile să răspundă mai eficient variațiilor cererii sau perturbărilor operaționale.

În transportul de mărfuri, rețelele distribuite sunt utilizate de marile companii de comerț electronic și de operatorii logistici care administrează mai multe centre regionale de distribuție. Amplasarea acestor facilități în apropierea principalelor zone de consum contribuie la reducerea distanțelor de livrare și la îmbunătățirea timpilor de răspuns.

În transportul de pasageri, principiul distribuției este întâlnit în rețelele metropolitane complexe, unde mai multe terminale sau stații majore funcționează ca noduri regionale, facilitând transferul între diferite linii și moduri de transport.

Principalul dezavantaj al acestei configurații este reprezentat de necesitatea unor investiții mai mari în infrastructură și sisteme informatice, precum și de complexitatea crescută a proceselor de coordonare și sincronizare dintre diferitele centre logistice.

- **Rețeaua multimodală**

Rețeaua multimodală reprezintă o configurație logistică în care transportul este realizat prin utilizarea succesivă a două sau mai multor moduri de transport, fiecare fiind selectat în funcție de avantajele sale tehnice, economice și operaționale.

În practică, aceeași încărcătură poate fi transportată succesiv cu autovehicule rutiere, trenuri de marfă, nave maritime sau fluviale și aeronave cargo, fără modificarea destinației finale. Alegerea combinației de moduri de transport urmărește obținerea unui echilibru optim între cost, timp de transport, capacitate și impact asupra mediului.

Un exemplu frecvent îl reprezintă transportul containerizat, în care containerele sunt preluate de un autocamion de la unitatea de producție, transportate către un terminal feroviar sau portuar, transferate pe tren sau navă pentru transportul pe distanțe lungi, iar ulterior distribuite către clientul final prin intermediul transportului rutier.

În transportul de pasageri, principiul multimodalității este aplicat în cadrul sistemelor integrate de mobilitate, unde deplasarea unei persoane poate include, în aceeași călătorie, transport pietonal, transport public urban, transport feroviar și transport aerian, utilizând conexiuni planificate și terminale intermodale.

Dezvoltarea rețelelor multimodale reprezintă una dintre direcțiile majore ale politicilor europene în domeniul transporturilor, deoarece acestea contribuie la utilizarea eficientă a fiecărui mod de transport, reducerea congestiei infrastructurii rutiere, diminuarea consumului energetic și scăderea emisiilor de gaze cu efect de seră.

4. Nodurile logistice

În cadrul unei rețele logistice, nodurile reprezintă punctele în care fluxurile de mărfuri, pasageri, informații și resurse financiare sunt generate, transformate, consolidate, redistribuite sau transferate între diferitele componente ale sistemului. Dacă legăturile asigură deplasarea fluxurilor, nodurile reprezintă locațiile în care acestea sunt organizate și coordonate, având un rol esențial în funcționarea întregii rețele logistice.

Din perspectiva cercetării operaționale, nodurile constituie elementele fundamentale ale modelelor de rețea și influențează direct performanța sistemului logistic. Localizarea, capacitatea și gradul de echipare al acestora determină costurile de transport, timpul de livrare, nivelul serviciului și flexibilitatea operațională. În consecință, proiectarea și amplasarea nodurilor logistice reprezintă decizii strategice care influențează funcționarea întregului lanț logistic.

În funcție de activitățile desfășurate și de rolul lor în rețea, nodurile logistice pot fi clasificate în centre logistice, hub-uri logistice, terminale și depozite.

- **Centre logistice**

Centrele logistice sunt facilități specializate în organizarea și coordonarea activităților de depozitare, manipulare și distribuție a mărfurilor. Acestea reunesc într-o singură locație mai multe funcții logistice și permit integrarea eficientă a operațiunilor de aprovizionare, stocare și distribuție.

În cadrul unui centru logistic se desfășoară activități precum recepția mărfurilor, depozitarea temporară, consolidarea și deconsolidarea încărcăturilor, pregătirea comenzilor, ambalarea și expedierea produselor către beneficiari. De asemenea, multe centre logistice moderne oferă servicii cu valoare adăugată, precum etichetarea produselor, asamblarea finală sau gestionarea retururilor.

Amplasarea centrelor logistice în apropierea principalelor coridoare de transport contribuie la reducerea costurilor de distribuție și la creșterea eficienței întregii rețele logistice. În transportul de mărfuri, acestea reprezintă elemente esențiale ale lanțurilor de aprovizionare, iar în transportul de pasageri principiile de organizare ale centrelor logistice se regăsesc în centrele intermodale care facilitează transferul între diferite servicii de mobilitate.

- **Hub-uri logistice**

Hub-urile logistice reprezintă noduri de importanță strategică în care fluxurile provenite din multiple direcții sunt concentrate, reorganizate și redistribuite către destinațiile finale. Spre

deosebite de un centru logistic, care este orientat în principal către operațiunile de depozitare și distribuție, hub-ul are rolul principal de a coordona și optimiza circulația fluxurilor în cadrul întregii rețele.

Utilizarea hub-urilor permite consolidarea încărcăturilor, creșterea gradului de utilizare a mijloacelor de transport și reducerea numărului total de conexiuni necesare între diferitele noduri logistice. Acest principiu stă la baza organizării rețelelor de tip Hub-and-Spoke, utilizate pe scară largă în transportul aerian, în serviciile de curierat expres și în distribuția internațională a mărfurilor.

Exemple reprezentative sunt marile aeroporturi internaționale care funcționează ca hub-uri pentru transportul de pasageri sau platformele logistice utilizate de companiile internaționale de curierat, unde milioane de colete sunt sortate și redistribuite zilnic către destinațiile finale.

- **Terminalele logistice**

Terminalele logistice sunt noduri specializate în realizarea transferului mărfurilor sau pasagerilor între diferite mijloace ori moduri de transport. Acestea asigură continuitatea fluxurilor logistice și facilitează integrarea transportului rutier, feroviar, naval și aerian.

În transportul de mărfuri, terminalele permit transbordarea containerelor, semiremorcilor sau altor unități de încărcare între diferitele moduri de transport, reducând timpul și costurile operațiunilor de manipulare. În transportul de pasageri, terminalele facilitează schimbarea modului de transport și asigură conexiunea dintre diferite servicii de mobilitate, contribuind la creșterea accesibilității și a calității serviciului.

Datorită complexității activităților desfășurate, terminalele logistice sunt analizate în detaliu în secțiunea următoare a acestui capitol.

- **Depozitele**

Depozitele reprezintă noduri logistice destinate stocării temporare a mărfurilor și sincronizării fluxurilor dintre aprovizionare, producție și distribuție. Rolul acestora nu se limitează la păstrarea produselor, ci include și numeroase operațiuni logistice care contribuie la eficientizarea lanțului de aprovizionare.

În cadrul depozitelor sunt realizate activități precum recepția mărfurilor, verificarea cantitativă și calitativă, stocarea, gestionarea inventarului, pregătirea comenzilor, ambalarea și expedierea produselor. În depozitele moderne, aceste procese sunt coordonate prin sisteme informatice dedicate, precum Warehouse Management Systems (WMS), care permit monitorizarea în timp real a stocurilor și optimizarea fluxurilor interne.

Importanța depozitelor în sistemul logistic va fi analizată detaliat în cadrul cursului dedicat managementului stocurilor și depozitării.

5. Terminalele logistice

Terminalele logistice reprezintă punctele de interfață dintre diferitele componente ale sistemului logistic și au rolul de a asigura continuitatea fluxurilor de mărfuri și pasageri prin realizarea operațiunilor de transfer, manipulare și coordonare. Acestea constituie unele dintre cele mai complexe noduri ale rețelei logistice, deoarece reunesc infrastructură de transport, echipamente de manipulare, sisteme informatice și servicii operaționale.

În funcție de tipul transportului și de caracteristicile mărfurilor manipulate, terminalele pot îndeplini simultan mai multe funcții. Printre cele mai importante se numără încărcarea și descărcarea mijloacelor de transport, transferul între diferite moduri de transport, depozitarea temporară a mărfurilor, efectuarea formalităților vamale și documentare, precum și operațiunile de inspecție tehnică și întreținere a autovehiculelor și echipamentelor utilizate în transport.

În cazul transportului de pasageri, terminalele asigură îmbarcarea și debarcarea călătorilor, organizarea transferurilor între diferite moduri de transport și furnizarea serviciilor necesare desfășurării călătoriei în condiții de siguranță și confort.

În funcție de specificul activităților desfășurate, terminalele logistice pot fi clasificate în terminale containerizate, terminale Ro-Ro (Roll-on/Roll-off), terminale intermodale, terminale feroviare, aeroporturi cargo, precum și terminale destinate transportului de pasageri, cum sunt gările și autogările.

În ultimele decenii, dezvoltarea tehnologiilor digitale și a automatizării a modificat semnificativ modul de funcționare al terminalelor logistice. Utilizarea macaralelor automatizate, a sistemelor automate de identificare a containerelor, a senzorilor IoT, a tehnologiilor RFID și a platformelor informatice integrate permite reducerea timpilor de operare, creșterea siguranței și optimizarea utilizării infrastructurii disponibile.

6. Infrastructura logistică

Infrastructura logistică reprezintă suportul fizic și tehnologic care permite desfășurarea activităților de transport, manipulare, depozitare și distribuție. Aceasta constituie elementul de bază al sistemului logistic, deoarece asigură conectivitatea dintre nodurile rețelei și facilitează circulația fluxurilor de mărfuri, pasageri și informații.

Calitatea infrastructurii influențează direct capacitatea sistemului logistic, timpii de transport, costurile operaționale, nivelul de siguranță și competitivitatea economică a unei regiuni. Din acest motiv, dezvoltarea infrastructurii reprezintă una dintre principalele direcții ale politicilor de transport la nivel național și internațional.

În funcție de modul de transport deservit, infrastructura logistică poate fi clasificată în mai multe categorii.

- **Infrastructura rutieră**

Infrastructura rutieră include autostrăzile, drumurile naționale, drumurile expres, variantele de ocolire și celelalte elemente care permit circulația autovehiculelor destinate transportului de mărfuri și pasageri. Datorită flexibilității sale, aceasta reprezintă componenta cea mai utilizată a sistemelor logistice moderne și asigură, în majoritatea cazurilor, legătura dintre punctele de origine și destinația finală.

- **Infrastructura feroviară**

Infrastructura feroviară este alcătuită din liniile de cale ferată, gări, triaje, terminale și instalațiile aferente exploatarei transportului feroviar. Aceasta este utilizată în special pentru transportul unor volume mari de mărfuri sau al unui număr ridicat de pasageri pe distanțe medii și lungi, oferind avantaje importante din punctul de vedere al eficienței energetice și al impactului redus asupra mediului.

- **Infrastructura navală**

Infrastructura destinată transportului naval cuprinde porturile maritime și fluviale, danele, canalele navigabile și facilitățile necesare manipulării și depozitării mărfurilor. Aceasta este esențială pentru comerțul internațional, deoarece permite transportul unor cantități foarte mari de mărfuri cu un cost specific redus.

- **Infrastructura aeriană**

Infrastructura aeriană este formată din aeroporturi, piste de decolare și aterizare, terminale cargo, terminale pentru pasageri și facilitățile tehnice necesare exploatarei transportului aerian. Aceasta este utilizată în principal pentru transporturile care necesită timpi foarte reduși de livrare sau pentru deplasarea rapidă a pasagerilor pe distanțe mari.

- **Infrastructura digitală**

În prezent, infrastructura logistică nu mai este alcătuită exclusiv din componente fizice. Dezvoltarea sistemelor inteligente de transport a condus la apariția unei infrastructuri digitale care susține coordonarea și monitorizarea în timp real a întregului sistem logistic.

Aceasta include centre de date, rețele de comunicații, platforme GIS, sisteme inteligente de transport (ITS), sisteme de management al traficului, platforme cloud și aplicații informatice utilizate pentru administrarea transporturilor și a depozitelor.

Importanța infrastructurii digitale este în continuă creștere, deoarece aceasta permite integrarea tuturor componentelor sistemului logistic, furnizarea informațiilor în timp real și optimizarea continuă a proceselor decizionale (Slack et al., 2022). În contextul conceptului

Logistics 4.0, infrastructura digitală devine un element la fel de important ca infrastructura fizică, contribuind la dezvoltarea unor sisteme logistice inteligente, conectate și capabile să răspundă rapid schimbărilor din mediul economic și operațional.

7. Indicatorii de performanță ai sistemelor logistice

Funcționarea eficientă a unui sistem logistic presupune monitorizarea continuă a modului în care resursele disponibile sunt utilizate pentru atingerea obiectivelor operaționale și strategice. În acest scop, organizațiile utilizează un ansamblu de **indicatori de performanță** (*Key Performance Indicators – KPI*), care permit evaluarea eficienței proceselor logistice, identificarea disfuncționalităților și fundamentarea deciziilor privind optimizarea activităților de transport, depozitare și distribuție.

Indicatorii de performanță constituie instrumente esențiale ale managementului logistic, deoarece oferă informații cantitative privind nivelul serviciului, costurile operaționale, utilizarea infrastructurii și calitatea proceselor desfășurate. Monitorizarea periodică a acestor indicatori permite compararea performanțelor în timp, evaluarea impactului măsurilor implementate și identificarea oportunităților de îmbunătățire.

În funcție de obiectivele urmărite, indicatorii utilizați în logistică pot fi grupați în mai multe categorii: indicatori economici, operaționali, de calitate a serviciului, de utilizare a resurselor și de sustenabilitate.

- **Indicatori economici**

Indicatorii economici reflectă eficiența utilizării resurselor financiare și permit evaluarea costurilor generate de desfășurarea activităților logistice.

Cel mai utilizat indicator este **costul logistic total**, care include cheltuielile aferente transportului, depozitării, manipulării mărfurilor, administrării stocurilor, utilizării infrastructurii și sistemelor informatice. Analiza acestui indicator permite identificarea componentelor care generează cele mai ridicate costuri și fundamentarea strategiilor de optimizare.

Alți indicatori economici utilizați frecvent sunt costul de transport raportat la unitatea de încărcătură, costul pe kilometru parcurs sau costul aferent procesării unei comenzi.

- **Indicatori operaționali**

Indicatorii operaționali evaluează eficiența desfășurării activităților logistice și capacitatea sistemului de a răspunde cererii.

Un indicator fundamental este timpul de transport, care reprezintă intervalul necesar deplasării mărfurilor sau pasagerilor între punctul de origine și destinație. Complementar acestuia,

timpul de livrare include întregul proces logistic, de la lansarea comenzii până la recepția produsului de către beneficiar.

Un alt indicator important este gradul de utilizare a capacității, care exprimă măsura în care infrastructura, terminalele sau mijloacele de transport sunt exploatate în raport cu capacitatea lor disponibilă. Un grad redus de utilizare indică existența unor resurse nevalorificate, în timp ce o utilizare excesivă poate conduce la congestionare și la diminuarea nivelului serviciului.

În cazul terminalelor logistice, productivitatea este evaluată prin indicatori precum numărul de unități manipulate într-o anumită perioadă, timpul de procesare a încărcărilor sau durata operațiunilor de transbordare.

- **Indicatori ai calității serviciului**

Calitatea serviciului logistic este apreciată prin indicatori care reflectă capacitatea sistemului de a satisface cerințele utilizatorilor și ale beneficiarilor.

Fiabilitatea livrării exprimă probabilitatea ca mărfurile sau pasagerii să ajungă la destinație în condițiile planificate, fără întârzieri sau incidente. În strânsă legătură cu aceasta se află punctualitatea, definită ca respectarea programului stabilit pentru efectuarea transporturilor sau a livrărilor.

Un indicator cu caracter sintetic este nivelul serviciului logistic, care integrează mai multe dimensiuni ale performanței, precum rapiditatea livrării, disponibilitatea produselor, acuratețea comenzilor, flexibilitatea operațională și satisfacția beneficiarilor.

În contextul concurenței actuale dintre operatorii logistici, calitatea serviciului reprezintă unul dintre principalele criterii de diferențiere și constituie un factor determinant al competitivității.

- **Indicatori privind sustenabilitatea**

În ultimii ani, evaluarea performanței logistice include din ce în ce mai frecvent indicatori referitori la impactul asupra mediului și utilizarea eficientă a resurselor.

Printre cei mai utilizați se numără emisiile de dioxid de carbon (CO₂) generate de activitățile de transport, consumul energetic, ponderea combustibililor alternativi utilizați, gradul de încărcare al mijloacelor de transport și eficiența energetică a terminalelor logistice.

Integrarea acestor indicatori reflectă orientarea sistemelor logistice către principiile dezvoltării durabile și ale logisticii verzi (*Green Logistics*), în concordanță cu obiectivele europene privind reducerea emisiilor și decarbonizarea sectorului transporturilor.

- **Indicatori specifici transportului de pasageri**

Evaluarea performanței sistemelor destinate transportului de pasageri utilizează, pe lângă indicatorii generali ai logisticii, o serie de indicatori specifici care reflectă nivelul de accesibilitate și calitatea serviciilor de mobilitate.

Unul dintre cei mai importanți indicatori este timpul mediu de așteptare, care influențează direct atractivitatea serviciului și percepția utilizatorilor asupra calității transportului. Acesta este strâns corelat cu frecvența serviciului, exprimată prin intervalul de succedare a curselor sau prin numărul de curse efectuate într-o anumită perioadă.

De asemenea, accesibilitatea reprezintă un indicator esențial și exprimă gradul în care populația poate utiliza serviciile de transport în funcție de localizarea infrastructurii, conectivitatea rețelei și timpul necesar pentru atingerea principalelor destinații.

Performanța exploatarei este analizată și prin gradul de ocupare al mijloacelor de transport, care reflectă raportul dintre numărul de pasageri transportați și capacitatea disponibilă. Un grad de ocupare foarte redus indică o utilizare inefficientă a resurselor, în timp ce un grad excesiv poate conduce la supraaglomerare și la diminuarea confortului.

Nu în ultimul rând, în evaluarea sistemelor moderne de transport este luat în considerare și confortul perceput de utilizatori, un indicator cu caracter calitativ, influențat de factori precum condițiile de călătorie, curățenia, accesibilitatea pentru persoanele cu mobilitate redusă, disponibilitatea informațiilor și siguranța deplasării.

Tabelul 8 – Sinteza indicatorilor de performanță

Categoria indicatorilor	Exemple	Ce măsoară
Economici	Cost logistic total, cost de transport	Eficiența economică
Operaționali	Timp de transport, grad de utilizare a capacității	Eficiența exploatarei
Calitatea serviciului	Punctualitate, fiabilitate, nivelul serviciului	Satisfacția beneficiarilor
Sustenabilitate	Emisii CO ₂ , consum energetic	Impactul asupra mediului
Transport de pasageri	Timp de așteptare, frecvență, grad de ocupare, accesibilitate	Calitatea mobilității

ROLUL INDICATORILOR DE PERFORMANȚĂ ÎN MANAGEMENTUL LOGISTIC

Indicatorii de performanță nu reprezintă doar instrumente de evaluare, ci și elemente fundamentale ale procesului decizional. Analiza acestora permite identificarea punctelor forte și a

vulnerabilităților sistemului logistic, compararea diferitelor variante de organizare și monitorizarea efectelor măsurilor de optimizare implementate (Sheffi, 2020).

În practica managerială, indicatorii sunt utilizați atât pentru evaluarea performanței operaționale curente, cât și pentru fundamentarea deciziilor strategice privind dezvoltarea infrastructurii, reorganizarea rețelelor logistice, modernizarea terminalelor sau implementarea tehnologiilor digitale. În consecință, definirea și monitorizarea unui set adecvat de indicatori reprezintă o condiție pentru creșterea eficienței, competitivității și sustenabilității sistemelor logistice.

8. Bibliografie

- Bowersox, D. J., Closs, D. J., Cooper, M. B., & Bowersox, J. C. (2013). *Supply chain logistics management* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). *Introduction to logistics systems management* (2nd ed.). Wiley.
- Coyle, J. J., Novack, R. A., Gibson, B. J., & Langley, C. J. (2021). *Supply chain management: A logistics perspective* (11th ed.). Cengage Learning.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2021). *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies and case studies* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Daganzo, C. F. (2005). *Logistics systems analysis* (4th ed.). Springer.
- Crainic, T. G., & Laporte, G. (Eds.). (1997). *Fleet management and logistics*. Springer.
- Waters, D. (2009). *Supply chain management: An introduction to logistics* (2nd ed.). Palgrave Macmillan.
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Burgess, N. (2022). *Operations management* (10th ed.). Pearson.
- Ivanov, D., Tsipoulanidis, A., & Schönberger, J. (2021). *Global supply chain and operations management* (3rd ed.). Springer.
- Sheffi, Y. (2020). *The new (ab)normal: Reshaping business and supply chain strategy beyond COVID-19*. MIT CTL Media.

CURS 4

Transportul de mărfuri: caracteristici, moduri, unități de încărcare, lanțuri logistice

Obiectivele cursului

La finalul acestui curs, studentul trebuie să fie capabil să:

- definească transportul de mărfuri și rolul său în logistică;
- clasifice principalele categorii de mărfuri;
- compare modurile de transport din punct de vedere tehnic, economic și logistic;
- descrie principalele unități de încărcare utilizate în transportul multimodal;
- explice funcționarea unui lanț logistic pentru mărfuri;
- identifice factorii care influențează alegerea modului de transport.

Introducere

Transportul de mărfuri reprezintă procesul de deplasare organizată a bunurilor între punctul de origine și punctul de consum sau utilizare, prin intermediul unuia sau mai multor moduri de transport (Branch, 2009). Din punct de vedere logistic, această activitate depășește sfera simplului transfer fizic al mărfurilor, constituind un proces complex care integrează infrastructura de transport, mijloacele de transport, terminalele logistice, operatorii economici și sistemele informaționale într-un ansamblu unitar. Prin intermediul transportului sunt conectate toate verigile lanțului logistic, de la furnizorii de materii prime și producători până la distribuitori, comercianți și utilizatorii finali.

Rolul transportului de mărfuri a devenit tot mai important pe fondul dezvoltării comerțului internațional, al globalizării economiei și al extinderii lanțurilor de aprovizionare la scară regională și mondială (Wood et al., 2015). În prezent, materiile prime sunt frecvent extrase într-o regiune geografică, prelucrate în alta, iar produsele finite sunt distribuite către piețe aflate la mii de kilometri distanță. Acest nivel ridicat de interdependență economică nu ar fi posibil fără existența unor sisteme de transport performante, capabile să asigure circulația continuă și sigură a mărfurilor între diferitele componente ale lanțului logistic.

În cadrul unui sistem logistic, transportul îndeplinește atât o funcție operațională, prin realizarea efectivă a deplasării mărfurilor, cât și o funcție strategică, deoarece influențează structura rețelei logistice, amplasarea centrelor de distribuție, dimensionarea stocurilor și nivelul serviciului oferit beneficiarilor. Alegerea modului de transport, proiectarea rutelor și organizarea fluxurilor logistice determină nu numai costurile operaționale ale organizației, ci și capacitatea acesteia de a răspunde rapid și eficient cerințelor pieței.

Din perspectiva managementului logistic, transportul reprezintă una dintre activitățile cu cea mai mare influență asupra costului total al lanțului de aprovizionare. În funcție de domeniul de activitate și de caracteristicile produselor transportate, costurile asociate transportului pot reprezenta o proporție semnificativă din costurile logistice totale. În consecință, optimizarea activităților de transport constituie o preocupare permanentă atât pentru operatorii logistici, cât și pentru organizațiile care desfășoară activități de producție, distribuție sau comerț (Goetschalckx, 2011).

Pe lângă impactul economic, transportul influențează în mod direct performanța întregului sistem logistic prin efectele sale asupra timpului de livrare, fiabilității serviciului, disponibilității produselor și gradului de satisfacție al beneficiarilor. Reducerea duratei transportului poate contribui la diminuarea nivelului stocurilor și la creșterea flexibilității lanțului de aprovizionare, în timp ce întârzierile sau întreruperile fluxurilor logistice pot genera costuri suplimentare și pot afecta continuitatea proceselor de producție sau distribuție.

Diversitatea mărfurilor transportate impune utilizarea unor soluții logistice adaptate caracteristicilor fiecărei categorii de produse. Proprietăți precum masa, volumul, valoarea economică, gradul de perisabilitate, fragilitatea sau nivelul de pericolozitate influențează alegerea mijlocului de transport, a unităților de încărcare, a condițiilor de manipulare și a tehnologiilor utilizate pe parcursul procesului logistic. Din acest motiv, transportul de mărfuri presupune integrarea unor cunoștințe din domeniul ingineriei transporturilor, managementului logistic, economiei și cercetării operaționale.

În practica actuală, alegerea modului de transport nu mai este fundamentată exclusiv pe criteriul costului. Procesul decizional presupune evaluarea simultană a unor factori precum timpul de transport, fiabilitatea serviciului, capacitatea disponibilă, accesibilitatea infrastructurii, flexibilitatea operațională, consumul energetic, impactul asupra mediului și cerințele specifice ale beneficiarului. În multe situații, soluția optimă constă în combinarea mai multor moduri de transport în cadrul unor lanțuri logistice intermodale sau multimodale, capabile să valorifice avantajele fiecărei categorii de infrastructură.

Dezvoltarea tehnologiilor digitale a modificat în mod semnificativ modul de organizare și administrare a transportului de mărfuri. Integrarea sistemelor de management al transporturilor (*Transportation Management Systems – TMS*), utilizarea tehnologiilor de poziționare prin satelit (GPS), a dispozitivelor de identificare prin radiofrecvență (RFID), a senzorilor specifici Internet of Things (IoT) și a aplicațiilor bazate pe inteligență artificială permit monitorizarea în timp real a fluxurilor logistice, optimizarea rutelor și îmbunătățirea procesului decizional. În același timp, politicile europene și internaționale promovează dezvoltarea unor sisteme de transport mai eficiente

din punct de vedere energetic și cu un impact redus asupra mediului, prin stimularea transportului intermodal, electrificarea flotelor și utilizarea combustibililor alternativi.

În acest context, înțelegerea caracteristicilor transportului de mărfuri și a modului în care acesta se integrează în sistemele logistice moderne oferă baza pentru analiza deciziilor privind alegerea modului de transport, utilizarea unităților de încărcare, organizarea lanțurilor logistice și optimizarea fluxurilor de distribuție. Aspectele respective constituie obiectul principal al prezentului capitol, care analizează transportul de mărfuri din perspectiva funcțiilor sale logistice, a modurilor de transport utilizate și a cerințelor actuale privind eficiența, digitalizarea și sustenabilitatea.

1. Rolul transportului de mărfuri în lanțul logistic

Transportul de mărfuri reprezintă una dintre principalele activități ale logisticii și contribuie la funcționarea continuă a lanțului de aprovizionare prin asigurarea circulației bunurilor între toate verigile implicate în procesul de producție și distribuție. Indiferent de domeniul de activitate, fluxurile de materiale și produse depind de existența unor servicii de transport capabile să asigure deplasarea mărfurilor în condiții de eficiență economică, siguranță și fiabilitate.

În cadrul lanțului logistic, transportul îndeplinește mai multe funcții complementare. În etapa de aprovizionare, acesta asigură deplasarea materiilor prime și a materialelor către unitățile de producție, contribuind la continuitatea proceselor industriale și la reducerea riscului de întrerupere a activităților de fabricație. În etapa de producție, transportul facilitează circulația semifabricatelor și a componentelor între diferitele unități de producție sau între furnizori și producători, în special în cadrul lanțurilor de aprovizionare distribuite la nivel regional sau internațional.

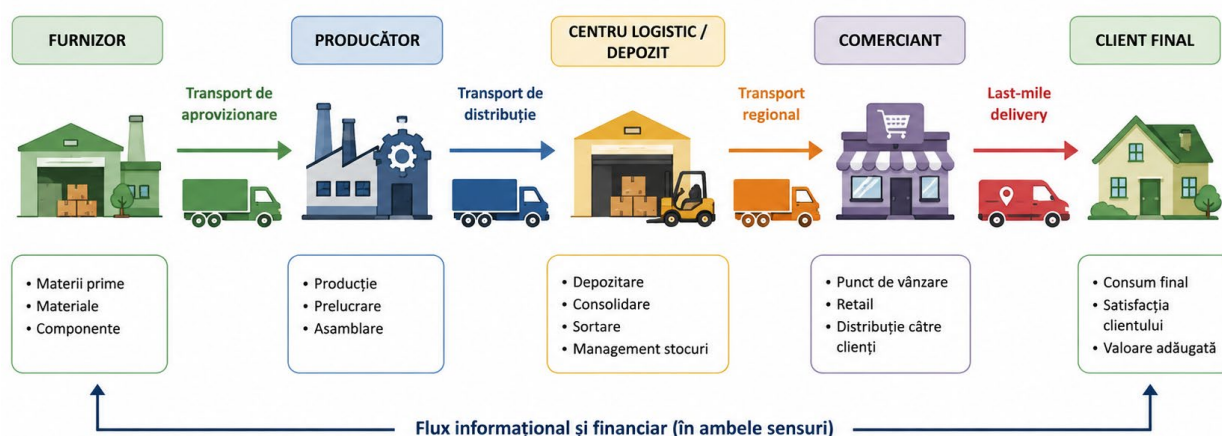


Figura 8 - Rolul transportului de mărfuri în lanțul logistic

După finalizarea procesului de producție, transportul permite distribuția produselor finite către centre logistice, depozite, unități comerciale sau direct către utilizatorii finali. În acest context,

eficiența activităților de transport influențează disponibilitatea produselor pe piață, timpul de răspuns la cererea clienților și capacitatea organizațiilor de a furniza servicii logistice competitive.

Dezvoltarea comerțului internațional și extinderea lanțurilor globale de aprovizionare au amplificat rolul transportului în conectarea regiunilor producătoare cu piețele de consum. În prezent, numeroase produse sunt fabricate prin participarea unor furnizori localizați în state diferite, ceea ce presupune organizarea unor fluxuri logistice complexe care utilizează succesiv transportul rutier, feroviar, naval și aerian. În acest context, transportul contribuie la integrarea economiilor naționale în circuitul comercial internațional și facilitează schimburile de bunuri la scară globală.

În același timp, dezvoltarea accelerată a comerțului electronic a modificat semnificativ cerințele privind transportul de mărfuri. Creșterea numărului de livrări individuale, reducerea timpilor solicitați pentru distribuție și diversificarea opțiunilor de livrare au determinat apariția unor modele logistice noi, bazate pe centre regionale de distribuție, hub-uri urbane și servicii de livrare de ultim kilometru (*last-mile delivery*). În aceste condiții, transportul nu mai reprezintă doar o activitate de deplasare a mărfurilor pe distanțe lungi, ci și un serviciu orientat către satisfacerea cerințelor individuale ale beneficiarilor.

Din perspectivă economică, transportul generează două forme fundamentale de utilitate, recunoscute în literatura de specialitate drept utilitatea de loc și utilitatea de timp. Utilitatea de loc este creată prin deplasarea bunurilor din zonele în care acestea sunt produse către zonele în care există cerere pentru consumul sau utilizarea lor. Astfel, transportul contribuie la reducerea dezechilibrelor spațiale dintre producție și consum și permite valorificarea resurselor disponibile la nivel regional și internațional.

La rândul său, utilitatea de timp este obținută prin livrarea mărfurilor în momentul în care acestea sunt necesare beneficiarului. În cadrul sistemelor logistice moderne, sincronizarea transportului cu activitățile de producție și distribuție are o importanță deosebită, deoarece contribuie la reducerea stocurilor, la creșterea flexibilității operaționale și la îmbunătățirea nivelului serviciului logistic. Concepte precum *Just-in-Time (JIT)* sau *Just-in-Sequence (JIS)* ilustrează importanța livrării mărfurilor la momentul planificat, evitând atât întârzierile, cât și sosirea prematură a acestora (Branch, 2009).

Din perspectiva managementului logistic, obiectivul transportului nu este limitat la deplasarea fizică a mărfurilor, ci urmărește realizarea unui echilibru între costurile operaționale și nivelul serviciului oferit beneficiarilor. Un sistem de transport performant trebuie să asigure livrarea cantității solicitate, la destinația corectă, în intervalul de timp stabilit și în condiții care să garanteze integritatea mărfurilor și siguranța operațiunilor de transport. În același timp, toate aceste obiective trebuie atinse prin utilizarea eficientă a resurselor disponibile și prin minimizarea costului logistic total.

În contextul actual, caracterizat prin digitalizare, globalizare și obiective privind dezvoltarea durabilă, rolul transportului de mărfuri depășește dimensiunea strict operațională și devine un factor care influențează competitivitatea organizațiilor, performanța lanțurilor logistice și capacitatea economiilor de a răspunde cerințelor unei piețe aflate într-o continuă schimbare.

2. Caracteristicile transportului de mărfuri

Transportul de mărfuri prezintă particularități care îl diferențiază de transportul de pasageri atât din punct de vedere al organizării operațiunilor logistice, cât și al criteriilor utilizate pentru evaluarea performanței. În timp ce transportul de pasageri este orientat către mobilitatea persoanelor și calitatea serviciului oferit utilizatorilor, transportul de mărfuri urmărește deplasarea bunurilor în condiții de eficiență economică, siguranță și integritate, respectând cerințele specifice fiecărei categorii de produse.

O caracteristică definitorie este diversitatea ridicată a mărfurilor transportate, care impune utilizarea unor soluții logistice adaptate din punctul de vedere al mijlocului de transport, al unităților de încărcare și al condițiilor de manipulare. De asemenea, transportul de mărfuri este caracterizat prin volume variabile ale încărcăturilor, de la expedieri individuale de mici dimensiuni până la transporturi de masă realizate cu trenuri de marfă, nave maritime sau convoaie de autovehicule.

Comparativ cu transportul de pasageri, activitățile de transport al mărfurilor presupun o utilizare intensivă a terminalelor logistice, depozitelor și centrelor de distribuție, unde sunt desfășurate operațiuni de recepție, depozitare, consolidare, sortare și transfer între diferite moduri de transport. În plus, organizarea fluxurilor de mărfuri este strâns corelată cu procesele de producție și distribuție, ceea ce impune planificarea riguroasă a rutelor, a capacităților de transport și a operațiunilor logistice.

Un alt aspect specific îl reprezintă influența caracteristicilor fizice și chimice ale mărfurilor asupra modului de organizare a transportului. În funcție de proprietățile acestora, pot fi necesare condiții speciale privind manipularea, depozitarea sau transportul.

Printre cele mai frecvente categorii se numără:

- Mărfurile perisabile, care necesită menținerea unei temperaturi controlate pe întreaga durată a transportului pentru a-și păstra proprietățile fizice și calitative.
- Mărfurile periculoase, pentru care transportul este reglementat prin norme specifice privind ambalarea, etichetarea, manipularea și securitatea operațiunilor.
- Mărfurile fragile, care impun măsuri suplimentare de protecție împotriva șocurilor mecanice și vibrațiilor produse în timpul transportului.

- Mărfurile vrac, solide sau lichide, care sunt transportate fără ambalaj individual și necesită mijloace de transport și echipamente specializate pentru încărcare și descărcare.
- Mărfurile agabaritice sau cu mase și dimensiuni depășite, pentru care sunt necesare autorizații speciale de transport, trasee adaptate și măsuri suplimentare de siguranță.
- Mărfurile de valoare ridicată, care impun condiții sporite de securitate, monitorizare și trasabilitate pe parcursul întregului proces logistic.

Tabelul 9 – Categoriile de mărfuri

Categoria de mărfuri	Cerință principală	Exemplu
Perisabile	Temperatură controlată	Produse alimentare, produse farmaceutice
Periculoase	Respectarea reglementărilor ADR/RID/IMDG/IATA	Carburanți, substanțe chimice
Fragile	Protecție împotriva șocurilor	Produse din sticlă, echipamente electronice
Vrac	Echipamente specializate de manipulare	Cereale, cărbune, ciment
Agabaritice	Autorizații și trasee speciale	Transformatoare, componente eoliene
De valoare ridicată	Securitate și monitorizare	Bijuterii, echipamente electronice

3. Clasificarea mărfurilor din perspectivă logistică

Diversitatea mărfurilor transportate impune clasificarea acestora în funcție de caracteristicile fizice, valoarea economică și cerințele specifice privind manipularea și transportul. Această clasificare facilitează alegerea mijlocului de transport, a unităților de încărcare, a ambalajelor, a infrastructurii logistice și a tehnologiilor utilizate pe parcursul lanțului de aprovizionare. În practică, aceeași marfă poate aparține simultan mai multor categorii, în funcție de criteriul de clasificare analizat.

Tabelul 10 – Clasificarea mărfurilor din perspectivă logistică

Criteriul de clasificare	Categoria	Caracteristici generale
După natura fizică	Mărfuri generale	Produse ambalate individual sau colectiv, fără cerințe speciale de transport.
	Mărfuri vrac solide	Materiale transportate fără ambalaj individual, precum cereale, cărbune sau minereuri.
	Mărfuri vrac lichide	Produse lichide transportate în cisterne sau rezervoare speciale, precum carburanți sau produse chimice.
	Mărfuri periculoase	Produse care necesită respectarea unor reglementări speciale privind manipularea și transportul.
	Mărfuri perisabile	Produse sensibile la temperatură și timp, care necesită condiții controlate de transport și depozitare.
	Mărfuri agabaritice	Încărcături cu mase sau dimensiuni care depășesc limitele standard și necesită condiții speciale de transport.
După valoarea economică	Produse cu valoare ridicată	Necesită măsuri sporite de securitate și monitorizare pe durata transportului.
	Produse cu valoare medie	Sunt transportate în condiții logistice standard, adaptate caracteristicilor produsului.
	Produse cu valoare redusă	Pun accent pe eficiența economică și pe optimizarea costurilor de transport.
După condițiile de transport	Temperatură controlată	Necesită menținerea unui interval termic prestabilit.
	Transport frigorific	Se realizează cu autovehicule sau containere frigorifice pentru produse refrigerate sau congelate.
	Transport securizat	Impune măsuri suplimentare de protecție împotriva furtului sau deteriorării.
	Transport ADR	Este destinat mărfurilor periculoase și se desfășoară în conformitate cu reglementările ADR.
	Transport special	Include mărfuri care necesită echipamente, autorizații sau condiții de exploatare specifice.

Clasificarea mărfurilor constituie unul dintre principalele criterii utilizate în proiectarea sistemelor logistice și influențează în mod direct alegerea mijlocului de transport, a unităților de încărcare, a infrastructurii logistice și a tehnologiilor de manipulare utilizate pe parcursul întregului lanț de aprovizionare.

4. Modurile de transport al mărfurilor

Transport rutier

Transportul rutier reprezintă cel mai utilizat mod de transport pentru distribuția mărfurilor pe distanțe scurte și medii, datorită flexibilității ridicate și accesibilității infrastructurii rutiere. Acesta permite realizarea transportului direct între punctul de încărcare și destinația finală, fără a fi necesare operațiuni intermediare de transbordare, motiv pentru care este asociat frecvent cu serviciile **door-to-door**.

Avantaje:

- serviciu door-to-door;
- flexibilitate ridicată;
- frecvență mare;
- timp redus pentru distanțe scurte și medii.

Limitări:

- congestionare;
- emisii ridicate;
- capacitate limitată;
- costuri mari pe distanțe lungi.

Transport feroviar

Transportul feroviar este utilizat în principal pentru deplasarea unor volume mari de mărfuri pe distanțe medii și lungi, fiind apreciat pentru capacitatea ridicată de transport, eficiența energetică și costurile reduse raportate la cantitatea transportată. În sistemele logistice moderne, acesta este integrat frecvent în lanțurile de transport intermodal, unde asigură transportul principal între terminalele logistice, transportul rutier fiind utilizat pentru preluarea și distribuția finală a mărfurilor.

Avantaje:

- cost redus pe tonă-km;
- capacitate mare;
- impact redus asupra mediului;
- fiabilitate ridicată.

Limitări:

- flexibilitate redusă;
- dependență de terminale;
- necesitatea transportului rutier complementar.

Transport maritim

Transportul maritim reprezintă principalul mod de transport utilizat în comerțul internațional, asigurând aproximativ 80–90 % din volumul schimburilor comerciale mondiale, datorită capacității foarte mari de transport și costurilor reduse pe distanțe lungi (UNCTAD, 2023). Acesta este indispensabil pentru transportul containerizat, al mărfurilor vrac și al produselor energetice, constituind baza lanțurilor logistice globale.

Avantaje:

- cost foarte redus pe distanțe lungi;
- capacitate foarte mare;
- transport containerizat eficient.

Limitări:

- timp mare de tranzit;
- dependență de porturi;
- sensibilitate la condițiile meteorologice.

Transport aerian

Transportul aerian este destinat în principal mărfurilor cu valoare economică ridicată, produselor perisabile și expedierilor urgente, pentru care timpul de transport reprezintă principalul criteriu de alegere. Deși costurile de exploatare sunt mai mari decât în cazul celorlalte moduri de transport, viteza ridicată și fiabilitatea serviciilor îl recomandă pentru fluxurile logistice care necesită livrări rapide la nivel internațional.

Avantaje:

- viteză foarte mare;
- fiabilitate;
- securitate ridicată.

Limitări:

- cost ridicat;
- capacitate limitată;
- restricții privind tipul mărfurilor.

Transport prin conducte

Utilizat pentru:

- petrol;

- gaze naturale;
- produse petroliere;
- unele produse chimice.

Prezintă costuri operaționale reduse și funcționare continuă, dar este limitat la anumite categorii de produse.

COMPARAREA MODURILOR DE TRANSPORT

Fiecare mod de transport prezintă avantaje și limitări specifice, motiv pentru care alegerea soluției optime trebuie fundamentată prin analiza simultană a mai multor criterii tehnice, economice și operaționale. Din perspectiva logisticii, nu există un mod de transport universal superior, fiecare fiind recomandat pentru anumite categorii de mărfuri, distanțe de transport și cerințe privind timpul de livrare.

Tabelul 11 sintetizează principalele caracteristici comparative ale modurilor de transport utilizate în logistica mărfurilor.

Tabelul 11 – Prezentarea comparativă a principalelor caracteristici

Criteriu	Rutier	Feroviar	Maritim	Aerian	Conducte
Cost	Mediu	Scăzut	Foarte scăzut	Foarte ridicat	Foarte scăzut
Viteză	Ridicată	Medie	Scăzută	Foarte ridicată	Continuă
Capacitate	Medie	Mare	Foarte mare	Mică	Foarte mare
Flexibilitate	Foarte ridicată	Redusă	Redusă	Medie	Foarte redusă
Impact asupra mediului	Ridicat	Redus	Redus	Ridicat	Redus

Analiza comparativă evidențiază faptul că transportul rutier oferă cea mai mare flexibilitate operațională și este recomandat pentru distribuția regională și serviciile **door-to-door**, în timp ce transportul feroviar și cel maritim devin mai avantajoase din punct de vedere economic pentru volume mari și distanțe lungi (Rodrigue et al., 2017).

Transportul aerian se remarcă prin viteza foarte ridicată și este destinat în principal mărfurilor cu valoare economică ridicată sau expedierilor urgente, în timp ce transportul prin conducte reprezintă o soluție specializată pentru produse fluide, caracterizată prin costuri operaționale reduse și funcționare continuă. În practică, sistemele logistice moderne utilizează frecvent combinații ale acestor moduri de transport, în cadrul transportului multimodal și intermodal, pentru valorificarea avantajelor specifice fiecăruia.

5. Unitățile de încărcare

Din perspectivă logistică, unitatea de încărcare reprezintă ansamblul format din marfă și suportul utilizat pentru manipularea și transportul acesteia ca un singur element. Prin gruparea produselor în unități standardizate se reduce numărul operațiunilor de manipulare, se diminuează riscul deteriorării mărfurilor și se optimizează utilizarea spațiului disponibil în mijloacele de transport și în depozite.

Standardizarea unităților de încărcare a avut un impact major asupra dezvoltării logisticii moderne, deoarece a permis utilizarea acelorași unități pe parcursul mai multor etape ale lanțului logistic, indiferent de modul de transport utilizat. Astfel, mărfurile pot fi transferate între transportul rutier, feroviar, maritim și aerian cu un număr redus de operațiuni de manipulare, ceea ce contribuie la reducerea timpilor de transbordare, a costurilor operaționale și a riscului de deteriorare a încărcăturii.

În prezent, utilizarea unităților standardizate de încărcare reprezintă o condiție pentru funcționarea eficientă a transportului multimodal și a lanțurilor logistice internaționale. Alegerea tipului de unitate depinde de caracteristicile mărfurilor transportate, de modul de transport utilizat și de cerințele operaționale privind manipularea, depozitarea și distribuția produselor.

Cele mai utilizate unități de încărcare în logistica transporturilor sunt paletul, containerul ISO, swap body, semiremorca și Unit Load Device (ULD) utilizat în transportul aerian, fiecare dintre acestea având caracteristici constructive și domenii de utilizare specifice.

Principalele unități de încărcare sunt:

- **Paletul**

Paletul reprezintă cea mai utilizată unitate de încărcare în sistemele logistice moderne, standardul european fiind EUR-paletul cu dimensiunile de 1200×800 mm, care permite manipularea mecanizată a mărfurilor cu ajutorul echipamentelor specifice, precum motostivuitoarele și transpaletele.

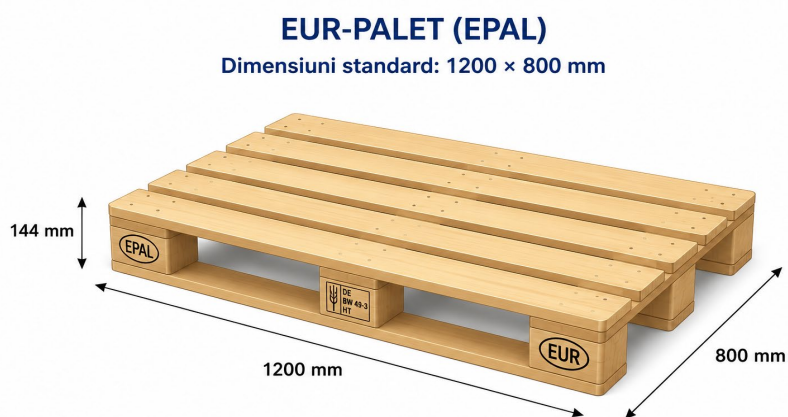


Figura 9 - Dimensiunile EUR-paletului

- **Containerul ISO**

Containerul ISO reprezintă una dintre cele mai importante inovații din domeniul transporturilor și logisticii, deoarece a permis standardizarea unităților de încărcare la nivel internațional. Utilizarea unor dimensiuni și caracteristici constructive standardizate facilitează transferul rapid al mărfurilor între transportul rutier, feroviar și maritim, fără manipularea directă a încărcăturii, contribuind astfel la reducerea timpilor de transbordare, a costurilor operaționale și a riscului de deteriorare a mărfurilor.

Containerele ISO sunt fabricate în conformitate cu standardele internaționale stabilite de International Organization for Standardization (ISO) și sunt compatibile cu echipamentele de manipulare și infrastructura utilizate în terminalele logistice din întreaga lume (ISO, 2022). Datorită acestui nivel ridicat de standardizare, containerizarea a devenit fundamentul transportului multimodal modern și unul dintre principalii factori care au favorizat dezvoltarea comerțului internațional.

Cele mai utilizate tipuri de containere standard sunt:

- Containerul de 20 ft (TEU – Twenty-foot Equivalent Unit), utilizat ca unitate de referință în statisticile privind transportul containerizat și capacitatea terminalelor portuare;
- Containerul de 40 ft (FEU – Forty-foot Equivalent Unit), preferat pentru transportul unor volume mai mari de marfă, datorită capacității sale aproape duble față de containerul de 20 ft.



Figura 10 - Dimensiunile exterioare ale celor mai utilizate containere ISO destinate transportului multimodal.

- **Caroserie Interschimbabilă (Swap body)**

Swap body-ul (denumit și caroserie interschimbabilă) este o unitate de încărcare utilizată în principal în sistemele logistice europene, fiind proiectată pentru a facilita transferul rapid al mărfurilor între transportul rutier și cel feroviar. Spre deosebire de containerul ISO, swap body-ul

nu este destinat transportului maritim și nu respectă integral dimensiunile standard ISO, fiind optimizat pentru infrastructura și cerințele operaționale ale transportului terestru european.

Construcția sa permite detașarea rapidă de pe șasiul autovehiculului și amplasarea pe picioarele de sprijin proprii, fără utilizarea imediată a unui echipament de ridicare. Această caracteristică reduce timpul necesar operațiunilor de încărcare și descărcare și permite utilizarea eficientă a autovehiculelor, care pot prelua rapid o altă unitate de încărcare.

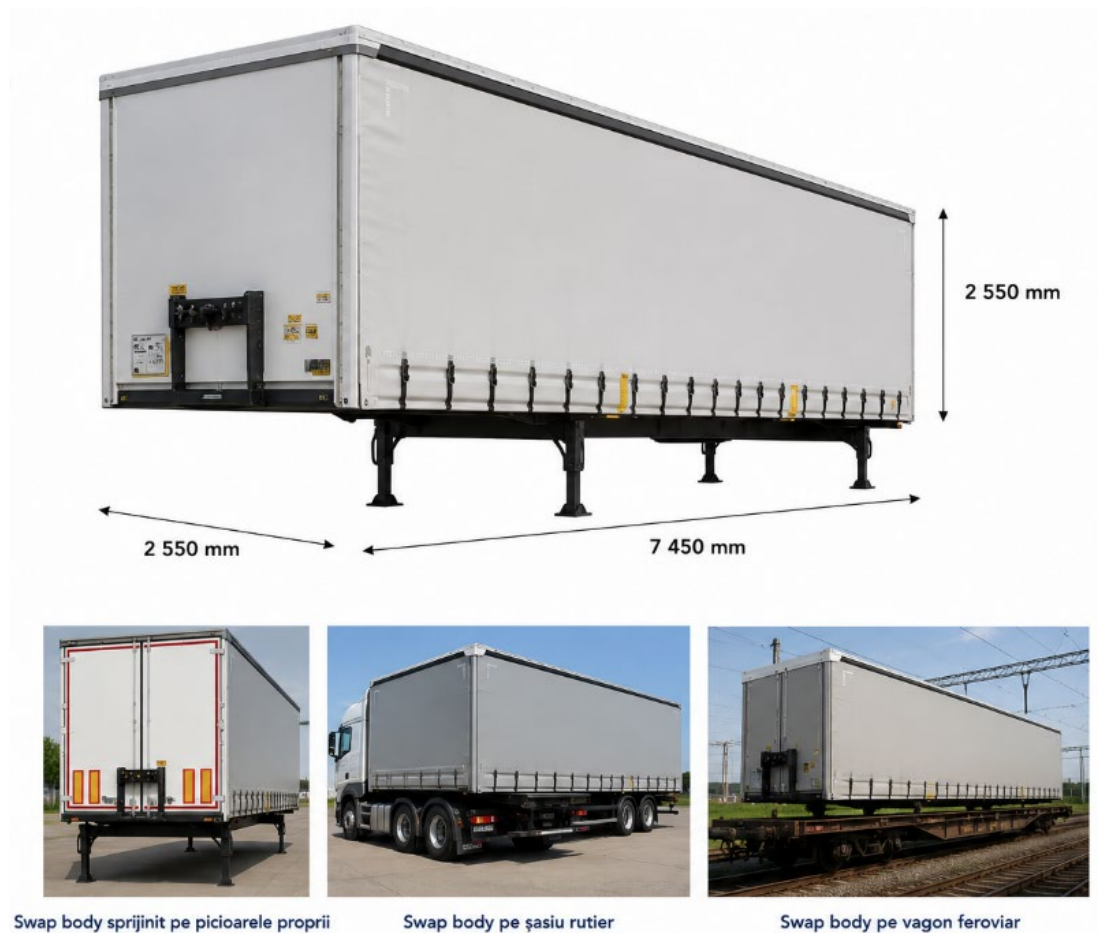


Figura 11 - Caroserie interschimbabilă

Comparativ cu un container ISO de aceeași lungime, swap body-ul oferă un volum interior mai mare și o masă proprie mai redusă, ceea ce îl face avantajos pentru transportul mărfurilor generale, al coletelor și al produselor paletizate. Din acest motiv, este utilizat pe scară largă de operatorii de distribuție, companiile de curierat și furnizorii de servicii logistice care operează rețele intermodale în Europa.

Cele mai răspândite aplicații ale swap body-urilor includ:

- transportul combinat rutier–feroviar;
- distribuția regională și internațională a mărfurilor generale;
- serviciile de curierat și distribuție expres;
- transportul produselor paletizate și al coletelor.

Principalele avantaje ale utilizării swap body-urilor sunt:

- reducerea timpilor de transfer între modurile de transport;
- volum util mai mare comparativ cu containerele ISO de dimensiuni similare;
- flexibilitate ridicată în operațiunile logistice;
- utilizarea eficientă a autovehiculelor și a terminalelor intermodale.

Ca limitare, swap body-ul este destinat aproape exclusiv transportului rutier și feroviar european și nu poate fi manipulat la nivel global cu aceeași ușurință ca un container ISO, ceea ce restrânge utilizarea sa în lanțurile logistice care includ transport maritim.

- **Semiremorca**

Semiremorca reprezintă cea mai utilizată unitate de încărcare în transportul rutier de mărfuri, fiind proiectată pentru transportul unei game variate de produse pe distanțe scurte, medii și lungi. Din punct de vedere constructiv, aceasta nu dispune de punte față proprie și este tractată de un cap tractor, ansamblul format fiind cunoscut sub denumirea de autotractor cu semiremorcă sau vehicul articulat.



Figura 12 - Vedere izometrică a semiremorcii

Datorită capacității ridicate de încărcare și flexibilității operaționale, semiremorca constituie elementul principal al distribuției rutiere la nivel regional, național și internațional. Aceasta permite transportul mărfurilor direct între punctul de încărcare și destinația finală, fără operațiuni suplimentare de manipulare, facilitând astfel realizarea serviciilor door-to-door.

În cadrul logisticii moderne, semiremorca poate fi utilizată și în transportul combinat rutier–feroviar, fiind încărcată pe vagoane speciale în cadrul sistemelor de tip *Piggyback*, *Rolling Highway* (RoLa) sau *Modalohr*. Această soluție contribuie la reducerea traficului rutier pe distanțe lungi, la diminuarea consumului de combustibil și a emisiilor de gaze cu efect de seră, transportul rutier fiind utilizat în principal pentru colectarea și distribuția locală a mărfurilor.

În funcție de tipul mărfurilor transportate, semiremorcile sunt disponibile în numeroase variante constructive, printre care semiremorci prelată (*curtain sider*), semiremorci frigorifice, semiremorci cisternă, semiremorci basculabile, semiremorci pentru transport containerizat și semiremorci destinate transportului agabaritic. Alegerea tipului de semiremorcă depinde de caracteristicile mărfurilor și de cerințele specifice privind manipularea, securitatea și condițiile de transport.

Principalele avantaje ale utilizării semiremorcilor sunt:

- capacitate mare de încărcare și volum util ridicat;
- flexibilitate în organizarea transporturilor rutiere;
- compatibilitate cu serviciile de distribuție *door-to-door*;
- posibilitatea integrării în sistemele de transport combinat.

Ca limitare, utilizarea semiremorcilor depinde de infrastructura rutieră și este influențată de congestia traficului, restricțiile privind masele și dimensiunile maxime admise, precum și de costurile asociate consumului de combustibil și exploatării autovehiculelor.

- **ULD (Unit Load Device)**

Unit Load Device (ULD) reprezintă unitatea standardizată utilizată în transportul aerian pentru gruparea, manipularea și transportul mărfurilor și al bagajelor. Similar rolului pe care containerul ISO îl are în transportul multimodal, ULD-urile permit încărcarea și descărcarea rapidă a aeronavelor, reducând timpul petrecut la sol și eficientizând operațiunile logistice din aeroporturi.

ULD-urile sunt proiectate astfel încât să se adapteze formei compartimentelor de marfă ale aeronavelor (International Air Transport Association [IATA], 2024). Spre deosebire de containerele ISO, care au dimensiuni dreptunghiulare standardizate, multe ULD-uri au pereți sau muchii curbate pentru a utiliza cât mai eficient spațiul disponibil în fuselajul aeronavelor. Această caracteristică contribuie la creșterea gradului de încărcare și la utilizarea optimă a capacității de transport.

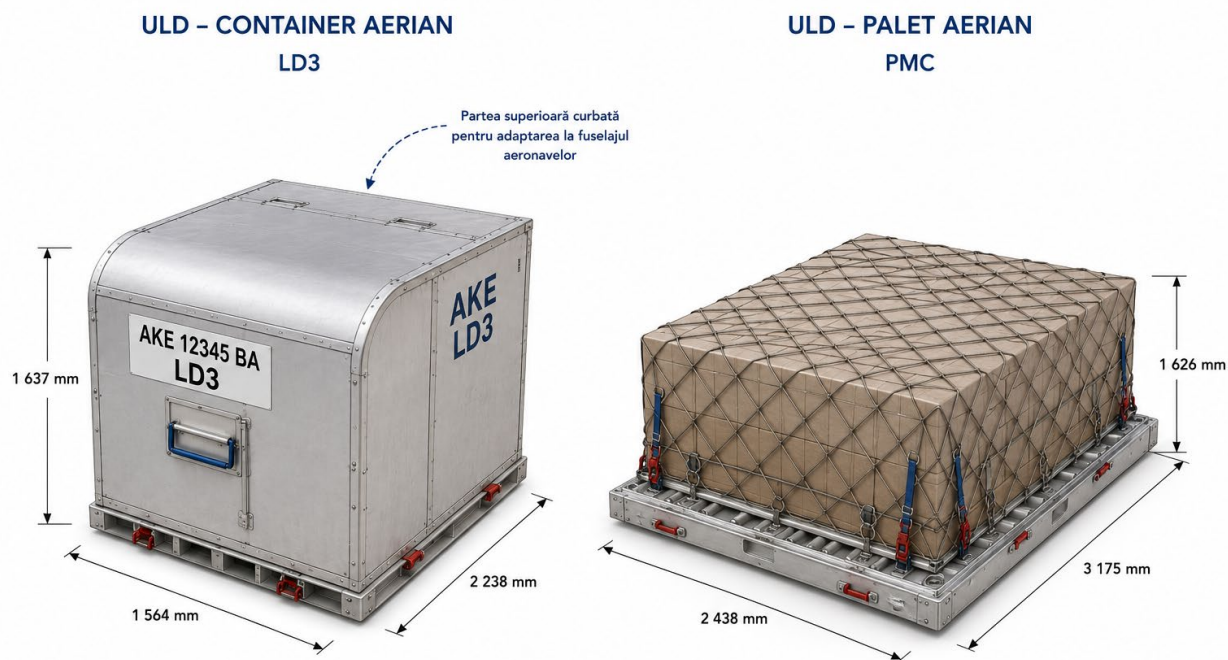


Figura 13 - Vedere izometrică a containerelor aeriene

În funcție de construcție, ULD-urile pot fi clasificate în două categorii principale:

- containere aeriene (Aircraft Containers), utilizate pentru transportul mărfurilor generale, al coletelor și al bagajelor;
- palete aeriene (Aircraft Pallets), pe care mărfurile sunt fixate cu plase și sisteme speciale de ancorare înainte de încărcarea în aeronavă.

Utilizarea ULD-urilor permite standardizarea operațiunilor de manipulare în aeroporturi, reducerea timpilor de încărcare și descărcare, diminuarea riscului de deteriorare a mărfurilor și creșterea siguranței transportului. În plus, acestea facilitează urmărirea și gestionarea încărcăturilor prin intermediul sistemelor informatice utilizate în logistica aeriană.

ULD-urile sunt utilizate în principal pentru transportul mărfurilor cu valoare economică ridicată, al produselor farmaceutice, al echipamentelor electronice, al bunurilor perisabile și al expedierilor urgente, categorii de produse pentru care viteza și siguranța transportului constituie criterii prioritare.

Standardizarea unităților de încărcare reduce manipulările intermediare, minimizează deteriorările și facilitează integrarea diferitelor moduri de transport.

6. Lanțurile logistice

Lanțul logistic reprezintă succesiunea activităților și a organizațiilor implicate în deplasarea mărfurilor de la furnizorul de materii prime până la utilizatorul final. Acesta integrează procesele de aprovizionare, producție, depozitare, transport și distribuție, având ca obiectiv asigurarea disponibilității produselor în locul și la momentul solicitat de beneficiar.

În funcție de complexitatea sistemului logistic, lanțul poate include mai multe categorii de participanți, precum furnizori, producători, depozite, centre logistice, terminale intermodale, operatori logistici, distribuitori și comercianți. Colaborarea eficientă dintre aceste componente contribuie la reducerea costurilor logistice, la optimizarea fluxurilor de transport și la îmbunătățirea nivelului serviciului oferit clienților.

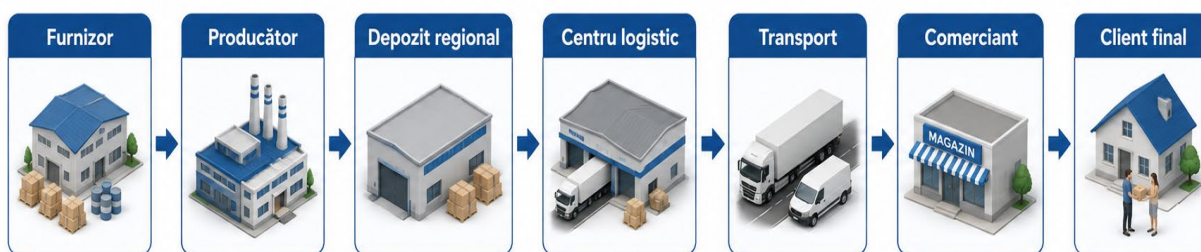


Figura 14 - Lanțul logistic

În practică, lanțurile logistice sunt adesea multietajate (multi-echelon) și includ mai multe niveluri de aprovizionare, depozitare și distribuție, adaptate caracteristicilor produselor, cerințelor beneficiarilor și ariei geografice deservite (Goetschalckx, 2011). Dezvoltarea comerțului electronic și a transportului intermodal a condus la creșterea complexității acestor lanțuri și la integrarea unor sisteme informatice care permit monitorizarea și coordonarea în timp real a fluxurilor logistice.

7. Transport multimodal și intermodal

- **Transport multimodal**

Transportul multimodal reprezintă deplasarea mărfurilor între punctul de origine și destinația finală utilizând succesiv două sau mai multe moduri de transport, în baza unui singur contract de transport, responsabilitatea pentru întregul proces logistic fiind asumată de un singur operator de transport multimodal (*Multimodal Transport Operator – MTO*). Din punctul de vedere al beneficiarului, întregul transport este gestionat ca un serviciu unic, indiferent de numărul modurilor de transport utilizate.

Acest tip de organizare permite integrarea avantajelor fiecărui mod de transport într-un singur lanț logistic. De exemplu, mărfurile pot fi preluate cu un autovehicul de la furnizor, transportate pe

cale ferată către un terminal intermodal și apoi distribuite rutier către clientul final, fără ca beneficiarul să încheie contracte separate pentru fiecare etapă a transportului.

Principalele avantaje ale transportului multimodal sunt:

- simplificarea relației contractuale dintre beneficiar și operatorul logistic;
- coordonarea unitară a întregului proces de transport;
- reducerea timpilor administrativi;
- optimizarea costurilor logistice;
- creșterea fiabilității serviciului și a trasabilității mărfurilor.

• **Transport intermodal**

Transportul intermodal reprezintă o formă particulară a transportului multimodal și presupune utilizarea aceleiași unități de încărcare pe parcursul mai multor moduri de transport, fără manipularea directă a mărfii în timpul operațiunilor de transfer (Woxenius, 2007). În acest caz, încărcătura rămâne permanent în aceeași unitate logistică, cum ar fi un container ISO, un swap body sau o semiremorcă, fiind transferată integral între diferitele mijloace de transport.

Principiul fundamental al transportului intermodal constă în manipularea unității de încărcare, și nu a mărfii propriu-zise. Această abordare reduce numărul operațiunilor de încărcare și descărcare, diminuează riscul deteriorării produselor și contribuie la creșterea eficienței logistice.

Un exemplu frecvent îl reprezintă transportul unui container ISO care este încărcat inițial pe un autocamion, transferat ulterior pe un tren pentru transportul pe distanțe lungi și, în final, transportat din nou rutier până la destinația finală. Pe parcursul întregului traseu, mărfurile rămân în același container, fără a fi manipulate individual.

Comparativ cu transportul convențional, transportul intermodal oferă numeroase avantaje:

- reducerea costurilor de manipulare a mărfurilor;
- diminuarea riscului de deteriorare și pierdere a produselor;
- reducerea timpilor de transbordare în terminalele logistice;
- utilizarea mai eficientă a infrastructurii disponibile;
- creșterea eficienței operaționale a lanțului logistic;
- reducerea consumului energetic și a emisiilor de gaze cu efect de seră prin utilizarea transportului feroviar sau maritim pentru distanțele lungi;
- îmbunătățirea siguranței și trasabilității mărfurilor pe întregul traseu.

În prezent, transportul intermodal reprezintă una dintre principalele direcții de dezvoltare a logisticii europene și internaționale, fiind promovat pentru creșterea eficienței transporturilor și reducerea impactului asupra mediului (European Commission, 2020).

8. Factorii care influențează alegerea modului de transport

Alegerea modului de transport reprezintă una dintre cele mai importante decizii din cadrul managementului logistic, deoarece influențează costurile operaționale, timpul de livrare, nivelul serviciului și performanța întregului lanț de aprovizionare.

În practică, această decizie nu este fundamentată pe un singur criteriu, ci pe analiza simultană a mai multor factori tehnici, economici, operaționali și de mediu, care trebuie adaptați caracteristicilor mărfurilor și cerințelor beneficiarilor.

Principalii factori care influențează alegerea modului de transport sunt:

- costul total al transportului;
- timpul de tranzit;
- fiabilitatea serviciului;
- frecvența curselor;
- accesibilitatea infrastructurii;
- caracteristicile mărfii;
- distanța de transport;
- cerințele clientului;
- impactul asupra mediului;
- nivelul de risc și securitate.

În practica logistică modernă, alegerea nu urmărește minimizarea costului unui singur transport, ci optimizarea costului și a performanței întregului lanț logistic (McKinnon, 2018).

9. Bibliografie

- Branch, A. E. (2009). *Global supply chain management and international logistics*. Routledge.
- European Commission. (2020). *Sustainable and smart mobility strategy – Putting European transport on track for the future*. European Commission.
- Goetschalckx, M. (2011). *Supply chain engineering*. Springer.
- International Air Transport Association. (2024). *ULD regulations* (12th ed.). IATA.
- International Organization for Standardization. (2020). *ISO 668:2020: Series 1 freight containers—Classification, dimensions and ratings* (7th ed.). International Organization for Standardization.
- McKinnon, A. C. (2018). *Decarbonizing logistics: Distributing goods in a low carbon world*. Kogan Page.
- Notteboom, T., Pallis, A., & Rodrigue, J.-P. (2022). *Port economics, management and policy*. Routledge.

- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., & Slack, B. (2017). *The geography of transport systems* (4th ed.). Routledge.
- Stopford, M. (2009). *Maritime economics* (3rd ed.). Routledge.
- United Nations Conference on Trade and Development. (2023). *Review of maritime transport 2023: Towards a green and just transition*. United Nations.
- Wood, D. F., Barone, A., Murphy, P. R., & Wardlow, D. L. (2015). *International logistics* (3rd ed.). AMACOM.
- Woxenius, J. (2007). Generic framework for transport network designs: Applications and treatment in intermodal freight transport literature. *Transport Reviews*, 27(6), 733–749.

CURS 5

Transportul de pasageri: cerere de mobilitate, servicii, rețele, calitatea serviciului

Obiectivele cursului

La finalul acestui curs, studentul trebuie să fie capabil să:

- definească cererea de mobilitate și factorii care o influențează;
- clasifice serviciile de transport de pasageri;
- descrie structura rețelilor de transport pentru pasageri;
- analizeze indicatorii de performanță și calitate ai serviciilor de transport;
- explice relația dintre cererea de mobilitate și oferta de transport;
- identifice tendințele actuale în dezvoltarea sistemelor de transport de pasageri.

Introducere

Mobilitatea persoanelor reprezintă una dintre condițiile care susțin funcționarea societății moderne și dezvoltarea economică a unei regiuni. Posibilitatea deplasării către locurile de muncă, instituțiile de învățământ, unitățile medicale, zonele comerciale sau spațiile destinate activităților recreative influențează în mod direct calitatea vieții, gradul de incluziune socială și nivelul de dezvoltare economică. Din acest motiv, transportul de pasageri ocupă un loc central în cadrul politicilor de mobilitate urbană și regională, contribuind la conectarea populației cu principalele activități economice și sociale.

Spre deosebire de transportul de mărfuri, al cărui obiectiv principal este deplasarea bunurilor între punctele de producție și consum, transportul de pasageri are ca scop satisfacerea nevoilor de mobilitate ale populației, în condiții de siguranță, confort și eficiență. Organizarea serviciilor de transport trebuie să răspundă unei cereri de mobilitate caracterizate prin variații spațiale și temporale, influențate de distribuția populației, programul activităților economice, structura teritorială a localităților și preferințele utilizatorilor.

În prezent, transportul de pasageri este analizat nu doar din perspectiva deplasării fizice a persoanelor, ci și prin prisma accesibilității, calității serviciului și sustenabilității sistemului de transport. Accentul este pus pe capacitatea rețelilor de transport de a oferi servicii fiabile, accesibile și atractive pentru toate categoriile de utilizatori, reducând în același timp consumul de resurse și impactul asupra mediului. În acest context, evaluarea performanței sistemelor de transport depășește indicatorii tradiționali, precum viteza de deplasare sau capacitatea infrastructurii, și include criterii referitoare la punctualitate, frecvența serviciilor, accesibilitate, confort, siguranță și satisfacția utilizatorilor.

Cererea de mobilitate reprezintă elementul care stă la baza planificării și organizării transportului de pasageri. Aceasta exprimă necesitatea populației de a efectua deplasări între diferite puncte ale rețelei de transport și este influențată de numeroși factori, precum densitatea populației, structura utilizării terenurilor, nivelul de dezvoltare economică, veniturile, gradul de motorizare, caracteristicile infrastructurii și calitatea serviciilor de transport disponibile. Înțelegerea acestor factori permite dimensionarea corespunzătoare a rețelelor și adaptarea ofertei de transport la nevoile reale ale utilizatorilor.

Din perspectivă logistică, transportul de pasageri poate fi interpretat ca un sistem format din fluxuri de utilizatori, infrastructură, mijloace de transport, terminale, operatori și sisteme informaționale, care interacționează pentru furnizarea unui serviciu de mobilitate. Funcționarea eficientă a acestui sistem depinde de coordonarea tuturor componentelor sale și de integrarea diferitelor moduri de transport într-o rețea coerentă, capabilă să asigure conexiuni rapide și sigure între principalele zone generatoare și atratoare de deplasări.

În ultimele decenii, dezvoltarea tehnologiilor digitale și promovarea conceptelor de mobilitate durabilă au modificat semnificativ modul de organizare a transportului de pasageri. Implementarea sistemelor inteligente de transport (*Intelligent Transport Systems – ITS*), utilizarea informațiilor în timp real, dezvoltarea aplicațiilor pentru planificarea călătoriilor și integrarea diferitelor servicii de mobilitate în platforme digitale contribuie la creșterea atractivității transportului public și la utilizarea mai eficientă a infrastructurii existente. Totodată, politicile europene promovează dezvoltarea unor sisteme de transport orientate către reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, creșterea ponderii transportului public și încurajarea mobilității active și a transportului intermodal.

În acest context, înțelegerea relației dintre cererea de mobilitate, serviciile de transport, structura rețelelor și calitatea serviciului oferit utilizatorilor constituie baza proiectării și administrării sistemelor moderne de transport de pasageri. În cadrul acestui capitol vor fi analizate principalele concepte privind cererea de mobilitate, organizarea serviciilor de transport, tipologia rețelelor și indicatorii utilizați pentru evaluarea calității serviciilor destinate transportului de pasageri.

1. Cererea de mobilitate

Cererea de mobilitate reprezintă necesitatea persoanelor de a se deplasa între diferite locații pentru desfășurarea activităților cotidiene, precum deplasările către locul de muncă, instituțiile de învățământ, unitățile medicale, zonele comerciale sau spațiile destinate activităților recreative. Din perspectiva transporturilor, cererea de mobilitate reflectă volumul și caracteristicile deplasărilor pe care sistemul de transport trebuie să le deservească într-o anumită perioadă de timp (Ortúzar & Willumsen, 2011).

Spre deosebire de transportul de mărfuri, unde cererea este determinată de necesitatea transferului bunurilor între diferite verigi ale lanțului logistic, în transportul de pasageri cererea este generată de activitățile economice și sociale ale populației. Astfel, distribuția locuințelor, localizarea locurilor de muncă, dezvoltarea centrelor comerciale și organizarea serviciilor publice influențează în mod direct numărul și caracteristicile deplasărilor realizate zilnic.

Cererea de mobilitate este descrisă printr-o serie de indicatori utilizați în planificarea și evaluarea sistemelor de transport, dintre care cei mai importanți sunt (Ortúzar & Willumsen, 2011):

- numărul deplasărilor, care exprimă volumul total al călătoriilor efectuate într-o anumită perioadă;
- distanța parcursă, utilizată pentru evaluarea intensității mobilității și a necesarului de infrastructură;
- timpul de călătorie, unul dintre principalii indicatori ai atractivității serviciilor de transport;
- alegerea modului de transport (modal split), care reflectă distribuția deplasărilor între transportul public, autoturisme, transportul nemotorizat și alte moduri de deplasare;
- frecvența deplasărilor, care exprimă numărul călătoriilor efectuate de o persoană într-un interval de timp determinat.

Din punctul de vedere al ariei geografice deservite, cererea de mobilitate poate fi clasificată în:

- cerere urbană, caracteristică deplasărilor realizate în interiorul localităților;
- cerere regională, asociată conexiunilor dintre localități sau zone metropolitane;
- cerere națională, care include deplasările între diferite regiuni ale unei țări;
- cerere internațională, specifică transportului transfrontalier de pasageri.

În funcție de modul de organizare a deplasărilor, se disting **cererea individuală**, satisfăcută prin utilizarea mijloacelor individuale de transport, și **cererea colectivă**, deservită prin sisteme de transport public, precum autobuzele, tramvaiele, troleibuzele, metrourele sau trenurile de călători.

Cererea de mobilitate nu este constantă în timp, ci prezintă variații semnificative pe parcursul zilei, al săptămânii și al anului. În mediul urban, cele mai ridicate valori sunt înregistrate în perioadele de vârf (*peak hours*), corespunzătoare deplasărilor către și de la locurile de muncă și instituțiile de învățământ. În schimb, în intervalele dintre orele de vârf (*off-peak*), volumul deplasărilor este considerabil mai redus, ceea ce impune adaptarea frecvenței și capacității serviciilor de transport.

Numeroși factori influențează nivelul cererii de mobilitate, printre care densitatea populației, structura utilizării terenurilor, gradul de motorizare, nivelul veniturilor, accesibilitatea infrastructurii, calitatea serviciilor de transport și politicile publice privind mobilitatea urbană. În

ultimii ani, dezvoltarea muncii la distanță, comerțului electronic și serviciilor digitale a modificat semnificativ modelele tradiționale de mobilitate, determinând schimbări în distribuția spațială și temporală a deplasărilor.

În planificarea transporturilor, cererea de mobilitate este reprezentată frecvent prin intermediul **rețelelor origine–destinație**, care descriu numărul călătoriilor realizate între diferitele zone ale unei rețele de transport într-o anumită perioadă.

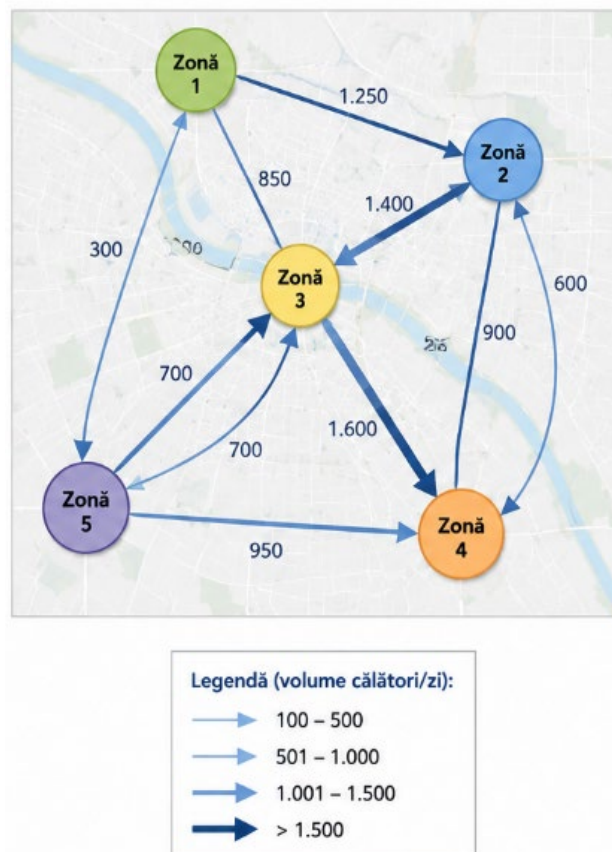


Figura 15 – Exemplu de rețea O-D

Aceste rețele constituie baza modelelor de prognoză a cererii și sunt utilizate pentru dimensionarea infrastructurii, proiectarea rutelor, stabilirea frecvenței serviciilor și evaluarea impactului investițiilor asupra sistemului de transport.

2. Factorii care influențează cererea de mobilitate

Cererea de mobilitate nu este constantă în timp și spațiu, ci variază în funcție de caracteristicile populației, de nivelul de dezvoltare economică, de organizarea teritoriului și de performanța sistemului de transport. Înțelegerea acestor factori este esențială pentru prognozarea fluxurilor de călători și pentru proiectarea unor servicii de transport adaptate nevoilor reale ale utilizatorilor.

Factori demografici

Caracteristicile demografice ale populației influențează în mod direct volumul și structura cererii de mobilitate. Numărul locuitorilor, densitatea populației, distribuția spațială a zonelor rezidențiale și structura pe grupe de vârstă determină intensitatea deplasărilor și nivelul de utilizare al infrastructurii de transport. De exemplu, zonele urbane cu densitate ridicată generează, în general, un număr mai mare de călătorii și favorizează utilizarea transportului public.

Principalii factori demografici sunt:

- populația;
- densitatea urbană;
- structura pe vârste;
- distribuția spațială a locuitorilor.

Factori economici

Nivelul de dezvoltare economică influențează atât necesitatea deplasărilor, cât și alegerea modului de transport. Veniturile populației, gradul de ocupare a forței de muncă și costurile asociate deplasărilor determină comportamentul utilizatorilor și preferințele acestora pentru transportul individual sau colectiv.

Principalii factori economici includ:

- nivelul veniturilor;
- gradul de ocupare;
- costul combustibilului;
- tarifele serviciilor de transport.

Factori teritoriali

Organizarea spațială a localităților și distribuția activităților economice reprezintă elemente importante în generarea cererii de mobilitate. Localizarea locurilor de muncă, a instituțiilor de învățământ, a zonelor comerciale și a serviciilor publice determină direcția și intensitatea fluxurilor de călători dintre diferitele zone ale unei localități sau regiuni.

Factorii teritoriali sunt reprezentați de:

- utilizarea terenurilor;
- amplasarea locurilor de muncă;
- localizarea serviciilor publice;
- dezvoltarea zonelor rezidențiale.

Factori ai sistemului de transport

Performanța sistemului de transport influențează în mod direct atractivitatea serviciilor oferite utilizatorilor. Reducerea timpului de călătorie, creșterea frecvenței curselor, îmbunătățirea

confortului și sporirea siguranței determină, de regulă, creșterea utilizării transportului public și modificarea comportamentului de mobilitate.

Printre principalii factori specifici sistemului de transport se numără:

- timpul de călătorie;
- frecvența curselor;
- accesibilitatea stațiilor;
- confortul;
- siguranța;
- fiabilitatea serviciului.

Cererea și oferta de transport se află într-o relație de interdependență. Creșterea calității serviciilor de transport, prin reducerea timpilor de deplasare, îmbunătățirea accesibilității sau creșterea frecvenței curselor, poate conduce la atragerea unui număr mai mare de utilizatori, fenomen cunoscut în literatura de specialitate drept cerere indusă. În același timp, modificările cererii impun adaptarea continuă a ofertei de transport, prin dimensionarea capacității, reorganizarea rutelor și optimizarea programelor de circulație.

3. Serviciile de transport de pasageri

Serviciile de transport de pasageri reprezintă ansamblul activităților prin care operatorii de transport asigură deplasarea persoanelor între punctul de origine și destinația finală, utilizând diferite moduri de transport și forme de organizare. Scopul principal al acestor servicii este satisfacerea cererii de mobilitate în condiții de siguranță, accesibilitate, confort și eficiență economică (Vuchic, 2007).

În funcție de caracteristicile sistemului de transport și de nevoile utilizatorilor, serviciile de transport de pasageri pot fi clasificate după mai multe criterii.

Clasificarea după aria de acoperire

În funcție de distanța parcursă și de zona geografică deservită, serviciile de transport pot avea caracter local, regional sau internațional. Această clasificare influențează organizarea rețelelor, tipul infrastructurii utilizate și nivelul serviciului oferit călătorilor (Vuchic, 2007).

Se disting următoarele categorii:

- transport urban;
- transport metropolitan;
- transport regional;
- transport interurban;
- transport internațional.

Clasificarea după modul de transport

Serviciile de transport pot fi organizate utilizând unul sau mai multe moduri de transport, fiecare având caracteristici specifice privind capacitatea, viteza, accesibilitatea și domeniul de utilizare. Alegerea modului de transport depinde de distanța parcursă, cererea de mobilitate și caracteristicile infrastructurii disponibile.

Principalele moduri utilizate sunt:

- transport rutier;
- transport feroviar;
- transport aerian;
- transport naval;
- transport pe cablu.

Clasificarea după modul de operare

Din punct de vedere al organizării serviciului, transportul de pasageri poate fi realizat după programe prestabilite sau în funcție de cererea utilizatorilor. În ultimii ani, dezvoltarea tehnologiilor digitale a favorizat apariția unor servicii flexibile, adaptate cererii în timp real.

În această categorie sunt incluse:

- servicii regulate;
- servicii la cerere (Demand Responsive Transport – DRT);
- servicii expres;
- servicii speciale (școlare, turistice, aeroportuare).

Clasificarea după regimul de utilizare

Din perspectiva modului de acces la serviciu, transportul de pasageri poate fi public, privat sau partajat. Dezvoltarea platformelor digitale și integrarea diferitelor servicii de mobilitate au condus la apariția unor noi modele de organizare, orientate către utilizarea eficientă a resurselor și reducerea dependenței de autoturismul personal.

Principalele categorii sunt:

- transport public;
- transport privat;
- transport partajat (*ride-sharing*, *car-sharing*);
- mobilitate ca serviciu (Mobility as a Service – MaaS).

Noile concepte de mobilitate, precum Demand Responsive Transport (DRT) și Mobility as a Service (MaaS), reflectă tendința de digitalizare și integrare a sistemelor de transport (European Commission, 2021). Mobility as a Service (MaaS) reprezintă un concept de mobilitate integrată

prin care utilizatorii pot planifica, rezerva și achita diferite servicii de transport (transport public, biciclete, ride-sharing, car-sharing etc.) prin intermediul unei singure platforme digitale.

Aceste soluții permit planificarea, rezervarea și plata călătoriilor prin intermediul unor platforme digitale unificate, contribuind la creșterea flexibilității serviciilor și la utilizarea mai eficientă a infrastructurii existente.

4. Oferta de transport

Oferta de transport reprezintă ansamblul resurselor, infrastructurii și serviciilor puse la dispoziția utilizatorilor pentru satisfacerea cererii de mobilitate. Aceasta reflectă capacitatea sistemului de transport de a asigura deplasarea pasagerilor în condiții de siguranță, eficiență și calitate, prin utilizarea coordonată a infrastructurii, a mijloacelor de transport și a resurselor umane.

Din perspectiva planificării transporturilor, oferta trebuie dimensionată astfel încât să răspundă atât nivelului actual al cererii, cât și variațiilor acesteia în timp și spațiu. O ofertă insuficientă conduce la supraaglomerare, întârzieri și reducerea calității serviciului, în timp ce o ofertă supradimensionată determină utilizarea inefficientă a resurselor și creșterea costurilor de exploatare.

Principalele componente ale ofertei de transport sunt:

- **Infrastructura**

Infrastructura constituie suportul fizic al serviciilor de transport și include rețeaua rutieră sau feroviară, stațiile, terminalele, depourile și celelalte facilități necesare desfășurării activităților de transport. Capacitatea și calitatea infrastructurii influențează direct performanța sistemului de transport.

- **Rețeaua de trasee**

Rețeaua de trasee stabilește legăturile dintre principalele zone generatoare și atrătoare de deplasări. Configurația acesteia determină gradul de accesibilitate al sistemului și influențează timpul de călătorie, numărul transbordărilor și acoperirea teritorială a serviciilor.

- **Flota de vehicule**

Flota reprezintă totalitatea mijloacelor de transport utilizate pentru prestarea serviciului. Dimensiunea, capacitatea și caracteristicile tehnice ale flotei trebuie adaptate volumului cererii și tipului de serviciu oferit.

- **Frecvența curselor și orarele de circulație**

Frecvența curselor și orarele determină disponibilitatea serviciului pentru utilizatori și influențează timpul de așteptare, regularitatea și atractivitatea transportului public. Adaptarea programelor de circulație la variațiile cererii contribuie la utilizarea eficientă a resurselor disponibile.

- **Personalul de exploatare**

Funcționarea sistemului de transport depinde de personalul implicat în exploatarea și administrarea serviciilor, incluzând conducătorii de vehicule, dispecerii, personalul de întreținere și operatorii din centrele de control. Competența și organizarea acestuia influențează siguranța și fiabilitatea serviciului.

- **Sistemele de ticketing și informare**

Sistemele moderne de ticketing și informare facilitează accesul utilizatorilor la serviciile de transport și permit achiziționarea titlurilor de călătorie, planificarea rutelor și obținerea informațiilor în timp real privind circulația mijloacelor de transport. Integrarea acestora în platforme digitale contribuie la creșterea calității serviciului și la îmbunătățirea experienței utilizatorilor.

Oferta de transport trebuie adaptată permanent la variațiile cererii de mobilitate, care diferă în funcție de intervalul orar, ziua săptămânii sau sezon. Dimensionarea corespunzătoare a capacității, ajustarea frecvenței curselor și reorganizarea rutelor permit utilizarea eficientă a infrastructurii și menținerea unui nivel ridicat al calității serviciului. Din acest motiv, planificarea transporturilor urmărește realizarea unui echilibru între cererea de mobilitate și oferta de transport, astfel încât resursele disponibile să fie utilizate în mod eficient, iar nevoile utilizatorilor să fie satisfăcute în condiții optime (Ortúzar & Willumsen, 2011).

5. Rețelele de transport de pasageri

Rețeaua de transport reprezintă ansamblul infrastructurilor și serviciilor care permit deplasarea călătorilor între diferitele zone ale unei localități sau regiuni. Din perspectivă inginerescă, aceasta poate fi modelată ca un graf alcătuit din noduri, reprezentate de stații, gări, terminale și aeroporturi, respectiv legături, reprezentate de traseele și coridoarele de transport care conectează aceste noduri (Vuchic, 2007).

Structura rețelei influențează accesibilitatea, timpul de călătorie, numărul de transbordări și capacitatea sistemului de a răspunde cererii de mobilitate. Alegerea unei configurații adecvate depinde de forma orașului, distribuția populației și localizarea principalelor zone generatoare de deplasări.

Componentele principale ale unei rețele de transport sunt:

- nodurile, reprezentate de stații, gări, terminale și aeroporturi;
- legăturile, reprezentate de liniile de transport și coridoarele de circulație;
- traseele, care definesc itinerarele urmate de serviciile de transport;
- coridoarele de transport, utilizate pentru preluarea fluxurilor majore de călători.

TIPURI DE REȚELE

• Rețea radială

Rețeaua radială este caracteristică orașelor dezvoltate în jurul unui centru principal, toate traseele convergând către zona centrală. Această configurație facilitează accesul către centrul orașului, însă poate conduce la concentrarea fluxurilor și la apariția fenomenelor de congestie în nodurile centrale.

Rețea radială

Toate liniile converg spre centrul orașului.

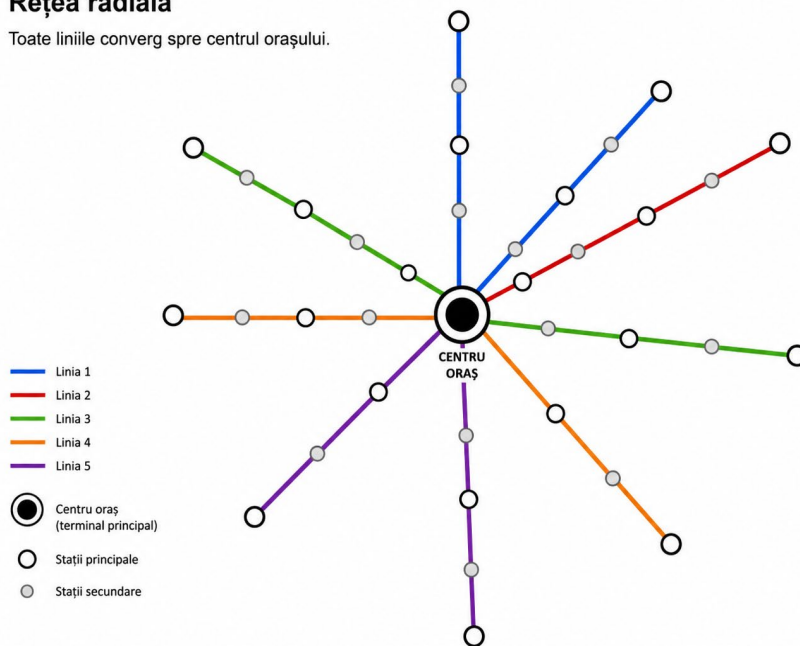


Figura 16 - Rețeaua radială

Avantaje:

- acces rapid către centrul orașului;
- structură simplă și ușor de administrat.

Limitări:

- congestie în zona centrală;
- conexiuni mai dificile între cartierele periferice.

- **Rețea radială cu inele**

Rețeaua radială cu inele reprezintă o dezvoltare a rețelei radiale clasice, prin adăugarea unor trasee circulare (inele) care conectează liniile radiale între ele. În această configurație, călătorii pot efectua deplasări între diferite zone periferice fără a mai traversa obligatoriu centrul orașului, ceea ce conduce la o distribuție mai echilibrată a fluxurilor de trafic și la reducerea gradului de încărcare al nodurilor centrale.

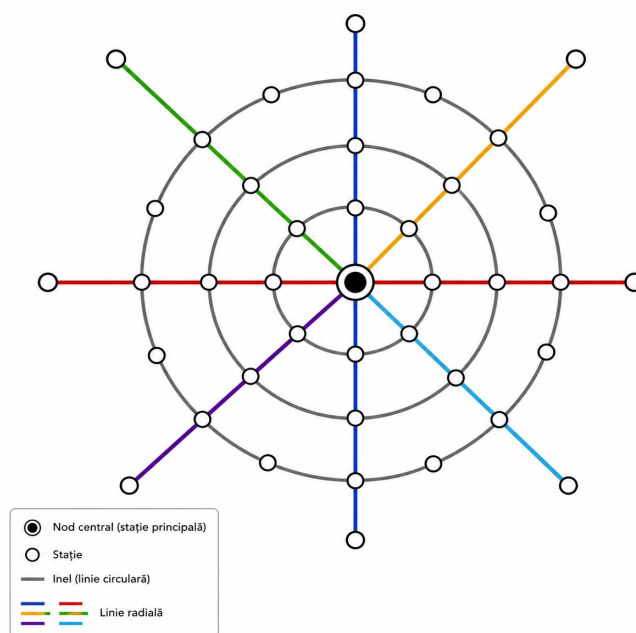


Figura 17 - Rețeaua radială cu inele

Acest tip de rețea este utilizat frecvent în orașele mari și în zonele metropolitane, unde cererea de mobilitate nu este orientată exclusiv către centrul urban, ci include și deplasări între cartiere sau centre secundare de activitate. Liniile circulare facilitează conexiunile dintre traseele radiale și reduc numărul transbordărilor necesare pentru realizarea unor deplasări periferie–periferie.

Comparativ cu rețeaua radială simplă, această configurație oferă o flexibilitate mai mare în organizarea serviciilor de transport și permite utilizarea mai eficientă a infrastructurii existente. Totuși, proiectarea și exploatarea unei astfel de rețele sunt mai complexe, deoarece necesită coordonarea traseelor radiale și circulare pentru asigurarea unor conexiuni eficiente între diferitele linii.

Avantaje:

- reducerea numărului de transbordări pentru deplasările dintre zonele periferice;
- distribuirea mai uniformă a fluxurilor de călători în rețea;
- diminuarea congestionării în zona centrală a orașului;
- creșterea accesibilității între cartiere și centre secundare de activitate;
- flexibilitate mai ridicată în alegerea rutelor de deplasare.

Limitări:

- structură mai complexă a rețelei și costuri mai ridicate de exploatare;
- necesitatea unei coordonări eficiente între liniile radiale și circulare;
- dificultăți în optimizarea frecvențelor și a orarelor pentru toate traseele.

- **Rețea rectangulară (grid)**

Rețeaua rectangulară (*grid network*) este caracteristică orașelor dezvoltate pe o structură ortogonală a străzilor, în care principalele artere de circulație sunt dispuse pe două direcții aproximativ perpendiculare. Liniile de transport urmează, de regulă, această configurație, formând o rețea de trasee longitudinale și transversale care se intersectează în numeroase puncte.

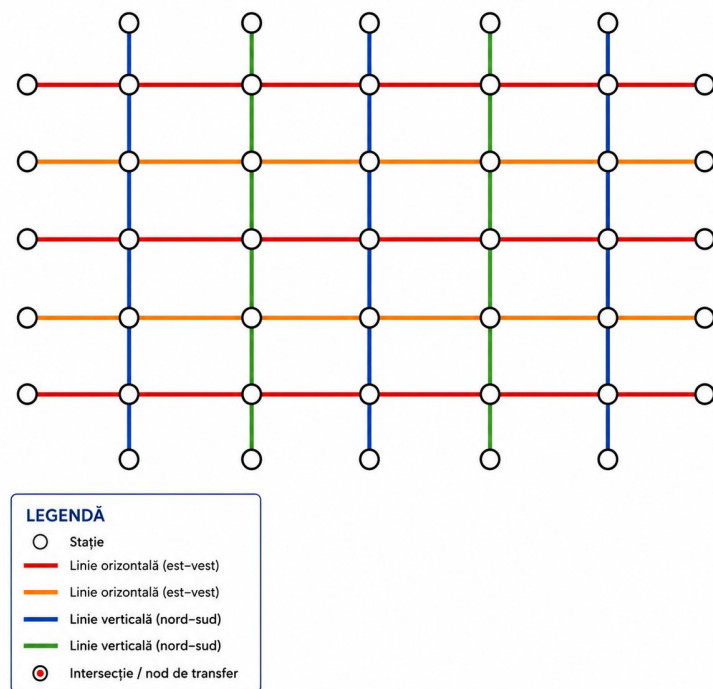


Figura 18 - Rețeaua rectangulară

Spre deosebire de rețeaua radială, în care majoritatea deplasărilor sunt orientate către centrul orașului, rețeaua rectangulară permite realizarea călătoriilor prin mai multe rute alternative. Astfel, fluxurile de pasageri sunt distribuite mai uniform în cadrul rețelei, iar dependența de un singur nod central este redusă. În plus, existența unui număr mare de intersecții între trasee facilitează transbordările și crește accesibilitatea către diferite zone ale orașului.

Acest tip de rețea este întâlnit în special în orașele proiectate pe baza unui plan urbanistic regulat, unde structura stradală favorizează organizarea liniilor de transport pe direcții ortogonale. Exemple reprezentative sunt întâlnite în numeroase orașe din America de Nord, dar și în unele cartiere moderne dezvoltate în Europa.

Avantaje:

- flexibilitate ridicată în alegerea rutelor de deplasare;
- existența mai multor variante de călătorie între origine și destinație;
- distribuirea uniformă a fluxurilor de pasageri în rețea;
- reducerea dependenței de un singur nod central;
- adaptare facilă la extinderea zonelor urbane.

Limitări:

- număr mai mare de intersecții și potențiale conflicte de trafic;
- necesitatea unor transbordări pentru anumite relații origine–destinație;
- lungimea traseelor poate fi mai mare comparativ cu o rețea radială pentru deplasările către centrul orașului.

• Rețea hub-and-spoke

Rețeaua *hub-and-spoke* este organizată în jurul unui sau mai multor noduri principale de transfer (hub-uri), către care converg fluxurile provenite din nodurile secundare (*spokes*). În această configurație, majoritatea deplasărilor nu se realizează direct între origine și destinație, ci prin intermediul unui terminal central, unde pasagerii efectuează transbordarea către alte linii sau moduri de transport.

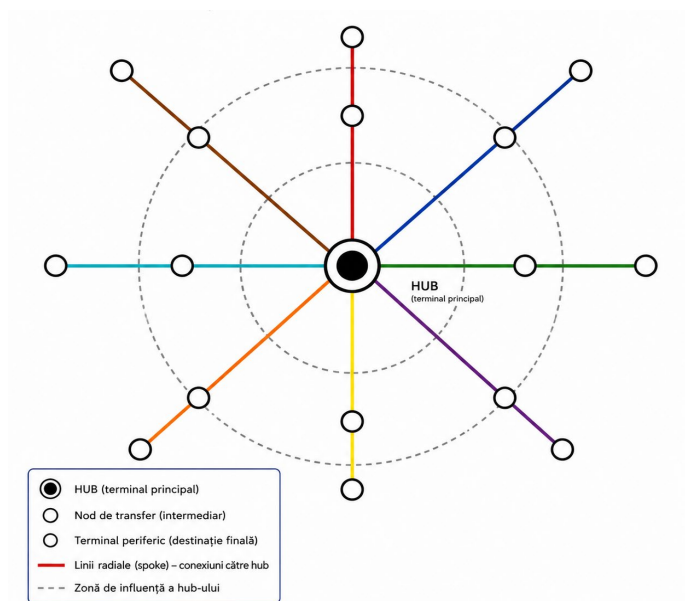


Figura 19 - Rețeaua *hub-and-spoke*

Principiul de funcționare al acestei rețele constă în concentrarea fluxurilor într-un număr redus de hub-uri, ceea ce permite utilizarea mai eficientă a infrastructurii și a mijloacelor de transport. În locul operării unui număr foarte mare de conexiuni directe între toate perechile de destinații, serviciile sunt organizate astfel încât majoritatea traseelor să fie conectate prin terminalele principale.

Acest model este utilizat pe scară largă în:

- transportul aerian, unde aeroporturile de tip hub concentrează zborurile regionale și internaționale;
- transportul feroviar de mare viteză, prin gări centrale care facilitează transferul între diferite linii;
- rețelele regionale de autobuze, în care terminalele principale asigură distribuirea călătorilor către localitățile din zona de influență;
- sistemele multimodale de transport, unde hub-urile permit conexiunea dintre transportul urban, regional și interurban.

Principalul avantaj al acestei configurații este reducerea numărului total de conexiuni necesare pentru deservirea rețelei. Comparativ cu o rețea complet conectată, modelul hub-and-spoke necesită un număr mai redus de trasee și permite creșterea gradului de utilizare a mijloacelor de transport. În același timp, concentrarea fluxurilor facilitează coordonarea orarelor și optimizează utilizarea infrastructurii existente.

Avantaje:

- reducerea numărului de conexiuni directe necesare;
- utilizarea eficientă a infrastructurii și a flotei de vehicule;
- creșterea gradului de ocupare al mijloacelor de transport;
- facilitarea transbordărilor între diferite linii și moduri de transport;
- costuri operaționale mai reduse pentru operatori.

Limitări:

- dependență ridicată de funcționarea hub-urilor principale;
- propagarea rapidă a întârzierilor și perturbărilor în întreaga rețea;
- timpi suplimentari de călătorie pentru utilizatorii care trebuie să efectueze transbordări;
- risc de congestionare în terminalele centrale în perioadele de vârf.

6. Cererea și oferta în transportul de pasageri

Funcționarea eficientă a unui sistem de transport de pasageri depinde de existența unui echilibru între cererea de mobilitate și oferta de transport. Cererea exprimă necesitatea populației de a efectua deplasări, în timp ce oferta reprezintă capacitatea operatorilor de a răspunde acestei cereri prin infrastructură, mijloace de transport și servicii adecvate. Un dezechilibru între cele două componente afectează atât calitatea serviciului oferit utilizatorilor, cât și eficiența economică a sistemului (Ortúzar & Willumsen, 2011; Vuchic, 2007).

- **Situația în care cererea depășește oferta (Cerere > Ofertă)**

Atunci când cererea de mobilitate este mai mare decât capacitatea sistemului de transport, infrastructura și mijloacele de transport sunt utilizate peste nivelul optim de exploatare. În aceste condiții apar fenomene precum supraaglomerarea vehiculelor și a stațiilor, creșterea timpilor de așteptare și reducerea confortului călătorilor. De asemenea, întârzierile se propagă în rețea, iar fiabilitatea serviciului și satisfacția utilizatorilor se diminuează.

Principalele consecințe sunt:

- supraaglomerarea mijloacelor de transport;
- creșterea timpilor de așteptare și de călătorie;
- reducerea confortului și accesibilității;
- scăderea calității serviciului.

- **Situația în care oferta depășește cererea (Ofertă > Cerere)**

În cazul în care oferta este mai mare decât cererea, mijloacele de transport circulă cu un grad redus de ocupare, iar resursele disponibile sunt utilizate ineficient. Această situație conduce la creșterea costurilor de exploatare raportate la numărul de pasageri transportați și poate afecta sustenabilitatea financiară a operatorilor de transport.

Principalele consecințe sunt:

- costuri ridicate de exploatare;
- grad redus de ocupare al vehiculelor;
- utilizarea ineficientă a infrastructurii și a flotei;
- eficiență economică scăzută.

7. Calitatea serviciului (Level of Service – LOS)

Calitatea serviciului de transport reprezintă gradul în care serviciile oferite răspund nevoilor și așteptărilor utilizatorilor. În literatura de specialitate, acest concept este exprimat prin noțiunea de Level of Service (LOS), care descrie performanța sistemului de transport din perspectiva călătorului, utilizând indicatori obiectivi și măsurabili (Kittelson & Associates et al., 2013).

Evaluarea nivelului serviciului permite compararea diferitelor sisteme de transport, identificarea punctelor slabe ale rețelei și fundamentarea măsurilor de îmbunătățire a serviciilor oferite populației.

Accesibilitatea

Accesibilitatea exprimă ușurința cu care utilizatorii pot ajunge la serviciile de transport și reprezintă unul dintre principalii factori care influențează atractivitatea transportului public. Un

nivel ridicat al accesibilității contribuie la creșterea gradului de utilizare a serviciilor și la reducerea dependenței de autoturismul personal.

Principalii indicatori sunt:

- distanța până la cea mai apropiată stație;
- accesibilitatea pentru persoanele cu mobilitate redusă;
- conectivitatea cu alte moduri de transport.

Disponibilitatea

Disponibilitatea reflectă măsura în care serviciile de transport sunt accesibile utilizatorilor din punct de vedere spațial și temporal. Aceasta este influențată atât de extinderea rețelei, cât și de intervalul de funcționare și frecvența curselor.

Indicatorii utilizați sunt:

- acoperirea teritorială a rețelei;
- intervalul de funcționare;
- frecvența serviciilor.

Fiabilitatea

Fiabilitatea reprezintă capacitatea sistemului de transport de a respecta programul de circulație și de a oferi utilizatorilor un serviciu predictibil. Respectarea orarelor și reducerea variațiilor timpilor de călătorie contribuie la creșterea încrederii utilizatorilor în transportul public.

Principalii indicatori sunt:

- respectarea orarului;
- regularitatea circulației;
- predictibilitatea timpilor de călătorie.

Timpul de călătorie

Timpul total de călătorie nu se limitează la durata deplasării cu mijlocul de transport, ci include toate etapele necesare realizării unei călătorii. Reducerea acestuia constituie unul dintre principalele obiective ale planificării transporturilor.

Acesta este alcătuit din:

- timpul de mers pe jos până la stație;
- timpul de așteptare;
- timpul petrecut în mijlocul de transport;
- timpul necesar transferurilor între linii sau moduri de transport.

Confortul

Confortul influențează percepția utilizatorilor asupra calității serviciului și poate determina alegerea transportului public în detrimentul transportului individual. Acesta este evaluat atât prin condițiile oferite în vehicule, cât și prin facilitățile disponibile în stații și terminale.

Printre principalii factori se numără:

- gradul de ocupare al vehiculelor;
- climatizarea și ventilația;
- nivelul de zgomot și vibrații;
- calitatea scaunelor;
- sistemele de informare a călătorilor.

Siguranța și securitatea

Siguranța și securitatea reprezintă condiții indispensabile pentru furnizarea unor servicii de transport de calitate. Acestea vizează atât prevenirea accidentelor, cât și protecția utilizatorilor împotriva incidentelor sau actelor de vandalism.

Evaluarea acestui criteriu are în vedere:

- reducerea riscului de accidente;
- securitatea în stații și vehicule;
- iluminarea și supravegherea spațiilor destinate călătorilor.

8. Indicatorii de performanță

Performanța serviciilor de transport este evaluată prin intermediul unor indicatori-cheie de performanță (Key Performance Indicators – KPI), care permit monitorizarea funcționării sistemului și compararea diferitelor rețele sau operatori de transport. Analiza acestor indicatori constituie baza procesului de planificare, optimizare și evaluare a investițiilor în infrastructura și serviciile de transport (Kittelson & Associates et al., 2013; Vuchic, 2007).

Printre cei mai utilizați indicatori se numără:

- punctualitatea, care exprimă respectarea orarelor de circulație;
- regularitatea, ce reflectă menținerea intervalelor programate dintre vehicule;
- frecvența, exprimată prin numărul curselor într-un anumit interval de timp;
- gradul de ocupare, care indică nivelul de utilizare a capacității vehiculelor;
- viteza comercială, calculată prin raportarea distanței parcurse la timpul total de exploatare, incluzând opririle în stații;
- timpul mediu de așteptare al călătorilor;
- timpul total de călătorie, incluzând toate etapele deplasării;
- numărul de pasageri transportați, utilizat pentru evaluarea cererii;

- costul pe pasager-km, indicator al eficienței economice;
- gradul de satisfacție al utilizatorilor, determinat prin sondaje și chestionare.

Monitorizarea continuă a acestor indicatori permite identificarea deficiențelor de exploatare, compararea performanței diferitelor sisteme de transport și fundamentarea deciziilor privind reorganizarea rutelor, ajustarea frecvenței serviciilor și prioritizarea investițiilor în infrastructură și material rulant (Kittelson & Associates et al., 2013).

9. Integrarea modală

Integrarea modală reprezintă procesul de coordonare a diferitelor moduri de transport astfel încât utilizatorii să poată realiza o deplasare continuă, eficientă și confortabilă între punctul de origine și destinația finală. În cadrul unui sistem de mobilitate integrat, fiecare mod de transport își valorifică avantajele specifice, iar transferul între moduri se realizează cu timpi reduși și în condiții care facilitează continuitatea călătoriei (European Commission, 2020).

Dezvoltarea mobilității urbane și metropolitane a determinat creșterea numărului de deplasări care implică utilizarea succesivă a mai multor moduri de transport. Astfel, o călătorie poate include mersul pe jos, transportul public, bicicleta, trenul sau chiar transportul aerian, în funcție de distanță și de scopul deplasării. Din acest motiv, integrarea modală reprezintă unul dintre principiile fundamentale ale planificării moderne a transporturilor.

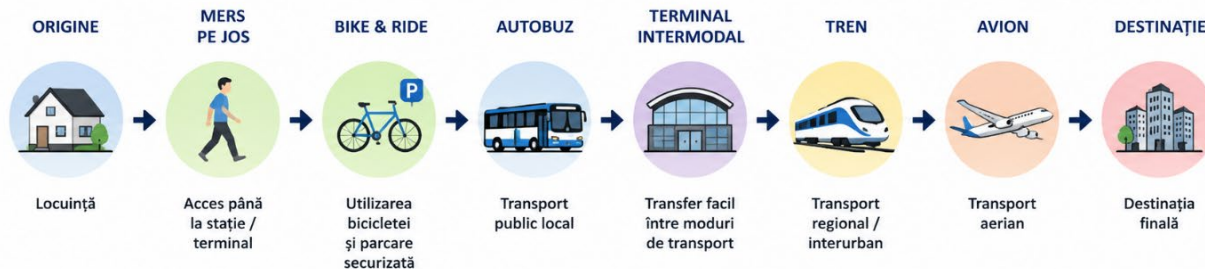


Figura 20 - Exemplu de călătorie cu integrare modală

Principalele componente ale integrării modale sunt:

- **Sincronizarea orarelor**

Coordonarea programelor de circulație ale diferiților operatori reduce timpul de așteptare în punctele de transfer și facilitează continuitatea călătoriei.

- **Terminalele intermodale**

Terminalele intermodale permit transferul rapid între diferite moduri de transport, precum autobuz, tramvai, metrou, tren sau transport aerian, asigurând conexiuni eficiente între rețele.

- **Sistemele integrate de ticketing**

Utilizarea unui bilet unic sau a unui card electronic pentru mai multe moduri de transport simplifică accesul utilizatorilor și reduce timpul necesar achiziționării titlurilor de călătorie.

- **Sistemele de informare în timp real**

Aplicațiile mobile și panourile electronice furnizează informații actualizate privind orarele, întârzierile și conexiunile disponibile, facilitând alegerea celor mai eficiente rute.

- **Coordonarea operatorilor de transport**

Integrarea modală presupune colaborarea între operatori și autorități pentru planificarea comună a serviciilor, armonizarea orarelor și dezvoltarea unei rețele coerente de transport.

Integrarea modală poate fi întâlnită în numeroase situații din activitatea curentă de transport, printre cele mai frecvente exemple fiind:

- autobuz – metrou;
- autobuz – tren;
- tren – transport aerian;
- bicicletă – transport public (*Bike & Ride*);
- autoturism – transport public (*Park & Ride*).

Prin reducerea timpilor de transfer și creșterea accesibilității, integrarea modală contribuie la diminuarea utilizării transportului individual, la creșterea atractivității transportului public și la utilizarea mai eficientă a infrastructurii existente. În prezent, acest concept reprezintă unul dintre pilonii strategiilor europene privind mobilitatea urbană durabilă și dezvoltarea sistemelor de transport inteligente (European Commission, 2020, 2021).

10. Bibliografie

- European Commission. (2020). *Sustainable and smart mobility strategy – Putting European transport on track for the future*. European Commission.
- European Commission. (2021). *The new EU urban mobility framework*. European Commission.
- Kittelson & Associates, Inc., Parsons Brinckerhoff, Inc., KFH Group, Inc., Texas A&M Transportation Institute, & Arup. (2013). *Transit capacity and quality of service manual* (3rd ed.). Transportation Research Board.
- Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling transport* (4th ed.). Wiley.
- Vuchic, V. R. (2007). *Urban transit systems and technology*. John Wiley & Sons.

CURS 6

Proiectarea transporturilor în strategia de amplasare a infrastructurilor logistice

Obiectivele cursului

La finalul acestui curs, studentul trebuie să fie capabil să:

- înțeleagă rolul transportului în proiectarea rețelelor logistice;
- definească infrastructurile logistice și principalele lor funcții;
- explice criteriile utilizate în alegerea amplasării facilităților logistice;
- descrie principalele modele de localizare utilizate în logistică;
- analizeze relația dintre infrastructură, accesibilitate și costurile logistice;
- identifice tendințele actuale privind dezvoltarea infrastructurilor logistice.

Introducere

În cadrul sistemelor logistice moderne, proiectarea rețelelor de transport și amplasarea infrastructurilor logistice reprezintă decizii strategice cu impact pe termen lung asupra performanței întregului lanț de aprovizionare. Localizarea depozitelor, a centrelor de distribuție, a terminalelor intermodale și a platformelor logistice influențează în mod direct costurile de transport, timpul de livrare, nivelul serviciului oferit clienților și gradul de utilizare a infrastructurii existente (Langevin & Riopel, 2005; Rodrigue, 2024). Din acest motiv, alegerea amplasamentului optim nu poate fi realizată independent de proiectarea rețelei de transport, cele două procese fiind strâns interdependente.

În literatura de specialitate, amplasarea infrastructurilor logistice este abordată prin intermediul problemelor de localizare–alocare (*Location–Allocation Problems*), care urmăresc identificarea poziției optime a facilităților logistice și repartizarea eficientă a cererii către acestea. Aceste probleme constituie una dintre temele clasice ale cercetării operaționale și sunt utilizate pentru fundamentarea deciziilor privind dezvoltarea rețelelor logistice, atât la nivel regional și național, cât și în cadrul lanțurilor globale de aprovizionare (Laporte et al., 2015).

Din perspectivă logistică, infrastructurile reprezintă nodurile principale ale rețelei de transport, iar eficiența acestora depinde de accesibilitatea față de principalele coridoare de transport, de proximitatea față de furnizori și clienți, de capacitatea de procesare și de posibilitatea integrării cu mai multe moduri de transport (Rodrigue, 2024). O amplasare necorespunzătoare poate conduce la creșterea distanțelor de transport, la utilizarea ineficientă a resurselor și la diminuarea competitivității întregului sistem logistic.

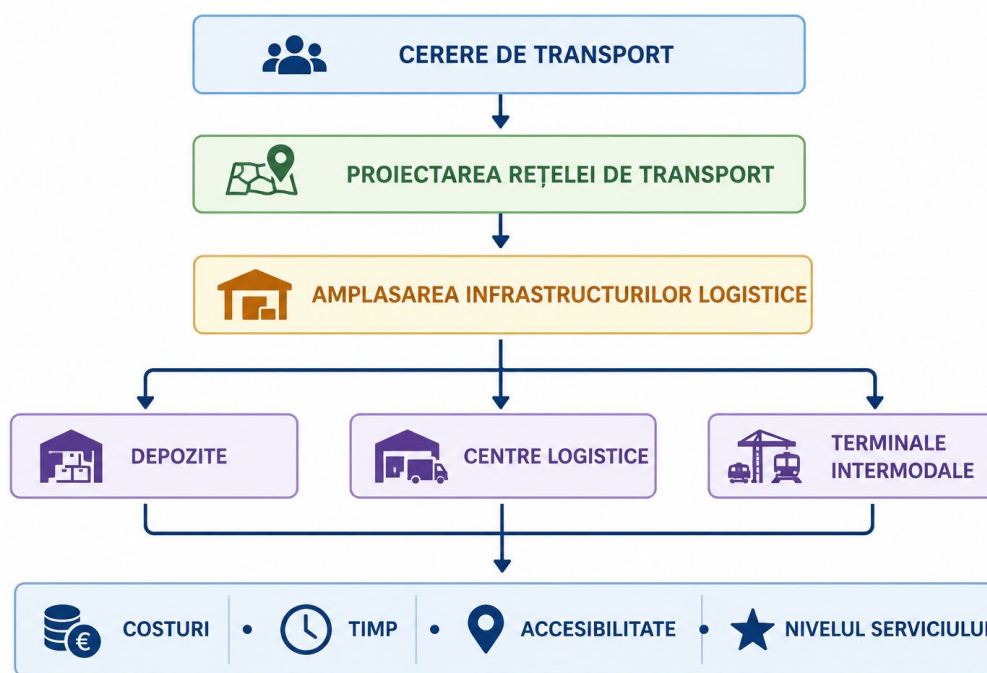


Figura 21 - Relația dintre transport și amplasarea infrastructurilor

Proiectarea infrastructurilor logistice presupune analiza simultană a mai multor categorii de factori, precum distribuția spațială a cererii, caracteristicile infrastructurii de transport, costurile investiționale și operaționale, restricțiile de mediu și perspectivele de dezvoltare economică. În practică, deciziile privind localizarea infrastructurilor sunt fundamentate pe baza unor modele multicriteriale, care urmăresc obținerea unui echilibru între eficiența economică, accesibilitate, reziliența rețelei și sustenabilitatea sistemului de transport.

În ultimele decenii, dezvoltarea comerțului electronic, intensificarea fluxurilor internaționale de mărfuri și digitalizarea proceselor logistice au modificat semnificativ criteriile utilizate pentru proiectarea rețelelor logistice. Pe lângă minimizarea costurilor de transport, accentul este pus tot mai mult pe reducerea timpilor de livrare, creșterea flexibilității operaționale, integrarea transportului multimodal și diminuarea impactului asupra mediului. În acest context, infrastructurile logistice moderne nu mai sunt privite exclusiv ca spații de depozitare, ci ca platforme integrate pentru coordonarea fluxurilor de mărfuri, informații și resurse (European Commission, 2020; Rodrigue, 2024).

Obiectivul principal al proiectării transporturilor în strategia de amplasare a infrastructurilor logistice îl constituie dezvoltarea unei rețele capabile să asigure deplasarea eficientă a mărfurilor între punctele de origine și destinație, cu costuri logistice reduse și un nivel ridicat al serviciului. Astfel, performanța sistemului nu este determinată doar de caracteristicile fiecărei infrastructuri în parte, ci de modul în care toate componentele rețelei sunt integrate și coordonate pentru a răspunde cerințelor lanțului de aprovizionare.

1. Infrastructura logistică

Infrastructura logistică reprezintă ansamblul facilităților fizice și digitale care susțin desfășurarea activităților de transport, manipulare, depozitare și distribuție a mărfurilor pe întregul lanț de aprovizionare. Aceasta constituie suportul material al sistemului logistic și permite conectarea eficientă a furnizorilor, producătorilor, centrelor logistice și clienților finali.

Din perspectivă inginerască, infrastructura logistică poate fi privită ca o rețea alcătuită din noduri și legături, în cadrul căreia mărfurile circulă între diferitele puncte de origine și destinație. Performanța acestei rețele depinde atât de caracteristicile infrastructurii fizice, cât și de nivelul de integrare al sistemelor digitale utilizate pentru coordonarea operațiunilor logistice (European Commission, 2020; Rodrigue, 2024).

Principalele componente ale infrastructurii logistice sunt prezentate în continuare.

- **Infrastructura rutieră**

Infrastructura rutieră cuprinde autostrăzile, drumurile naționale, drumurile expres și centurile ocolitoare care permit realizarea transportului rutier de mărfuri. Datorită flexibilității ridicate și posibilității de a realiza livrări de tip *door-to-door*, aceasta reprezintă componenta cea mai utilizată în distribuția regională și urbană.

- **Infrastructura feroviară**

Infrastructura feroviară include liniile de cale ferată, stațiile, triajele și terminalele destinate transportului de marfă. Transportul feroviar este utilizat în special pentru volume mari de mărfuri și distanțe lungi, contribuind la reducerea costurilor de transport și a impactului asupra mediului.

- **Infrastructura portuară**

Porturile maritime și fluviale reprezintă noduri logistice de importanță strategică în comerțul internațional. Acestea asigură manipularea, depozitarea temporară și transferul mărfurilor între transportul naval și celelalte moduri de transport, facilitând integrarea lanțurilor logistice globale.

- **Infrastructura aeroportuară**

Aeroporturile cargo sunt destinate transportului mărfurilor cu valoare ridicată sau cu cerințe stricte privind timpul de livrare. Aceste infrastructuri sunt dotate cu terminale specializate pentru manipularea mărfurilor, zone de depozitare și facilități pentru controlul vamal și securitatea transporturilor.

- **Terminalele intermodale**

Terminalele intermodale reprezintă punctele de transfer între două sau mai multe moduri de transport, fără modificarea unității de încărcare. Acestea facilitează transportul combinat și contribuie la reducerea timpilor și costurilor asociate operațiunilor de transbordare.

- **Centrele logistice**

Centrele logistice sunt infrastructuri complexe în cadrul cărora se desfășoară activități de recepție, depozitare, consolidare, sortare și distribuție a mărfurilor. Acestea concentrează multiple servicii logistice și asigură coordonarea fluxurilor de materiale și informații dintre diferitele componente ale lanțului de aprovizionare.

- **Depozitele**

Depozitele sunt facilități destinate stocării temporare a materiilor prime, semifabricatelor sau produselor finite. Pe lângă funcția de stocare, acestea permit desfășurarea unor activități logistice precum pregătirea comenzilor, ambalarea, etichetarea și gestionarea inventarului.

- **Centrele de distribuție**

Centrele de distribuție au rolul de a organiza și coordona expedierea produselor către beneficiarii finali. Comparativ cu depozitele clasice, acestea sunt orientate către rotația rapidă a mărfurilor și reducerea timpului de stocare, contribuind la creșterea eficienței distribuției.

- **Platformele multimodale**

Platformele multimodale reunesc într-o singură locație infrastructuri și servicii specifice mai multor moduri de transport. Aceste facilități permit integrarea transportului rutier, feroviar, naval și aerian, favorizând dezvoltarea transportului intermodal și optimizarea fluxurilor logistice.

- **Infrastructura digitală**

Transformarea digitală a logisticii a condus la dezvoltarea unei infrastructuri informaționale care completează infrastructura fizică. Sistemele inteligente de transport (*Intelligent Transport Systems – ITS*), platformele GIS (*Geographic Information Systems*), sistemele de management al transporturilor (*Transportation Management Systems – TMS*) și sistemele de management al depozitelor (*Warehouse Management Systems – WMS*) permit monitorizarea în timp real a operațiunilor, optimizarea rutelor, gestionarea stocurilor și coordonarea eficientă a activităților logistice (Rodrigue, 2024).

2. Rolul transportului în proiectarea infrastructurilor logistice

Transportul reprezintă una dintre componentele cu cea mai mare influență asupra performanței sistemelor logistice și constituie principalul criteriu luat în considerare în proiectarea și amplasarea infrastructurilor logistice. Alegerea poziției unui depozit, a unui centru logistic sau a unui terminal intermodal determină distanțele de transport, timpul necesar livrării mărfurilor și costurile asociate desfășurării activităților logistice (Bookbinder, 2013; Langevin & Riopel, 2005).

Din perspectiva cercetării operaționale, proiectarea infrastructurilor logistice urmărește dezvoltarea unei rețele care să asigure un echilibru între costurile investiționale, costurile de exploatare și nivelul serviciului oferit beneficiarilor. O amplasare optimă a infrastructurilor permite reducerea distanțelor parcurse, creșterea accesibilității și utilizarea eficientă a infrastructurii existente.

În procesul de proiectare sunt urmărite mai multe obiective fundamentale.

■ REDUCEREA DISTANȚELOR DE TRANSPORT

Localizarea infrastructurilor logistice în apropierea principalelor zone generatoare și atratoare de mărfuri contribuie la diminuarea distanțelor de transport și, implicit, la reducerea consumului de combustibil, a timpului de deplasare și a costurilor operaționale.

■ MINIMIZAREA TIMPULUI DE LIVRARE

Poziționarea strategică a depozitelor și centrelor de distribuție permite scurtarea timpului necesar livrării produselor către clienți. Acest aspect este deosebit de important în cazul produselor perisabile, al comerțului electronic și al sistemelor de aprovizionare bazate pe livrări frecvente.

■ CREȘTEREA ACCESIBILITĂȚII

Infrastructurile logistice trebuie amplasate în zone care oferă acces rapid la principalele coridoare de transport rutier, feroviar, naval sau aerian. O accesibilitate ridicată facilitează conectarea cu furnizorii și beneficiarii și contribuie la creșterea flexibilității operaționale.

■ REDUCEREA COSTURILOR OPERAȚIONALE

Amplasarea optimă a infrastructurilor conduce la diminuarea costurilor asociate transportului, manipulării și distribuției mărfurilor. Totodată, aceasta permite utilizarea mai eficientă a flotei de transport, reducerea curselor fără încărcătură și optimizarea consumului de resurse.

■ OPTIMIZAREA UTILIZĂRII INFRASTRUCTURII EXISTENTE

În multe situații, dezvoltarea unor noi facilități logistice este precedată de analiza capacității infrastructurilor deja existente. Integrarea eficientă a acestora în rețeaua logistică permite valorificarea investițiilor realizate anterior și evitarea supradimensionării sistemului.

Integrarea diferitelor moduri de transport

Proiectarea modernă a infrastructurilor logistice urmărește facilitarea transportului multimodal și intermodal prin dezvoltarea terminalelor și platformelor care permit transferul rapid al mărfurilor între transportul rutier, feroviar, naval și aerian. Această abordare contribuie la creșterea eficienței lanțului logistic și la reducerea impactului asupra mediului (European Commission, 2020; Rodrigue, 2024).

3. Tipuri de infrastructuri logistice

Infrastructurile logistice îndeplinesc funcții diferite în cadrul lanțului de aprovizionare, în funcție de poziția acestora în rețea și de activitățile desfășurate. Unele facilități sunt destinate stocării mărfurilor, altele coordonează distribuția produselor, iar altele facilitează transferul între diferite moduri de transport. În practică, aceste infrastructuri funcționează complementar și contribuie la continuitatea fluxurilor logistice dintre furnizori, producători și clienții finali (Rodrigue, 2024).

Alegerea tipului de infrastructură și a amplasamentului acesteia depinde de caracteristicile fluxurilor logistice, de cererea de transport și de obiectivele strategice ale organizației. În continuare sunt prezentate principalele categorii de infrastructuri logistice utilizate în sistemele moderne de transport și distribuție.

- **Depozitele**

Depozitele reprezintă infrastructuri logistice destinate recepției, stocării și gestionării mărfurilor pe diferite etape ale lanțului de aprovizionare. Rolul principal al acestora este de a sincroniza ritmul aprovizionării și al producției cu variațiile cererii, asigurând disponibilitatea produselor atunci când acestea sunt solicitate de beneficiari.

Pe lângă funcția de stocare, depozitele permit desfășurarea unor activități logistice precum recepția mărfurilor, controlul calității, gestionarea inventarului, pregătirea comenzilor, ambalarea și expedierea produselor (Langevin & Riopel, 2005). În ultimii ani, dezvoltarea tehnologiilor digitale și a sistemelor automatizate a condus la creșterea eficienței operațiunilor desfășurate în depozite.

Principalele funcții ale depozitelor sunt:

- recepția mărfurilor;
- stocarea și conservarea produselor;
- gestionarea stocurilor;
- pregătirea comenzilor;
- ambalarea și etichetarea;
- expedierea produselor.

În funcție de rolul îndeplinit în rețeaua logistică, depozitele pot fi clasificate în:

- depozite centrale, care deservește o arie geografică extinsă și concentrează volume mari de mărfuri;
- depozite regionale, amplasate în apropierea principalelor zone de consum;
- depozite urbane, utilizate pentru distribuția pe ultimul kilometru (*last-mile delivery*);
- depozite automatizate, în care manipularea și gestionarea mărfurilor sunt realizate cu ajutorul sistemelor robotizate și al echipamentelor automate.

• Centrele de distribuție

Centrele de distribuție reprezintă infrastructuri logistice orientate către circulația rapidă a mărfurilor și satisfacerea comenzilor clienților, având timpi reduși de stocare comparativ cu depozitele clasice. Acestea sunt amplasate, de regulă, în apropierea principalelor zone de consum și constituie puncte intermediare între producători și beneficiarii finali.

Spre deosebire de depozite, unde accentul este pus pe stocare, centrele de distribuție urmăresc accelerarea fluxurilor logistice și reducerea duratei de procesare a comenzilor. În cadrul acestora se desfășoară activități precum consolidarea mărfurilor provenite din surse diferite, sortarea produselor, pregătirea comenzilor și organizarea livrărilor către clienți.

Funcțiile principale ale centrelor de distribuție sunt:

- consolidarea comenzilor;
- sortarea și gruparea produselor;
- activități de *cross-docking*;
- distribuția regională și urbană;
- coordonarea fluxurilor logistice.

Datorită poziției lor strategice în cadrul rețelei logistice, centrele de distribuție contribuie la reducerea timpilor de livrare și la creșterea nivelului serviciului oferit clienților.

• Terminalele logistice

Terminalele logistice sunt infrastructuri specializate în transferul mărfurilor între vehicule sau între diferite moduri de transport. Rolul principal al acestora este facilitarea continuității fluxurilor logistice prin reducerea timpilor de manipulare și eficientizarea operațiunilor de încărcare și descărcare.

Spre deosebire de depozite și centrele de distribuție, terminalele logistice nu sunt destinate stocării pe termen lung a mărfurilor, ci procesării rapide a acestora în vederea continuării transportului către destinația finală.

În funcție de modul de transport deservit, principalele categorii de terminale logistice sunt:

- terminale containerizate;

- terminale feroviare;
- terminale Ro-Ro (*Roll-on/Roll-off*);
- terminale aeroportuare cargo;
- terminale fluviale și maritime.

Performanța terminalelor logistice influențează în mod direct eficiența transportului multimodal, deoarece timpul necesar operațiunilor de transfer reprezintă o componentă importantă a timpului total de transport (Rodrigue, 2024).

• **Platformele intermodale**

Platformele intermodale reprezintă infrastructuri logistice complexe care integrează cel puțin două moduri de transport și permit transferul eficient al unităților de încărcare între acestea, fără manipularea directă a mărfurilor. În majoritatea cazurilor, transferul se realizează utilizând containere ISO, semiremorci sau alte unități standardizate de încărcare (European Commission, 2020; Rodrigue, 2024).

Aceste platforme facilitează combinarea avantajelor specifice fiecărui mod de transport și contribuie la dezvoltarea transportului intermodal și multimodal. De regulă, ele sunt amplasate în apropierea principalelor coridoare de transport și asigură conexiunea dintre infrastructura rutieră, feroviară, navală și, în unele cazuri, aeriană.

Principalele avantaje ale platformelor intermodale sunt:

- reducerea costurilor logistice;
- diminuarea timpilor de transfer între modurile de transport;
- utilizarea eficientă a infrastructurii existente;
- reducerea emisiilor de CO₂ prin transferul unei părți a fluxurilor către moduri de transport mai puțin poluante;
- creșterea flexibilității și rezilienței lanțului logistic.

Dezvoltarea platformelor intermodale reprezintă una dintre direcțiile prioritare ale politicilor europene privind transporturile sustenabile și integrarea rețelelor logistice (European Commission, 2020).

• **Centrele logistice**

Centrele logistice reprezintă infrastructuri multifuncționale care reunesc într-o singură locație o gamă variată de servicii și facilități logistice. Acestea pot include depozite, centre de distribuție, terminale intermodale, spații pentru operatori logistici, servicii vamale, parcuri pentru autovehicule de transport marfă și infrastructuri dedicate activităților administrative.

Rolul unui centru logistic este de a integra și coordona fluxurile de mărfuri, informații și servicii logistice, contribuind la optimizarea întregului lanț de aprovizionare (Bookbinder, 2013;

Rodrigue, 2024). Amplasarea acestor centre în apropierea principalelor coridoare de transport permite reducerea costurilor de distribuție și îmbunătățirea conectivității dintre diferitele moduri de transport.

Comparativ cu celelalte tipuri de infrastructuri, centrele logistice oferă cel mai ridicat grad de integrare funcțională și constituie noduri strategice în cadrul rețelelor logistice naționale și internaționale. În ultimii ani, dezvoltarea comerțului electronic și a lanțurilor globale de aprovizionare a determinat o creștere semnificativă a investițiilor în astfel de infrastructuri, acestea devenind elemente-cheie ale competitivității economice și ale eficienței sistemelor de transport.

Tabelul 12 - Principalele tipuri de infrastructuri logistice

Tip de infrastructură	Funcția principală	Stocare	Transfer modal	Distribuție
Depozit	Stocarea și gestionarea mărfurilor	✓	—	✓
Centru de distribuție	Procesarea și distribuția rapidă a comenzilor	✓ (redușă)	✓	✓
Terminal logistic	Transferul mărfurilor între vehicule sau moduri de transport	—	✓	—
Platformă intermodală	Integrarea transportului multimodal	—	✓	—
Centru logistic	Integrarea serviciilor logistice și coordonarea fluxurilor	✓	✓	✓

4. Strategia de amplasare a infrastructurilor logistice

Amplasarea infrastructurilor logistice reprezintă una dintre cele mai importante decizii strategice din cadrul proiectării unui sistem logistic (Langevin & Riopel, 2005). Odată realizate investițiile în depozite, centre logistice sau terminale intermodale, modificarea amplasamentului implică costuri ridicate și poate afecta funcționarea întregului lanț de aprovizionare. Din acest motiv, procesul de localizare trebuie fundamentat pe analize tehnice, economice și logistice care iau în considerare atât condițiile actuale, cât și evoluția estimată a cererii și a infrastructurii de transport.

În practica logistică, deciziile privind amplasarea infrastructurilor sunt grupate pe trei niveluri: strategic, tactic și operațional (Langevin & Riopel, 2005). Aceste niveluri sunt interdependente, iar performanța întregului sistem depinde de coerența deciziilor adoptate la fiecare dintre ele.

- **Deciziile strategice**

Deciziile strategice au un orizont de timp îndelungat și influențează structura generală a rețelei logistice. Acestea sunt adoptate, de regulă, înainte realizării investițiilor și vizează definirea arhitecturii sistemului logistic.

Printre principalele decizii strategice se numără:

- stabilirea numărului de facilități logistice necesare;
- alegerea amplasamentului depozitelor, centrelor logistice și terminalelor;
- dimensionarea capacității infrastructurilor;
- conectarea acestora la principalele coridoare de transport și la rețelele multimodale.

- **Deciziile tactice**

Deciziile tactice urmăresc organizarea eficientă a infrastructurilor deja existente și au, în general, un orizont de planificare mediu. Acestea adaptează funcționarea sistemului logistic la variațiile cererii și la disponibilitatea resurselor.

Exemple de decizii tactice sunt:

- dimensionarea capacităților de depozitare;
- organizarea fluxurilor interne de mărfuri;
- planificarea transporturilor și a distribuției;
- repartizarea resurselor logistice între diferitele facilități.

- **Deciziile operaționale**

Deciziile operaționale sunt adoptate zilnic și urmăresc desfășurarea eficientă a activităților logistice curente. Acestea vizează utilizarea optimă a infrastructurilor și a mijloacelor de transport disponibile.

Cele mai frecvente decizii operaționale sunt:

- alocarea comenzilor către depozite;
- planificarea rutelor de transport;
- programarea vehiculelor;
- organizarea încărcării și descărcării mărfurilor;
- monitorizarea operațiunilor logistice în timp real.

În practică, aceste trei categorii de decizii sunt strâns interconectate. O decizie strategică privind amplasarea unui centru logistic influențează modul în care sunt organizate transporturile și distribuția, iar eficiența activităților operaționale depinde de calitatea deciziilor adoptate în etapele anterioare.

5. Criterii de amplasare a infrastructurilor logistice

Alegerea amplasamentului unei infrastructuri logistice reprezintă un proces de decizie multicriterial, deoarece performanța viitoarei facilități depinde simultan de factori economici, geografici, logistici, de transport și de mediu (Laporte et al., 2015; Langevin & Riopel, 2005). În practică, niciun criteriu nu este suficient pentru fundamentarea deciziei, fiind necesară evaluarea integrată a tuturor factorilor relevanți.

• Criterii economice

Criteriile economice urmăresc minimizarea costurilor totale asociate investiției și exploatării infrastructurii logistice. Acestea influențează rentabilitatea investiției și competitivitatea sistemului logistic (Langevin & Riopel, 2005).

Principalii factori analizați sunt:

- costul terenului;
- costurile de construcție;
- costurile de exploatare și întreținere;
- costurile de transport;
- disponibilitatea și costul forței de muncă.

• Criterii geografice

Poziția geografică a infrastructurii influențează accesibilitatea și eficiența distribuției mărfurilor. O amplasare favorabilă reduce distanțele de transport și facilitează conectarea cu principalele zone generatoare de fluxuri logistice (Langevin & Riopel, 2005).

Sunt analizate în special:

- poziția față de principalele piețe de consum;
- proximitatea față de furnizori;
- accesibilitatea regională;
- caracteristicile topografice și geotehnice ale terenului.

• Criterii privind transportul

Performanța unei infrastructuri logistice depinde în mare măsură de conectivitatea acesteia cu rețeaua de transport. Accesul rapid la infrastructura majoră contribuie la reducerea costurilor și a timpilor de livrare (Langevin & Riopel, 2005).

Se analizează:

- accesul la autostrăzi și drumuri expres;
- conectarea la rețeaua feroviară;

- apropierea de aeroporturi cargo;
- apropierea de porturi maritime sau fluviale;
- posibilitatea dezvoltării transportului multimodal.

- **Criterii logistice**

Aceste criterii sunt orientate către performanța operațională a lanțului logistic și nivelul serviciului oferit beneficiarilor (Langevin & Riopel, 2005).

Printre cele mai importante se numără:

- proximitatea față de clienți;
- timpul de livrare;
- flexibilitatea distribuției;
- posibilitatea extinderii infrastructurii în viitor;
- integrarea cu celelalte facilități logistice.

- **Criterii privind sustenabilitatea**

În prezent, dezvoltarea infrastructurilor logistice trebuie să respecte principiile dezvoltării durabile și obiectivele privind reducerea impactului asupra mediului (European Commission, 2020).

În evaluarea amplasamentelor sunt luate în considerare:

- impactul asupra mediului;
- consumul energetic;
- utilizarea surselor regenerabile de energie;
- reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră;
- compatibilitatea cu strategiile de dezvoltare urbană și regională.

În practică, alegerea amplasamentului optim rezultă din analiza simultană a acestor criterii, utilizând metode multicriteriale și modele de optimizare care permit identificarea soluției cu cea mai bună performanță globală.

6. Modele de amplasare utilizate în logistică

Pentru fundamentarea deciziilor privind amplasarea infrastructurilor logistice sunt utilizate numeroase modele dezvoltate în cadrul cercetării operaționale. Aceste modele permit evaluarea diferitelor variante de localizare și identificarea soluției care optimizează performanța întregii rețele logistice. Alegerea modelului depinde de obiectivele urmărite, de caracteristicile cererii și de nivelul de detaliu al analizei (Laporte et al., 2015).

- **Problema centrului de greutate (Center of Gravity Method)**

Metoda centrului de greutate reprezintă unul dintre cele mai utilizate modele pentru localizarea depozitelor și a centrelor logistice. Principiul metodei constă în identificarea unei poziții care minimizează distanțele ponderate dintre infrastructură și punctele de cerere.

Modelul utilizează coordonatele geografice ale clienților și volumele transportate pentru estimarea unei locații optime (Langevin & Riopel, 2005). Datorită simplității sale, metoda este utilizată frecvent în etapele preliminare ale proiectării rețelelor logistice.

- **Problema medianei (p-Median Problem)**

Problema medianei urmărește selectarea unui număr prestabilit de facilități logistice astfel încât suma distanțelor dintre clienți și infrastructurile alese să fie minimă (Laporte et al., 2015).

Acest model este utilizat pentru proiectarea:

- rețelelor de depozite regionale;
- centrelor de distribuție;
- terminalelor logistice;
- platformelor urbane de distribuție.

Comparativ cu metoda centrului de greutate, modelul p-Median permite optimizarea simultană a mai multor facilități și conduce la soluții mai apropiate de condițiile reale de exploatare.

- **Problema acoperirii (Covering Problem)**

Modelul de acoperire urmărește maximizarea populației, a cererii sau a teritoriului deservit în interiorul unei distanțe sau al unui timp maxim prestabilit (Laporte et al., 2015).

Acest tip de model este utilizat în special pentru proiectarea infrastructurilor în care accesibilitatea reprezintă principalul criteriu de performanță, precum:

- transportul public;
- serviciile de urgență;
- centrele logistice urbane;
- punctele de distribuție rapidă.

- **Modelele de rețea**

În literatura de specialitate, infrastructurile logistice sunt reprezentate sub forma unor rețele alcătuite din noduri, legături și fluxuri (Bookbinder, 2013; Langevin & Riopel, 2005). Această abordare permite analizarea simultană a transporturilor, a capacităților infrastructurilor și a distribuției cererii în cadrul întregului sistem logistic.

Modelele de rețea urmăresc optimizarea performanței globale prin minimizarea costurilor logistice totale, reducerea timpilor de transport, creșterea accesibilității și utilizarea eficientă a

infrastructurii existente. Aceste modele stau la baza dezvoltării sistemelor moderne de planificare logistică și sunt utilizate pe scară largă în proiectarea rețelilor de transport și a lanțurilor de aprovizionare.

7. Relația dintre infrastructură și costurile logistice

Performanța unui sistem logistic este influențată în mod direct de caracteristicile infrastructurii utilizate și de modul în care aceasta este integrată în rețeaua de transport. Amplasarea depozitelor, a centrelor logistice și a terminalelor determină distanțele de transport, timpul necesar livrării, nivelul stocurilor și eficiența distribuției. Din acest motiv, proiectarea infrastructurii logistice urmărește nu doar reducerea costurilor unei activități individuale, ci optimizarea costului total al întregului lanț logistic (Bookbinder, 2013; Langevin & Riopel, 2005).

În literatura de specialitate, costul logistic total este analizat ca suma costurilor generate de principalele activități logistice, între care există numeroase relații de interdependență (Bookbinder, 2013). Reducerea unei categorii de costuri poate determina creșterea alteia, motiv pentru care deciziile logistice trebuie fundamentate pe analiza sistemului în ansamblu și nu pe optimizarea izolată a fiecărei componente.

Principalele categorii de costuri logistice sunt prezentate în continuare.

- **Costurile de transport**

Costurile de transport reprezintă, în majoritatea sistemelor logistice, componenta cu ponderea cea mai ridicată în costul logistic total. Acestea depind de distanța parcursă, modul de transport utilizat, caracteristicile mărfurilor, consumul energetic și gradul de utilizare al vehiculelor.

Reducerea distanțelor de transport prin amplasarea optimă a infrastructurilor logistice contribuie la diminuarea costurilor operaționale și la îmbunătățirea performanței întregului sistem.

- **Costurile de depozitare**

Costurile de depozitare includ cheltuielile asociate exploatarei spațiilor de stocare, manipulării mărfurilor, întreținerii echipamentelor și funcționării sistemelor informatice. Nivelul acestor costuri este influențat de capacitatea depozitelor, gradul de ocupare și durata medie de stocare.

- **Costurile stocurilor**

Menținerea stocurilor generează costuri legate de capitalul imobilizat, asigurarea produselor, deprecierea acestora și riscul de învechire. În același timp, stocurile insuficiente pot conduce la întreruperea procesului de producție sau la imposibilitatea satisfacerii cererii clienților.

Din acest motiv, dimensionarea stocurilor urmărește realizarea unui compromis între costurile de păstrare și nivelul serviciului logistic.

- **Costurile manipulării**

Operațiunile de încărcare, descărcare, transfer și pregătire a comenzilor contribuie la costul total al lanțului logistic. Organizarea eficientă a fluxurilor interne și utilizarea echipamentelor moderne de manipulare permit reducerea timpilor operaționali și creșterea productivității.

- **Costurile informaționale**

Digitalizarea logisticii a condus la creșterea importanței sistemelor informatice în coordonarea fluxurilor logistice. Costurile informaționale includ implementarea și exploatarea platformelor TMS, WMS, ERP și a sistemelor inteligente de transport, precum și investițiile în comunicații și securitatea datelor.

Deși implică investiții inițiale semnificative, aceste sisteme contribuie la optimizarea deciziilor logistice și la reducerea costurilor operaționale pe termen lung.

În practică, proiectarea infrastructurilor logistice urmărește realizarea unui compromis optim între costurile investiționale și costurile de exploatare. De exemplu, construirea unui centru logistic suplimentar poate presupune o investiție inițială mai ridicată, însă poate reduce semnificativ distanțele de transport, timpul de livrare și costurile operaționale pe întreaga durată de funcționare a sistemului. Acest compromis reprezintă unul dintre principiile fundamentale ale proiectării rețelelor logistice și stă la baza majorității modelelor de localizare și optimizare prezentate în literatura de specialitate.

8. Infrastructuri logistice pentru transportul de mărfuri și pasageri

Deși principiile generale ale proiectării infrastructurilor logistice sunt similare pentru toate tipurile de transport, caracteristicile infrastructurilor diferă în funcție de natura fluxurilor deservite. În transportul de mărfuri, infrastructurile sunt orientate către manipularea, depozitarea și distribuția bunurilor, în timp ce în transportul de pasageri obiectivul principal îl reprezintă deplasarea rapidă, sigură și confortabilă a persoanelor (Rodrigue, 2024).

- **Infrastructuri logistice pentru transportul de mărfuri**

În transportul de mărfuri, infrastructurile logistice sunt proiectate pentru gestionarea fluxurilor fizice de produse și pentru integrarea diferitelor moduri de transport în cadrul lanțului de aprovizionare. Aceste infrastructuri permit recepția, depozitarea, consolidarea și distribuția mărfurilor, precum și transferul acestora între transportul rutier, feroviar, naval și aerian.

Principalele categorii de infrastructuri sunt:

- depozitele;
- centrele logistice;
- centrele de distribuție;
- terminalele cargo;
- terminalele intermodale;
- porturile maritime și fluviale;
- platformele multimodale.

Obiectivul principal al acestor infrastructuri îl constituie optimizarea fluxurilor de mărfuri prin reducerea timpilor de manipulare, minimizarea costurilor logistice și creșterea eficienței operaționale a întregului lanț de aprovizionare.

• **Infrastructuri logistice pentru transportul de pasageri**

În transportul de pasageri, infrastructurile sunt orientate către facilitarea mobilității și îmbunătățirea experienței utilizatorilor. Acestea trebuie să asigure accesibilitate ridicată, timpuri reduși de transfer și integrarea diferitelor moduri de transport într-un sistem coerent de mobilitate.

Printre cele mai importante infrastructuri utilizate în transportul de pasageri se numără:

- gările feroviare;
- autogările;
- aeroporturile;
- stațiile și terminalele intermodale;
- terminalele Park & Ride;
- terminalele Bike & Ride;
- nodurile de transfer între transportul urban și cel regional.

Comparativ cu infrastructurile destinate transportului de mărfuri, proiectarea infrastructurilor pentru transportul de pasageri pune un accent mai mare pe confortul utilizatorilor, accesibilitate, siguranță și calitatea serviciului.

Obiectivele principale urmărite sunt:

- reducerea timpilor de transfer între modurile de transport;
- creșterea accesibilității rețelei;
- integrarea serviciilor și a sistemelor de ticketing;
- îmbunătățirea calității experienței de călătorie;
- dezvoltarea mobilității durabile prin facilitarea utilizării transportului public și a modurilor active de deplasare.

9. Bibliografie

- Bookbinder, J. H. (Ed.). (2013). *Handbook of global logistics: Transportation in international supply chains*. Springer.
- European Commission. (2020). *Sustainable and smart mobility strategy – Putting European transport on track for the future*. European Commission.
- Langevin, A., & Riopel, D. (Eds.). (2005). *Logistics systems: Design and optimization*. Springer.
- Laporte, G., Nickel, S., & Saldanha da Gama, F. (Eds.). (2015). *Location science*. Springer.
- Rodrigue, J.-P. (2024). *The geography of transport systems* (6th ed.). Routledge.

CURS 7

Costuri și performanță în transporturile logistice

Obiectivele cursului

La finalul acestui curs, studentul trebuie să fie capabil să:

- definească principalele categorii de costuri logistice;
- identifice factorii care influențează costurile transporturilor;
- explice relația dintre costuri și performanța logistică;
- utilizeze principalii indicatori de performanță (KPI) în evaluarea sistemelor logistice;
- analizeze compromisurile dintre cost, timp și nivelul serviciului;
- înțeleagă rolul digitalizării în creșterea performanței logistice.

Introducere

În cadrul sistemelor logistice moderne, transportul reprezintă una dintre activitățile cu cea mai mare influență asupra performanței economice și operaționale a organizațiilor. Deplasarea mărfurilor între furnizori, unități de producție, centre logistice și clienți implică utilizarea unor resurse materiale, umane și financiare importante. Din acest motiv, costurile de transport au o pondere semnificativă în structura costului logistic și influențează direct prețul produsului, timpul de livrare, nivelul stocurilor și calitatea serviciului oferit beneficiarului.

Analiza transporturilor nu poate fi redusă însă la simpla identificare a celei mai ieftine variante. O soluție de transport cu tarif scăzut poate produce costuri suplimentare prin timpi mai mari de tranzit, necesitatea unor stocuri de siguranță ridicate, creșterea riscului de întârziere sau utilizarea unor capacități logistice suplimentare. În mod similar, un mod de transport mai rapid poate presupune un cost direct mai mare, dar poate reduce durata ciclului logistic, capitalul imobilizat în stocuri și riscul de neîndeplinire a termenelor de livrare. Din această perspectivă, decizia logistică trebuie evaluată la nivelul întregului sistem și nu prin analiza izolată a unei singure categorii de cost.

Un concept central în această abordare este costul logistic total (Total Logistics Cost – TLC). Principiul său de bază este că obiectivul managementului logistic nu îl reprezintă minimizarea independentă a costului de transport, de depozitare sau de stocare, ci identificarea combinației care conduce la cea mai bună performanță globală a sistemului. Această idee se regăsește în literatura de specialitate sub forma relațiilor de compromis sau trade-off dintre cost, timp, stoc, calitate și nivelul serviciului (Ballou, 2004; Christopher, 2016).

Pe lângă analiza costurilor, evaluarea performanței logistice utilizează indicatori de performanță – Key Performance Indicators (KPI) – care permit măsurarea eficienței, compararea rezultatelor în timp și identificarea abaterilor față de obiectivele stabilite. Indicatorii pot fi economici, operaționali, de serviciu sau de sustenabilitate și trebuie interpretați împreună, deoarece îmbunătățirea unui singur indicator nu garantează automat îmbunătățirea performanței globale.

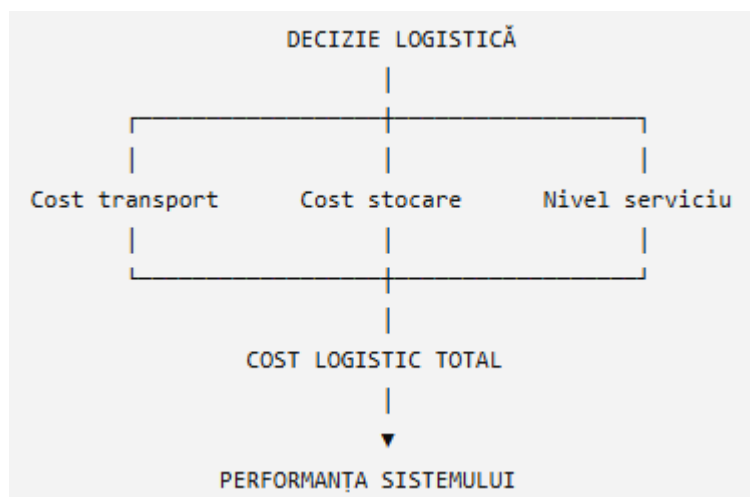


Figura 22 - Relația de compromis între deciziile logistice, costuri și performanță

În ultimii ani, dezvoltarea sistemelor inteligente de transport, a platformelor digitale și a tehnologiilor bazate pe analiza datelor a modificat semnificativ modul de evaluare a performanței logistice. Monitorizarea în timp real a vehiculelor, utilizarea senzorilor IoT, integrarea sistemelor TMS și aplicarea algoritmilor de Inteligență Artificială permit colectarea continuă a informațiilor privind desfășurarea operațiunilor logistice și fundamentarea unor decizii bazate pe date (*data-driven decision making*). Astfel, performanța logistică nu mai este analizată doar retrospectiv, ci poate fi monitorizată și optimizată în timp real.

1. Conceptul de cost logistic

Costul logistic reprezintă totalitatea cheltuielilor generate de planificarea, organizarea și desfășurarea activităților logistice necesare deplasării mărfurilor sau pasagerilor între punctul de origine și destinația finală. Acesta include nu doar costurile directe asociate transportului, ci și cheltuielile privind depozitarea, manipularea, gestionarea stocurilor, administrarea informațiilor și coordonarea întregului lanț logistic.

Din perspectiva managementului logistic, costurile trebuie analizate la nivelul întregului sistem și nu separat pentru fiecare activitate. O reducere aparentă a costurilor de transport poate conduce, de exemplu, la creșterea costurilor de depozitare sau la diminuarea nivelului serviciului oferit clienților. Din acest motiv, obiectivul principal al managementului logistic îl constituie optimizarea costului logistic total și nu minimizarea unei singure categorii de costuri.

În structura costului logistic sunt incluse, în principal, costurile generate de transport, depozitare, manipulare, menținerea stocurilor, utilizarea sistemelor informatice, activitățile administrative și pierderile asociate întârzierilor sau neconformităților. Ponderea fiecărei componente diferă în funcție de domeniul de activitate, caracteristicile produselor și configurația lanțului logistic.

2. Structura costurilor de transport

Transportul reprezintă, în majoritatea sistemelor logistice, componenta cu cea mai mare contribuție la costul logistic total. Pentru analiza și optimizarea acestuia, costurile sunt clasificate în funcție de modul în care variază odată cu nivelul activității de transport.

- **Costurile fixe**

Costurile fixe sunt acele cheltuieli care nu depind de numărul de curse efectuate sau de volumul mărfurilor transportate. Ele trebuie suportate indiferent dacă vehiculele sunt utilizate la capacitate maximă sau rămân neutilizate o anumită perioadă.

Din această categorie fac parte amortizarea vehiculelor, ratele de leasing, polițele de asigurare, taxele de înmatriculare, salariile personalului permanent, licențele de transport și alte cheltuieli administrative cu caracter constant.

Costul fix total poate fi exprimat prin relația:

$$C_F = \sum_{i=1}^n C_{Fi}$$

unde:

- C_F – costul fix total;
- C_{Fi} – fiecare categorie de cost fix;
- n – numărul categoriilor de cost.

Caracterul fix al acestor costuri explică de ce gradul de utilizare a capacității are un rol esențial în economia transportului. Atunci când aceeași bază de cost fix este repartizată asupra unui volum mai mare de activitate, costul fix unitar scade. În practică, acest lucru înseamnă că utilizarea eficientă a flotei, reducerea perioadelor de nefuncționare și planificarea corespunzătoare a curselor pot îmbunătăți semnificativ performanța economică fără modificarea valorii nominale a costurilor fixe.

- **Costurile variabile**

Costurile variabile se modifică proporțional cu activitatea de transport și depind direct de distanța parcursă, numărul curselor și volumul transportat.

Acestea includ consumul de combustibil sau energie electrică, uzura anvelopelor, lubrifiții, întreținerea curentă, taxele de drum, taxele de pod și alte cheltuieli generate de exploatarea vehiculului.

În practică, costul variabil poate fi aproximat prin relația:

$$C_V = c_v \cdot D$$

unde:

- C_V – costul variabil total;
- c_v – costul variabil pe kilometru (lei/km);
- D – distanța parcursă (km).

Relația este utilă pentru estimări rapide, însă în aplicațiile reale costul variabil pe kilometru nu este întotdeauna constant. Consumul poate varia în funcție de masa transportată, profilul traseului, congestie, stilul de conducere, temperatură, viteză sau condițiile de drum. Pentru analize detaliate, costurile variabile pot fi descompuse pe categorii și modelate separat, ceea ce permite identificarea surselor de ineficiență și a posibilităților de reducere a consumului.

- **Costurile indirecte și costurile asociate proceselor logistice**

Costurile indirecte nu pot fi atribuite direct unei curse individuale, însă contribuie la funcționarea întregului sistem logistic.

Aceste costuri sunt generate de activități precum managementul flotei, utilizarea sistemelor informatice, planificarea transporturilor, serviciile administrative, instruirea personalului și activitățile de monitorizare.

logistica modernă include costuri generate de neconformități și de variabilitatea proceselor: întârzieri, livrări incomplete, retururi, deteriorări, penalități, timpi de așteptare, staționări neproductive sau curse fără încărcătură. Deși unele dintre aceste costuri nu apar întotdeauna separat în contabilitate, ele influențează performanța economică și trebuie luate în considerare în analiza managerială.

Costul logistic total (Total Logistics Cost – TLC)

În logistica modernă, performanța unui sistem este evaluată prin analiza costului logistic total (*Total Logistics Cost – TLC*), care reprezintă suma tuturor costurilor generate de activitățile logistice.

Relația generală este:

$$TLC = C_T + C_D + C_S + C_M + C_I + C_A$$

unde:

- TLC – costul logistic total;
- C_T – costul transportului;
- C_D – costul depozitării;
- C_S – costul stocurilor;
- C_M – costul manipulării;
- C_I – costurile informaționale;
- C_A – costurile administrative.

Relația subliniază faptul că performanța nu trebuie judecată prin minimizarea unei componente izolate. De exemplu, transportul aerian are de regulă un cost direct mai ridicat, dar poate reduce timpul de tranzit, nivelul stocului de siguranță și capitalul imobilizat. Transportul maritim are un cost unitar redus pentru fluxuri mari, dar presupune timpuri de tranzit mai lungi și poate necesita stocuri mai mari. Alegerea soluției optime depinde de valoarea produsului, sensibilitatea la timp, predictibilitatea cererii, nivelul de serviciu solicitat și structura rețelei logistice.

În practică, analiza TLC este deosebit de utilă atunci când se compară scenarii de distribuție: un singur centru regional față de mai multe depozite, transport direct față de consolidare, flota proprie față de externalizare sau curse frecvente cu loturi mici față de curse mai rare cu loturi mari. Fiecare variantă modifică simultan mai multe componente de cost, iar decizia trebuie fundamentată pe impactul total și nu pe un avantaj local.

3. Factorii care influențează costurile transportului

Costurile transportului sunt influențate simultan de factori tehnici, geografici, operaționali, economici și externi. În practică, acești factori nu acționează independent, ci interacționează și determină variații semnificative ale costului unei operațiuni logistice.

O relație simplificată utilizată pentru reprezentarea acestor influențe este:

O relație simplificată utilizată pentru reprezentarea acestor influențe este:

$$C_T = f(T, G, O, E, X)$$

unde:

- C_T – costul total al transportului;
- T – factorii tehnici;
- G – factorii geografici;

- *O* – factorii operaționali;
- *E* – factorii economici;
- *X* – factorii externi.

Această relație nu reprezintă o formulă de calcul propriu-zisă, ci o exprimare a caracterului multifactorial al costului de transport. Pentru planificare și control, managerul logistic trebuie să identifice factorii care pot fi controlați direct și să distingă acești factori de cei externi, care pot fi doar anticipați sau gestionați prin măsuri de flexibilitate și rezervă.

• **Factori tehnici**

Factorii tehnici sunt legați de caracteristicile mijloacelor de transport și de modul de exploatare a acestora. Tipul vehiculului, capacitatea de încărcare, masa proprie, tipul de propulsie, consumul energetic, aerodinamica, starea tehnică și nivelul de întreținere influențează direct costul de exploatare. Un vehicul supradimensionat pentru cererea reală poate genera costuri fixe și energetice inutile, în timp ce un vehicul prea mic poate necesita un număr suplimentar de curse.

Gradul de încărcare are o influență majoră asupra costului unitar. Pe măsură ce capacitatea disponibilă este utilizată mai eficient, costurile fixe și o parte dintre costurile variabile sunt repartizate asupra unei cantități mai mari de marfă sau unui număr mai mare de pasageri. Totuși, creșterea încărcării trebuie realizată în limitele tehnice și legale ale vehiculului și fără afectarea siguranței, a confortului sau a nivelului serviciului.

• **Factori geografici și de infrastructură**

Distanța dintre origine și destinație este unul dintre principalii factori de cost, dar lungimea traseului nu explică singură diferențele dintre două operațiuni. Relieful, densitatea rețelei rutiere, calitatea infrastructurii, restricțiile de acces, traversarea zonelor urbane, existența taxelor și disponibilitatea terminalelor pot modifica timpul de parcurs și consumul energetic. Două trasee de lungime apropiată pot avea costuri semnificativ diferite dacă unul implică zone montane, congestie sau numeroase opriri.

În transportul multimodal, infrastructura terminalelor și calitatea conexiunilor dintre moduri devin la fel de importante ca distanța propriu-zisă. Timpii de transbordare, disponibilitatea echipamentelor și coordonarea orarelor pot transforma o soluție aparent economică într-una inefficientă dacă generează staționări și incertitudine operațională.

• **Factori operaționali**

Organizarea activităților de transport influențează în mod direct costurile logistice.

Numărul opririlor, gradul de încărcare al vehiculelor, existența curselor fără încărcătură (*empty trips*), timpul de încărcare și descărcare sau timpii de așteptare în terminale reprezintă factori care afectează productivitatea sistemului logistic.

Reducerea curselor fără încărcătură și optimizarea rutelor constituie unele dintre cele mai eficiente metode de diminuare a costurilor operaționale.

- **Factori economici și externi**

Evoluția costurilor de transport este influențată de condițiile economice generale și de dinamica pieței. Prețul combustibilului, nivelul salariilor, taxele de utilizare a infrastructurii, cursul valutar și rata inflației pot modifica semnificativ costurile de exploatare ale operatorilor de transport. Aceste influențe sunt dificil de controlat la nivelul organizației și trebuie luate în considerare în procesul de planificare logistică.

Factorii externi includ congestia, condițiile meteorologice, accidentele, lucrările de infrastructură, modificările legislative, restricțiile temporare și situațiile de urgență. Efectul lor se manifestă prin întârzieri, creșterea consumului, utilizarea unor rute alternative și reducerea predictibilității. Sistemele inteligente de transport și platformele digitale permit anticiparea parțială a acestor riscuri și adaptarea rutelor, dar nu elimină necesitatea rezervelor de timp și capacitate

4. Performanța logistică și indicatorii de performanță (KPI)

Performanța logistică exprimă capacitatea unui sistem de a satisface cererea de transport și distribuție prin utilizarea eficientă a resurselor, menținând simultan un nivel adecvat al serviciului. Ea nu trebuie asociată exclusiv cu reducerea costurilor sau cu creșterea vitezei. Un sistem performant urmărește eficiența economică, atingerea obiectivelor operaționale, fiabilitatea, flexibilitatea și, într-o măsură tot mai importantă, sustenabilitatea.

Indicatorii de performanță transformă aceste dimensiuni în mărimi măsurabile. Un KPI este util numai dacă este definit clar, calculat consecvent și raportat la un obiectiv, o perioadă de referință sau un nivel de comparație. Un set prea mare de indicatori poate îngreuna decizia, în timp ce un set prea restrâns poate ascunde efecte importante. De aceea, selecția KPI trebuie realizată în funcție de obiectivele organizației și de caracteristicile serviciului logistic

- **Indicatori economici**

Indicatorii economici permit evaluarea eficienței financiare a activităților logistice și compararea diferitelor variante de organizare a transporturilor. Ei exprimă raportul dintre costurile generate și volumul activității desfășurate.

Unul dintre cei mai utilizați indicatori în transportul de mărfuri este costul pe tonă-kilometru, care exprimă costul necesar pentru transportul unei tone de marfă pe distanța de un kilometru.

$$C_{tkm} = \frac{C_T}{Q \cdot D}$$

unde:

- C_{tkm} – costul pe tonă-kilometru (lei/t·km);
- C_T – costul total al transportului (lei);
- Q – cantitatea transportată (tone);
- D – distanța parcursă (km).

În transportul de pasageri este utilizat indicatorul cost pe pasager-kilometru, calculat prin relația:

$$C_{pkm} = \frac{C_T}{P \cdot D}$$

unde:

- C_{pkm} – costul pe pasager-kilometru;
- P – numărul de pasageri transportați;
- D – distanța parcursă.

Acești indicatori sunt relevanți pentru comparații între perioade, trasee sau soluții de transport, dar trebuie interpretați împreună cu gradul de încărcare și cu nivelul serviciului. O valoare redusă a costului unitar poate proveni dintr-o utilizare eficientă a resurselor, dar poate reflecta și comprimarea excesivă a serviciului, cu efecte negative asupra punctualității sau flexibilității

• Indicatori operaționali

Indicatorii operaționali urmăresc performanța proceselor logistice și eficiența utilizării resurselor. Printre cei mai importanți indicatori se numără timpul de transport, timpul total de livrare, viteza comercială, gradul de utilizare a flotei și gradul de încărcare a vehiculelor. Viteza comercială reprezintă unul dintre indicatorii utilizați frecvent în transporturi și se calculează prin relația:

$$V_c = \frac{D}{T}$$

unde:

- V_c – viteza comercială (km/h);
- D – distanța parcursă (km);
- T – timpul total de deplasare, inclusiv opririle (h).

Gradul de utilizare a capacității vehiculului exprimă proporția dintre încărcătura efectiv transportată și capacitatea maximă disponibilă.

$$GU = \frac{Q_{real}}{Q_{max}} \times 100$$

unde:

- GU – gradul de utilizare (%);
- Q_{real} – încărcătura efectivă;
- Q_{max} – capacitatea maximă a vehiculului.

Acești indicatori trebuie corelați. O viteză comercială scăzută poate fi determinată de congestie, de timp de staționare sau de o planificare ineficientă, iar un grad redus de încărcare poate explica un cost unitar ridicat. În același timp, maximizarea gradului de încărcare nu trebuie urmărită independent de respectarea ferestrelor de livrare și de cerințele clienților.

• Indicatorii serviciului logistic

Indicatorii serviciului logistic permit evaluarea modului în care sistemul răspunde cerințelor beneficiarilor și sunt utilizați pentru aprecierea calității serviciului oferit.

Printre cei mai utilizați indicatori se numără punctualitatea, respectarea termenelor de livrare, nivelul serviciului logistic și gradul de satisfacție al clienților.

Un indicator consacrat în literatura logistică este Perfect Order Rate (POR), care exprimă procentul comenzilor livrate fără erori, la timp și în cantitatea solicitată.

$$POR = \frac{N_{perfect}}{N_{total}} \times 100$$

unde:

- POR – rata comenzilor perfecte (%);
- $N_{perfect}$ – numărul comenzilor livrate fără erori;
- N_{total} – numărul total al comenzilor.

Avantajul unui astfel de indicator constă în faptul că integrează mai multe condiții de calitate într-o singură măsură. O comandă livrată la timp, dar incompletă, sau o comandă completă, dar deteriorată, nu trebuie considerată o comandă perfectă. Prin urmare, POR oferă o imagine mai apropiată de experiența reală a clientului decât analiza separată a punctualității.

• Indicatorii de sustenabilitate

Creșterea preocupărilor privind impactul transporturilor asupra mediului a determinat introducerea unor indicatori specifici pentru evaluarea performanței de mediu a sistemelor logistice. Printre aceștia se numără consumul energetic, emisiile totale de dioxid de carbon (CO₂),

emisiile raportate la tonă-kilometru și ponderea vehiculelor cu emisii reduse utilizate în cadrul flotei. Un indicator utilizat frecvent este intensitatea emisiilor de carbon:

$$E_{tkm} = \frac{CO_2}{Q \cdot D}$$

unde:

- E_{tkm} – emisiile specifice (kg CO₂/t·km);
- CO_2 – cantitatea totală de emisii generate;
- Q – cantitatea transportată;
- D – distanța parcursă.

Interpretarea indicatorului trebuie realizată în raport cu gradul de încărcare și cu modul de transport. Un vehicul cu emisii totale mai mari poate avea o intensitate specifică mai redusă dacă transportă o cantitate semnificativ mai mare de marfă. Din acest motiv, indicatorii absoluți și cei specifici trebuie utilizați împreună

5. Relația dintre cost, nivelul serviciului și productivitate

Unul dintre principiile fundamentale ale logisticii moderne este existența unui compromis (*trade-off*) între costurile logistice și nivelul serviciului oferit beneficiarilor. În majoritatea situațiilor, îmbunătățirea unui indicator de performanță implică creșterea costurilor într-o altă componentă a sistemului logistic. Din acest motiv, obiectivul managementului logistic nu este maximizarea unei singure performanțe, ci identificarea unei soluții de echilibru între eficiența economică și calitatea serviciului.

Un exemplu frecvent întâlnit este creșterea frecvenței curselor de transport. Livrările mai dese permit reducerea timpului de răspuns și îmbunătățesc satisfacția clienților prin scurtarea termenelor de livrare. Totuși, această strategie determină, în general, creșterea costurilor operaționale, deoarece presupune utilizarea unui număr mai mare de vehicule, consum suplimentar de combustibil și cheltuieli mai ridicate cu personalul.

O situație similară apare în cazul reducerii numărului de depozite din cadrul unei rețele logistice. Concentrarea activităților în mai puține facilități poate conduce la diminuarea costurilor de depozitare și administrare, însă mărește distanțele de transport și timpul necesar livrării produselor către clienți. În anumite situații, economiile obținute prin reducerea infrastructurii logistice sunt compensate de creșterea costurilor de distribuție și de diminuarea nivelului serviciului.

Un alt exemplu îl reprezintă alegerea modului de transport. Transportul aerian oferă cel mai scurt timp de tranzit și permite reducerea nivelului stocurilor și a capitalului imobilizat, fiind preferat pentru produse cu valoare ridicată sau cu cerințe stricte privind timpul de livrare. În schimb, costul transportului este considerabil mai mare decât în cazul transportului rutier, feroviar

sau maritim. La polul opus, transportul maritim presupune costuri reduse pe unitatea transportată, însă implică timpi de tranzit mai mari și necesitatea menținerii unor stocuri mai ridicate.

Aceste exemple evidențiază faptul că performanța logistică nu poate fi apreciată exclusiv prin costuri reduse sau prin timpi minimi de transport. Un sistem logistic performant este acela care reușește să identifice combinația optimă între costuri, timp, fiabilitate și nivelul serviciului, în funcție de caracteristicile produselor, cerințele beneficiarilor și obiectivele organizației. Din această perspectivă, proiectarea și managementul sistemelor logistice reprezintă un proces de optimizare multicriterială, în care deciziile sunt fundamentate pe analiza simultană a performanței economice și operaționale.

- **Productivitatea sistemelor logistice**

Productivitatea reprezintă unul dintre cei mai importanți indicatori utilizați pentru evaluarea eficienței sistemelor logistice. Aceasta exprimă raportul dintre rezultatele obținute și resursele consumate pentru realizarea activităților logistice, evidențiind gradul de valorificare a infrastructurii, vehiculelor, echipamentelor și resurselor umane.

Spre deosebire de performanța logistică, care analizează simultan costurile, calitatea serviciului și satisfacția beneficiarilor, productivitatea urmărește în principal eficiența utilizării resurselor disponibile. Creșterea productivității permite reducerea costurilor unitare, utilizarea mai eficientă a capacităților existente și îmbunătățirea competitivității organizației.

În forma sa generală, productivitatea poate fi exprimată prin relația:

$$P = \frac{R}{C}$$

unde:

- P – productivitatea;
- R – rezultatul obținut (output);
- C – resursele consumate (input).

În funcție de activitatea analizată, rezultatul și resursele pot fi exprimate prin cantități diferite, motiv pentru care în logistică sunt utilizați numeroși indicatori de productivitate.

Un indicator frecvent utilizat în transportul de mărfuri este cantitatea transportată pe vehicul, care exprimă eficiența utilizării mijloacelor de transport.

$$P_v = \frac{Q}{N_v}$$

unde:

- P_v – productivitatea vehiculului (tone/vehicul);
- Q – cantitatea totală transportată (tone);
- N_v – numărul vehiculelor utilizate.

În transportul de pasageri se utilizează frecvent numărul mediu de pasageri transportați de un vehicul, indicator care permite evaluarea gradului de utilizare a capacității de transport.

$$P_p = \frac{N_p}{N_v}$$

unde:

- P_p – productivitatea vehiculului de transport persoane (pasageri/vehicul);
- N_p – numărul total de pasageri transportați;
- N_v – numărul vehiculelor utilizate.

În activitățile de distribuție și depozitare sunt utilizați și indicatori precum numărul de livrări efectuate într-o zi, numărul comenzilor procesate de un operator sau distanța parcursă de fiecare vehicul într-o anumită perioadă de timp. Acești indicatori permit evaluarea eficienței proceselor logistice și identificarea posibilităților de optimizare a utilizării resurselor.

De asemenea, în analiza performanței logistice este utilizată frecvent productivitatea muncii, exprimată prin raportul dintre volumul activității desfășurate și numărul de angajați implicați.

$$P_m = \frac{Q}{N_a}$$

unde:

- P_m – productivitatea muncii;
- Q – volumul activității (tone transportate, comenzi procesate sau livrări efectuate);
- N_a – numărul angajaților implicați.

Productivitatea sistemelor logistice este influențată de numeroși factori, printre care gradul de utilizare a capacității vehiculelor, organizarea rutelor, nivelul de automatizare, calificarea personalului, utilizarea sistemelor informatice și calitatea infrastructurii de transport. În general, creșterea gradului de încărcare a vehiculelor, reducerea timpilor de staționare și optimizarea rutelor contribuie direct la îmbunătățirea productivității și la reducerea costurilor unitare de exploatare.

În contextul digitalizării logisticii, productivitatea este monitorizată în timp real prin intermediul sistemelor informatice de management al transporturilor și depozitelor, care permit colectarea automată a datelor privind utilizarea resurselor și calculul indicatorilor de performanță. Analiza continuă a acestor indicatori facilitează identificarea activităților ineficiente și fundamentarea deciziilor privind optimizarea proceselor logistice.

6. Benchmarking în logistică

Benchmarking-ul reprezintă un proces sistematic de comparare a performanței unei organizații, a unui proces sau a unui serviciu logistic cu performanțele obținute de alte organizații considerate etalon sau cu standarde de referință recunoscute în domeniu. Scopul principal al benchmarking-ului nu este clasificarea organizațiilor în funcție de rezultate, ci identificarea diferențelor de performanță și a bunelor practici care pot fi adaptate pentru îmbunătățirea propriilor activități logistice.

În contextul logisticii și al transporturilor, benchmarking-ul constituie un instrument important de management, deoarece permite evaluarea obiectivă a eficienței proceselor de transport, depozitare și distribuție. Compararea indicatorilor de performanță facilitează identificarea activităților care generează costuri excesive, timpi mari de răspuns sau un nivel insuficient al serviciului și oferă informații utile pentru fundamentarea deciziilor privind reorganizarea proceselor logistice sau realizarea investițiilor.

Procesul de benchmarking presupune, în general, parcurgerea mai multor etape succesive. Într-o primă etapă sunt selectate procesele sau activitățile care urmează să fie evaluate și sunt definiți indicatorii de performanță corespunzători. Ulterior sunt identificate organizațiile sau standardele de referință utilizate pentru comparație, iar datele colectate sunt analizate pentru evidențierea diferențelor de performanță. În etapa finală sunt stabilite măsurile necesare pentru reducerea acestor diferențe și îmbunătățirea proceselor logistice.

În literatura de specialitate sunt prezentate mai multe forme de benchmarking, diferențiate în funcție de sursa informațiilor utilizate. Benchmarking-ul intern compară performanța diferitelor departamente, sucursale sau centre logistice din cadrul aceleiași organizații și este utilizat pentru identificarea celor mai eficiente practici interne. Benchmarking-ul competitiv presupune compararea performanței cu cea a organizațiilor concurente și este frecvent utilizat pentru evaluarea poziției pe piață. Benchmarking-ul funcțional compară procese similare desfășurate în organizații din domenii diferite, în timp ce benchmarking-ul generic urmărește identificarea celor mai bune practici indiferent de sectorul economic în care acestea sunt aplicate.

În domeniul transporturilor și logisticii, benchmarking-ul este utilizat pentru evaluarea unui număr mare de indicatori de performanță. Printre cei mai importanți se numără costurile de transport și costul logistic total, punctualitatea serviciilor, fiabilitatea livrărilor, timpul de transport, gradul de utilizare a vehiculelor și al infrastructurii, consumul energetic, emisiile de dioxid de carbon (CO₂) și nivelul de satisfacție al clienților. Analiza comparativă a acestor indicatori permite identificarea domeniilor în care organizația obține rezultate peste media sectorului și a celor care necesită măsuri de optimizare.

În transportul de mărfuri, benchmarking-ul este utilizat pentru compararea performanței operatorilor logistici privind costul pe tonă-kilometru, gradul de încărcare a vehiculelor, durata ciclului de livrare sau procentul curselor fără încărcătură. În transportul de pasageri, comparațiile vizează frecvent punctualitatea curselor, viteza comercială, gradul de ocupare a vehiculelor, accesibilitatea serviciilor, regularitatea circulației și satisfacția utilizatorilor.

Rezultatele benchmarking-ului constituie o bază importantă pentru fundamentarea strategiilor logistice și a investițiilor în infrastructură, tehnologii și echipamente. De asemenea, acestea sprijină procesul de îmbunătățire continuă (*continuous improvement*), permițând organizațiilor să monitorizeze evoluția performanței în timp și să adopte soluții inspirate din experiența celor mai performanți operatori din domeniu.

7. Costuri și performanță în transportul de mărfuri și de pasageri

Deși principiile generale privind evaluarea performanței sunt comune tuturor sistemelor logistice, indicatorii utilizați și obiectivele urmărite diferă în funcție de natura fluxurilor gestionate. În transportul de mărfuri, accentul este pus pe reducerea costurilor logistice totale și utilizarea eficientă a resurselor, în timp ce în transportul de pasageri prioritatea o reprezintă furnizarea unui serviciu de mobilitate sigur, accesibil și de calitate.

În ambele situații, performanța este evaluată prin intermediul unor indicatori cantitativi care permit compararea diferitelor sisteme de transport și fundamentarea deciziilor logistice.

• Transportul de mărfuri

În transportul de mărfuri, costul pe tonă-kilometru rămâne un indicator de bază, dar el trebuie completat cu indicatori care descriu utilizarea resurselor și calitatea serviciului. În distribuția urbană și în comerțul electronic, costul pe livrare este deosebit de relevant, deoarece permite raportarea cheltuielilor la numărul efectiv de livrări realizate. Acesta poate fi exprimat prin relația:

$$C_{tkm} = \frac{C_T}{Q \cdot D}$$
$$C_L = \frac{C_T}{N_L}$$

unde:

- C_L – costul pe livrare (lei/livrare);
- C_T – costul total al distribuției;
- N_L – numărul livrărilor efectuate.

Fiabilitatea poate fi exprimată prin procentul livrărilor realizate la termen – On-Time Delivery (OTD):

$$OTD = \frac{N_{la\ timp}}{N_{total}} \times 100$$

unde:

- OTD (On-Time Delivery) – procentul livrărilor la timp;
- $N_{la\ timp}$ – numărul livrărilor efectuate conform termenului stabilit;
- N_{total} – numărul total al livrărilor.

Interpretarea acestor indicatori trebuie făcută împreună. Un cost redus pe livrare nu este suficient dacă procentul livrărilor la timp este scăzut, după cum nici o punctualitate foarte bună nu justifică automat un cost excesiv. Managementul performanței urmărește un echilibru între utilizarea eficientă a resurselor și nivelul serviciului stabilit prin contract sau prin cerințele pieței.

• Transportul de pasageri

În transportul de pasageri, performanța este analizată atât din perspectiva operatorului, cât și din perspectiva utilizatorului. Costul pe pasager-kilometru oferă o măsură a eficienței economice, iar gradul de ocupare reflectă nivelul de utilizare a capacității. Gradul de ocupare poate fi exprimat prin relația:

$$GO = \frac{P_{real}}{P_{max}} \times 100$$

unde:

- GO – gradul de ocupare (%);
- P_{real} – numărul efectiv de pasageri;
- P_{max} – capacitatea maximă a vehiculului.

Pentru evaluarea performanței serviciului sunt utilizați indicatori precum timpul mediu de călătorie, timpul mediu de așteptare și punctualitatea curselor.

Punctualitatea poate fi exprimată prin relația:

$$P = \frac{N_{punctuale}}{N_{curselor}} \times 100$$

unde:

- P – punctualitatea serviciului (%);
- $N_{punctuale}$ – numărul curselor efectuate conform orarului;
- $N_{curselor}$ – numărul total al curselor.

Alături de acești indicatori se utilizează timpul mediu de călătorie, timpul de așteptare, regularitatea, accesibilitatea și satisfacția utilizatorilor. În transportul public, gradul de ocupare trebuie interpretat cu atenție: o valoare ridicată poate indica o utilizare eficientă a capacității, dar dacă depășește un anumit nivel poate reduce confortul și calitatea percepută a serviciului

- **Analiză comparativă**

Compararea performanței în transportul de mărfuri și în transportul de pasageri evidențiază faptul că cele două domenii urmăresc obiective diferite, deși utilizează principii comune de evaluare. În transportul de mărfuri predomină indicatorii economici și operaționali, orientați către optimizarea costurilor și eficiența distribuției, în timp ce în transportul de pasageri accentul este pus pe calitatea serviciului, accesibilitate și satisfacerea cererii de mobilitate.

Tabelul 13 - Analiza elementelor din transportul de marfă și pasageri

Element analizat	Transportul de mărfuri	Transportul de pasageri
Obiectiv principal	Reducerea costului logistic total	Creșterea calității serviciului de mobilitate
Indicator economic	Cost pe tonă-km	Cost pe pasager-km
Indicator operațional	Grad de încărcare, timp de livrare	Grad de ocupare, timp de călătorie
Indicator al serviciului	Fiabilitatea livrărilor, comenzi complete	Punctualitate, confort, accesibilitate
Indicator de performanță	Eficiența distribuției	Satisfacția utilizatorilor
Obiectiv final	Optimizarea lanțului logistic	Mobilitate sigură, accesibilă și sustenabilă

În ambele situații, indicatorii trebuie interpretați în mod integrat. Reducerea costului pe tonă-kilometru sau pe pasager-kilometru nu reprezintă, în sine, o garanție a unui sistem performant dacă aceasta conduce la creșterea timpilor de transport, diminuarea fiabilității sau scăderea nivelului serviciului. În mod similar, maximizarea gradului de încărcare a vehiculelor poate reduce costurile unitare, dar poate afecta confortul pasagerilor sau flexibilitatea distribuției.

8. Digitalizarea și utilizarea datelor în managementul performanței logistice

Digitalizarea transformă modul în care sunt măsurate și gestionate costurile logistice. Sistemele TMS permit planificarea rutelor, alocarea curselor, urmărirea costurilor și compararea performanței transportatorilor. Sistemele WMS furnizează informații privind procesele de

depozitare și pregătire a comenzilor, iar soluțiile telematice transmit date despre poziția vehiculului, consum, viteză, staționări și comportamentul de exploatare. Integrarea acestor surse creează o imagine mult mai completă asupra costului și performanței.

Un avantaj major al digitalizării constă în reducerea decalajului dintre apariția unei probleme și identificarea ei. În loc ca analiza să fie realizată exclusiv după închiderea lunii, anumiți KPI pot fi urmăriți zilnic sau chiar în timp real. Abaterile privind consumul, punctualitatea, timpii de staționare sau gradul de încărcare pot genera alerte și pot conduce la ajustarea rapidă a planificării.

Analiza avansată a datelor și algoritmi de inteligență artificială pot susține prognoza cererii, estimarea timpilor de sosire, optimizarea rutelor, consolidarea comenzilor și mentenanța predictivă. Totuși, calitatea deciziei depinde de calitatea datelor. Informațiile incomplete, definițiile diferite ale indicatorilor sau datele introduse neuniform pot conduce la concluzii greșite. De aceea, guvernanța datelor și standardizarea modului de calcul al KPI sunt condiții esențiale pentru un sistem modern de management al performanței.

Digitalizarea nu înlocuiește analiza managerială. Un tablou de bord poate arăta că un indicator se deteriorează, dar identificarea cauzei presupune înțelegerea procesului. De exemplu, scăderea vitezei comerciale poate fi rezultatul congestiei, al unei rute prost planificate, al timpilor mari de încărcare sau al unei politici de livrare cu prea multe opriri. Datele devin valoroase atunci când sunt interpretate în context operațional și transformate în decizii.

9. Bibliografie

- Ballou, R. H. (2004). *Business logistics/supply chain management: Planning, organizing, and controlling the supply chain* (5th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., Cooper, M. B., & Bowersox, J. C. (2013). *Supply chain logistics management* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Chopra, S. (2019). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (7th ed.). Pearson.
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management* (5th ed.). Pearson.
- Coyle, J. J., Langley, C. J., Jr., Novack, R. A., & Gibson, B. J. (2017). *Supply chain management: A logistics perspective* (10th ed.). Cengage Learning.
- Grant, D. B., Trautrim, A., & Wong, C. Y. (2017). *Sustainable logistics and supply chain management: Principles and practices for sustainable operations and management* (2nd ed.). Kogan Page.
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2022). *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain* (7th ed.). Kogan Page.
- Waters, D. (2003). *Logistics: An introduction to supply chain management*. Palgrave Macmillan.

CURS 8

Criterii pentru strategiile logistice și servirea clienților/utilizatorilor

Obiectivele cursului

La finalul acestui curs, studentul trebuie să fie capabil să:

- definească strategia logistică și rolul acesteia în cadrul lanțului de aprovizionare;
- identifice principalele criterii utilizate în elaborarea strategiilor logistice;
- înțeleagă relația dintre nivelul serviciului și satisfacția clienților;
- diferențieze strategiile logistice aplicabile transportului de mărfuri și transportului de pasageri;
- analizeze compromisurile dintre cost, flexibilitate și nivelul serviciului;
- identifice tendințele actuale privind orientarea către client și utilizator.

Introducere

În economia contemporană, caracterizată prin globalizarea piețelor, dezvoltarea comerțului electronic și digitalizarea proceselor logistice, logistica a depășit rolul tradițional de activitate suport, devenind un element strategic al competitivității organizațiilor (Christopher, 2016; Waters, 2003). În prezent, succesul unei companii nu mai este determinat exclusiv de calitatea produselor sau de nivelul prețurilor, ci și de capacitatea acesteia de a livra produsele și serviciile la momentul potrivit, în condiții de siguranță, cu costuri competitive și la nivelul de calitate așteptat de clienți.

În acest context, strategiile logistice au rolul de a planifica și coordona fluxurile de mărfuri, informații și resurse astfel încât obiectivele economice ale organizației să fie corelate cu cerințele pieței și cu nivelul serviciului oferit beneficiarilor (Ballou, 2004; Bowersox et al., 2013). Alegerea unei strategii logistice influențează modul de organizare a transporturilor, dimensionarea stocurilor, amplasarea infrastructurilor logistice, selecția modurilor de transport și relațiile cu furnizorii și clienții.

În literatura de specialitate, strategia logistică este definită ca ansamblul deciziilor pe termen lung privind organizarea și coordonarea activităților logistice în vederea obținerii unui avantaj competitiv. Aceasta urmărește proiectarea unui sistem logistic capabil să răspundă eficient variațiilor cererii, să utilizeze în mod optim resursele disponibile și să asigure un echilibru între costurile logistice și nivelul serviciului oferit. Din această perspectivă, performanța logistică nu este evaluată exclusiv prin reducerea costurilor, ci și prin capacitatea sistemului de a genera valoare pentru clienți și pentru întreaga organizație (Ballou, 2004; Christopher, 2016).

Un principiu fundamental al logisticii moderne este acela că nu există o strategie logistică universală, aplicabilă tuturor organizațiilor sau tuturor produselor. Caracteristicile mărfurilor,

distribuția geografică a cererii, timpul de livrare acceptat de clienți, nivelul de personalizare al produselor și particularitățile pieței impun adoptarea unor soluții logistice diferențiate. Din acest motiv, proiectarea strategiilor logistice urmărește adaptarea configurației rețelei logistice și a nivelului serviciului la cerințele fiecărui segment de piață, evitând abordările uniforme care pot conduce la costuri suplimentare sau la diminuarea competitivității (Chopra, 2019; Christopher, 2016).

În cadrul transporturilor de mărfuri, strategiile logistice urmăresc optimizarea lanțului de aprovizionare prin alegerea celor mai eficiente soluții privind transportul, depozitarea și distribuția produselor. În transportul de pasageri, aceste strategii sunt orientate către satisfacerea cererii de mobilitate prin proiectarea unor servicii accesibile, fiabile și adaptate nevoilor utilizatorilor. Deși obiectivele specifice diferă, în ambele situații scopul final îl reprezintă creșterea performanței sistemului logistic și îmbunătățirea nivelului serviciului oferit beneficiarilor.

În ultimii ani, transformarea digitală și dezvoltarea tehnologiilor inteligente au modificat semnificativ modul de proiectare a strategiilor logistice. Integrarea sistemelor informatice, utilizarea datelor în timp real, automatizarea proceselor și aplicarea metodelor de analiză predictivă permit organizațiilor să răspundă mai rapid modificărilor cererii și să optimizeze simultan costurile, timpii de livrare și utilizarea resurselor. În consecință, strategiile logistice moderne sunt caracterizate prin flexibilitate, adaptabilitate și orientare către utilizator, devenind un element esențial al dezvoltării unor lanțuri de aprovizionare reziliente și sustenabile (Bowersox et al., 2013; Coyle et al., 2017).

1. Conceptul de strategie logistică

Strategia logistică reprezintă ansamblul deciziilor adoptate pe termen lung privind organizarea și coordonarea activităților logistice, astfel încât fluxurile de mărfuri, informații și resurse să fie gestionate eficient, iar cerințele clienților să fie satisfăcute la un cost logistic optim. Aceasta stabilește modul în care sunt proiectate rețelele logistice, amplasate infrastructurile, organizate transporturile și gestionate procesele de aprovizionare, depozitare și distribuție (Ballou, 2004; Christopher, 2016).

În practica organizațiilor, strategia logistică are rolul de a corela obiectivele economice cu cerințele pieței și cu particularitățile lanțului de aprovizionare. O strategie bine fundamentată contribuie la reducerea costurilor, creșterea eficienței operaționale și îmbunătățirea nivelului serviciului oferit clienților sau utilizatorilor.

Principalele obiective urmărite prin elaborarea unei strategii logistice sunt (Bowersox et al., 2013; Chopra, 2019):

- reducerea costului logistic total;

- creșterea nivelului serviciului logistic;
- îmbunătățirea flexibilității operaționale;
- reducerea timpului de răspuns la cererea pieței;
- utilizarea eficientă a infrastructurii și a resurselor disponibile;
- creșterea rezilienței lanțului logistic în fața perturbărilor.

Strategia logistică nu poate fi elaborată independent de strategia generală a organizației și de strategia lanțului de aprovizionare (*Supply Chain Strategy*). Toate deciziile privind transportul, depozitarea, distribuția și managementul informațiilor trebuie integrate astfel încât să contribuie la atingerea obiectivelor organizației și la crearea unui avantaj competitiv sustenabil (Chopra, 2019; Christopher, 2016).

2. Nivelurile deciziilor strategice

Gestionarea activităților logistice presupune adoptarea unor decizii cu orizonturi diferite de timp și cu niveluri distincte de complexitate. În literatura de specialitate, acestea sunt clasificate în decizii strategice, tactice și operaționale, fiecare având un rol specific în funcționarea sistemului logistic (Ballou, 2004; Chopra, 2019). Deși diferă prin obiective și orizontul de planificare, cele trei categorii sunt interdependente și trebuie abordate într-o manieră integrată.

• Deciziile strategice

Deciziile strategice au un caracter pe termen lung și influențează structura generală a sistemului logistic. Acestea implică investiții importante și sunt dificil de modificat după implementare, motiv pentru care sunt fundamentate prin analize tehnice, economice și logistice complexe.

Printre principalele decizii strategice se numără:

- proiectarea rețelelor logistice;
- amplasarea depozitelor, centrelor logistice și terminalelor;
- alegerea modurilor de transport utilizate;
- investițiile în infrastructură și tehnologii logistice;
- externalizarea unor servicii logistice către operatori specializați.

Aceste decizii determină arhitectura lanțului logistic și influențează performanța sistemului pe termen lung.

• Deciziile tactice

Deciziile tactice urmăresc utilizarea eficientă a resurselor disponibile și adaptarea sistemului logistic la variațiile cererii. Acestea sunt adoptate pe termen mediu și contribuie la implementarea strategiei logistice stabilite la nivel strategic (Ballou, 2004; Bowersox et al., 2013).

Exemple de decizii tactice sunt:

- dimensionarea stocurilor;
- planificarea capacităților de depozitare și transport;
- alocarea comenzilor către centrele logistice;
- organizarea distribuției regionale;
- planificarea resurselor umane și materiale.

Scopul principal al acestor decizii este utilizarea eficientă a infrastructurii și menținerea unui nivel ridicat al serviciului logistic.

- **Deciziile operaționale**

Deciziile operaționale sunt adoptate zilnic și urmăresc desfășurarea eficientă a activităților logistice curente. Acestea au un caracter repetitiv și sunt orientate către exploatarea optimă a resurselor disponibile.

Cele mai frecvente exemple sunt:

- programarea vehiculelor;
- planificarea rutelor de transport;
- gestionarea comenzilor;
- monitorizarea livrărilor;
- coordonarea activităților de încărcare și descărcare.

Performanța operațională depinde în mare măsură de calitatea deciziilor adoptate la nivel strategic și tactic, ceea ce evidențiază necesitatea unei abordări integrate a managementului logistic (Chopra, 2019).

3. Criterii pentru elaborarea strategiilor logistice

Elaborarea unei strategii logistice presupune evaluarea simultană a mai multor categorii de criterii, deoarece performanța sistemului logistic nu poate fi apreciată exclusiv prin reducerea costurilor. În practica logistică, deciziile sunt fundamentate pe criterii economice, operaționale, orientate către client și privind sustenabilitatea, care trebuie analizate într-o manieră echilibrată (Ballou, 2004; Bowersox et al., 2013).

- **Criterii economice**

Criteriile economice urmăresc utilizarea eficientă a resurselor și reducerea costurilor generate de activitățile logistice. Acestea permit evaluarea eficienței investițiilor și a rentabilității sistemului logistic.

Printre indicatorii analizați se numără:

- costul logistic total;
 - costurile de transport;

- costurile stocurilor;
- productivitatea activităților logistice;
- rentabilitatea investițiilor în infrastructură și echipamente.

- **Criterii operaționale**

Criteriile operaționale sunt utilizate pentru evaluarea performanței proceselor logistice și a capacității sistemului de a răspunde cererii în condiții de eficiență și continuitate.

Principalele criterii sunt:

- timpul de livrare;
- fiabilitatea transporturilor;
- capacitatea infrastructurilor și a mijloacelor de transport;
- gradul de utilizare a resurselor;
- flexibilitatea operațională în raport cu variațiile cererii.

- **Criterii orientate către client**

În logistica modernă, nivelul serviciului oferit beneficiarilor reprezintă unul dintre principalele criterii de evaluare a performanței. Strategia logistică trebuie să răspundă cerințelor clienților privind disponibilitatea produselor, respectarea termenelor și calitatea serviciilor (Christopher, 2016; Coyle et al., 2017).

În această categorie sunt analizate:

- nivelul serviciului logistic;
- disponibilitatea produselor;
- respectarea termenelor de livrare;
- ușurința accesului la serviciile logistice;
- satisfacția clienților și utilizatorilor.

- **Criterii privind sustenabilitatea**

În contextul dezvoltării durabile și al tranziției către sisteme logistice cu impact redus asupra mediului, strategiile logistice trebuie să integreze și criterii de sustenabilitate. Acestea urmăresc reducerea consumului de resurse și creșterea rezilienței sistemului logistic.

Printre cele mai importante criterii se numără:

- consumul energetic;
- emisiile de dioxid de carbon (CO₂);
- utilizarea surselor regenerabile de energie;
- reducerea deșeurilor și promovarea economiei circulare;
- reziliența lanțului logistic în fața perturbărilor și a riscurilor.

Elaborarea unei strategii logistice presupune identificarea unui echilibru între aceste categorii de criterii. O strategie orientată exclusiv către reducerea costurilor poate conduce la diminuarea nivelului serviciului oferit clienților, în timp ce o strategie bazată exclusiv pe creșterea performanței operaționale poate genera costuri dificil de susținut (Grant et al., 2017). Din acest motiv, organizațiile urmăresc dezvoltarea unor strategii logistice integrate, capabile să optimizeze simultan eficiența economică, calitatea serviciului și sustenabilitatea activităților logistice.

4. Segmentarea clienților și strategiile logistice

În condițiile diversificării piețelor și ale creșterii exigențelor privind serviciile logistice, organizațiile nu mai pot aplica aceeași strategie tuturor clienților și tuturor produselor. Diferențele privind volumul comenzilor, frecvența livrărilor, localizarea geografică sau cerințele referitoare la timpul de livrare impun dezvoltarea unor strategii logistice diferențiate, adaptate caracteristicilor fiecărui segment de piață.

Segmentarea clienților reprezintă procesul de grupare a beneficiarilor în categorii omogene, în funcție de caracteristici relevante pentru organizarea activităților logistice (Christopher, 2016). Această abordare permite proiectarea unor servicii adaptate cerințelor fiecărui segment, contribuind la creșterea nivelului serviciului și la utilizarea eficientă a resurselor logistice.

În practică, segmentarea reduce riscul aplicării unor soluții logistice uniforme, care pot conduce fie la costuri operaționale excesive, fie la un nivel insuficient al serviciului oferit clienților.

Principalele criterii utilizate pentru segmentarea clienților sunt prezentate în continuare.

- **Volumul comenzilor**

Volumul comenzilor influențează alegerea modului de transport, dimensionarea stocurilor și frecvența livrărilor. Clienții care generează volume mari de mărfuri beneficiază, de regulă, de soluții logistice diferite față de cei cu volume reduse.

- **Frecvența comenzilor**

Periodicitatea comenzilor determină organizarea distribuției și planificarea transporturilor. Livrările regulate permit optimizarea rutelor și consolidarea transporturilor, în timp ce comenzile ocazionale necesită o flexibilitate mai mare a sistemului logistic.

- **Valoarea produselor**

Produsele cu valoare ridicată impun măsuri suplimentare privind securitatea transportului, monitorizarea livrărilor și reducerea timpului de tranzit, comparativ cu produsele de valoare redusă.

- **Localizarea geografică**

Poziția geografică a clienților influențează alegerea infrastructurilor logistice, amplasarea depozitelor și organizarea rețelei de distribuție. Distanțele mari și accesibilitatea redusă pot determina utilizarea unor soluții logistice specifice.

- **Sensibilitatea la timp**

Pentru anumite categorii de produse sau servicii, timpul de livrare reprezintă principalul criteriu de performanță. În aceste situații, strategiile logistice sunt orientate către reducerea duratei transportului și creșterea vitezei de răspuns.

5. Cerințele privind nivelul serviciului

Nivelul serviciului solicitat diferă în funcție de categoria de beneficiari și poate include cerințe privind disponibilitatea produselor, flexibilitatea livrărilor, trasabilitatea comenzilor sau serviciile post-livrare.

În funcție de aceste criterii, organizațiile pot identifica segmente precum:

- clienți industriali;
- rețele comerciale (retail);
- comerț electronic;
- instituții publice;
- utilizatori individuali.

Fiecărui segment îi poate corespunde o strategie logistică distinctă, adaptată caracteristicilor cererii și nivelului serviciului solicitat.

- **Nivelul serviciului logistic**

Nivelul serviciului logistic reprezintă gradul în care sistemul logistic răspunde cerințelor beneficiarilor privind disponibilitatea produselor, timpul de livrare, fiabilitatea și calitatea serviciilor oferite. Acesta constituie unul dintre principalii indicatori ai performanței logistice și influențează în mod direct satisfacția și fidelizarea clienților.

În practica logistică, creșterea nivelului serviciului implică, de regulă, costuri suplimentare. Din acest motiv, proiectarea sistemelor logistice urmărește identificarea unui echilibru între costul logistic total și nivelul serviciului oferit (Ballou, 2004; Christopher, 2016).

Tabelul 14 - Principalii indicatori utilizați pentru evaluarea nivelului serviciului

Indicator	Semnificație
Disponibilitatea produselor	Exprimă capacitatea sistemului logistic de a furniza produsele solicitate în momentul în care acestea sunt necesare beneficiarului.
Rapiditatea livrării	Reflectă timpul necesar dintre lansarea comenzii și recepția produsului, fiind unul dintre cei mai importanți indicatori în comerțul electronic și distribuția urbană.
Punctualitatea	Reprezintă respectarea termenelor de livrare stabilite și contribuie la creșterea încrederii beneficiarilor în serviciile logistice.
Flexibilitatea comenzilor	Exprimă capacitatea sistemului logistic de a răspunde modificărilor privind cantitățile, destinațiile sau termenele de livrare.
Acuratețea informațiilor	Include transmiterea unor informații corecte și actualizate privind disponibilitatea produselor, stadiul comenzilor și localizarea transporturilor.
Siguranța transportului	Vizează protecția mărfurilor împotriva deteriorării, pierderii sau furtului pe parcursul transportului și al manipulării.
Calitatea comunicării cu clientul	Presupune existența unor canale eficiente de comunicare și informare pe întreaga durată a procesului logistic.

Sursa: adaptat după Ballou (2004), Bowersox et al. (2013) și Coyle et al. (2017).

În transportul de pasageri, nivelul serviciului este evaluat prin indicatori adaptați specificului mobilității, precum:

- timpul de așteptare;
- accesibilitatea infrastructurii;
- confortul călătoriei;
- regularitatea serviciilor;
- siguranța și securitatea utilizatorilor.

6. Strategii de servire a clienților

Organizațiile utilizează strategii logistice diferite în funcție de caracteristicile pieței și de nivelul serviciului pe care urmăresc să îl ofere beneficiarilor. Alegerea strategiei influențează organizarea transporturilor, dimensionarea stocurilor, amplasarea infrastructurilor logistice și utilizarea resurselor disponibile (Christopher, 2016; Chopra, 2019).

- **Strategia bazată pe cost**

Strategia bazată pe cost urmărește furnizarea serviciilor logistice la un cost total cât mai redus, menținând în același timp un nivel acceptabil al serviciului. Aceasta este utilizată în special pentru produse standardizate și piețe caracterizate printr-o concurență puternică bazată pe preț.

Caracteristicile principale sunt:

- consolidarea transporturilor;
- reducerea numărului de depozite;
- utilizarea modurilor de transport cu cost redus;
- optimizarea gradului de încărcare a vehiculelor.

- **Strategia bazată pe rapiditate**

Această strategie are ca obiectiv reducerea timpului necesar livrării produselor și creșterea vitezei de răspuns la cererea pieței. Ea este utilizată pentru produse perisabile, bunuri cu valoare ridicată sau servicii care necesită livrări urgente. Caracteristicile principale includ:

- amplasarea depozitelor în apropierea clienților;
- utilizarea serviciilor de transport expres;
- menținerea unor stocuri regionale;
- planificarea rapidă a transporturilor.

- **Strategia bazată pe flexibilitate**

Strategia bazată pe flexibilitate urmărește adaptarea rapidă a sistemului logistic la modificările cererii și la apariția unor situații neprevăzute. Aceasta este specifică piețelor dinamice, caracterizate prin variații frecvente ale comenzilor și ale cerințelor clienților.

Elementele definitorii sunt:

- capacități logistice flexibile;
- existența unor rute alternative;
- planificarea dinamică a distribuției;
- utilizarea tehnologiilor digitale pentru monitorizarea și adaptarea operațiunilor.

- **Strategia bazată pe diferențiere**

Această strategie urmărește obținerea unui avantaj competitiv prin furnizarea unor servicii logistice cu valoare adăugată, care depășesc cerințele de bază ale beneficiarilor.

Exemple de astfel de servicii sunt:

- livrarea în aceeași zi (*same-day delivery*);
- monitorizarea în timp real a comenzilor;
- personalizarea opțiunilor de livrare;
- servicii post-vânzare și gestionarea retururilor.

- **Strategii logistice în transportul de mărfuri și de pasageri**

Deși principiile generale ale strategiilor logistice sunt similare, obiectivele urmărite diferă în funcție de natura fluxurilor gestionate. În transportul de mărfuri, accentul este pus pe eficiența economică și optimizarea lanțului de aprovizionare, în timp ce în transportul de pasageri prioritatea o reprezintă satisfacerea cererii de mobilitate și îmbunătățirea calității serviciului.

Transportul de mărfuri

În transportul de mărfuri, strategiile logistice urmăresc optimizarea fluxurilor fizice și reducerea costurilor totale ale lanțului de aprovizionare. Principalele direcții de acțiune sunt:

- reducerea costului logistic total;
- optimizarea rutelor de transport;
- consolidarea încărcăturilor;
- creșterea gradului de utilizare a capacității vehiculelor;
- reducerea curselor efectuate fără încărcătură;
- integrarea transportului multimodal.

Transportul de pasageri

În transportul de pasageri, strategiile logistice sunt orientate către creșterea atractivității serviciilor și satisfacerea cererii de mobilitate. Acestea urmăresc:

- reducerea timpului total de călătorie;
- creșterea frecvenței serviciilor;
- integrarea modală și facilitarea transferurilor;
- îmbunătățirea accesibilității infrastructurii;
- creșterea confortului și a siguranței;
- îmbunătățirea satisfacției utilizatorilor.

Alegerea strategiei logistice trebuie adaptată caracteristicilor fiecărui segment de piață și obiectivelor organizației. O strategie eficientă nu urmărește exclusiv reducerea costurilor sau creșterea nivelului serviciului, ci identificarea unui echilibru între eficiența economică, performanța operațională și satisfacerea cerințelor beneficiarilor (Ballou, 2004; Christopher, 2016). Tocmai această abordare integrată permite dezvoltarea unor sisteme logistice competitive, flexibile și sustenabile, capabile să răspundă cerințelor actuale ale transportului de mărfuri și de pasageri.

7. Evaluarea performanței serviciului logistic

Implementarea unei strategii logistice trebuie însoțită de evaluarea permanentă a performanței serviciilor oferite clienților și utilizatorilor. Monitorizarea performanței permite identificarea punctelor forte și a deficiențelor sistemului logistic, fundamentarea deciziilor

manageriale și adaptarea continuă a activităților la cerințele pieței (Bowersox et al., 2013; Coyle et al., 2017).

În practică, performanța serviciului logistic este analizată prin intermediul unui ansamblu de indicatori de performanță (*Key Performance Indicators – KPI*), care permit evaluarea obiectivă a eficienței proceselor logistice și compararea rezultatelor în timp sau între organizații. Indicatorii trebuie selectați astfel încât să reflecte atât eficiența operațională, cât și nivelul serviciului perceput de clienți (Coyle et al., 2017).

- **Indicatori pentru evaluarea serviciului**

Indicatorii utilizați în logistică pot fi grupați în funcție de aspectele pe care le evaluează: timpul de răspuns, fiabilitatea serviciului, satisfacția clienților și performanța economică. Analiza simultană a acestor indicatori oferă o imagine completă asupra performanței sistemului logistic.

Indicatori de timp

Indicatorii de timp măsoară rapiditatea cu care sistemul logistic răspunde solicitărilor clienților și reprezintă unele dintre cele mai importante criterii de evaluare a serviciului logistic.

- Timpul de livrare reprezintă intervalul dintre lansarea comenzii și recepționarea produsului de către beneficiar. Reducerea acestuia contribuie la creșterea competitivității și a satisfacției clienților.
- Timpul de răspuns exprimă durata necesară organizației pentru a reacționa la o solicitare, o comandă sau o modificare a cerințelor clientului.
- Timpul de procesare a comenzilor include toate activitățile desfășurate între primirea unei comenzi și expedierea acesteia, precum verificarea disponibilității produselor, pregătirea comenzilor și emiterea documentelor logistice.

Indicatori de fiabilitate

Fiabilitatea exprimă capacitatea sistemului logistic de a furniza servicii conforme cu cerințele stabilite și în condiții constante de performanță.

- Procentul livrărilor efectuate la timp (On-Time Delivery – OTD) indică ponderea comenzilor livrate în intervalul convenit cu beneficiarul.
- Rata comenzilor complete (Order Fill Rate) reprezintă proporția comenzilor livrate integral, fără lipsuri sau erori.
- Regularitatea serviciului exprimă capacitatea sistemului logistic de a menține o frecvență și o calitate constante ale serviciilor oferite, aspect important atât în transportul de mărfuri, cât și în transportul de pasageri.

Indicatori orientați către client

Acești indicatori urmăresc modul în care serviciul logistic este perceput de beneficiari și contribuie la evaluarea nivelului serviciului.

- Satisfacția utilizatorilor reflectă gradul în care serviciile oferite răspund așteptărilor clienților și este determinată, de regulă, prin chestionare sau sondaje.
- Fidelizarea clienților exprimă capacitatea organizației de a menține relații comerciale pe termen lung și de a determina repetarea comenzilor sau utilizarea repetată a serviciilor.
- Numărul reclamațiilor constituie un indicator al calității serviciului și evidențiază principalele probleme întâmpinate de beneficiari.
- Timpul de soluționare a reclamațiilor reprezintă durata necesară pentru analizarea și rezolvarea sesizărilor formulate de clienți și reflectă eficiența serviciilor de suport.

Indicatori economici

Indicatorii economici permit evaluarea eficienței financiare a activităților logistice și fundamentarea deciziilor privind optimizarea costurilor.

- Costul pe comandă reprezintă cheltuiala totală asociată procesării și livrării unei comenzi individuale.
- Costul pe client exprimă resursele consumate pentru deservirea unui anumit beneficiar și permite compararea profitabilității diferitelor segmente de piață.
- Profitabilitatea segmentelor de clienți analizează contribuția fiecărei categorii de clienți la rezultatele economice ale organizației și facilitează dezvoltarea unor strategii logistice diferențiate.

Evaluarea periodică a acestor indicatori permite monitorizarea performanței logistice și identificarea oportunităților de îmbunătățire. În practică, indicatorii sunt integrați în tablouri de bord (*dashboards*) și sisteme informatice de management, care oferă informații în timp real privind desfășurarea activităților logistice (Bowersox et al., 2013; Coyle et al., 2017).

8. Digitalizarea relației cu clienții

Transformarea digitală reprezintă una dintre cele mai importante direcții de dezvoltare a logisticii moderne. Utilizarea tehnologiilor informatice permite monitorizarea continuă a fluxurilor logistice, automatizarea proceselor și comunicarea în timp real cu beneficiarii. Astfel, relația dintre organizație și client devine mai transparentă, mai rapidă și mai flexibilă, contribuind la creșterea nivelului serviciului și la îmbunătățirea experienței utilizatorilor (Bowersox et al., 2013; Coyle et al., 2017).

În prezent, majoritatea organizațiilor utilizează platforme informatice integrate care conectează activitățile de transport, depozitare, distribuție și relațiile cu clienții într-un sistem unitar de management logistic. Aceste soluții facilitează schimbul de informații între participanții la lanțul de aprovizionare, reduc timpul necesar procesării comenzilor și permit monitorizarea permanentă a performanței operaționale.

PRINCIPALELE INSTRUMENTE DIGITALE UTILIZATE ÎN LOGISTICĂ SUNT:

Transportation Management System (TMS) este un sistem informatic destinat planificării, coordonării și monitorizării activităților de transport. Acesta permite organizarea rutelor, alocarea vehiculelor și a comenzilor, optimizarea gradului de încărcare și urmărirea în timp real a livrărilor. Totodată, sistemul oferă informații privind costurile și performanța operațională, sprijinind procesul decizional al operatorilor logistici. Implementarea unui TMS conduce la utilizarea mai eficientă a flotei, reducerea costurilor de transport și îmbunătățirea comunicării dintre organizație și clienți.

Customer Relationship Management (CRM) reprezintă un sistem informatic destinat administrării relațiilor cu clienții pe întreaga durată a colaborării. În domeniul logisticii, acesta centralizează informațiile referitoare la beneficiari, comenzi, istoricul livrărilor și reclamațiile primite, oferind o imagine completă asupra relației comerciale. Integrarea CRM cu celelalte sisteme logistice permite personalizarea serviciilor, monitorizarea gradului de satisfacție și dezvoltarea unor strategii adaptate fiecărui segment de clienți.

Aplicațiile mobile și platformele digitale au devenit instrumente uzuale atât pentru operatorii logistici, cât și pentru beneficiari. Prin intermediul acestora pot fi lansate comenzi, rezervate servicii de transport, urmărite livrările și transmise notificări privind eventualele întârzieri. În transportul de pasageri, aplicațiile mobile permit planificarea călătoriilor, achiziționarea biletelor electronice și consultarea informațiilor în timp real privind circulația vehiculelor. Digitalizarea acestor procese reduce timpul de procesare, limitează erorile administrative și îmbunătățește interacțiunea dintre utilizatori și operatorii de transport.

Sistemele de urmărire în timp real (Real-Time Tracking) utilizează tehnologii de poziționare prin satelit (GPS), comunicații mobile și platforme informatice pentru monitorizarea permanentă a vehiculelor, mărfurilor sau pasagerilor. Acestea furnizează informații privind poziția curentă a transportului, stadiul livrării, timpul estimat de sosire (*Estimated Time of Arrival – ETA*) și eventualele abateri de la traseul planificat. Accesul la aceste informații crește transparența procesului logistic și permite atât operatorilor, cât și beneficiarilor să reacționeze rapid în cazul apariției unor întârzieri sau incidente.

Internet of Things (IoT) desemnează rețeaua de echipamente și senzori conectați la internet, capabili să colecteze și să transmită automat informații privind desfășurarea activităților logistice. În transportul și distribuția mărfurilor, senzorii IoT monitorizează permanent poziția produselor, condițiile de temperatură și umiditate, vibrațiile, consumul de combustibil sau starea tehnică a vehiculelor (Coyle et al., 2017). Aceste informații permit supravegherea continuă a fluxurilor logistice, îmbunătățesc trasabilitatea mărfurilor și facilitează intervenția rapidă în cazul apariției unor probleme operaționale.

Inteligența Artificială (Artificial Intelligence – AI) utilizează algoritmi capabili să proceseze volume foarte mari de date și să identifice modele sau tendințe care nu pot fi observate prin metodele clasice de analiză. În logistică, aplicațiile AI sunt utilizate pentru prognoza cererii, optimizarea rutelor de transport, dimensionarea stocurilor, estimarea timpilor de livrare și detectarea automată a riscurilor operaționale. Prin utilizarea acestor algoritmi, sistemele logistice devin mai adaptive și pot răspunde mai eficient modificărilor cererii sau condițiilor de trafic.

Big Data reprezintă ansamblul volumelor foarte mari și diversificate de date generate de activitățile logistice, provenite din sisteme informatice, senzori, dispozitive mobile și platforme digitale. Analiza acestor date oferă organizațiilor posibilitatea de a identifica tendințele pieței, de a anticipa variațiile cererii, de a optimiza rețelele logistice și de a evalua performanța operațională. În acest context, deciziile logistice sunt fundamentate tot mai frecvent pe analiza datelor (*data-driven decision making*), ceea ce conduce la utilizarea mai eficientă a resurselor și la creșterea competitivității organizațiilor.

9. Bibliografie

- Ballou, R. H. (2004). *Business logistics/supply chain management: Planning, organizing, and controlling the supply chain* (5th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., Cooper, M. B., & Bowersox, J. C. (2013). *Supply chain logistics management* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Chopra, S. (2019). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (7th ed.). Pearson.
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management* (5th ed.). Pearson.
- Coyle, J. J., Langley, C. J., Jr., Novack, R. A., & Gibson, B. J. (2017). *Supply chain management: A logistics perspective* (10th ed.). Cengage Learning.
- Grant, D. B., Trautrim, A., & Wong, C. Y. (2017). *Sustainable logistics and supply chain management: Principles and practices for sustainable operations and management* (2nd ed.). Kogan Page.
- Waters, D. (2003). *Logistics: An introduction to supply chain management*. Palgrave Macmillan.

CURS 9

Managementul pericolelor, riscurilor și siguranței în activitatea logistică

Obiectivele cursului

La finalul acestui curs, studentul trebuie să fie capabil să:

- definească noțiunile de pericol, risc, siguranță și securitate în activitatea logistică;
- identifice principalele surse de risc din transport, depozitare, manipulare și distribuție;
- explice relația dintre probabilitate, impact și nivelul riscului;
- descrie etapele procesului de management al riscurilor;
- utilizeze metode simple de identificare, analiză și evaluare a riscurilor logistice;
- diferențieze riscurile specifice transportului de mărfuri de cele specifice transportului de pasageri;
- propună măsuri de prevenire, reducere, transfer sau acceptare a riscurilor;
- înțeleagă rolul tehnologiilor digitale în creșterea siguranței și rezilienței sistemelor logistice.

Introducere

Activitățile logistice presupun deplasarea, depozitarea, manipularea și distribuția mărfurilor sau pasagerilor în sisteme complexe, formate din infrastructuri, vehicule, terminale, personal, operatori, proceduri și sisteme informatice. Cu cât sistemul logistic este mai extins și mai interconectat, cu atât crește și expunerea sa la evenimente neprevăzute. Aceste evenimente pot produce accidente, întârzieri, pierderi materiale, întreruperi ale activității, deteriorarea mărfurilor, afectarea siguranței pasagerilor sau scăderea calității serviciului.

În logistică, riscurile apar din mai multe direcții. Unele sunt legate de transport: accidente rutiere, defecțiuni ale vehiculelor, congestie, condiții meteorologice nefavorabile sau infrastructură degradată. Altele sunt legate de depozitare și manipulare: incendii, căderi de mărfuri, utilizarea incorectă a echipamentelor, temperatură necorespunzătoare sau erori de inventar. Există și riscuri informaționale și organizaționale: date greșite, întreruperi ale sistemelor IT, lipsă de comunicare, planificare defectuoasă sau decizii întârziate. În plus, sistemele logistice moderne sunt expuse la riscuri de securitate, cum ar fi furtul, vandalismul, sabotajul sau atacurile cibernetice.

Managementul riscurilor urmărește identificarea, analizarea, evaluarea și tratarea acestor evenimente, astfel încât probabilitatea producerii lor și consecințele asupra sistemului logistic să fie reduse la un nivel acceptabil. Standardul ISO 31000 prezintă managementul riscului ca un proces aplicabil oricărei organizații, indiferent de dimensiune sau domeniu, prin care riscurile sunt integrate în procesele de decizie și control (ISO, 2018).

În activitatea logistică, managementul riscurilor nu trebuie privit ca o acțiune izolată sau ca o reacție după producerea unui incident. El trebuie integrat în proiectarea rețelelor, alegerea modurilor de transport, stabilirea rutelor, organizarea depozitelor, contractarea furnizorilor, pregătirea personalului și utilizarea tehnologiilor digitale. Un sistem logistic performant nu este doar rapid și eficient, ci și sigur, robust și capabil să își continue funcționarea în condiții de perturbare.

În cazul transportului de mărfuri, riscurile pot afecta integritatea produselor, timpul de livrare, costurile, relația cu beneficiarii și continuitatea lanțului de aprovizionare. În cazul transportului de pasageri, riscurile au o dimensiune socială și umană mai evidentă, deoarece afectează direct siguranța, confortul și încrederea utilizatorilor în sistemul de transport. De aceea, managementul riscurilor logistice trebuie să integreze atât perspectiva economică, cât și perspectiva siguranței publice.

1. Noțiuni fundamentale

- **Pericolul**

Pericolul reprezintă o sursă, o situație sau o condiție care poate produce vătămări, pierderi materiale, deteriorarea mărfurilor, întreruperea activităților logistice sau afectarea mediului. În logistică, pericolul poate fi prezent în infrastructură, în vehicule, în modul de manipulare, în caracteristicile mărfurilor, în comportamentul uman sau în mediul extern.

Exemple de pericole în activitatea logistică sunt: supraîncărcarea vehiculelor, manipularea necorespunzătoare a mărfurilor grele, depozitarea substanțelor inflamabile, circulația în condiții de ploi, utilizarea unor echipamente defecte, lipsa semnalizării în terminale sau oboseala conducătorilor auto.

Pericolul nu reprezintă încă un eveniment produs, ci o sursă potențială de vătămare sau pierdere. De exemplu, o rampă de încărcare fără protecție este un pericol. Dacă un lucrător cade de pe rampă, pericolul s-a transformat într-un incident sau accident.

- **Riscul**

Riscul reprezintă combinația dintre probabilitatea producerii unui eveniment nedorit și consecințele acestuia. Într-o formulare simplificată, riscul poate fi exprimat astfel:

$$\text{Risc} = \text{Probabilitate} \times \text{Impact}$$

Această relație nu trebuie înțeleasă doar matematic, ci mai ales conceptual. Un eveniment cu probabilitate mică, dar cu impact foarte mare, poate reprezenta un risc important. De exemplu, un incendiu într-un depozit poate avea o probabilitate redusă, dar consecințe majore asupra mărfurilor, clădirii, personalului și continuității activității. În schimb, o întârziere minoră la livrare poate avea

probabilitate mare, dar impact redus, dacă sistemul are rezerve de timp și comunicare eficientă cu beneficiarul.

În logistică, evaluarea riscului trebuie să țină seama de ambele componente: cât de probabil este evenimentul și cât de grav ar fi efectul său. Standardul ISO 31000 pune accent pe integrarea riscului în decizii și pe adaptarea procesului de management al riscului la contextul organizației (ISO, 2018).

- **Siguranța**

Siguranța reprezintă starea în care riscurile au fost reduse la un nivel considerat acceptabil prin măsuri tehnice, organizatorice și manageriale. În activitatea logistică, siguranța se referă la protecția personalului, pasagerilor, mărfurilor, echipamentelor, infrastructurii și mediului.

Siguranța nu înseamnă eliminarea completă a riscurilor, deoarece acest lucru este aproape imposibil într-un sistem logistic real. Ea presupune identificarea riscurilor importante, reducerea lor prin măsuri preventive și pregătirea pentru situațiile în care evenimentele nedorite totuși se produc.

Exemple de măsuri pentru creșterea siguranței sunt: întreținerea vehiculelor, instruirea personalului, folosirea echipamentelor de protecție, semnalizarea zonelor de risc, verificarea încărcăturii, controlul temperaturii, implementarea procedurilor de urgență și monitorizarea în timp real a transporturilor.

- **Securitatea**

În logistică, securitatea se referă la protecția împotriva amenințărilor intenționate. Acestea pot include furtul mărfurilor, accesul neautorizat în depozite, vandalismul, sabotajul, deturnarea vehiculelor, atacurile informatice sau manipularea frauduloasă a datelor.

Este importantă diferențierea dintre siguranță și securitate. Siguranța se referă în principal la prevenirea accidentelor și a evenimentelor neintenționate, în timp ce securitatea se referă la prevenirea acțiunilor deliberate. În practică, cele două domenii sunt interdependente. Un sistem IT compromis poate afecta siguranța operațiunilor, iar o breșă de securitate într-un depozit poate produce pierderi materiale și întreruperi ale activității.

Standardul ISO 28000 este orientat către sistemele de management al securității în lanțul de aprovizionare și include aspecte critice pentru securitatea supply chain-ului, inclusiv activitățile controlate sau influențate de organizație care pot afecta securitatea lanțului logistic (ISO, 2022).

- **Reziliența**

Reziliența reprezintă capacitatea unui sistem logistic de a rezista, de a se adapta și de a se recupera după o perturbare. Dacă managementul riscurilor urmărește reducerea probabilității și

impactului evenimentelor nedorite, reziliența urmărește menținerea funcționalității sistemului chiar și atunci când unele riscuri se materializează.

Un sistem logistic rezilient dispune de alternative: rute secundare, furnizori de rezervă, capacitate suplimentară, stocuri de siguranță, proceduri de urgență, sisteme informatice redundante și personal pregătit pentru situații de criză. Standardul ISO 22301 oferă un cadru pentru sistemele de management al continuității activității, cu scopul de a ajuta organizațiile să se pregătească, să răspundă și să se recupereze în urma incidentelor perturbatoare (ISO, 2019).

2. Categoriile de riscuri în activitatea logistică

Riscurile logistice pot fi grupate în mai multe categorii, în funcție de sursa lor, de activitatea afectată și de tipul consecințelor. În practică, aceste categorii nu sunt complet separate. Un risc tehnic poate produce un risc operațional, iar un risc informațional poate genera un risc financiar sau de siguranță.

Tabelul 15 - Categoriile principale de riscuri logistice

Categoria de risc	Exemple	Posibile consecințe
Riscuri de transport	accidente, congestie, defecțiuni, întârzieri	pierderi, întârzieri, costuri suplimentare
Riscuri de depozitare	incendii, temperatură necorespunzătoare, erori de inventar	deteriorarea mărfurilor, lipsă de stoc
Riscuri de manipulare	căderi de mărfuri, ambalare incorectă, echipamente defecte	accidente de muncă, deteriorări
Riscuri informaționale	date greșite, sisteme IT indisponibile, erori de comunicare	decizii greșite, întreruperi operaționale
Riscuri de securitate	furt, vandalism, sabotaj, atacuri cibernetice	pierderi materiale, compromiterea datelor
Riscuri externe	vreme severă, crize economice, blocaje, pandemii	întreruperea lanțului logistic
Riscuri de mediu	emisii, scurgeri, transport de substanțe periculoase	poluare, sancțiuni, afectarea comunității
Riscuri umane	oboseală, instruire insuficientă, erori operaționale	accidente, întârzieri, scăderea calității

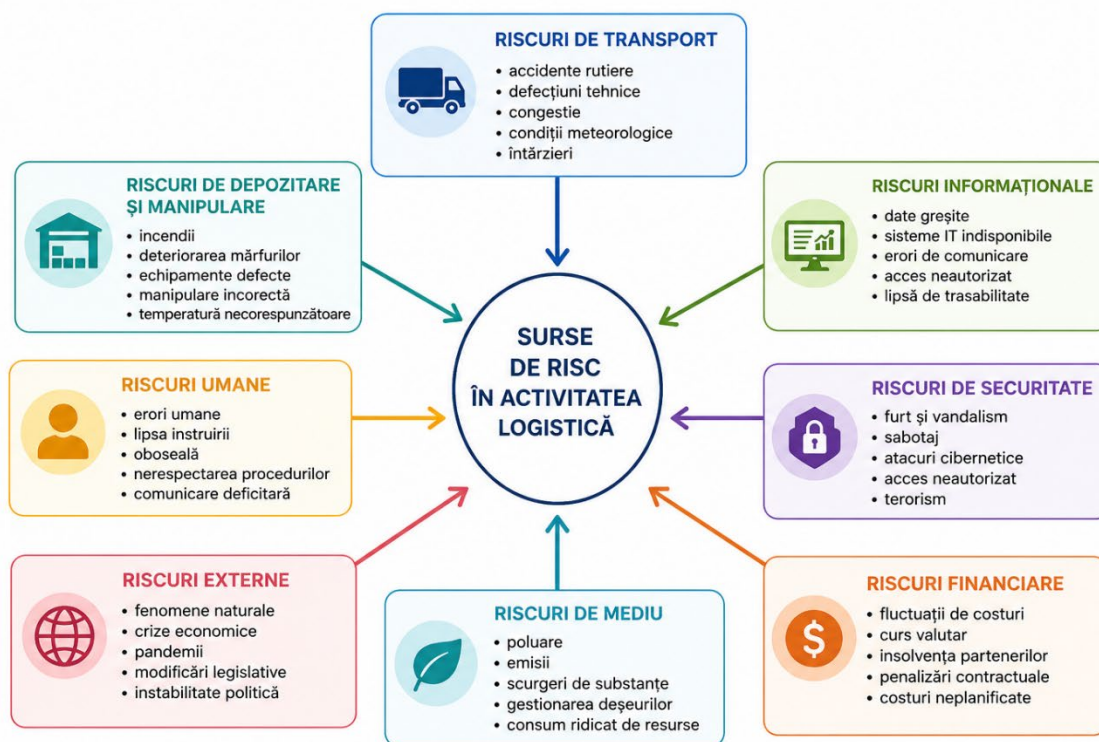


Figura 23 - Surse de risc în activitatea logistică

3. Surse de risc în transport

• Riscuri în transportul rutier

Transportul rutier este flexibil și permite deplasarea directă între origine și destinație, dar este expus la numeroase riscuri. Acestea includ accidentele rutiere, congestia, starea necorespunzătoare a infrastructurii, condițiile meteo, comportamentul conducătorilor auto, defecțiunile tehnice și restricțiile de circulație.

În transportul rutier de mărfuri, riscurile pot afecta atât încărcătura, cât și termenul de livrare. O întârziere cauzată de un accident sau de congestie poate genera costuri suplimentare, penalizări contractuale sau întreruperea activităților beneficiarului. În cazul mărfurilor perisabile, întârzierea poate produce pierderea calității produsului. În cazul mărfurilor periculoase, riscul are și o componentă de siguranță publică și protecție a mediului.

Transportul rutier de pasageri are o dimensiune suplimentară, deoarece orice incident poate afecta direct siguranța persoanelor. Prin urmare, riscurile trebuie gestionate prin întreținerea vehiculelor, instruirea conducătorilor, monitorizarea vitezei, respectarea timpilor de conducere și odihnă, planuri de urgență și sisteme de informare a pasagerilor.

- **Riscuri în transportul feroviar**

Transportul feroviar este potrivit pentru volume mari de marfă și fluxuri regulate, dar depinde puternic de infrastructură, orare, capacitatea liniilor, terminale și coordonarea operațională. Riscurile specifice includ defecțiuni ale infrastructurii, întârzieri în terminale, indisponibilitatea materialului rulant, incidente la nivelul instalațiilor de semnalizare, congestie pe anumite coridoare și dificultăți de sincronizare cu transportul rutier.

În transportul de pasageri, riscurile feroviare sunt asociate cu punctualitatea, siguranța circulației, aglomerația, informarea călătorilor și continuitatea serviciului. Într-un sistem intermodal, întârzierea unui tren poate afecta conexiunile cu autobuze, tramvaie sau alte trenuri, amplificând impactul asupra utilizatorilor.

- **Riscuri în transportul naval și portuar**

Transportul naval este eficient pentru volume mari și distanțe lungi, dar este expus la riscuri precum vremea nefavorabilă, întârzierile portuare, blocajele în terminale, congestia containerelor, avariile navelor, problemele vamale și variațiile geopolitice. Porturile sunt noduri logistice complexe, iar o perturbare într-un port important poate afecta lanțuri de aprovizionare la scară internațională.

În transportul containerizat, riscurile pot apărea la încărcare, descărcare, transbordare, depozitare temporară și transfer către transportul rutier sau feroviar. Trasabilitatea containerelor, securitatea terminalelor și sincronizarea operațiunilor sunt esențiale pentru reducerea riscurilor.

- **Riscuri în transportul aerian**

Transportul aerian este utilizat pentru fluxuri urgente, mărfuri cu valoare ridicată, produse perisabile sau transport de pasageri pe distanțe lungi. Riscurile specifice includ întârzieri cauzate de vreme, restricții de securitate, capacitate limitată, costuri ridicate, defecțiuni tehnice, anulări de zboruri și probleme de manipulare în aeroporturi.

În logistică, transportul aerian poate reduce semnificativ timpul de livrare, dar dependența de programul zborurilor și de procedurile de securitate impune o planificare riguroasă. În transportul de pasageri, riscurile operaționale au efecte asupra conexiunilor, bagajelor, confortului și încrederii utilizatorilor.

- **Riscuri în transportul intermodal**

Transportul intermodal combină mai multe moduri de transport și poate reduce costurile sau impactul asupra mediului, dar introduce riscuri suplimentare legate de transferul între moduri. Fiecare transbordare este un punct critic: pot apărea întârzieri, erori de documente, deteriorări, lipsă

de capacitate, incompatibilități între sisteme informatice sau probleme de coordonare între operatori.

Într-un lanț intermodal, performanța întregului sistem depinde de sincronizarea nodurilor. Dacă un camion întârzie la terminalul feroviar, trenul poate pleca fără container. Dacă un tren ajunge târziu în port, containerul poate pierde încărcarea pe navă. Astfel, riscul nu este doar local, ci se propagă în întregul lanț logistic.

- **Riscuri în depozitare și manipulare**

Depozitarea și manipularea sunt componente esențiale ale logisticii, dar și surse importante de risc. Într-un depozit, mărfurile sunt recepționate, verificate, stocate, pregătite pentru expediție și încărcate. Fiecare etapă poate genera erori sau incidente.

Riscurile de depozitare includ incendii, inundații, defecțiuni ale instalațiilor frigorifice, temperatură sau umiditate necorespunzătoare, stivuire greșită, acces neautorizat, erori de inventar și deteriorarea ambalajelor. În cazul mărfurilor periculoase, riscul este mai ridicat, deoarece o depozitare incorectă poate produce accidente grave, poluare sau afectarea sănătății personalului.

Riscurile de manipulare apar în timpul încărcării, descărcării, sortării și deplasării interne a mărfurilor. Acestea pot fi cauzate de utilizarea incorectă a echipamentelor, lipsa instruirii, supraîncărcarea paleților, ambalare necorespunzătoare, spații insuficiente de manevră sau semnalizare deficitară. Consecințele pot fi deteriorarea mărfurilor, accidente de muncă, întârzieri și costuri suplimentare.

În depozite, siguranța trebuie abordată prin proceduri clare, instruire, echipamente adecvate, controlul accesului, sisteme de detecție și stingere a incendiilor, mentenanță periodică, semnalizare și organizarea logică a fluxurilor interne.

4. Riscuri asociate mărfurilor periculoase

Mărfurile periculoase necesită o atenție specială deoarece pot produce efecte grave asupra oamenilor, bunurilor și mediului. Acestea includ substanțe inflamabile, explozive, toxice, corozive, radioactive, gaze sub presiune sau materiale care pot reacționa periculos în anumite condiții.

Transportul mărfurilor periculoase este reglementat pentru a preveni accidentele și pentru a proteja persoanele, proprietatea și mediul. UNECE arată că mărfurile periculoase sunt supuse unor reglementări privind transportul, locul de muncă, depozitarea, consumatorii și protecția mediului, tocmai pentru prevenirea accidentelor (UNECE, n.d.).

În transportul rutier european, ADR stabilește reguli armonizate pentru clasificare, ambalare, etichetare, documentare, manipulare și transportul substanțelor periculoase. Aplicarea acestor reguli reduce riscurile pentru conducători auto, operatori logistici, populație și mediu.

Tabelul 16 - Exemple de riscuri asociate mărfurilor periculoase

Tip de marfă periculoasă	Exemple de riscuri	Măsuri de control
Substanțe inflamabile	incendiu, explozie	ambalare adecvată, etichetare, separare
Substanțe corozive	arsuri, deteriorarea ambalajelor	echipamente de protecție, containere speciale
Gaze sub presiune	explozie, scurgeri	verificarea recipientelor, ventilație
Substanțe toxice	afectarea sănătății, contaminare	documente de transport, instruire, izolare
Mărfuri cu temperatură controlată	degradare, pierdere economică	senzori, monitorizare, lanț frigorific

5. Procesul de management al riscurilor

Managementul riscurilor este un proces continuu, nu o acțiune punctuală. El trebuie integrat în activitățile curente ale organizației și adaptat la tipul de transport, tipul de marfă, infrastructură, nivel de serviciu și cerințele beneficiarilor.

Într-o formă simplificată, procesul include următoarele etape: stabilirea contextului, identificarea riscurilor, analiza riscurilor, evaluarea riscurilor, tratarea riscurilor, comunicarea și monitorizarea. Această logică este compatibilă cu abordarea ISO 31000, care tratează managementul riscului ca proces iterativ și integrat în guvernanta organizației (ISO, 2018).

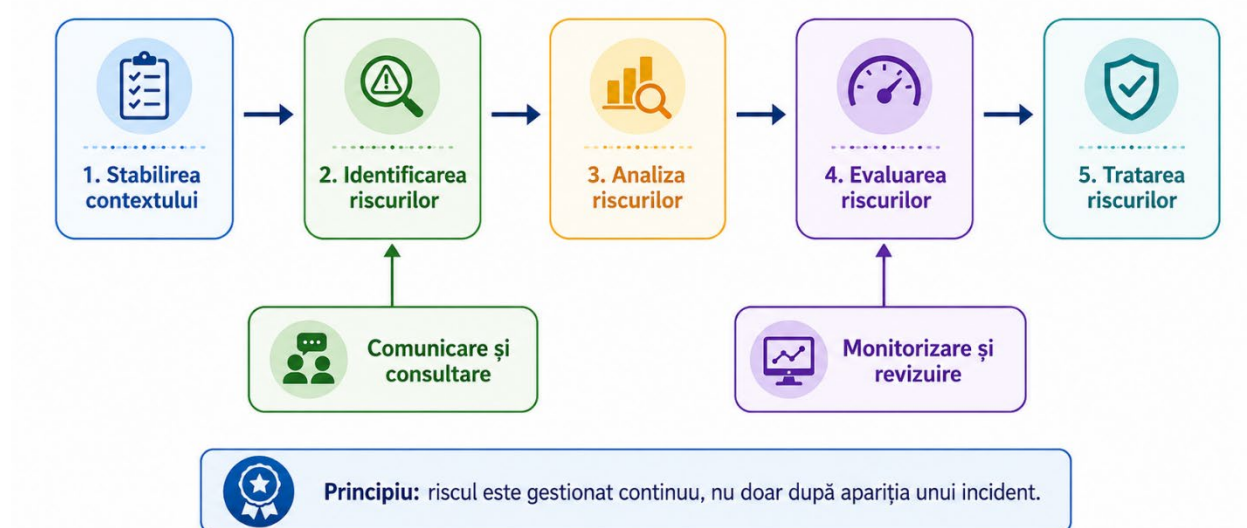


Figura 24 - Procesul de management al riscurilor logistice

- **Stabilirea contextului**

Stabilirea contextului presupune definirea sistemului analizat, a obiectivelor, a limitelor și a criteriilor de evaluare. În logistică, contextul poate fi un traseu de transport, un depozit, o rețea de distribuție, un terminal, o flotă de vehicule sau un serviciu de transport public.

În această etapă se stabilesc întrebări precum: ce fluxuri sunt analizate, ce moduri de transport sunt implicate, care sunt punctele critice, ce resurse sunt disponibile, ce cerințe legale trebuie respectate și ce nivel de risc este acceptabil.

- **Identificarea riscurilor**

Identificarea riscurilor presupune determinarea evenimentelor care pot afecta funcționarea sistemului logistic. Această etapă poate utiliza analiza documentelor, observația directă, interviuri cu personalul, analiza incidentelor anterioare, liste de verificare, hărți de proces sau studii de caz.

Exemple de întrebări utile sunt: ce se poate întâmpla, unde se poate întâmpla, de ce se poate întâmpla, ce componentă este afectată și care ar fi consecințele.

- **Analiza riscurilor**

Analiza riscurilor urmărește estimarea probabilității și impactului fiecărui risc. Probabilitatea poate fi apreciată pe o scală simplă de la 1 la 5, unde 1 înseamnă foarte puțin probabil, iar 5 înseamnă foarte probabil. Impactul poate fi evaluat tot pe o scală de la 1 la 5, unde 1 înseamnă efect minor, iar 5 înseamnă efect critic.

Rezultatul poate fi exprimat printr-un scor de risc:

$$\text{Scor de risc} = \text{Probabilitate} \times \text{Impact}$$

Această metodă este simplă și utilă pentru aplicații didactice, dar în practică pot fi utilizate metode mai avansate, bazate pe date istorice, simulare, modele probabilistice sau analize multicriteriale.

- **Evaluarea riscurilor**

Evaluarea riscurilor presupune compararea scorului obținut cu nivelul de risc acceptabil. Riscurile pot fi clasificate ca scăzute, medii, ridicate sau critice. Riscurile scăzute pot fi monitorizate, cele medii necesită măsuri de control, cele ridicate trebuie tratate prioritar, iar cele critice pot impune oprirea activității până la reducerea riscului.

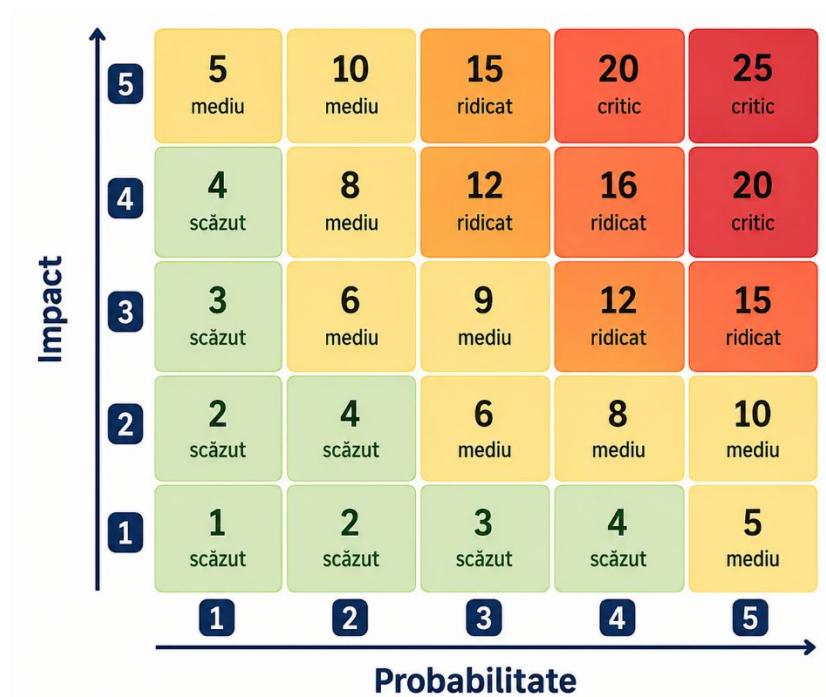


Figura 25 - Matrice simplificată de evaluare a riscului

- **Tratarea riscurilor**

Tratarea riscurilor presupune alegerea măsurilor prin care riscurile sunt eliminate, reduse, transferate sau acceptate. În logistică, tratarea riscului poate include schimbarea rutei, utilizarea unui alt mod de transport, instruirea personalului, implementarea unor sisteme de monitorizare, creșterea stocurilor de siguranță, asigurarea mărfurilor sau contractarea unor furnizori alternativi.

Tabelul 17 - Strategii de tratare a riscurilor

Strategie	Explicație	Exemplu logistic
Evitare	Eliminarea activității care produce riscul	renunțarea la o rută periculoasă
Reducere	Diminuarea probabilității sau impactului	instruire, mentenanță, senzori, proceduri
Transfer	Mutarea unei părți din consecințe către alt actor	asigurare, contract logistic specializat
Acceptare	Menținerea riscului la un nivel tolerabil	monitorizarea unui risc minor
Pregătire	Planificarea răspunsului la incident	plan de continuitate, rută alternativă

- **Monitorizarea și revizuirea**

Riscurile nu sunt constante. Ele se modifică în funcție de sezon, cerere, infrastructură, personal, tehnologie, legislație și context economic. De aceea, procesul de management al riscurilor trebuie revizuit periodic.

Monitorizarea poate include analiza incidentelor, indicatori de performanță, audituri, rapoarte de mentenanță, feedback de la personal, date GPS, alerte din sistemele informatice și reclamații ale clienților sau pasagerilor.

6. Metode de identificare și evaluare a riscurilor

În activitatea logistică pot fi utilizate mai multe metode de identificare și evaluare a riscurilor. Alegerea metodei depinde de complexitatea sistemului, de datele disponibile și de scopul analizei.

- **Lista de verificare**

Lista de verificare este o metodă simplă, potrivită pentru activități repetitive. Ea include întrebări standard privind starea vehiculului, documentele de transport, fixarea încărcăturii, echipamentele de protecție, condițiile de depozitare sau pregătirea personalului.

Exemplu de întrebări pentru transport: vehiculul a fost verificat tehnic, încărcătura este fixată, traseul este cunoscut, documentele sunt complete, conducătorul auto respectă timpul de odihnă, există rută alternativă?

- **Analiza incidentelor anterioare**

Analiza incidentelor anterioare ajută la identificarea zonelor vulnerabile. Dacă un anumit traseu produce frecvent întârzieri, dacă într-un depozit apar repetat erori de inventar sau dacă un terminal are timpi mari de așteptare, aceste informații trebuie utilizate pentru prevenție.

- **Matricea de risc**

Matricea de risc este una dintre cele mai utilizate metode didactice și manageriale. Ea combină probabilitatea și impactul pentru a obține un nivel al riscului. Avantajul este simplitatea, iar limitarea principală este caracterul subiectiv al scorurilor atunci când nu există date suficiente.

- **Analiza FMEA**

FMEA, adică Failure Mode and Effects Analysis, este o metodă de analiză a modurilor de defectare și a efectelor acestora. În logistică poate fi utilizată pentru procese precum încărcarea, depozitarea, livrarea sau funcționarea unui sistem informatic. Metoda identifică posibilele defectări, cauzele, efectele și măsurile de prevenire.

- **Analiza scenariilor**

Analiza scenariilor presupune construirea unor situații posibile și evaluarea efectelor lor. De exemplu: ce se întâmplă dacă un pod se închide, dacă un furnizor nu livrează, dacă sistemul TMS nu funcționează, dacă o furtună blochează transportul sau dacă cererea crește brusc?

Această metodă este utilă pentru planificarea continuității activității și pentru dezvoltarea rezilienței logistice.

7. Managementul continuității activității logistice

Continuitatea activității reprezintă capacitatea unei organizații de a menține sau relua funcționarea după producerea unui incident. În logistică, continuitatea este esențială, deoarece întreruperea fluxurilor poate afecta producția, distribuția, transportul public, aprovizionarea populației sau serviciile esențiale.

ISO 22301 definește cerințe pentru sistemele de management al continuității activității, incluzând planificarea, implementarea, monitorizarea și îmbunătățirea unui sistem documentat care protejează organizația, reduce probabilitatea unor perturbări și sprijină recuperarea după incidente (ISO, 2019). În logistică, măsurile de continuitate pot include:

- rute alternative;
- furnizori alternativi;
- stocuri de siguranță;
- flote de rezervă;
- sisteme informatice redundante;
- contracte cu operatori suplimentari;
- proceduri de urgență;
- planuri de comunicare cu beneficiarii;
- simulări și exerciții de criză.

Tabelul 18 - Exemple de măsuri de continuitate

Perturbare	Efect posibil	Măsură de continuitate
Închidere drum principal	întârziere livrări	rută alternativă prestabilită
Defecțiune sistem IT	lipsă vizibilitate asupra comenzilor	sistem backup, procedură manuală temporară
Lipsă furnizor	întreruperea aprovizionării	furnizor alternativ
Accident în terminal	blocarea operațiunilor	redistribuire către alt terminal
Fenomen meteo sever	anulări, întârzieri	plan de urgență și comunicare rapidă

8. Rolul tehnologiilor digitale în reducerea riscurilor

Digitalizarea are un rol important în prevenirea, detectarea și gestionarea riscurilor logistice. Tehnologiile digitale permit colectarea datelor în timp real, monitorizarea vehiculelor, urmărirea mărfurilor, detectarea abaterilor și sprijinirea deciziilor.

Sistemele GPS permit localizarea vehiculelor și estimarea timpului de sosire. Senzorii IoT pot monitoriza temperatura, umiditatea, șocurile sau deschiderea neautorizată a containerelor. RFID permite identificarea automată a mărfurilor și reducerea erorilor de inventar. Camerele video și sistemele de control acces contribuie la securitatea depozitelor și terminalelor.

Big Data și inteligența artificială pot sprijini prognoza riscurilor prin analiza datelor istorice și a datelor în timp real. De exemplu, un sistem poate identifica trasee cu risc ridicat de întârziere, perioade cu probabilitate mare de congestie sau vehicule care prezintă semne de defectare. Digital Twins permit simularea unor scenarii înainte de aplicarea deciziilor în sistemul real.

Totuși, digitalizarea introduce și riscuri noi. Dependența de sisteme informatice poate produce vulnerabilități. Un atac cibernetic, o eroare de date sau indisponibilitatea unei platforme poate afecta întregul lanț logistic. De aceea, siguranța operațională trebuie completată de securitatea informațională.

9. Riscuri specifice transportului de mărfuri și transportului de pasageri

• Transportul de mărfuri

În transportul de mărfuri, riscurile principale sunt deteriorarea produselor, pierderea sau furtul încărcăturii, întârzierile, accidentele, erorile de documente, încărcarea incorectă, lipsa trasabilității și nerespectarea condițiilor de transport.

Pentru mărfurile generale, accentul cade pe integritatea încărcăturii și respectarea termenului de livrare. Pentru mărfurile perisabile, controlul temperaturii este esențial. Pentru mărfurile periculoase, siguranța personalului, a populației și a mediului devine prioritară. Pentru mărfurile cu valoare ridicată, securitatea și trasabilitatea sunt importante.

Măsurile de control pot include: monitorizare GPS, sigilarea containerelor, senzori de temperatură, asigurarea încărcăturii, selecția operatorilor, instruirea conducătorilor auto, ambalare adecvată și proceduri de verificare la recepție și expediție.

• Transportul de pasageri

În transportul de pasageri, riscurile vizează siguranța persoanelor, continuitatea serviciului și calitatea experienței de călătorie. Principalele riscuri sunt accidentele, supraaglomerarea, întârzierile, defectiunile vehiculelor, incidentele de securitate, lipsa informării, accesibilitatea redusă și evacuarea dificilă în situații de urgență.

Măsurile de control includ întreținerea vehiculelor, monitorizarea traficului, sisteme ITS, informare în timp real, supraveghere video, proceduri de evacuare, instruirea personalului, managementul mulțimilor și planuri de intervenție pentru situații de urgență.

Tabelul 19 - Diferențe între riscurile din transportul de mărfuri și transportul de pasageri

Element analizat	Transport de mărfuri	Transport de pasageri
Obiect protejat	marfa, vehiculul, termenul de livrare	persoanele, serviciul, încrederea utilizatorilor
Riscuri principale	deteriorare, furt, întârziere, documente greșite	accidente, aglomerație, întârzieri, incidente
Indicatori relevanți	livrare la timp, integritate, trasabilitate	punctualitate, siguranță, confort, informare
Măsuri principale	GPS, sigilare, senzori, asigurare marfă	ITS, supraveghere, proceduri de urgență
Impact major	economic și operațional	uman, social și operațional

10. Indicatori utilizați în managementul riscurilor logistice

Pentru a controla riscurile, organizațiile trebuie să măsoare performanța și siguranța operațiunilor. Indicatorii permit identificarea tendințelor, compararea perioadelor și evaluarea eficienței măsurilor aplicate.

Tabelul 20 - Indicatori de risc și siguranță în logistică

Indicator	Semnificație	Utilizare
Număr de incidente	frecvența evenimentelor nedorite	monitorizarea siguranței
Rata accidentelor	accidente raportate la km, curse sau ore	evaluarea riscului în transport
Întârzieri medii	abaterea față de termenul planificat	evaluarea fiabilității
Livrări deteriorate	procent de mărfuri afectate	controlul manipulării și depozitării
Timp de recuperare	durata reluării activității după incident	evaluarea rezilienței
Disponibilitate IT	procent de timp în care sistemul funcționează	controlul riscului informațional
Reclamații	feedback negativ de la clienți/pasageri	evaluarea calității serviciului

Indicatorii trebuie analizați periodic și corelați cu măsurile aplicate. Dacă numărul de incidente scade după instruirea personalului sau după implementarea unui sistem de monitorizare, măsura poate fi considerată eficientă. Dacă întârzierile persistă, este necesară revizuirea rutelor, capacităților sau procedurilor.

11. Exemplu aplicativ: evaluarea riscului unei rute logistice

Se consideră o firmă care livrează produse alimentare refrigerate de la un depozit regional către magazine urbane. Ruta include un sector de drum frecvent congestionat și mai multe puncte de descărcare. Marfa trebuie menținută la temperatură controlată, iar întârzierea poate afecta calitatea produselor.

Riscurile identificate sunt: congestie, defecțiune a instalației frigorifice, întârziere la descărcare, eroare de documente, accident rutier și lipsa comunicării cu beneficiarul.

Tabelul 21 - Evaluare simplificată a riscurilor pentru o rută logistică

Risc	Probabilitate	Impact	Scor	Nivel	Măsură propusă
Congestie	4	3	12	ridicat	rută alternativă, plecare decalată
Defecțiune instalație frigorifică	2	5	10	mediu/ridicat	mentenanță, senzori temperatură
Întârziere la descărcare	3	3	9	mediu	programare ferestre de livrare
Eroare documente	2	3	6	mediu	verificare digitală înainte de plecare
Accident rutier	2	5	10	mediu/ridicat	instruire, monitorizare stil conducere
Lipsă comunicare beneficiar	3	2	6	mediu	notificări automate ETA

Această analiză arată că riscurile trebuie prioritizate. Congestia are cel mai mare scor și trebuie tratată prin măsuri operaționale directe. Defecțiunea instalației frigorifice are probabilitate mai mică, dar impact ridicat, deci necesită măsuri tehnice preventive. Riscurile cu scor mediu nu trebuie ignorate, ci monitorizate și reduse prin proceduri simple.

12. Concluzii

Managementul pericolelor, riscurilor și siguranței este o componentă esențială a activității logistice. Într-un sistem logistic modern, performanța nu se măsoară doar prin costuri reduse și timp scurt de livrare, ci și prin capacitatea de a preveni accidente, de a proteja mărfurile și pasagerii, de a menține continuitatea operațiunilor și de a răspunde eficient la perturbări.

Pericolul reprezintă sursa potențială de vătămare sau pierdere, riscul exprimă combinația dintre probabilitate și impact, iar siguranța reprezintă starea în care riscurile sunt controlate la un nivel acceptabil. Securitatea completează siguranța prin protecția împotriva amenințărilor intenționate, iar reziliența exprimă capacitatea sistemului logistic de a continua sau relua funcționarea după o perturbare. Riscurile logistice pot apărea în transport, depozitare, manipulare, sisteme informatice, relația cu furnizorii, mediul extern sau comportamentul uman. Ele trebuie gestionate printr-un proces sistematic: stabilirea contextului, identificarea riscurilor, analiza, evaluarea, tratarea, monitorizarea și revizuirea lor.

Digitalizarea contribuie la creșterea siguranței prin monitorizare în timp real, trasabilitate, senzori, sisteme GPS, RFID, inteligență artificială și simulare. Totuși, ea aduce și riscuri noi, mai ales în zona securității cibernetice și a dependenței de sisteme informatice.

Pentru transportul de mărfuri, managementul riscurilor urmărește protecția produselor, respectarea termenelor, reducerea pierderilor și continuitatea lanțului de aprovizionare. Pentru transportul de pasageri, accentul cade pe siguranța persoanelor, calitatea serviciului, informare, accesibilitate și continuitatea mobilității.

13. Bibliografie

- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1–14.
- Council of Supply Chain Management Professionals. (n.d.). *CSCMP supply chain management definitions and glossary*.
- International Organization for Standardization. (2022). *Specification for security management systems for the supply chain* (ISO 28000:2022).
- International Organization for Standardization. (2018). *Risk management—Guidelines* (ISO 31000:2018).
- International Organization for Standardization. (2019). *Security and resilience—Business continuity management systems—Requirements* (ISO 22301:2019).
- Sheffi, Y. (2005). *The resilient enterprise: Overcoming vulnerability for competitive advantage*. The MIT Press.
- Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 451–488.
- United Nations Economic Commission for Europe. (n.d.). *Dangerous goods*.

CURS 10

Factorii care influențează activitățile logistice: infrastructură, tehnologie, om, mediu

Obiectivele cursului

La finalul acestui curs, studentul trebuie să fie capabil să:

- identifice principalii factori care influențează activitățile logistice;
- explice rolul infrastructurii în performanța sistemelor logistice;
- descrie impactul tehnologiei asupra planificării, monitorizării și optimizării activităților logistice;
- analizeze rolul factorului uman în funcționarea sistemelor logistice;
- explice relația dintre logistică, mediu și sustenabilitate;
- înțeleagă modul în care cererea, piața, reglementările și condițiile externe influențează deciziile logistice;
- coreleze factorii tehnici, economici, organizaționali și de mediu în analiza unui sistem logistic.

Introducere

Activitățile logistice nu se desfășoară izolat, ci într-un context format din infrastructuri, tehnologii, oameni, organizații, reglementări, cerere de transport și condiții de mediu. Performanța unui sistem logistic nu depinde doar de existența vehiculelor sau a depozitelor, ci de modul în care toate aceste elemente sunt coordonate.

Un sistem logistic poate fi bine proiectat pe hârtie, dar poate funcționa slab dacă infrastructura este insuficientă, dacă datele sunt incomplete, dacă personalul nu este instruit sau dacă apar constrângeri de mediu și reglementări care nu au fost luate în calcul. În același timp, un sistem logistic poate deveni performant atunci când infrastructura este bine conectată, tehnologia oferă vizibilitate în timp real, personalul este pregătit, iar deciziile integrează criterii de cost, timp, siguranță și sustenabilitate.

În logistica transporturilor, factorii de influență pot fi grupați în câteva categorii principale: infrastructură, tehnologie, factor uman, mediu, organizare, cerere și piață. Acești factori interacționează permanent. De exemplu, infrastructura rutieră influențează timpul de livrare, dar timpul de livrare este influențat și de congestie, de planificarea rutelor, de comportamentul conducătorilor auto, de sistemele informatice utilizate și de restricțiile de acces în orașe.

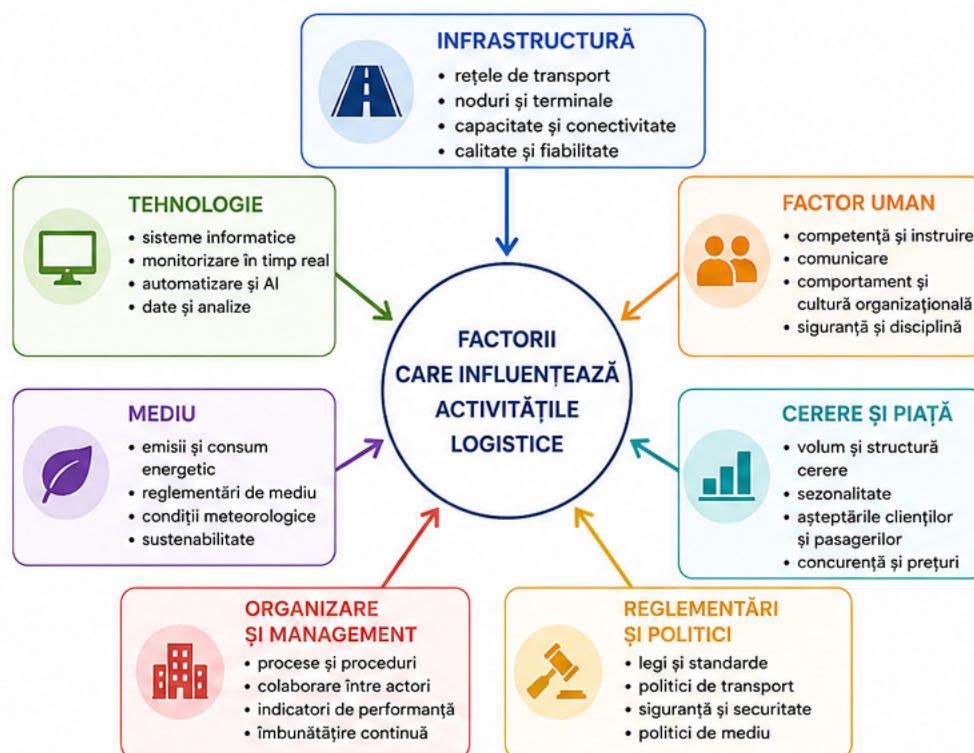


Figura 26 - Factorii care influențează activitățile logistice

1. Infrastructura logistică și de transport

Infrastructura reprezintă suportul fizic al activităților logistice. Fără infrastructură adecvată, fluxurile de mărfuri și pasageri devin lente, costisitoare și vulnerabile la perturbări. Infrastructura include drumuri, căi ferate, porturi, aeroporturi, terminale intermodale, depozite, centre de distribuție, stații, autogări, parcuri, platforme logistice, zone de încărcare-descărcare și infrastructură digitală.

Într-un sistem logistic, infrastructura nu are doar rol de suport, ci influențează direct performanța. O rețea rutieră bine conectată reduce timpii de transport. Un terminal intermodal eficient reduce timpul de transfer între moduri. Un depozit amplasat strategic poate reduce distanțele parcurse. O stație de transport public bine localizată poate crește accesibilitatea și poate reduce dependența de autoturism.

Rodrigue descrie transporturile ca sisteme formate din rețele, moduri, terminale și fluxuri, iar analiza infrastructurii este esențială pentru înțelegerea mobilității și a distribuției mărfurilor (Rodrigue, 2024).

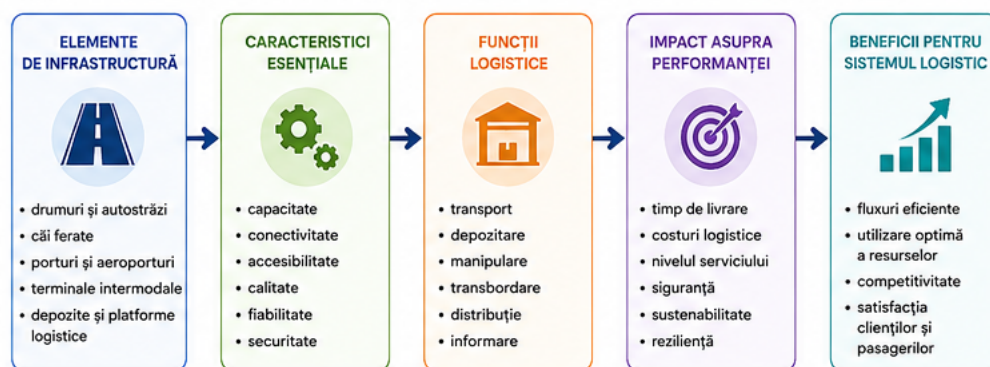


Figura 27 - Infrastructura ca suport al fluxurilor logistice

• Capacitatea infrastructurii

Capacitatea infrastructurii exprimă volumul de fluxuri care poate fi preluat într-o anumită perioadă de timp. În transportul rutier, capacitatea este legată de numărul de benzi, intersecții, noduri rutiere, viteze de circulație și nivelul de congestie. În transportul feroviar, capacitatea depinde de numărul de linii, sistemele de semnalizare, lungimea trenurilor, orare și disponibilitatea terminalelor. În porturi și aeroporturi, capacitatea depinde de dane, piste, echipamente de manipulare, spații de depozitare și proceduri de operare.

Capacitatea insuficientă produce întârzieri, costuri suplimentare și scăderea fiabilității. De exemplu, un depozit modern poate pregăti rapid comenzile, dar dacă accesul rutier este aglomerat, livrările vor întârzia. În mod similar, un operator de transport public poate avea vehicule suficiente, dar dacă infrastructura rutieră este congestionată, punctualitatea serviciului scade.

În logistică, capacitatea trebuie analizată la nivel de rețea, nu doar la nivel de componentă. Performanța sistemului este adesea limitată de cel mai slab punct: o intersecție aglomerată, un terminal suprasolicitat, un pod cu restricții de tonaj sau un punct de frontieră lent.

• Conectivitatea

Conectivitatea arată cât de bine sunt legate între ele punctele de origine, destinațiile, nodurile logistice și modurile de transport. O rețea cu conectivitate bună permite alegerea mai multor rute, combinarea modurilor de transport și adaptarea la situații neprevăzute.

În transportul de mărfuri, conectivitatea este importantă pentru accesul la piețe, furnizori, porturi, terminale și centre de distribuție. În transportul de pasageri, conectivitatea este importantă pentru accesul la locuri de muncă, școli, servicii medicale, centre comerciale și zone de recreere.

Conectivitatea nu se referă doar la existența unor legături fizice. Ea include și sincronizarea serviciilor. De exemplu, o gară și o autogară pot fi apropiate spațial, dar dacă orarele nu sunt sincronizate, conectivitatea reală pentru pasageri este redusă. În logistică, un terminal feroviar și un depozit pot fi apropiate, dar dacă nu există coordonare între operatori, avantajul amplasării se reduce.

- **Calitatea și fiabilitatea infrastructurii**

Calitatea infrastructurii influențează costurile, siguranța, viteza și predictibilitatea activităților logistice. Drumurile deteriorate cresc consumul de combustibil, uzura vehiculelor și riscul de accidente. Infrastructura feroviară insuficient întreținută produce restricții de viteză și întârzieri. Terminalele slab organizate cresc timpii de așteptare și riscul de erori.

Fiabilitatea este esențială în logistică deoarece multe procese depind de respectarea termenelor. Un sistem logistic nu trebuie să fie doar rapid, ci și previzibil. Pentru unele activități, o întârziere mică, dar frecventă, poate fi mai problematică decât o durată de transport mai mare, dar constantă.

World Bank Logistics Performance Index include infrastructura printre dimensiunile evaluate în performanța logistică, alături de eficiența procedurilor vamale, calitatea serviciilor logistice, capacitatea de urmărire a expedierilor și respectarea termenelor (Arvis et al., 2023).

- **Amplasarea nodurilor logistice**

Nodurile logistice sunt puncte în care fluxurile sunt concentrate, transferate, sortate, depozitate sau redistribuite. Ele includ depozite, terminale, centre de distribuție, platforme logistice, porturi, aeroporturi, gări și stații de transport public.

Amplasarea nodurilor logistice influențează distanțele parcurse, costurile, timpii de livrare și accesibilitatea. Un depozit amplasat aproape de clienți reduce distanța de distribuție, dar poate avea costuri mai mari de teren și acces dificil în zone urbane. Un depozit amplasat la periferie poate avea acces mai bun la infrastructura rutieră, dar poate crește distanța pentru ultimul kilometru.

În transportul de pasageri, amplasarea nodurilor influențează accesibilitatea serviciului. O stație amplasată departe de zonele de locuire sau de activități reduce atractivitatea transportului public. Un hub intermodal bine proiectat poate facilita transferul între tren, autobuz, bicicletă și mers pe jos.

2. Tehnologia și digitalizarea activităților logistice

Tehnologia a devenit unul dintre cei mai importanți factori de influență în logistică. Dacă infrastructura asigură suportul fizic al fluxurilor, tehnologia asigură vizibilitatea, coordonarea și optimizarea acestora. Sistemele moderne permit urmărirea vehiculelor, monitorizarea mărfurilor, planificarea rutelor, gestiunea stocurilor, comunicarea cu clienții și analiza performanței.

Digitalizarea nu înseamnă doar introducerea calculatoarelor în activitatea logistică. Ea presupune colectarea, integrarea și utilizarea datelor pentru luarea deciziilor. Un sistem logistic digitalizat poate anticipa întârzierile, poate modifica rutele, poate aloca vehicule, poate urmări temperatura mărfurilor și poate informa beneficiarii în timp real.

World Bank LPI 2.0 pune accent pe viteza și conectivitatea lanțurilor internaționale de aprovizionare pe baza datelor de urmărire, subliniind importanța conectivității, fiabilității și rezilienței lanțurilor logistice (World Bank, n.d.).

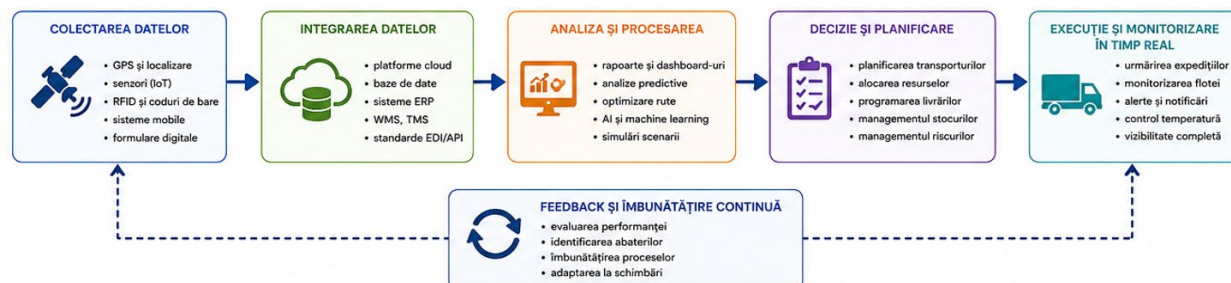


Figura 28 - Rolul tehnologiei în coordonarea logisticii

• Sisteme informatice utilizate în logistică

În activitatea logistică sunt utilizate mai multe categorii de sisteme informatice. Fiecare are un rol specific, dar valoarea lor reală apare atunci când sunt integrate.

Sistemele ERP integrează datele despre resursele organizației: comenzi, stocuri, producție, achiziții, facturare și resurse financiare. Sistemele WMS gestionează activitatea depozitelor: recepție, localizare produse, pregătire comenzi, inventar și expediție. Sistemele TMS sprijină planificarea transporturilor: alegerea rutelor, alocarea vehiculelor, urmărirea curselor și calculul costurilor. Sistemele GIS permit analiza spațială a rutelor, distanțelor, amplasamentelor și zonelor de deservire. Sistemele ITS contribuie la managementul traficului și la informarea utilizatorilor.

Tabelul 22 - Sisteme tehnologice utilizate în logistică

Sistem	Rol principal	Exemplu de utilizare
ERP	integrarea resurselor organizației	comenzi, stocuri, facturare
WMS	managementul depozitului	localizare produse, pregătire comenzi
TMS	managementul transportului	rutare, alocare vehicule, tracking
GIS	analiză spațială	amplasare depozit, analiză rute
ITS	managementul traficului	informare, control, prioritizare
IoT	colectare date prin senzori	temperatură, poziție, vibrații
RFID	identificare automată	urmărirea paleților sau coletelor

- **Monitorizarea în timp real**

Monitorizarea în timp real permite controlul operațiunilor logistice pe măsură ce acestea se desfășoară. Prin GPS, senzori, RFID, camere video, sisteme mobile și platforme digitale, operatorii pot urmări poziția vehiculelor, starea mărfurilor, timpii de livrare și eventualele abateri.

În transportul de mărfuri, monitorizarea este utilă pentru controlul livrărilor, reducerea întârzierilor, protecția mărfurilor și comunicarea cu beneficiarii. În transportul de pasageri, monitorizarea permite informarea călătorilor, estimarea timpilor de sosire, ajustarea frecvențelor și managementul incidentelor.

Monitorizarea nu are valoare doar prin colectarea datelor. Datele trebuie interpretate și transformate în decizii. Dacă un sistem semnalează o întârziere, operatorul trebuie să decidă dacă schimbă ruta, informează clientul, realocă vehiculul sau modifică programul.

- **Automatizarea și inteligența artificială**

Automatizarea reduce dependența de operații manuale repetitive și poate crește viteza, acuratețea și siguranța proceselor logistice. În depozite, automatizarea poate include benzi transportoare, sisteme de sortare, roboți mobili, scanere și soluții de picking automatizat. În terminale, automatizarea poate sprijini manipularea containerelor, controlul accesului și programarea operațiunilor.

Inteligența artificială poate fi utilizată pentru prognoza cererii, optimizarea rutelor, alocarea flotei, estimarea timpilor de sosire, detectarea anomaliilor și planificarea stocurilor. Totuși, utilizarea AI trebuie înțeleasă ca sprijin pentru decizie, nu ca înlocuire completă a judecății ingineresti. Modelele depind de calitatea datelor, de ipotezele utilizate și de modul în care rezultatele sunt interpretate.

În logistică, automatizarea și AI pot reduce costurile și pot crește performanța, dar introduc și vulnerabilități: dependență de sisteme digitale, nevoia de mentenanță specializată, riscuri cibernetice și dificultăți de adaptare a personalului.

3. Factorul uman în activitățile logistice

Deși logistica modernă este tot mai digitalizată, factorul uman rămâne esențial. Oamenii proiectează sistemele, iau decizii, conduc vehicule, operează echipamente, comunică cu clienții, intervin în situații neprevăzute și interpretează datele oferite de tehnologie.

Factorul uman influențează logistica prin competențe, experiență, comportament, comunicare, disciplină operațională, capacitate de adaptare și respectarea procedurilor. Erorile umane pot produce întârzieri, accidente, deteriorări, costuri suplimentare sau scăderea calității

serviciului. În același timp, personalul bine pregătit poate compensa limitele tehnologiei și poate gestiona situațiile neprevăzute.

În transportul de mărfuri, factorul uman include conducătorii auto, dispecerii, lucrătorii din depozite, operatorii de terminal, personalul de mentenanță și managerii de transport. În transportul de pasageri, se adaugă personalul de bord, controlorii, dispecerii de trafic, personalul de informare și personalul responsabil de siguranță.

- **Competența și instruirea personalului**

Competența personalului influențează direct siguranța, productivitatea și calitatea serviciului. Un conducător auto instruit poate reduce consumul de combustibil, poate evita accidentele și poate respecta procedurile de livrare. Un operator de depozit instruit poate reduce erorile de inventar și deteriorarea mărfurilor. Un dispecer bine pregătit poate gestiona întârzierile și poate comunica eficient cu beneficiarii.

Instruirea trebuie să includă nu doar aspecte tehnice, ci și siguranță, comunicare, utilizarea sistemelor informatice, proceduri de urgență, protecția mediului și relația cu clientul sau pasagerul.

- **Comunicarea**

Comunicarea este un factor critic în logistică. Activitățile logistice implică mulți actori: furnizori, producători, transportatori, depozite, terminale, clienți, autorități și utilizatori. Orice eroare de comunicare poate produce întârzieri, livrări greșite, documente incomplete sau costuri suplimentare.

Comunicarea eficientă presupune transmiterea informațiilor corecte, la timp, către persoanele potrivite. Sistemele digitale pot sprijini comunicarea, dar nu o pot înlocui complet. În situații neprevăzute, calitatea comunicării umane devine esențială.

- **Comportamentul și cultura organizațională**

Comportamentul personalului este influențat de cultura organizațională. O organizație care pune accent pe siguranță, responsabilitate și îmbunătățire continuă va avea mai multe șanse să reducă erorile și incidentele. În schimb, o cultură orientată exclusiv spre viteză sau cost minim poate favoriza decizii riscante.

În logistică, cultura organizațională se reflectă în respectarea procedurilor, raportarea incidentelor, întreținerea echipamentelor, comunicarea problemelor și orientarea către client. O cultură bună nu elimină toate riscurile, dar crește capacitatea sistemului de a preveni și corecta problemele.

4. Mediul și sustenabilitatea

Mediul influențează activitățile logistice în două sensuri. Pe de o parte, condițiile de mediu afectează funcționarea logisticii: fenomene meteorologice, temperaturi extreme, inundații, zăpadă, secetă, alunecări de teren sau restricții de mediu. Pe de altă parte, activitățile logistice afectează mediul prin emisii, consum de energie, zgomot, ocuparea spațiului și generarea de deșeuri.

În prezent, sustenabilitatea a devenit un criteriu esențial în proiectarea și evaluarea sistemelor logistice. Transporturile și logistica trebuie să răspundă nu doar criteriilor economice, ci și celor de mediu și sociale.

ITF Transport Outlook 2023 analizează impactul politicilor de transport asupra cererii globale de transport și asupra emisiilor de CO₂ până în 2050, acoperind atât transportul de pasageri, cât și transportul de marfă, pe toate modurile de transport (International Transport Forum, 2023).

- **Emisii și consum energetic**

Transportul este una dintre activitățile logistice cu impact important asupra mediului. Emisiile de CO₂, oxizi de azot, particule și zgomot depind de modul de transport, tipul vehiculului, combustibil, gradul de încărcare, stilul de conducere și condițiile de trafic.

Reducerea emisiilor poate fi realizată prin optimizarea rutelor, creșterea gradului de încărcare, reducerea curselor goale, utilizarea vehiculelor electrice, folosirea transportului feroviar sau naval acolo unde este eficient, consolidarea livrărilor și planificarea mai bună a depozitelor.

Pentru transportul de pasageri, reducerea impactului asupra mediului presupune creșterea atractivității transportului public, dezvoltarea mobilității active, integrarea modurilor de transport și reducerea dependenței de autoturismul personal.

- **Condiții meteorologice și schimbări climatice**

Condițiile meteorologice influențează direct activitățile logistice. Zăpada, poleiul, ceața, furtunile, inundațiile sau temperaturile extreme pot produce întârzieri, accidente, blocaje și deteriorarea mărfurilor. În cazul mărfurilor perisabile, temperatura și umiditatea sunt factori critici.

Schimbările climatice pot amplifica aceste riscuri prin creșterea frecvenței și intensității fenomenelor extreme. De aceea, sistemele logistice trebuie să devină mai reziliente, prin rute alternative, planuri de urgență, infrastructură adaptată și monitorizare în timp real.

- **Reglementări de mediu**

Reglementările de mediu influențează tot mai mult deciziile logistice. Zonele cu emisii reduse, restricțiile de acces pentru vehicule poluante, normele privind zgomotul, cerințele de raportare a emisiilor și politicile de decarbonizare obligă operatorii să își adapteze flotele, rutele și procesele.

Aceste reglementări pot fi privite ca o constrângere, dar și ca o oportunitate. Organizațiile care investesc în logistică verde, vehicule eficiente, planificare inteligentă și intermodalitate pot reduce costurile pe termen lung și pot obține un avantaj competitiv.

5. Cererea, piața și comportamentul utilizatorilor

Cererea este unul dintre cei mai importanți factori care influențează activitățile logistice. Volumul, structura, localizarea și variația cererii determină dimensiunea flotei, amplasarea depozitelor, frecvența livrărilor, capacitatea terminalelor și modul de organizare a transportului.

În transportul de mărfuri, cererea este influențată de producție, comerț, sezonabilitate, prețuri, comerț electronic și comportamentul consumatorilor. În transportul de pasageri, cererea este influențată de programul de lucru, școală, evenimente, densitatea urbană, veniturile populației, preferințele de mobilitate și calitatea serviciului.

- **Sezonalitatea**

Sezonalitatea produce variații ale cererii în anumite perioade ale anului. În comerț, cererea crește înaintea sărbătorilor, în perioadele de reduceri sau în sezonul turistic. În transportul de pasageri, variațiile apar în timpul vacanțelor, sezonului de schi, sezonului estival, evenimentelor sportive sau începutului de an școlar.

Sistemele logistice trebuie să fie suficient de flexibile pentru a răspunde acestor variații. Măsurile pot include capacitate temporară suplimentară, personal sezonier, stocuri de siguranță, extinderea programului de lucru, rute suplimentare sau parteneriate cu alți operatori.

- **Așteptările clienților și pasagerilor**

Așteptările utilizatorilor au crescut semnificativ. Clienții doresc livrări rapide, informații în timp real, flexibilitate, costuri mici și posibilitatea de a modifica opțiunile de livrare. Pasagerii doresc punctualitate, frecvență bună, confort, siguranță, accesibilitate și informare clară.

Aceste așteptări determină operatorii să își îmbunătățească sistemele de planificare, comunicare și monitorizare. În același timp, ele cresc presiunea asupra costurilor și a infrastructurii.

6. Organizarea și managementul proceselor logistice

Organizarea internă influențează puternic performanța logistică. Procesele logistice trebuie definite clar: cine planifică, cine execută, cine monitorizează, cine comunică, cine răspunde în caz de incident și cum sunt evaluate rezultatele.

Un proces logistic slab organizat produce erori chiar și atunci când infrastructura și tehnologia sunt bune. De exemplu, un sistem TMS performant nu ajută dacă datele introduse sunt greșite. Un depozit modern nu este eficient dacă fluxurile interne sunt prost organizate. O flotă suficientă nu asigură punctualitatea dacă dispeceratul nu coordonează corect cursele.

Managementul proceselor logistice include standardizarea operațiunilor, stabilirea responsabilităților, monitorizarea indicatorilor, analiza abaterilor și îmbunătățirea continuă.

- **Colaborarea între actori**

Logistica implică mai mulți actori: furnizori, transportatori, depozite, operatori logistici, clienți, autorități și utilizatori. Colaborarea dintre aceștia este esențială pentru reducerea timpilor, costurilor și incertitudinii.

Lipsa colaborării poate produce întârzieri, informații contradictorii, documente incomplete și utilizarea inefficientă a resurselor. Colaborarea bună permite sincronizarea livrărilor, utilizarea capacității disponibile, reducerea curselor goale și creșterea nivelului serviciului.

- **Indicatori de performanță**

Pentru a gestiona activitățile logistice, organizațiile trebuie să măsoare performanța. Indicatorii ajută la identificarea problemelor și la evaluarea măsurilor aplicate.

Tabelul 23 - Indicatori utilizați în evaluarea activităților logistice

Factor analizat	Indicator posibil	Semnificație
Infrastructură	timp mediu de tranzit	calitatea conexiunilor
Transport	cost pe km / tonă-km / pasager-km	eficiență economică
Serviciu	livrări la timp / punctualitate	fiabilitate
Tehnologie	disponibilitate sistem IT	continuitate operațională
Depozitare	acuratețe inventar	controlul stocurilor
Mediu	emisii CO ₂ / livrare	impact de mediu
Factor uman	incidente / ore lucrate	siguranță și disciplină operațională

7. Interdependența factorilor

Factorii care influențează activitățile logistice nu acționează separat. Ei se influențează reciproc. Infrastructura slabă poate crește nevoia de tehnologie pentru monitorizare și rerutare. Tehnologia avansată necesită personal instruit. Cererea variabilă impune organizare flexibilă. Reglementările de mediu pot schimba tipul de vehicule și modul de planificare a rutelor.

Această interdependență explică de ce logistica trebuie analizată sistemic. O decizie luată asupra unui factor poate produce efecte asupra întregului sistem. De exemplu, alegerea unui depozit mai ieftin, dar mai îndepărtat de clienți, poate crește costurile de transport și emisiile. Implementarea unui sistem digital fără instruirea personalului poate produce erori și rezistență la schimbare. Creșterea frecvenței livrărilor poate îmbunătăți serviciul, dar poate crește costurile și traficul urban.

Tabelul 24 - Exemple de interdependențe între factori

Decizie logistică	Factor influențat direct	Efecte indirecte
Amplasarea unui depozit periferic	infrastructură, cost teren	creșterea distanțelor de livrare
Introducerea unui TMS	tehnologie	nevoie de instruire, date corecte
Creșterea frecvenței livrărilor	nivel de serviciu	costuri, trafic, emisii
Electrificarea flotei	mediu, tehnologie	nevoie de infrastructură de încărcare
Extinderea programului de lucru	organizare	costuri cu personalul, flexibilitate
Rute alternative	infrastructură, risc	reducerea întârzierilor, costuri variabile

8. Exemplu aplicativ

Se consideră o firmă care distribuie produse alimentare către magazine dintr-o zonă metropolitană. Firma are un depozit regional, o flotă de autoutilitare și un sistem simplu de planificare a comenzilor. În ultima perioadă apar frecvent întârzieri, costuri mai mari și reclamații de la clienți.

Analiza factorilor arată următoarele:

- infrastructura rutieră este aglomerată în orele de vârf;
- depozitul este amplasat la periferie, dar accesul la centură este dificil;
- sistemul informatic nu oferă estimări în timp real;

- conducătorii auto aleg rutele pe baza experienței personale;
- comenzile au variații mari între zile;
- clienții solicită ferestre de livrare mai scurte;
- firma nu monitorizează emisiile sau consumul pe rută.

În această situație, îmbunătățirea sistemului nu se poate face printr-o singură măsură. Este necesară o abordare integrată: analizarea rutelor, introducerea unui sistem de monitorizare, ajustarea ferestrelor de livrare, instruirea conducătorilor auto, consolidarea comenzilor și evaluarea posibilității de utilizare a vehiculelor cu emisii reduse.

Tabelul 25 - Analiza factorilor într-un caz logistic

Factor	Problemă identificată	Măsură posibilă
Infrastructură	congestie pe traseele principale	rute alternative, ore decalate
Tehnologie	lipsă monitorizare în timp real	TMS / GPS / ETA
Factor uman	rute alese individual	instruire și proceduri comune
Cerere	variații mari ale comenzilor	prognoză și planificare flexibilă
Mediu	consum ridicat	optimizare rute, vehicule eficiente
Organizare	ferestre de livrare nerealiste	renegociere și planificare pe zone

9. Concluzii

Activitățile logistice sunt influențate de un ansamblu de factori tehnici, economici, organizaționali, umani și de mediu. Infrastructura asigură suportul fizic al fluxurilor, tehnologia oferă vizibilitate și sprijin decizional, oamenii execută și adaptează procesele, iar mediul și reglementările impun constrângeri și obiective noi.

Performanța logistică nu poate fi explicată printr-un singur factor. Un sistem logistic eficient este rezultatul unei bune corelări între infrastructură, vehicule, depozite, terminale, sisteme informatice, personal, cerere și politici de mediu.

Infrastructura influențează capacitatea, conectivitatea și fiabilitatea sistemului. Tehnologia permite monitorizare, analiză și optimizare. Factorul uman rămâne decisiv prin competență, comunicare și capacitatea de a gestiona situațiile neprevăzute. Mediul și sustenabilitatea devin criterii obligatorii în proiectarea și evaluarea activităților logistice.

Într-o abordare modernă, logistica trebuie analizată sistemic. Deciziile privind rutele, depozitele, flotele, tehnologiile sau procedurile trebuie evaluate nu doar prin costul direct, ci și prin efectele asupra timpului, calității serviciului, siguranței, emisiilor și rezilienței.

10. Bibliografie

- Arvis, J.-F., Ojala, L., Shepherd, B., Ulybina, D., & Wiederer, C. (2023). *Connecting to Compete 2023: Trade logistics in an uncertain global economy*. World Bank.
- International Transport Forum. (2023). *ITF transport outlook 2023*. OECD Publishing.
- MIT OpenCourseWare. (2006). *Logistics systems (ESD.260J / 1.260J / 15.770J)*. Massachusetts Institute of Technology.
- Rodrigue, J.-P. (2024). *The geography of transport systems* (6th ed.). Routledge.
- World Bank. (n.d.). *Logistics Performance Index 2.0*.

CURS 11

Stocuri, depozitare și relația dintre logistică și producție/distribuție

Obiectivele cursului

La finalul acestui curs, studentul trebuie să fie capabil să:

- explice rolul stocurilor și depozitării în sistemul logistic;
- identifice principalele tipuri de stocuri și funcțiile depozitelor;
- analizeze relația dintre stocuri, transport, producție și distribuție;
- înțeleagă compromisurile dintre costuri, nivelul stocurilor și calitatea serviciului;
- aplice metode simple de management al stocurilor și depozitării.

Introducere

Stocurile și depozitarea reprezintă două componente esențiale ale logisticii. Dacă transportul asigură deplasarea mărfurilor între puncte de origine și destinație, stocurile și depozitele permit reglarea fluxurilor în timp și spațiu. Ele creează o legătură între producție, aprovizionare, distribuție și consum.

Într-un sistem ideal, bunurile ar fi produse exact în momentul în care sunt cerute, în cantitatea necesară și transportate imediat către client. În realitate, cererea este variabilă, producția are ritmuri proprii, transportul poate întârzia, furnizorii pot avea limitări, iar clienții solicită disponibilitate ridicată. Din acest motiv, stocurile apar ca o formă de protecție împotriva incertitudinii.

Stocurile permit continuitatea activității. O firmă care nu are stocuri suficiente poate pierde comenzi sau poate întrerupe producția. În același timp, stocurile excesive blochează capital, ocupă spațiu, generează costuri de depozitare și pot conduce la pierderi prin expirare, deteriorare sau învechire. De aceea, managementul stocurilor nu urmărește eliminarea completă a stocurilor, ci dimensionarea lor la un nivel care asigură echilibrul între cost și nivelul serviciului.

Depozitarea are rolul de a susține această funcție. Depozitele nu sunt doar spații în care mărfurile sunt păstrate, ci noduri logistice în care au loc recepția, verificarea, sortarea, consolidarea, pregătirea comenzilor, ambalarea, etichetarea, manipularea și expedierea. În logistica modernă, depozitele și centrele de distribuție sunt integrate cu sistemele informatice, cu transportul și cu cererea pieței.

În literatura de specialitate, logistica este tratată ca activitate integratoare între aprovizionare, producție, depozitare, transport și distribuție. Managementul lanțului de aprovizionare urmărește coordonarea acestor activități astfel încât cererea clientului să fie satisfăcută eficient, cu un nivel adecvat al serviciului și cu un cost total minim (Chopra & Meindl, 2016).

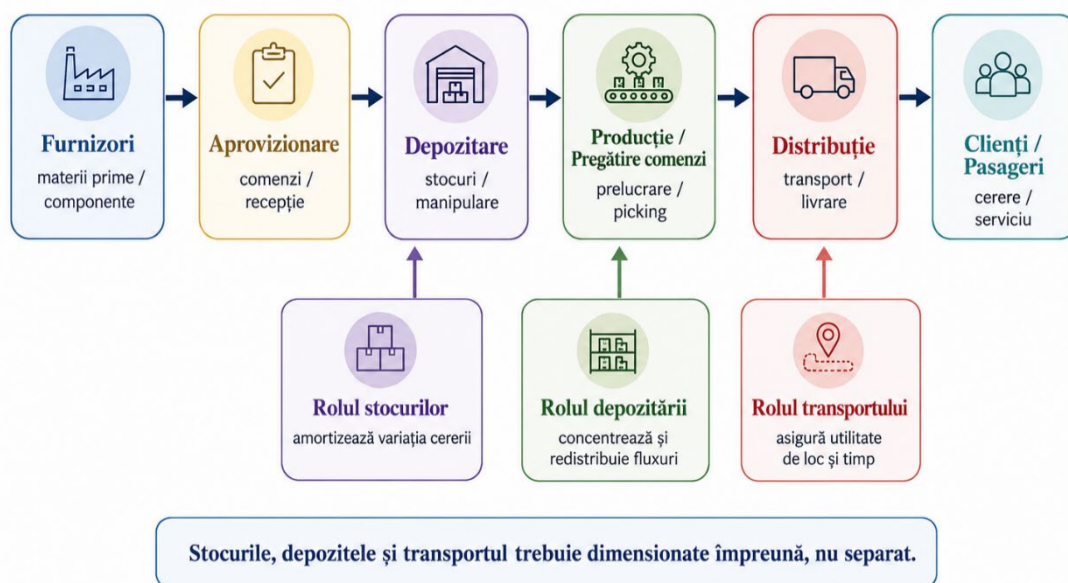


Figura 29 - Relația dintre stocuri, depozitare și fluxuri logistice

1. Rolul stocurilor în logistică

Stocurile reprezintă cantități de bunuri păstrate temporar într-un punct al sistemului logistic, cu scopul de a asigura continuitatea fluxurilor și satisfacerea cererii. Ele pot fi materii prime, componente, produse în curs de fabricație, produse finite, piese de schimb, ambalaje, combustibili, materiale auxiliare sau bunuri aflate în tranzit.

Rolul principal al stocurilor este de a decupla ritmurile diferite ale activităților logistice. Furnizorii livrează într-un anumit ritm, producția funcționează într-un alt ritm, iar clienții solicită produse într-un ritm diferit. Stocurile permit ca aceste ritmuri să fie armonizate. Fără stocuri, orice întârziere a furnizorului sau variație a cererii ar produce imediat întreruperi în sistem.

Într-un lanț logistic, stocurile pot fi privite ca un tampon între incertitudine și continuitatea serviciului. Ele reduc riscul de lipsă, dar generează costuri. Această dublă natură explică de ce managementul stocurilor este una dintre cele mai importante decizii logistice.

Stocurile reprezintă o componentă majoră a costurilor logistice și deciziile privind nivelul stocurilor trebuie corelate cu transportul, depozitarea, procesarea comenzilor și nivelul serviciului oferit clientului (Ballou, 2004).

- **Funcțiile stocurilor**

Stocurile îndeplinesc mai multe funcții în sistemul logistic.

Prima funcție este asigurarea disponibilității produselor. Clienții așteaptă ca produsele să fie disponibile atunci când au nevoie de ele. Dacă produsul lipsește, organizația poate pierde vânzarea, poate afecta relația cu clientul sau poate genera întârzieri în producție.

A doua funcție este protecția împotriva incertitudinii. Cererea poate varia, transportul poate întârzia, furnizorii pot livra incomplet, iar producția poate avea întreruperi. Stocul de siguranță reduce impactul acestor variații.

A treia funcție este eficientizarea transportului și producției. Uneori, transportul în cantități mai mari reduce costul unitar, iar producția în loturi mai mari poate fi mai eficientă. În aceste situații, apar stocuri între producție și consum.

A patra funcție este susținerea sezonității. Unele produse sunt cerute mai mult în anumite perioade ale anului, iar organizațiile pot construi stocuri înainte de sezon pentru a evita lipsurile.

A cincea funcție este protecția împotriva variațiilor de preț sau a riscurilor de aprovizionare. Unele firme constituie stocuri atunci când anticipează creșteri de preț, lipsuri pe piață sau întârzieri ale furnizorilor.

- **Avantaje și dezavantaje ale stocurilor**

Stocurile oferă avantaje importante, dar au și dezavantaje. De aceea, ele trebuie gestionate printr-o abordare echilibrată.

Tabelul 26 - Avantaje și dezavantaje ale stocurilor

Aspect	Avantaje	Dezavantaje
Disponibilitate	permit satisfacerea rapidă a cererii	pot conduce la suprastocare
Producție	reduc riscul de întrerupere	blochează capital
Transport	permit loturi mai mari și costuri unitare mai mici	cresc necesarul de depozitare
Serviciu	cresc nivelul serviciului către client	pot ascunde probleme de planificare
Siguranță	protejează împotriva incertitudinii	pot expira, deteriora sau deveni depășite
Flexibilitate	permit răspuns rapid la variații de cerere	reduc lichiditatea financiară

Stocurile excesive pot crea impresia de siguranță, dar pot masca probleme structurale: prognoză slabă, furnizori nesiguri, procese lente, transporturi nefiabile sau lipsă de coordonare între departamente. Din acest motiv, obiectivul nu este stocul maxim, ci stocul adecvat.

2. Tipuri de stocuri

Stocurile pot fi clasificate în funcție de rolul lor în sistemul logistic. Această clasificare ajută la înțelegerea modului în care fiecare tip de stoc influențează costurile, riscurile și nivelul serviciului.

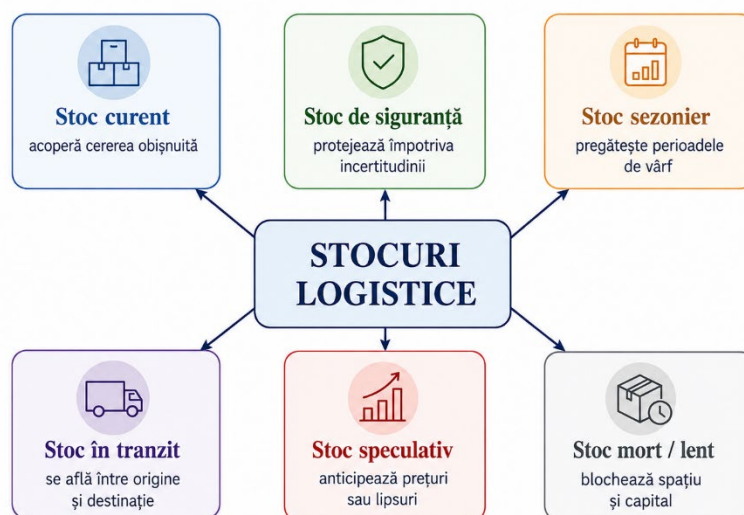


Figura 30 - Tipuri de stocuri și rolul lor în sistemul logistic

- **Stocul curent**

Stocul curent este stocul utilizat pentru satisfacerea cererii obișnuite dintre două aprovizionări succesive. El apare deoarece aprovizionarea se face în loturi, iar consumul are loc treptat.

De exemplu, un depozit primește produse o dată pe săptămână și le livrează zilnic către clienți. Cantitatea disponibilă scade treptat până la următoarea reprovizionare. Acest stoc este normal și necesar pentru funcționarea sistemului.

Dimensiunea stocului curent este influențată de mărimea lotului de aprovizionare, frecvența livrărilor, ritmul consumului și costurile de transport.

- **Stocul de siguranță**

Stocul de siguranță este cantitatea suplimentară păstrată pentru a proteja sistemul împotriva incertitudinii. El este utilizat atunci când cererea este mai mare decât cea prognozată sau când reprovizionarea întârzie.

Stocul de siguranță este important mai ales în cazul produselor cu cerere variabilă, al furnizorilor nesiguri, al transporturilor pe distanțe lungi sau al bunurilor critice pentru producție. Totuși, un stoc de siguranță prea mare crește costurile de depozitare și blochează capital.

Nivelul stocului de siguranță depinde de incertitudinea cererii, incertitudinea aprovizionării și nivelul serviciului dorit (Chopra & Meindl, 2016).

- **Stocul sezonier**

Stocul sezonier este constituit pentru a răspunde unor variații previzibile ale cererii. De exemplu, produsele pentru iarnă, echipamentele turistice, materialele pentru sărbători sau anumite alimente pot avea cerere ridicată în perioade specifice.

În transporturi și logistică, sezonalitatea influențează atât stocurile, cât și capacitatea de transport. Dacă o firmă anticipează o creștere a cererii, poate construi stocuri înainte de perioada de vârf pentru a reduce presiunea asupra transportului și producției.

- **Stocul în tranzit**

Stocul în tranzit reprezintă marfa aflată în deplasare între două puncte ale lanțului logistic. Deși nu se află fizic într-un depozit, ea reprezintă tot o formă de stoc, deoarece capitalul este blocat până la ajungerea la destinație.

Durata transportului influențează nivelul stocului în tranzit. Cu cât timpul de transport este mai mare, cu atât cantitatea de marfă aflată simultan în tranzit poate fi mai mare. De aceea, transportul rapid poate reduce stocurile în tranzit, dar poate avea costuri mai ridicate.

- **Stocul speculativ**

Stocul speculativ este constituit atunci când organizația anticipează creșteri de preț, lipsuri de aprovizionare sau modificări ale condițiilor pieței. De exemplu, o firmă poate cumpăra o cantitate mai mare de combustibil, materii prime sau componente dacă se așteaptă la scumpiri sau la blocaje în aprovizionare.

Acest tip de stoc poate aduce avantaje, dar are și riscuri. Dacă estimarea pieței este greșită, organizația poate rămâne cu stocuri mari și costuri ridicate.

- **Stocul mort sau cu mișcare lentă**

Stocul mort este format din produse care nu se mai vând, nu mai sunt utilizate sau au devenit depășite. Stocul cu mișcare lentă este format din produse care se consumă foarte rar. Aceste stocuri ocupă spațiu, blochează capital și pot produce pierderi.

Managementul acestor stocuri presupune identificare periodică, reducere prin promoții, relocare, reciclare sau eliminare controlată.

3. Costurile asociate stocurilor

Stocurile generează mai multe categorii de costuri. Pentru a lua decizii corecte, acestea trebuie analizate împreună.

Tabelul 27 - Categoriile de costuri asociate stocurilor

Categoria de cost	Explicație	Exemplu
Cost de achiziție	costul bunurilor cumpărate	prețul produselor sau materiilor prime
Cost de comandă	costul lansării și procesării comenzilor	documente, personal, comunicare
Cost de stocare	costul păstrării produselor	chirie, energie, echipamente
Cost de capital	bani blocați în stocuri	pierderea altor oportunități
Cost de risc	pierderi prin deteriorare, expirare, furt	produse perisabile, stocuri depășite
Cost de lipsă	pierderi când produsul nu este disponibil	comenzi pierdute, oprirea producției

Un nivel mare al stocurilor reduce riscul de lipsă, dar crește costurile de stocare. Un nivel mic al stocurilor reduce costurile de depozitare, dar crește riscul de întrerupere. Managementul stocurilor caută echilibrul dintre aceste categorii de costuri.

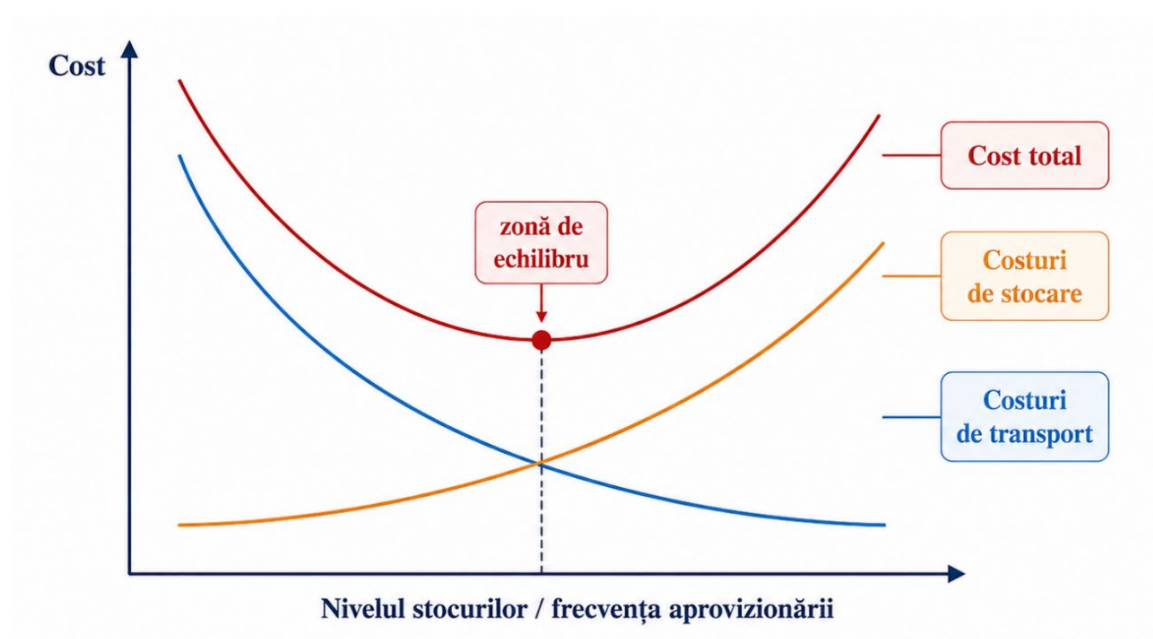


Figura 31 - Relația dintre costurile de stocare, transport și costul total

4. Relația dintre stocuri și transport

Stocurile și transportul sunt interdependente. O decizie privind transportul influențează nivelul stocurilor, iar o decizie privind stocurile influențează transportul.

Livrările frecvente, în cantități mici, pot reduce nivelul stocurilor, dar cresc numărul de transporturi și costurile asociate. Livrările rare, în cantități mari, pot reduce costul de transport pe unitate, dar cresc stocurile și necesarul de depozitare.

Această relație este una dintre cele mai importante în logistică. Decizia optimă nu este neapărat cea care minimizează costul transportului sau costul stocării separat, ci cea care minimizează costul total al sistemului și menține nivelul serviciului dorit.

MIT Logistics Systems tratează transportul, stocurile și proiectarea rețelelor ca probleme interdependente în managementul sistemelor logistice, subliniind importanța costului total și a performanței întregului lanț (MIT OpenCourseWare, 2006).

Exemplu: livrări frecvente versus livrări consolidate

O firmă poate alege să livreze zilnic cantități mici către magazine sau să livreze de două ori pe săptămână cantități mai mari. Livrarea zilnică reduce stocul din magazin, permite produse mai proaspete și crește flexibilitatea, dar implică mai multe curse și costuri de transport mai mari.

Livrarea consolidată reduce numărul de curse și poate reduce costul de transport pe unitate, dar necesită spațiu mai mare de depozitare la magazin și crește riscul de stocuri nevândute.

Tabelul 28 - Comparație între livrări frecvente și livrări consolidate

Criteriu	Livrări frecvente	Livrări consolidate
Nivelul stocurilor	mai mic	mai mare
Cost transport	mai mare	mai mic pe unitate
Flexibilitate	ridicată	mai redusă
Necesar spațiu depozitare	redus	ridicat
Risc de lipsă	redus	depinde de prognoză
Impact asupra traficului	mai multe curse	mai puține curse

5. Depozitarea în sistemele logistice

Depozitarea reprezintă activitatea prin care bunurile sunt păstrate temporar într-un spațiu organizat, înainte de utilizare, prelucrare sau distribuție. În logistica modernă, depozitul nu este doar un spațiu pasiv, ci un nod activ al rețelei logistice.

Depozitul primește mărfuri, le verifică, le înregistrează, le stocază, le sortează, le pregătește pentru livrare și le expediază. În unele cazuri, depozitul poate realiza și activități suplimentare: ambalare, etichetare, asamblare ușoară, personalizare sau returnare.

Depozitele moderne sunt esențiale pentru performanța lanțului de aprovizionare, deoarece influențează viteza de procesare a comenzilor, acuratețea inventarului și nivelul serviciului (Richards, 2018).

- **Funcțiile depozitului**

Depozitele îndeplinesc mai multe funcții logistice.

Prima funcție este recepția mărfurilor. Aceasta include descărcarea, verificarea documentelor, controlul cantitativ și calitativ și înregistrarea produselor în sistem.

A doua funcție este stocarea. Produsele sunt amplasate în zone de depozitare în funcție de caracteristici, frecvență de utilizare, dimensiune, temperatură, compatibilitate și reguli de siguranță.

A treia funcție este pregătirea comenzilor. Aceasta include picking, sortare, ambalare, etichetare și verificare.

A patra funcție este expedierea. Produsele sunt grupate pe destinații, încărcate în vehicule și însoțite de documentele necesare.

A cincea funcție este gestionarea retururilor. În comerțul electronic și distribuția modernă, retururile au devenit o componentă importantă a logisticii.

Tabelul 29 - Funcțiile principale ale depozitului

Funcție	Activități specifice	Impact logistic
Recepție	descărcare, verificare, înregistrare	acuratețe și control
Stocare	amplasare, păstrare, protecție	disponibilitate produse
Picking	selectarea produselor pentru comandă	rapiditate și acuratețe
Ambalare	protecție, etichetare, consolidare	siguranță la transport
Expediere	încărcare, documente, planificare	respectarea termenelor
Retururi	recepție retur, verificare, reintegrare	recuperare valoare

- **Tipuri de depozite**

Depozitele pot fi clasificate în funcție de rol, localizare, tipul produselor sau nivelul de automatizare.

Depozitele de aprovizionare sunt utilizate pentru materii prime și componente necesare producției. Depozitele de produse finite păstrează bunurile până la livrarea către clienți. Centrele de distribuție au rolul de a primi produse din mai multe surse și de a le redistribui rapid către

destinații. Depozitele frigorifice sunt specializate pentru produse care necesită temperatură controlată. Depozitele pentru mărfuri periculoase trebuie să respecte cerințe speciale de siguranță.

Tabelul 30 - Tipuri de depozite

Tip de depozit	Rol	Exemple
Depozit de aprovizionare	susține producția	materii prime, componente
Depozit de produse finite	păstrează produsele pentru livrare	bunuri pregătite pentru distribuție
Centru de distribuție	redistribuie rapid fluxurile	retail, e-commerce
Depozit frigorific	păstrează temperatura controlată	alimente, medicamente
Depozit pentru mărfuri periculoase	asigură condiții speciale	substanțe chimice, inflamabile
Depozit automatizat	utilizează sisteme mecanizate și digitale	e-commerce, industrie

6. Centre de distribuție și cross-docking

Centrele de distribuție sunt noduri logistice orientate mai mult spre flux decât spre stocare. Spre deosebire de depozitele clasice, unde bunurile pot fi păstrate perioade mai lungi, centrele de distribuție urmăresc recepția rapidă, sortarea și expedierea către destinații.

Cross-docking-ul este o metodă prin care mărfurile primite sunt transferate rapid către vehiculele de livrare, cu timp minim sau fără stocare. Această metodă reduce necesarul de spațiu, scurtează timpul de procesare și poate reduce costurile, dar necesită coordonare foarte bună între furnizori, transportatori și beneficiari. Depozitarea și distribuția trebuie analizate ca părți ale unui sistem logistic integrat, în care deciziile privind amplasarea, stocarea și manipularea influențează transportul și serviciul către client (Rushton et al., 2017).

Tabelul 31 - Depozitare clasică versus cross-docking

Criteriu	Depozitare clasică	Cross-docking
Timp de păstrare	mediu sau lung	foarte scurt
Rol principal	stocare	transfer rapid
Necesar spațiu	ridicat	mai redus
Cerință de coordonare	medie	foarte ridicată
Potrivit pentru	cerere variabilă, stocuri necesare	fluxuri rapide și previzibile
Risc principal	suprastocare	nesincronizare transporturi

7. Relația dintre logistică și producție

Logistica și producția sunt strâns legate. Producția are nevoie de materii prime, componente, materiale auxiliare și echipamente la momentul potrivit. Dacă aprovizionarea întârzie, producția poate fi întreruptă. Dacă materialele ajung prea devreme sau în cantități prea mari, apar costuri de stocare și aglomerare a spațiilor.

Sistemele moderne de producție urmăresc reducerea stocurilor și creșterea flexibilității. Concepte precum Just-in-Time au fost dezvoltate pentru a reduce stocurile și pentru a livra materialele exact atunci când sunt necesare. Totuși, aceste sisteme depind de furnizori fiabili, transporturi stabile și informații corecte. Logistica are rolul de a asigura fluxul materialelor prin organizație și către clienți, iar coordonarea dintre aprovizionare, producție și distribuție este esențială pentru eficiență (Waters, 2003).

- **Just-in-Time și riscul de vulnerabilitate**

Just-in-Time poate reduce stocurile și costurile de depozitare, dar crește dependența de transport și de furnizori. Dacă un transport întârzie, dacă apare o problemă la furnizor sau dacă infrastructura este blocată, producția poate fi afectată rapid.

Prin urmare, sistemele cu stocuri reduse trebuie să fie susținute de monitorizare, furnizori fiabili, rute alternative și planuri de continuitate. Eficiența nu trebuie obținută prin eliminarea completă a rezervelor, ci prin dimensionarea inteligentă a acestora.

8. Relația dintre logistică și distribuție

Distribuția reprezintă ansamblul activităților prin care produsele ajung de la organizație la clienți sau utilizatori. Ea include pregătirea comenzilor, transportul, livrarea, comunicarea cu beneficiarii și gestionarea retururilor.

Stocurile influențează direct distribuția. Dacă produsele sunt disponibile în apropierea clienților, livrarea poate fi rapidă. Dacă produsele sunt centralizate într-un singur depozit, costurile de stocare pot fi mai mici, dar distanțele de livrare pot crește. Astfel apare o decizie importantă: centralizarea sau descentralizarea stocurilor.

- **Centralizarea și descentralizarea stocurilor**

Centralizarea stocurilor presupune păstrarea produselor într-un număr redus de depozite. Această strategie poate reduce costurile de stocare și poate îmbunătăți controlul inventarului, dar poate crește distanțele și timpii de livrare.

Descentralizarea presupune păstrarea produselor în mai multe depozite apropiate de clienți. Această strategie poate reduce timpul de livrare și poate crește nivelul serviciului, dar crește costurile de stocare și complexitatea managementului.

Tabelul 32 - Centralizare versus descentralizare

Criteriu	Stocuri centralizate	Stocuri descentralizate
Număr depozite	reduc	ridicat
Cost stocare	mai mic	mai mare
Control inventar	mai simplu	mai complex
Timp de livrare	posibil mai mare	mai mic
Apropiere de client	reduc	ridicată
Flexibilitate locală	mai mică	mai mare

9. Managementul stocurilor

Managementul stocurilor urmărește stabilirea cantităților care trebuie comandate, momentul lansării comenzilor, nivelul stocului de siguranță și modul de urmărire a produselor. Obiectivul este asigurarea disponibilității produselor cu un cost total acceptabil. Printre metodele utilizate se numără analiza ABC, punctul de reprovizionare, cantitatea economică de comandă și monitorizarea indicatorilor de performanță.

- **Analiza ABC**

Analiza ABC clasifică produsele în funcție de importanța lor economică. Produsele A au valoare mare sau impact important și necesită control strict. Produsele B au importanță medie. Produsele C au valoare redusă și pot fi gestionate mai simplu. Această metodă permite concentrarea efortului managerial asupra produselor cu impact ridicat. Nu toate articolele din stoc trebuie controlate cu aceeași intensitate.

Tabelul 33 - Analiza ABC

Categoria	Caracteristici	Nivel de control
A	valoare mare, impact ridicat	control strict
B	valoare medie	control periodic
C	valoare redusă, multe articole	control simplificat

- **Punctul de reprovizionare**

Punctul de reprovizionare indică nivelul stocului la care trebuie lansată o nouă comandă. El depinde de cererea medie, timpul de reprovizionare și stocul de siguranță. Formula simplificată este:

$$\text{Punct de reprovizionare} = \text{Cerere în timpul de reprovizionare} + \text{Stoc de siguranță}$$

Dacă o firmă consumă în medie 20 de unități pe zi, iar timpul de reprovizionare este de 5 zile, cererea în timpul de reprovizionare este de 100 de unități. Dacă stocul de siguranță este de 30 de unități, punctul de reprovizionare este 130 de unități.

- **Cantitatea economică de comandă**

Cantitatea economică de comandă, cunoscută ca EOQ, urmărește stabilirea unei cantități de comandă care echilibrează costurile de comandă și costurile de stocare. Dacă se comandă foarte des cantități mici, costurile de comandă cresc. Dacă se comandă rar cantități mari, costurile de stocare cresc. Modelul EOQ este simplificat și se bazează pe ipoteze care nu sunt întotdeauna valabile în practică, dar este util pentru înțelegerea compromisului dintre comandă și stocare (Harris, 1913).

10. Indicatori utilizați în managementul stocurilor și depozitării

Măsurarea performanței este necesară pentru controlul activităților de stocare și depozitare. Indicatorii ajută la identificarea problemelor, compararea perioadelor și evaluarea eficienței măsurilor aplicate.

Tabelul 34 - Indicatori pentru stocuri și depozitare

Indicator	Semnificație	Interpretare
Rotația stocurilor	cât de repede se consumă stocurile	rotație mare indică utilizare eficientă
Nivelul serviciului	procentul cererilor satisfăcute	arată disponibilitatea produselor
Acuratețea inventarului	concordanța dintre sistem și realitate	importantă pentru decizii corecte
Timp de pregătire comandă	durata de la comandă la expediere	influențează livrarea
Grad de ocupare depozit	spațiu utilizat din total	indică eficiența folosirii spațiului
Produse deteriorate	procent de produse afectate	indică probleme de manipulare
Cost de depozitare/unitate	costul păstrării produsului	ajută la analiza eficienței

11. Exemplu aplicativ

Se consideră o firmă care distribuie piese auto către service-uri dintr-o regiune. Firma are un depozit central și livrează zilnic către clienți. Unele piese sunt cerute frecvent, altele foarte rar. În ultima perioadă apar două probleme: lipsuri pentru anumite piese importante și stocuri mari pentru produse care se vând greu.

Analiza arată că toate produsele sunt gestionate la fel, fără clasificare după importanță. Comenzile sunt lansate pe baza experienței personalului, nu pe baza unui punct de reprovizionare. Depozitul are spațiu ocupat de articole cu mișcare lentă, iar piesele critice nu au stoc de siguranță suficient.

O soluție posibilă este aplicarea analizei ABC. Piesele A, cu valoare sau importanță ridicată, trebuie monitorizate strict, cu punct de reprovizionare clar și stoc de siguranță. Piesele B pot fi gestionate prin control periodic. Piesele C pot avea reguli simplificate, iar stocurile moarte trebuie reduse.

Tabelul 35 - Măsuri propuse în exemplul aplicativ

Problemă	Cauză posibilă	Măsură propusă
Lipsă piese critice	stoc de siguranță insuficient	stabilire punct reprovizionare
Stocuri mari pentru piese rare	lipsă analiză ABC	reducere stocuri C și produse lente
Spațiu ocupat ineficient	produse cu rotație mică	reorganizare depozit
Întârzieri la pregătirea comenzilor	amplasare necorespunzătoare	produse A aproape de zona de picking
Date incorecte în sistem	inventar neactualizat	verificări periodice și scanare

12. Concluzii

Stocurile și depozitarea au un rol esențial în activitatea logistică. Ele permit continuitatea fluxurilor, protejează sistemul împotriva incertitudinii și susțin nivelul serviciului oferit clienților. În același timp, ele generează costuri și pot reduce eficiența dacă nu sunt gestionate corect.

Stocurile trebuie analizate în relație cu transportul, producția și distribuția. Livrările frecvente pot reduce stocurile, dar pot crește costurile de transport. Livrările consolidate pot reduce costurile de transport, dar pot crește necesarul de depozitare. Alegerea corectă depinde de costul total și de nivelul serviciului urmărit.

Depozitele moderne sunt noduri active ale sistemului logistic. Ele nu au doar rol de păstrare, ci și de recepție, sortare, pregătire a comenzilor, ambalare, expediere și gestionare a retururilor. Centrele de distribuție și cross-docking-ul arată trecerea de la depozitarea pasivă la managementul rapid al fluxurilor.

Managementul stocurilor presupune utilizarea unor metode precum analiza ABC, punctul de reprovizionare, stocul de siguranță și cantitatea economică de comandă. Aceste metode trebuie adaptate la realitatea fiecărui sistem logistic și corelate cu datele privind cererea, furnizorii, transportul și spațiul de depozitare.

Într-o abordare modernă, stocurile nu trebuie privite ca simple cantități aflate în depozit, ci ca decizii logistice care influențează costurile, timpul, riscurile, nivelul serviciului și competitivitatea organizației.

13. Bibliografie

- Ballou, R. H. (2004). *Business logistics/supply chain management: Planning, organizing, and controlling the supply chain* (5th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (6th ed.). Pearson.
- Harris, F. W. (1913). How many parts to make at once. *Factory, The Magazine of Management*, 10(2), 135–136, 152.
- MIT OpenCourseWare. (2006). *Logistics systems (ESD.260J / 1.260J / 15.770J)*. Massachusetts Institute of Technology.
- Richards, G. (2018). *Warehouse management: A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse* (3rd ed.). Kogan Page.
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2017). *The handbook of logistics and distribution management* (6th ed.). Kogan Page.
- Waters, D. (2003). *Logistics: An introduction to supply chain management*. Palgrave Macmillan.

CURS 13

Optimizarea activităților logistice: rute, alocări, circuite, decizii multicriteriale

Obiectivele cursului

La finalul acestui curs, studentul trebuie să fie capabil să:

- definească noțiunea de optimizare logistică și rolul acesteia în managementul transporturilor;
- descrie principalele probleme de optimizare din logistică;
- explice metodele utilizate pentru optimizarea rutelor și alocarea resurselor;
- înțeleagă principiile deciziilor multicriteriale;
- identifice modelele clasice utilizate în cercetarea operațională aplicată logisticii;
- analizeze compromisurile dintre cost, timp, calitatea serviciului și sustenabilitate.

Introducere

În sistemele logistice moderne, numărul mare de vehicule, depozite, clienți, comenzi, restricții și obiective face imposibilă luarea deciziilor doar pe baza experienței. Un operator logistic poate gestiona zilnic sute sau mii de livrări, vehicule cu capacități diferite, ferestre de timp impuse de clienți, restricții de acces urban, condiții de trafic variabile și cerințe privind reducerea costurilor și emisiilor. Într-un asemenea context, decizia intuitivă nu mai este suficientă.

Optimizarea reprezintă una dintre cele mai importante componente ale managementului logistic, deoarece permite identificarea unor soluții eficiente pentru organizarea transporturilor, alocarea resurselor și coordonarea fluxurilor. Ea nu elimină rolul managerului sau al dispecerului, ci oferă instrumente prin care deciziile pot fi fundamentate pe date, modele și criterii clare.

Optimizarea urmărește identificarea celei mai bune soluții pentru o anumită problemă logistică, în condițiile existenței unor obiective și constrângeri. Obiectivele pot fi reducerea costurilor, minimizarea distanței parcurse, scurtarea timpilor de livrare, creșterea gradului de utilizare a vehiculelor, reducerea emisiilor sau creșterea calității serviciului. Constrângerile pot fi capacitatea vehiculelor, programul conducătorilor auto, timpul maxim al unei rute, ferestrele de livrare, restricțiile de circulație, disponibilitatea personalului sau caracteristicile mărfurilor.

În logistică, optimizarea are rareori un singur obiectiv. O rută foarte scurtă poate fi aglomerată, o soluție cu cost minim poate avea timp de livrare mare, iar o variantă cu emisii reduse poate necesita investiții suplimentare. De aceea, optimizarea logistică presupune adesea găsirea unui compromis între cost, timp, calitate, siguranță și impact asupra mediului.

Cercetarea operațională oferă instrumentele matematice și algoritmice utilizate pentru rezolvarea acestor probleme. Modele precum problema comis-voiajorului, problema rutării vehiculelor, problema alocării, problema amplasării facilităților și modelele de flux în rețele stau la baza multor aplicații software utilizate astăzi în logistică și transporturi (Taha, 2017).

1. Conceptul de optimizare logistică

Optimizarea logistică reprezintă procesul de identificare a celei mai eficiente configurații pentru utilizarea resurselor disponibile într-un sistem logistic. Ea presupune alegerea celei mai bune soluții dintre mai multe alternative posibile, în funcție de criteriile și constrângerile stabilite.

Resursele optimizate pot include vehicule, infrastructură, depozite, personal, stocuri, timp și energie. În practică, optimizarea poate viza o problemă punctuală, cum ar fi alegerea unei rute de livrare, sau o problemă complexă, cum ar fi proiectarea unei rețele logistice naționale.

Obiectivele optimizării pot fi economice, operaționale, sociale sau de mediu. Cele mai frecvente sunt minimizarea costurilor, reducerea timpului de transport, creșterea productivității, reducerea consumului energetic, îmbunătățirea nivelului serviciului și reducerea impactului asupra mediului.

În abordarea modernă, optimizarea logistică trebuie analizată la nivel de sistem. O soluție aparent optimă pentru o componentă poate fi nefavorabilă pentru întregul sistem. De exemplu, reducerea numărului de vehicule poate scădea costurile flotei, dar poate crește întârzierile și poate reduce nivelul serviciului. În mod similar, utilizarea unui depozit central poate reduce costurile de stocare, dar poate crește distanțele de distribuție.

Tabelul 36 - Exemple de probleme de optimizare logistică

Problemă logistică	Întrebare principală	Exemplu de decizie
Optimizarea rutelor	Pe ce traseu trebuie să circule vehiculul?	ruta minimă pentru livrări
Alocarea resurselor	Ce resursă se atribuie fiecărei cereri?	vehiculul potrivit pentru o comandă
Dimensionarea flotei	Câte vehicule sunt necesare?	număr de autoutilitare pentru distribuție
Amplasarea depozitelor	Unde trebuie amplasat un depozit?	alegerea unui centru logistic regional
Planificarea capacităților	Ce capacitate este necesară?	număr de rampe, personal, spațiu
Programarea operațiunilor	În ce ordine se realizează activitățile?	ordinea livrărilor sau încărcărilor

2. Nivelurile optimizării logistice

Optimizarea logistică poate fi analizată pe trei niveluri: strategic, tactic și operațional. Aceste niveluri diferă prin orizontul de timp, tipul deciziilor și impactul asupra sistemului.

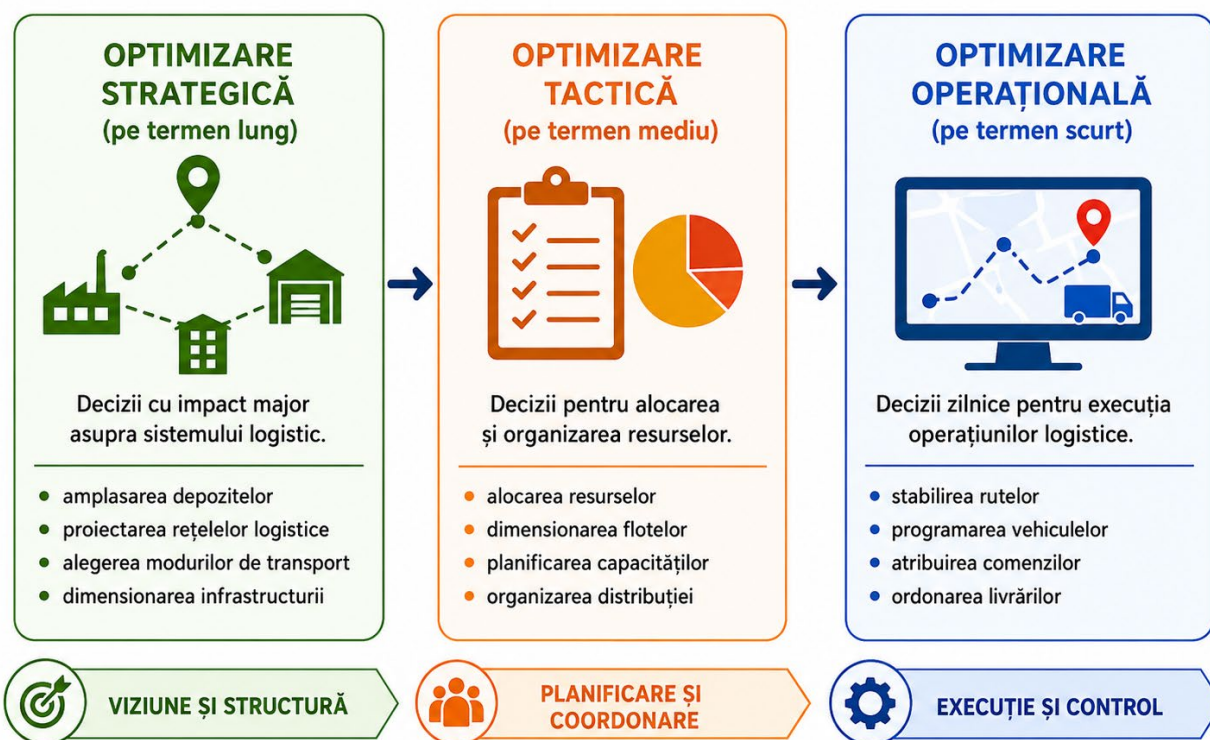


Figura 32 - Nivelurile optimizării logistice

- **Optimizare strategică**

Optimizarea strategică include decizii pe termen lung, cu impact major asupra structurii sistemului logistic. Aceste decizii sunt dificil de modificat rapid și implică investiții importante.

Exemple de decizii strategice sunt amplasarea depozitelor, proiectarea rețelelor logistice, alegerea modurilor principale de transport, dimensionarea infrastructurii, stabilirea politicii de externalizare și alegerea poziționării față de piațe.

O decizie strategică greșită poate afecta performanța logistică pentru mulți ani. De exemplu, amplasarea unui depozit într-o zonă cu acces rutier slab poate genera permanent costuri ridicate și întârzieri.

- **Optimizare tactică**

Optimizarea tactică include decizii pe termen mediu, care organizează resursele disponibile. Aceste decizii sunt mai flexibile decât cele strategice, dar influențează direct performanța operațională.

Exemple de decizii tactice sunt alocarea resurselor, dimensionarea flotelor, planificarea capacităților, organizarea distribuției, stabilirea frecvențelor de livrare, planificarea personalului și alegerea zonelor de deservire.

- **Optimizare operațională**

Optimizarea operațională include decizii zilnice sau pe termen scurt. Acestea sunt decizii care trebuie luate rapid și care sunt influențate de condițiile curente: comenzi, trafic, vreme, disponibilitatea vehiculelor, întârzieri sau incidente.

Exemple de decizii operaționale sunt stabilirea rutelor zilnice, programarea vehiculelor, atribuirea comenzilor, ordonarea livrărilor, reprogramarea unei curse sau alegerea unei rute alternative.

- **Optimizarea rutelor**

Una dintre cele mai importante probleme logistice este stabilirea rutelor optime. Optimizarea rutelor urmărește alegerea traseelor astfel încât vehiculele să ajungă la destinații în condiții eficiente de cost, timp și nivel al serviciului.

În varianta cea mai simplă, optimizarea rutei poate însemna alegerea drumului cel mai scurt între două puncte. În practică, problema este mult mai complexă. O rută mai scurtă ca distanță poate avea trafic intens, restricții de acces, drumuri cu stare tehnică slabă sau costuri mai mari. O rută mai lungă poate fi mai rapidă, mai sigură sau mai predictibilă.

Obiectivele optimizării rutelor includ reducerea distanțelor, reducerea timpului de deplasare, reducerea consumului de combustibil, respectarea ferestrelor de timp și creșterea gradului de utilizare a vehiculelor. În plus, în logistica modernă se urmăresc și obiective de mediu, cum ar fi reducerea emisiilor și evitarea zonelor urbane sensibile.

Constrângerile frecvente includ capacitatea vehiculelor, programul conducătorilor auto, intervalele orare de livrare, restricțiile de circulație, caracteristicile mărfurilor, timpul maxim al unei rute, compatibilitatea vehiculului cu infrastructura și prioritățile clienților.

Tabelul 37 - Obiective și constrângeri în optimizarea rutelor

Elemente analizate	Exemple
Obiective	distanță minimă, timp minim, cost minim, emisii reduse
Constrângeri vehicul	capacitate, autonomie, tip vehicul, temperatură controlată
Constrângeri șofer	program de lucru, pauze, disponibilitate
Constrângeri client	ferestre de timp, prioritate, volum comandă
Constrângeri infrastructură	restricții de tonaj, trafic, taxe, acces urban
Constrângeri operaționale	ordine livrări, puncte de colectare, returnuri

○ Problema comis-voiajorului (Travelling Salesman Problem – TSP)

Problema comis-voiajorului, cunoscută în literatura internațională ca Travelling Salesman Problem, urmărește determinarea traseului cu lungimea minimă prin care un singur vehicul vizitează toate locațiile o singură dată și revine la punctul de plecare.

Această problemă este una dintre cele mai cunoscute probleme de optimizare combinatorială. Deși formularea este simplă, dificultatea crește foarte mult odată cu numărul de locații. Pentru un număr mic de puncte, traseul poate fi determinat prin încercări sau prin calcul direct. Pentru un număr mare de puncte, numărul variantelor posibile devine foarte mare, iar rezolvarea necesită metode algoritmice (Applegate et al., 2006).

În logistică, TSP are aplicații în inspecții, colectarea datelor, vizite tehnice, distribuții cu un singur vehicul, servicii de mentenanță și planificarea traseelor simple.

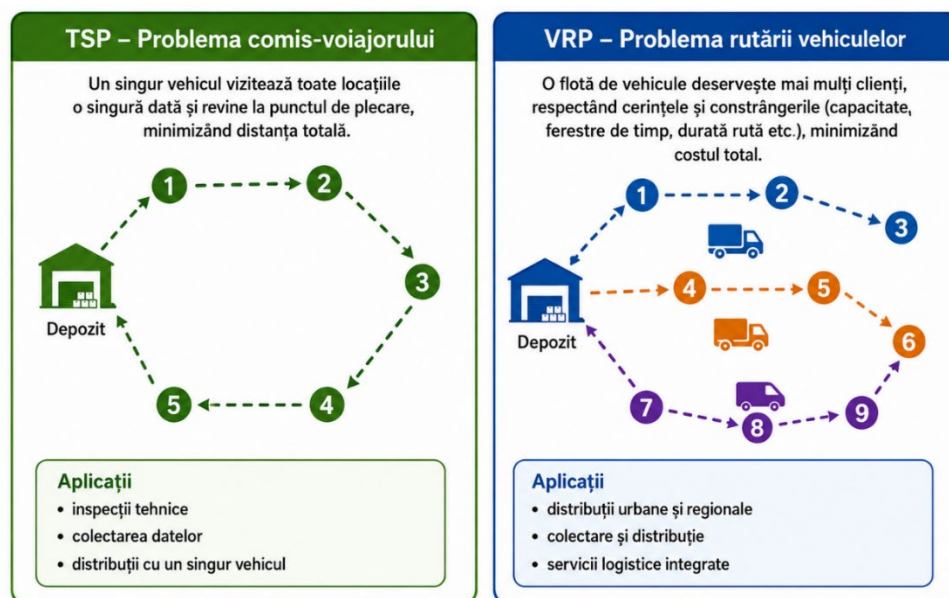


Figura 33 - Optimizarea rutelor: TSP și VRP

Exemplu TSP

Un tehnician trebuie să plece de la sediu, să viziteze cinci puncte de lucru și să revină la sediu. Obiectivul este minimizarea distanței totale. Dacă se alege o ordine nepotrivită, traseul poate include întoarceri inutile și kilometri suplimentari. Prin optimizare, punctele sunt ordonate astfel încât traseul să fie cât mai scurt și logic.

○ Problema rutării vehiculelor (Vehicle Routing Problem – VRP)

Problema rutării vehiculelor, cunoscută ca Vehicle Routing Problem, extinde TSP la cazul unei flote de vehicule și al mai multor clienți. Obiectivul este determinarea setului optim de rute care satisface toate cererile și minimizează costul total.

În forma de bază, VRP presupune existența unui depozit, a mai multor clienți cu cereri cunoscute și a unei flote de vehicule. Fiecare client trebuie deservit, iar fiecare vehicul are o capacitate limitată. Soluția constă în stabilirea clienților deserviți de fiecare vehicul și a ordinii de vizitare. În practică, VRP poate include numeroase constrângeri: capacitatea vehiculelor, ferestrele de timp, durata maximă a rutelor, orele de lucru ale conducătorilor auto, tipuri diferite de vehicule, livrări și colectări simultane, priorități ale clienților, condiții de temperatură sau restricții urbane.

VRP este dintre cele mai importante clase de probleme din logistica transporturilor, cu numeroase variante și aplicații în distribuție, colectare, servicii și transport public (Toth & Vigo, 2014).

Tabelul 38 - Variante ale problemei VRP

Variantă VRP	Caracteristică principală	Exemplu de aplicație
CVRP	vehicule cu capacitate limitată	distribuție mărfuri
VRPTW	ferestre de timp pentru clienți	livrări programate
MDVRP	mai multe depozite	rețea regională de distribuție
VRP cu pickup și delivery	colectare și livrare	curierat, retururi
Green VRP	criterii de mediu	reducerea emisiilor
Dynamic VRP	comenzi și condiții în timp real	livrări urbane, ride-sharing

○ **Optimizarea alocării resurselor**

Alocarea resurselor urmărește distribuirea optimă a vehiculelor, personalului, echipamentelor, rampelor, spațiilor și comenzilor. Scopul este utilizarea eficientă a capacităților, reducerea timpilor de așteptare și echilibrarea încărcării resurselor.

Exemple de probleme de alocare sunt atribuirea vehiculelor comenzilor, repartizarea șoferilor, alocarea rampelor de încărcare, repartizarea comenzilor între depozite, atribuirea personalului pe schimburi sau alocarea containerelor către terminale.

Într-o problemă de alocare, fiecare resursă are o capacitate, un cost, o disponibilitate și uneori anumite restricții. De exemplu, nu orice vehicul poate transporta orice marfă. Un vehicul frigorific trebuie alocat mărfurilor cu temperatură controlată. Un șofer poate avea program limitat. O rampă poate fi disponibilă doar într-un anumit interval.

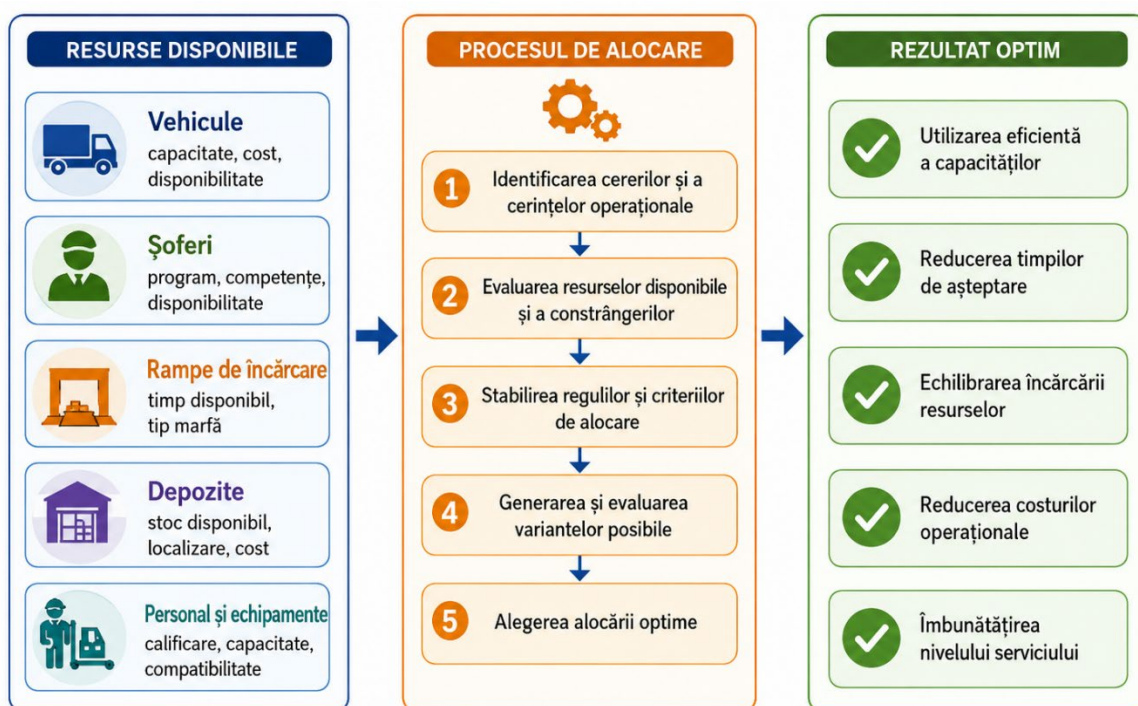


Figura 34 - Optimizarea alocării resurselor logistice

Tabelul 39 - Exemple de alocare a resurselor

Resursă	Se alocă către	Criterii posibile
Vehicule	comenzi / rute	capacitate, cost, disponibilitate
Șoferi	vehicule / curse	program, competențe, legislație
Rampe	operații de încărcare	timp, prioritate, tip marfă
Depozite	zone de distribuție	distanță, stoc disponibil, cost
Echipamente	activități de manipulare	compatibilitate, capacitate
Personal	schimburi / operațiuni	volum de lucru, calificare

○ Optimizarea circuitelor logistice

Circuitele logistice descriu succesiunea deplasărilor realizate de vehicule într-un sistem de transport sau distribuție. Un circuit poate include una sau mai multe livrări, colectări, întoarceri la depozit, transferuri între terminale sau combinații între moduri de transport.

Tipurile de circuite includ circuit simplu, circuit în buclă, circuit cu colectare și distribuție și circuit intermodal. Într-un circuit simplu, vehiculul pleacă de la un punct de origine, ajunge la destinație și revine. Într-un circuit în buclă, vehiculul vizitează mai multe puncte succesive. Într-un circuit cu colectare și distribuție, vehiculul poate livra produse și poate prelua returnări sau alte mărfuri. Într-un circuit intermodal, fluxul include transferuri între moduri de transport.

Obiectivele optimizării circuitelor sunt reducerea kilometrilor fără încărcătură, reducerea numărului de curse, utilizarea eficientă a flotei și sincronizarea operațiunilor. Kilometrii fără încărcătură reprezintă o problemă importantă, deoarece generează costuri, consum de combustibil, emisii și uzură fără a produce valoare logistică.

Tabelul 40 – Tipuri de circuite logistice

Tip de circuit	Caracteristică	Exemplu
Circuit simplu	origine – destinație – origine	livrare unică
Circuit în buclă	mai multe opriri succesive	distribuție magazine
Colectare și distribuție	livrare + preluare	curierat, retururi
Circuit intermodal	transfer între moduri	camion – tren – camion
Circuit urban	rute scurte, multe opriri	last mile
Circuit regional	distanțe medii, zone multiple	distribuție județeană

3. Modele clasice utilizate în logistică

Principalele modele utilizate în cercetarea operațională aplicată logisticii sunt Travelling Salesman Problem, Vehicle Routing Problem, Assignment Problem, Facility Location Problem și Network Flow Models. Aceste modele stau la baza majorității aplicațiilor software utilizate în logistică și transporturi.

Modelele clasice simplifică realitatea pentru a permite analiza și calculul. Ele nu includ întotdeauna toate detaliile unui sistem real, dar oferă o bază pentru înțelegerea problemelor și pentru dezvoltarea unor soluții algoritmice.

Travelling Salesman Problem este utilizată pentru optimizarea traseului unui singur vehicul. Vehicle Routing Problem este utilizată pentru optimizarea rutelor unei flote. Assignment Problem este utilizată pentru alocarea optimă a resurselor. Facility Location Problem este utilizată pentru amplasarea optimă a facilităților logistice. Network Flow Models sunt utilizate pentru optimizarea fluxurilor într-o rețea.

Tabelul 41 – Modele clasice utilizate în logistică

Model	Întrebare rezolvată	Aplicație logistică
TSP	Care este traseul minim pentru un vehicul?	vizitare puncte, inspecții
VRP	Cum se organizează rutele unei flote?	distribuție, curierat
Assignment Problem	Cum se alocă resursele?	vehicule-comenzi, personal-schimburi
Facility Location Problem	Unde amplasăm facilitățile?	depozite, terminale, hub-uri
Network Flow Models	Cum circulă fluxurile prin rețea?	transport multimodal, aprovizionare
Scheduling Models	În ce ordine programăm activitățile?	încărcări, livrări, mentenanță

4. Decizii multicriteriale

În practică, deciziile logistice sunt rareori bazate pe un singur criteriu. Un manager logistic nu alege o rută doar după distanță, un depozit doar după chirie sau un mod de transport doar după cost. Decizia trebuie să țină seama de mai multe criterii simultan.

Cele mai frecvente criterii sunt costul, timpul, distanța, fiabilitatea, siguranța, impactul asupra mediului, nivelul serviciului și flexibilitatea. Aceste criterii pot fi complementare, dar pot fi și conflictuale. De exemplu, o rută rapidă poate fi mai scumpă. O variantă cu cost redus poate fi mai puțin fiabilă. O soluție cu emisii reduse poate necesita timp mai mare sau investiții suplimentare. Prin urmare, optimizarea logistică este, în majoritatea cazurilor, o problemă multicriterială, în care trebuie găsit un compromis între obiective aflate uneori în conflict.



Figura 35 - Decizia multicriterială în logistică

Tabelul 42 – Criterii utilizate în deciziile logistice

Criteriu	Semnificație	Exemplu de utilizare
Cost	cheltuiala totală a soluției	alegerea rutei cu cost minim
Timp	durata transportului sau operației	livrări urgente
Distanță	lungimea traseului	consum și uzură
Fiabilitate	probabilitatea respectării termenului	contracte cu penalizări
Siguranță	risc redus de accidente sau pierderi	mărfuri periculoase
Mediu	emisii, zgomot, consum energetic	logistică verde
Nivel de serviciu	satisfacerea cerințelor clientului	punctualitate, informare
Flexibilitate	adaptarea la schimbări	cerere variabilă

- **Metode de analiză multicriterială**

În logistică sunt utilizate frecvent metode precum AHP, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE și PROMETHEE. Aceste metode permit compararea mai multor variante și selectarea soluției care oferă cel mai bun compromis între criterii.

AHP, Analytic Hierarchy Process, structurează problema pe niveluri: scop, criterii, subcriterii și alternative. Decidenții compară criteriile două câte două și obțin ponderi pentru fiecare criteriu. Metoda este utilă atunci când decizia include atât criterii cantitative, cât și criterii calitative (Saaty, 1980).

TOPSIS, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, pornește de la ideea că alternativa optimă trebuie să fie cât mai aproape de soluția ideală pozitivă și cât mai departe de soluția ideală negativă. Metoda este frecvent utilizată pentru alegerea furnizorilor, rutelor, modurilor de transport sau amplasamentelor (Hwang & Yoon, 1981).

VIKOR este utilizată pentru identificarea unei soluții de compromis în probleme multicriteriale, mai ales atunci când criteriile sunt conflictuale. ELECTRE și PROMETHEE fac parte din familia metodelor de tip outranking, în care alternativele sunt comparate prin relații de preferință.

Exemple de aplicații multicriteriale în logistică sunt alegerea unui mod de transport, selectarea unui furnizor, localizarea unui depozit, alegerea unei rute, alegerea unui operator logistic sau evaluarea unor variante de distribuție urbană.

Tabelul 43 – Metode de analiză multicriterială

Metodă	Principiu	Aplicație logistică
AHP	ponderarea criteriilor prin comparații perechi	alegerea furnizorului
TOPSIS	apropiere de soluția ideală	alegerea rutei
VIKOR	soluție de compromis	selecție mod transport
ELECTRE	relații de surclasare	evaluare alternative
PROMETHEE	preferințe și ierarhizare	localizare depozit

5. Optimizarea transportului de mărfuri și de pasageri

Optimizarea se aplică atât transportului de mărfuri, cât și transportului de pasageri. Principiile generale sunt asemănătoare, dar obiectivele și indicatorii diferă.

• Transportul de mărfuri

În transportul de mărfuri se urmărește optimizarea rutelor, consolidarea încărcăturilor, reducerea curselor fără încărcătură, sincronizarea distribuției și reducerea costului total. De asemenea, se urmărește respectarea termenelor de livrare, protejarea mărfurilor, reducerea consumului de combustibil și utilizarea eficientă a flotei.

Un exemplu este distribuția urbană a coletelor: un operator trebuie să livreze multe comenzi într-un oraș, cu vehicule limitate, respectând ferestre de timp și evitând zonele aglomerate. Optimizarea ajută la gruparea comenzilor, stabilirea rutelor și reducerea distanțelor parcurse.

• Transportul de pasageri

În transportul de pasageri se urmărește optimizarea traseelor, sincronizarea conexiunilor, dimensionarea frecvențelor, reducerea timpului de așteptare și creșterea accesibilității. Indicatorii relevanți nu sunt doar costul operatorului, ci și timpul total de călătorie, confortul, siguranța, frecvența și acoperirea teritorială.

Un exemplu este planificarea unei rețele de autobuze. O frecvență mai mare reduce timpul de așteptare, dar crește costurile de operare. O rețea cu multe linii directe poate fi atractivă pentru pasageri, dar poate fi costisitoare. O rețea cu transferuri poate fi eficientă, dar necesită sincronizare și informare bună.

Tabelul 44 – Optimizarea în transportul de mărfuri și de pasageri

Element	Transport de mărfuri	Transport de pasageri
Obiectiv principal	livrare eficientă	mobilitate eficientă
Resursă critică	vehicule, capacitate, timp	vehicule, frecvență, accesibilitate
Criterii	cost, timp, încărcare, emisii	timp călătorie, așteptare, confort
Constrângeri	capacitate, ferestre de timp, marfă	orare, cerere, conexiuni
Rezultat urmărit	cost total redus și livrare la timp	serviciu fiabil și accesibil

6. Rolul cercetării operaționale

Cercetarea operațională oferă instrumentele matematice și algoritmice necesare optimizării sistemelor logistice. Ea permite formularea problemelor reale sub formă de modele, identificarea variabilelor de decizie, stabilirea funcției obiectiv și definirea constrângerilor.

Principalele metode includ programare liniară, programare întreagă, programare dinamică, algoritmi euristici, metaeuristici și simulare. Aceste metode permit obținerea unor soluții optime sau aproape optime pentru probleme logistice de mari dimensiuni.

Programarea liniară este utilizată atunci când relațiile dintre variabile sunt liniare și deciziile pot avea valori continue. Programarea întreagă este utilizată atunci când deciziile trebuie să fie discrete, de exemplu alegerea sau nealegerea unui depozit, alocarea unui vehicul sau numărul de curse. Programarea dinamică este utilă pentru probleme secvențiale, în care deciziile se iau pe etape.

Algoritmii euristici sunt metode care oferă soluții bune într-un timp rezonabil, fără garanția că soluția este optimă. Metaeuristicile, cum ar fi algoritmi genetici, tabu search, simulated annealing și ant colony optimization, sunt utilizate pentru probleme complexe, cu foarte multe variante posibile.

Simularea permite testarea comportamentului unui sistem logistic în diferite scenarii. De exemplu, se poate simula efectul creșterii cererii, introducerii unui nou depozit, modificării frecvenței transportului public sau apariției unei perturbări într-un terminal.

Tabelul 45 - Metode de cercetare operațională utilizate în logistică

Metodă	Utilizare	Exemplu
Programare liniară	optimizare cu relații liniare	fluxuri între depozite și clienți
Programare întreagă	decizii discrete	alegerea depozitelor
Programare dinamică	decizii pe etape	planificare secvențială
Euristici	soluții rapide	rutare în distribuție
Metaeuristici	probleme complexe	VRP cu multe constrângeri
Simulare	testare scenarii	terminale, trafic, depozite

7. Concluzii

Optimizarea activităților logistice reprezintă una dintre componentele esențiale ale managementului transporturilor. Ea permite utilizarea eficientă a vehiculelor, infrastructurii, depozitelor, personalului, timpului și energiei.

Optimizarea poate fi strategică, tactică sau operațională. La nivel strategic se iau decizii privind rețelele, depozitele și modurile de transport. La nivel tactic se alocă resurse și capacități. La nivel operațional se stabilesc rutele, programările și atribuirea comenzilor.

Optimizarea rutelor include probleme clasice precum TSP și VRP. TSP se referă la traseul unui singur vehicul care vizitează mai multe locații, iar VRP extinde problema la o flotă de vehicule și mai mulți clienți. Aceste modele stau la baza aplicațiilor moderne de rutare și distribuție.

Alocarea resurselor, optimizarea circuitelor logistice și deciziile multicriteriale completează analiza. În practică, soluția optimă nu este întotdeauna cea mai ieftină sau cea mai scurtă, ci aceea care oferă cel mai bun compromis între cost, timp, siguranță, fiabilitate, nivel de serviciu și impact asupra mediului.

Cercetarea operațională oferă metodele necesare pentru formularea și rezolvarea acestor probleme. Programarea liniară, programarea întreagă, euristicile, metaeuristicile și simularea sunt instrumente fundamentale pentru optimizarea logisticii moderne.

8. Bibliografie

- Applegate, D. L., Bixby, R. E., Chvátal, V., & Cook, W. J. (2006). *The traveling salesman problem: A computational study*. Princeton University Press.
- Ballou, R. H. (2004). *Business logistics/supply chain management: Planning, organizing, and controlling the supply chain* (5th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (6th ed.). Pearson.
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer.
- MIT OpenCourseWare. (2006). *Logistics systems (ESD.260J / 1.260J / 15.770J)*. Massachusetts Institute of Technology.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.
- Taha, H. A. (2017). *Operations research: An introduction* (10th ed.). Pearson.
- Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2014). *Vehicle routing: Problems, methods, and applications* (2nd ed.). Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Waters, D. (2003). *Logistics: An introduction to supply chain management*. Palgrave Macmillan.

CURS 13

Logistică urbană, intermodalitate și integrarea transportului de mărfuri cu cel de pasageri

Obiectivele cursului

La finalul acestui curs, studentul trebuie să fie capabil să:

- definească logistica urbană și principalele sale obiective;
- explice principiile intermodalității și multimodalității;
- descrie sistemele moderne de distribuție urbană;
- analizeze posibilitățile de integrare dintre transportul de mărfuri și cel de pasageri;
- identifice principalele provocări ale logisticii urbane;
- înțeleagă rolul tehnologiilor inteligente în dezvoltarea mobilității urbane sustenabile.

Introducere

Urbanizarea accelerată, dezvoltarea comerțului electronic și creșterea mobilității populației au determinat o intensificare semnificativă a fluxurilor de mărfuri și pasageri în mediul urban. Orașele concentrează activități economice, locuințe, servicii, instituții, zone comerciale și infrastructuri de transport, ceea ce face ca nevoia de deplasare să fie foarte mare și permanentă.

În același spațiu urban trebuie să circule pietoni, bicicliști, autoturisme, autobuze, tramvaie, taxiuri, vehicule de curierat, camioane de aprovizionare, vehicule de salubritate și vehicule de intervenție. Toți acești utilizatori folosesc o infrastructură limitată: străzi, intersecții, stații, parcuri, zone de încărcare-descărcare și terminale. Din acest motiv, organizarea fluxurilor urbane devine o problemă logistică complexă.

Logistica urbană urmărește organizarea eficientă a distribuției mărfurilor în orașe, dar nu poate fi separată complet de transportul de pasageri. Vehiculele comerciale circulă pe aceleași drumuri pe care circulă și transportul public sau autoturismele. Livrările se fac în aceleași zone în care oamenii locuiesc, lucrează sau se deplasează. De aceea, în orașe, logistica mărfurilor și mobilitatea persoanelor trebuie analizate împreună.

Creșterea comerțului electronic a modificat puternic distribuția urbană. În locul unor livrări mari către magazine, apar tot mai multe livrări mici, frecvente, către consumatori individuali. Această schimbare crește presiunea asupra traficului urban, asupra spațiilor de oprire și asupra operatorilor logistici. În același timp, clienții solicită livrări rapide, flexibile și predictibile.

În literatura de specialitate, logistica urbană este tratată ca o componentă importantă a mobilității urbane sustenabile, deoarece afectează congestia, emisiile, zgomotul, siguranța rutieră

și calitatea vieții în orașe. Taniguchi, Thompson, Yamada și Van Duin definesc city logistics ca procesul de optimizare a activităților logistice realizate de companii în zone urbane, ținând seama de trafic, congestie și consum energetic (Taniguchi et al., 2001).

În abordarea sistemică a logisticii, transportul urban trebuie analizat ca o rețea formată din noduri, legături, fluxuri și utilizatori. Nu este suficient să se optimizeze separat o rută de livrare sau o linie de transport public. Este necesară analiza efectelor asupra întregului sistem urban: trafic, accesibilitate, emisii, siguranță, costuri și calitatea serviciului.

1. Conceptul de logistică urbană

Logistica urbană, denumită frecvent și city logistics, reprezintă planificarea, implementarea și controlul fluxurilor de mărfuri și informații în interiorul zonelor urbane, astfel încât distribuția să fie realizată eficient și cu impact minim asupra comunității și mediului.

Această definiție subliniază două dimensiuni importante. Prima este dimensiunea economică: mărfurile trebuie livrate la timp, în cantitatea necesară, cu costuri acceptabile și în condiții corespunzătoare. A doua este dimensiunea urbană și socială: activitățile logistice nu trebuie să afecteze excesiv traficul, mediul, siguranța sau calitatea vieții.

Obiectivele principale ale logisticii urbane sunt reducerea congestiei, diminuarea emisiilor poluante, optimizarea rutelor de distribuție, îmbunătățirea accesibilității, reducerea costurilor logistice și creșterea calității vieții în mediul urban.

Logistica urbană urmărește echilibrul dintre interesele mai multor actori. Operatorii logistici urmăresc costuri reduse, livrări rapide și utilizarea eficientă a flotei. Autoritățile locale urmăresc reducerea traficului, a poluării și a ocupării spațiului public. Comercianții și clienții urmăresc disponibilitatea produselor și livrarea rapidă. Locuitorii urmăresc un oraș mai sigur, mai curat și mai puțin aglomerat.

Această diversitate de interese face ca logistica urbană să fie o problemă multicriterială. Nu există o soluție unică perfectă. De exemplu, restricționarea accesului camioanelor în centrul orașului poate reduce poluarea și traficul, dar poate crește costurile operatorilor și poate impune soluții alternative de distribuție. În schimb, livrările rapide la domiciliu sunt convenabile pentru clienți, dar pot crește numărul de vehicule comerciale în trafic.

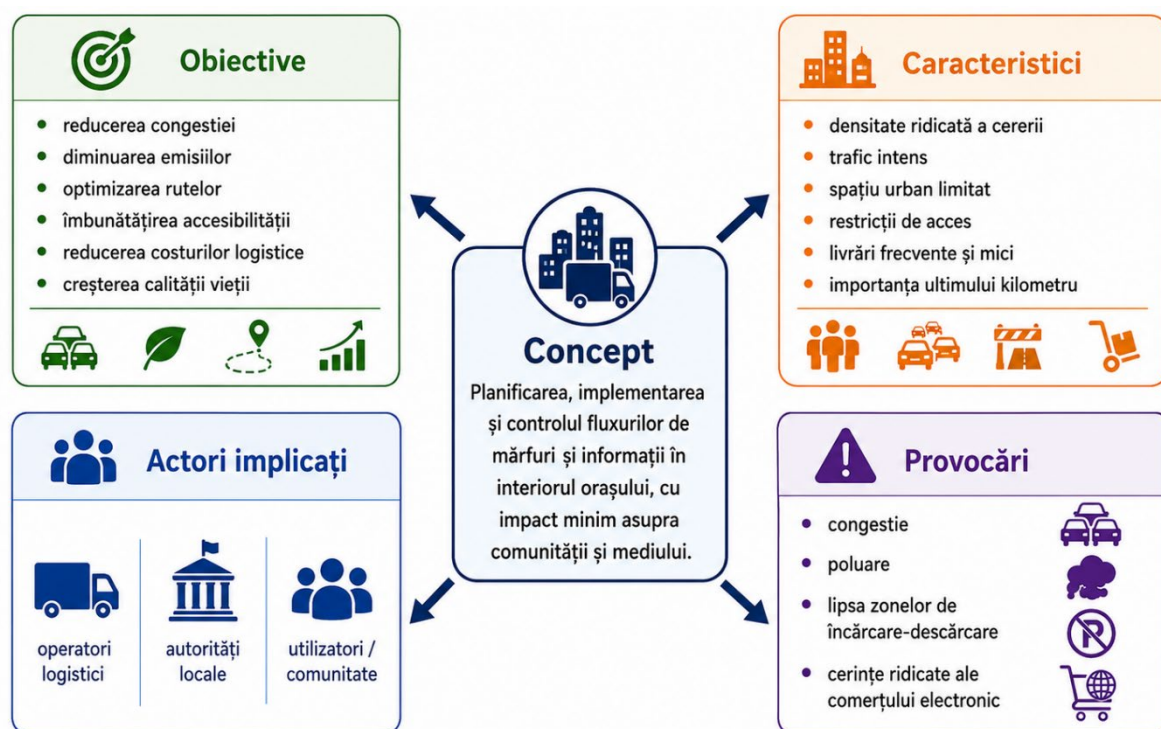


Figura 36 – Conceptul și obiectivele logisticii urbane

Tabelul 46 – Actori implicați în logistica urbană

Actor	Interes principal	Exemple de obiective
Operator logistic	eficiență operațională	costuri reduse, rute eficiente, flotă utilizată optim
Comerciant	aprovizionare sigură	produse disponibile, livrări la timp
Client final	livrare rapidă și flexibilă	livrare acasă, locker, interval orar convenabil
Autoritate locală	oraș funcțional și sustenabil	trafic redus, emisii reduse, siguranță
Comunitate urbană	calitatea vieții	zgomot redus, spațiu public protejat
Operator de transport public	continuitatea mobilității	prioritate pentru pasageri, punctualitate

• Caracteristicile logisticii urbane

Comparativ cu distribuția regională sau națională, logistica urbană prezintă particularități specifice. Orașele au densitate mare a cererii, spațiu limitat pentru infrastructură, trafic intens, restricții privind accesul vehiculelor grele, livrări frecvente și de dimensiuni reduse, precum și o importanță ridicată a distribuției de ultim kilometru.

Densitatea ridicată a cererii poate fi un avantaj, deoarece mulți clienți sunt concentrați într-o zonă relativ mică. Totuși, această densitate produce și dificultăți: trafic aglomerat, timp mare de căutare a unui loc de oprire, acces dificil la destinație și conflicte între vehiculele de livrare și ceilalți utilizatori ai străzii.

Spațiul urban limitat reprezintă o constrângere majoră. În multe orașe, nu există suficiente zone dedicate pentru încărcare și descărcare. Vehiculele comerciale opresc frecvent pe prima bandă, pe trotuar sau în zone nepermise, afectând circulația și siguranța. În același timp, spațiul pentru depozite în zone centrale este scump și dificil de obținut.

Traficul intens influențează direct timpii de livrare și costurile. O rută care pare scurtă ca distanță poate fi ineficientă dacă traversează zone aglomerate. De aceea, în logistica urbană, optimizarea rutelor trebuie să țină cont nu doar de distanță, ci și de timp, ferestre orare, restricții de acces și disponibilitatea zonelor de oprire.

Restricțiile de acces pentru vehiculele comerciale sunt tot mai frecvente în orașe. Acestea pot include limitări de tonaj, intervale orare, zone cu emisii reduse, taxe de acces sau reguli speciale pentru centrul istoric. Aceste restricții urmăresc protecția mediului urban, dar obligă operatorii logistici să își adapteze flota și planificarea.

Tabelul 47 – Caracteristici ale logisticii urbane

Caracteristică	Efect asupra logisticii
Densitate mare a cererii	multe livrări în zone restrânse
Trafic intens	timpuri variabili și risc de întârziere
Spațiu limitat	dificultăți de parcare și descărcare
Restricții de acces	necesitatea adaptării flotei și rutelor
Livrări frecvente și mici	cost ridicat pe livrare
Cerințe ridicate ale clienților	presiune pentru rapiditate și flexibilitate

- **Distribuția urbană a mărfurilor**

Distribuția urbană reprezintă etapa finală a lanțului logistic, prin care mărfurile sunt livrate către magazine, birouri, instituții, unități industriale și consumatori individuali. Această etapă este esențială pentru funcționarea economiei urbane, deoarece asigură aprovizionarea comerțului, serviciilor și populației.

Principalele activități ale distribuției urbane sunt consolidarea comenzilor, transportul urban, livrarea de ultim kilometru, colectarea retururilor și gestionarea ambalajelor reutilizabile. Aceste activități trebuie organizate astfel încât mărfurile să ajungă la destinație la timp și cu costuri acceptabile, fără a produce efecte negative excesive asupra orașului.

Consolidarea comenzilor presupune gruparea mai multor livrări pentru a utiliza mai eficient vehiculele. Prin consolidare, se poate reduce numărul de curse, se poate crește gradul de încărcare și se poate diminua impactul asupra traficului. Fără consolidare, multe vehicule pot circula parțial încărcate, ceea ce crește costurile și emisiile.

Transportul urban este influențat de rețeaua stradală, de trafic, de reglementări, de disponibilitatea vehiculelor și de localizarea clienților. În distribuția urbană, timpul petrecut în trafic și timpul necesar opririi, descărcării și predării mărfii pot fi la fel de importante ca distanța parcursă.

Livrarea de ultim kilometru reprezintă etapa în care marfa ajunge la destinatarul final. Aceasta este o etapă dificilă deoarece presupune multe opriri, adrese dispersate, cerințe individuale ale clienților și posibilitatea livrărilor eșuate. Gevaers, Van de Voorde și Vanelslender arată că ultimul kilometru este una dintre cele mai costisitoare și complexe componente ale distribuției, în special în contextul comerțului electronic (Gevaers et al., 2014).

Colectarea retururilor a devenit tot mai importantă, mai ales în comerțul online. Produsele returnate trebuie preluate, verificate, reintroduse în stoc, reparate, reciclate sau eliminate. Aceasta generează fluxuri inverse care trebuie integrate în sistemul logistic.

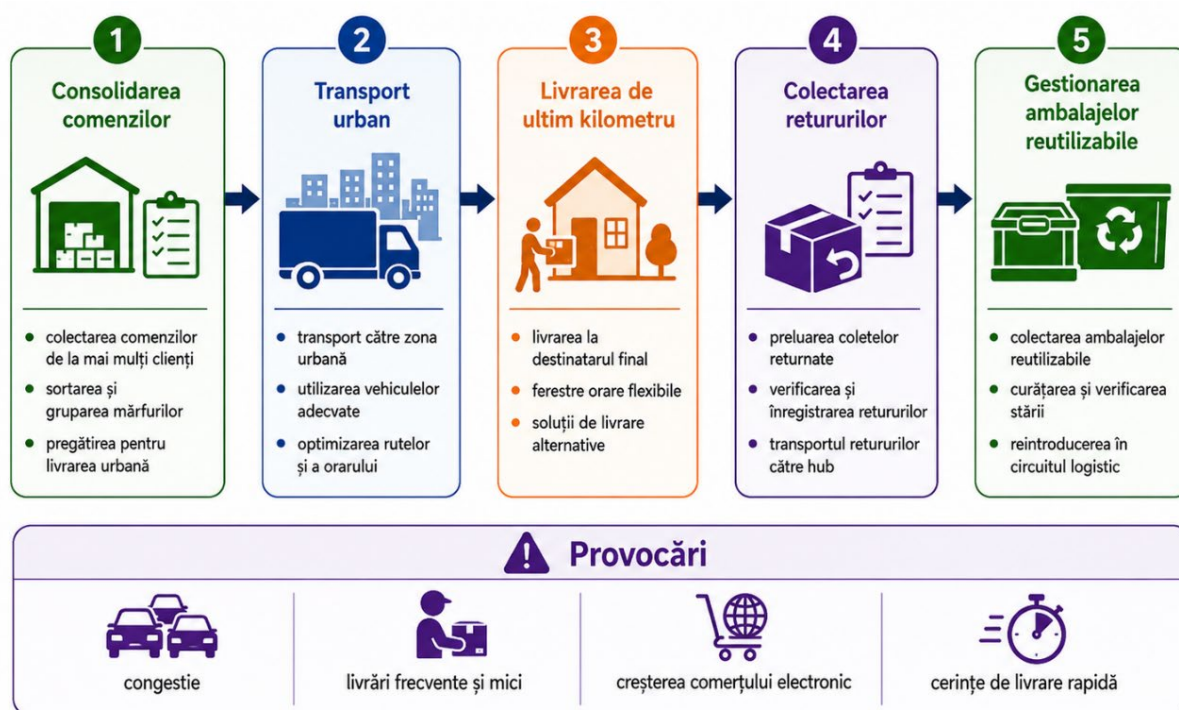


Figura 37 – Distribuția urbană a mărfurilor

Tabelul 48 – Activități în distribuția urbană

Activitate	Rol logistic	Problemă frecventă
Consolidarea comenzilor	gruparea livrărilor	sincronizarea comenzilor
Transport urban	deplasarea în oraș	congestie și restricții
Livrare de ultim kilometru	predarea către client	livrări eșuate
Colectarea retururilor	flux invers	costuri suplimentare
Ambalaje reutilizabile	reducerea deșeurilor	colectare și curățare
Informarea clientului	vizibilitate și predictibilitate	date incomplete

- **Principalele provocări ale logisticii urbane**

Operatorii logistici se confruntă cu numeroase provocări în mediul urban. Cele mai importante sunt congestia, poluarea, spațiul urban limitat și creșterea comerțului electronic.

Congestia produce timpi mari de deplasare, întârzieri și consum ridicat de combustibil. Pentru operatorii logistici, congestia înseamnă costuri mai mari, incertitudine și dificultăți în respectarea ferestrelor de livrare. Pentru oraș, congestia înseamnă pierdere de timp, poluare și reducerea calității vieții.

Poluarea este o problemă centrală a logisticii urbane. Vehiculele comerciale contribuie la emisiile de CO₂, oxizi de azot, particule și zgomot. Impactul este mai mare în zonele dens populate, unde traficul este intens și vitezele sunt reduse. De aceea, multe orașe introduc zone cu emisii reduse, restricții pentru vehicule poluante și politici de încurajare a vehiculelor electrice.

Spațiul urban limitat creează conflicte între diferite categorii de utilizatori. Zonele de încărcare-descărcare sunt insuficiente, trotuarele sunt folosite uneori pentru oprirea vehiculelor de livrare, iar parcările sunt ocupate de autoturisme. Această situație afectează atât eficiența logistică, cât și siguranța pietonilor și a celorlalți participanți la trafic.

Comerțul electronic amplifică provocările logisticii urbane. Creșterea numărului de comenzi online conduce la mai multe livrări individuale, cerințe privind livrarea rapidă, retururi frecvente și presiune asupra operatorilor. În locul unor livrări consolidate către magazine, apar livrări fragmentate către locuințe, birouri sau lockere.

Tabelul 49 – Provocări ale logisticii urbane și posibile soluții

Provocare	Efect	Posibile soluții
Congestie	întârzieri, costuri ridicate	livrări în afara orelor de vârf, optimizare rute
Poluare	emisii și zgomot	vehicule electrice, biciclete cargo
Spațiu limitat	opriri ilegale, blocaje	zone dedicate încărcare-descărcare
Comerț electronic	multe livrări mici	microhub-uri, lockere, consolidare
Livrări eșuate	costuri suplimentare	notificări, intervale flexibile
Retururi	fluxuri inverse costisitoare	puncte de colectare și proceduri clare

- **Centre logistice urbane**

Una dintre soluțiile moderne pentru îmbunătățirea distribuției în orașe este utilizarea centrelor logistice urbane, cunoscute în literatura internațională ca Urban Consolidation Centres. Acestea sunt facilități amplasate la marginea orașului sau în apropierea zonelor centrale, unde mărfurile provenite de la mai mulți furnizori sunt consolidate înainte de distribuția finală.

Rolul centrelor logistice urbane este de a reduce numărul vehiculelor care intră în centrul orașului, de a crește gradul de încărcare al vehiculelor și de a facilita utilizarea unor mijloace de transport cu emisii reduse pentru ultimul segment al livrării.

Într-un sistem fără consolidare, fiecare furnizor poate trimite propriul vehicul către centrul orașului, chiar dacă vehiculul este parțial încărcat. Printr-un centru logistic urban, mărfurile sunt grupate, iar livrarea finală se poate face cu mai puține vehicule, mai bine încărcate și mai potrivite pentru mediul urban.

Avantajele includ reducerea traficului, diminuarea emisiilor, optimizarea gradului de încărcare, creșterea eficienței distribuției și posibilitatea utilizării vehiculelor electrice, bicicletelor cargo sau altor soluții de livrare sustenabilă.

Totuși, centrele logistice urbane au și limite. Ele necesită investiții, spațiu, coordonare între operatori și un model economic viabil. Dacă operatorii nu sunt dispuși să colaboreze sau dacă costurile suplimentare nu sunt compensate prin beneficii, implementarea poate fi dificilă. Centrele de consolidare urbană pot reduce impactul transportului de marfă în orașe, dar eficiența lor depinde de context, localizare, participarea operatorilor și sprijinul autorităților (Allen et al., 2012).

Tabelul 50 - Avantaje și limitări ale centrelor logistice urbane

Aspect	Avantaje	Limitări
Trafic	mai puține vehicule în centru	necesită coordonare
Emisii	posibilitate de livrare cu vehicule curate	investiții inițiale
Costuri	grad de încărcare mai bun	cost suplimentar de operare
Organizare	fluxuri mai bine controlate	necesită colaborare între operatori
Spațiu urban	reducerea opririlor neorganizate	nevoie de amplasament potrivit

2. Intermodalitatea și multimodalitatea

Transportul multimodal presupune utilizarea a două sau mai multe moduri de transport în baza unui singur contract de transport. Exemplele pot include combinații camion–tren, camion–navă sau camion–avion. În transportul multimodal, accentul cade pe organizarea unui flux care utilizează mai multe moduri, dar responsabilitatea transportului poate fi integrată într-un singur contract.

Transportul intermodal presupune transferul unei unități standardizate între moduri diferite fără manipularea directă a mărfii. Unitatea standardizată poate fi container, semiremorcă sau swap body. Principiul fundamental este că marfa rămâne în aceeași unitate de încărcare, iar la schimbarea modului de transport se manipulează unitatea, nu marfa propriu-zisă.

Diferența dintre multimodalitate și intermodalitate este importantă. Multimodalitatea se referă la utilizarea mai multor moduri de transport. Intermodalitatea se referă la utilizarea mai multor moduri prin transferul eficient al unei unități standardizate. Astfel, toate transporturile intermodale sunt multimodale, dar nu toate transporturile multimodale sunt neapărat intermodale.

Avantajele intermodalității includ reducerea timpilor de transbordare, reducerea deteriorărilor, costuri logistice mai mici și impact redus asupra mediului. Transportul intermodal permite combinarea avantajelor fiecărui mod: flexibilitatea rutierului, capacitatea feroviarului, eficiența navalului și rapiditatea aerianului acolo unde este necesar.

Intermodalitatea și containerizarea au schimbat profund transportul de marfă, deoarece unitățile standardizate permit transferuri mai rapide între moduri și integrarea mai eficientă a terminalelor în lanțurile logistice (Rodrigue, 2024).

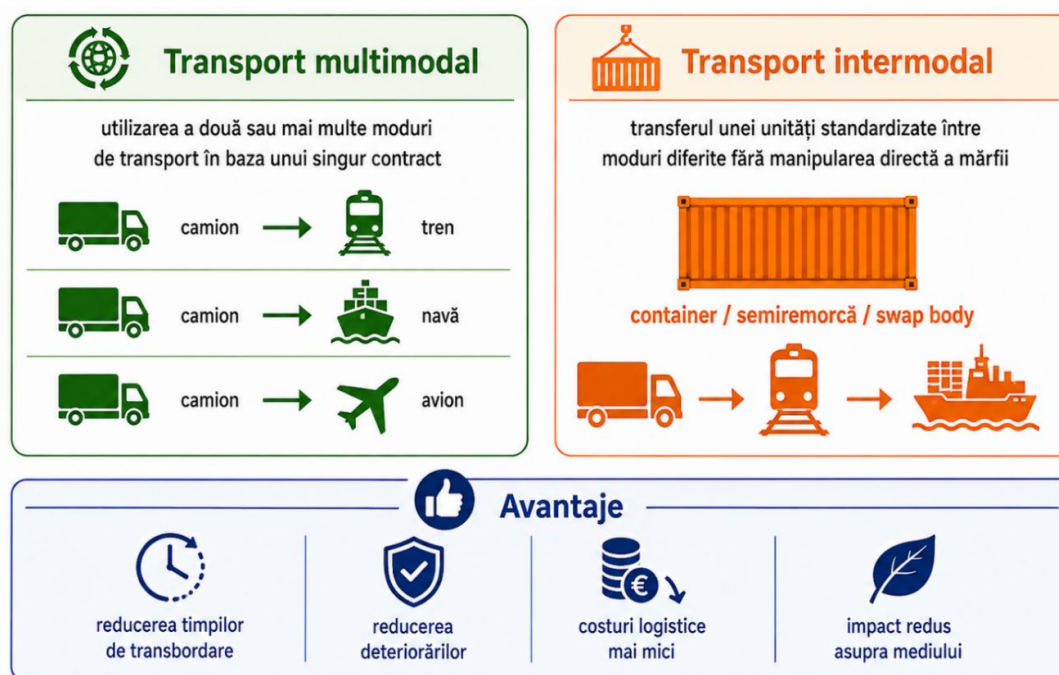


Figura 38 – Intermodalitate și multimodalitate

Tabelul 51 - Transport multimodal versus transport intermodal

Criteriu	Transport multimodal	Transport intermodal
Moduri utilizate	două sau mai multe	două sau mai multe
Contract	de regulă integrat	poate fi integrat
Unitate de încărcare	nu este obligatoriu standardizată	container, semiremorcă, swap body
Manipularea mărfii	poate avea loc între moduri	se evită manipularea directă
Avantaj principal	flexibilitate organizațională	eficiență la transbordare
Exemplu	camion–avion	container camion–tren–navă

• Integrarea transportului de mărfuri cu transportul de pasageri

În ultimii ani, numeroase orașe și regiuni au început să analizeze posibilitatea utilizării infrastructurii transportului public și pentru distribuția mărfurilor. Această idee pornește de la faptul că vehiculele și infrastructura de pasageri au uneori capacitate disponibilă, mai ales în afara orelor de vârf, iar utilizarea acestora pentru transportul coletelor ar putea reduce numărul vehiculelor comerciale din trafic.

Exemplele includ transportul coletelor cu tramvaie dedicate, utilizarea trenurilor suburbane pentru transportul coletelor, integrarea livrărilor în serviciile de ride-pooling și utilizarea capacității disponibile a autobuzelor regionale pentru colete. În unele cazuri, transportul de marfă se face cu vehicule dedicate care circulă pe infrastructura transportului public. În alte cazuri, coletele sunt transportate împreună cu pasagerii, cu reguli speciale privind securitatea, manipularea și capacitatea.

Avantajele integrării includ reducerea numărului de vehicule comerciale, utilizarea mai eficientă a infrastructurii, reducerea emisiilor și scăderea costurilor operaționale. Dacă o linie de tramvai, tren sau autobuz circulă oricum pe un traseu, utilizarea unei părți din capacitate pentru colete poate fi eficientă în anumite condiții.

Limitările sunt însă importante. Este necesară sincronizarea programelor, capacitatea este limitată, transportul de pasageri trebuie să rămână prioritar, iar mărfurile trebuie manipulate în condiții de siguranță. În plus, nu toate tipurile de marfă sunt potrivite pentru integrare cu transportul de pasageri. Coletele mici, ușoare și nepericuloase sunt cele mai potrivite.

Cercetările recente arată că integrarea cererii de pasageri și marfă poate reduce kilometrii parcurși fără încărcătură și costurile totale, dacă este implementată în condiții adecvate și cu o bună coordonare operațională (Elbert & Rentschler, 2021).

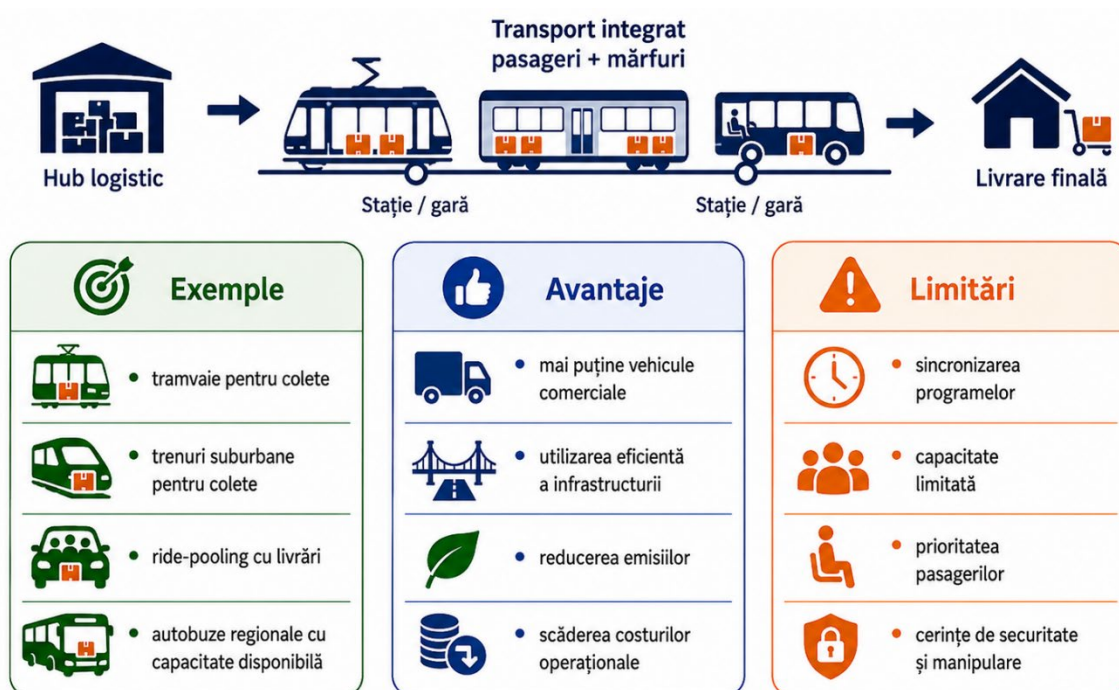


Figura 39 – Integrarea transportului de mărfuri cu cel de pasageri

Tabelul 52 - Integrarea transportului de mărfuri și pasageri

Element	Avantaje	Limitări
Tramvaie pentru colete	reduc vehiculele comerciale	nevoie de terminale urbane
Trenuri suburbane	capacitate bună pe distanțe medii	sincronizare cu orarele
Autobuze regionale	folosirea capacității disponibile	spațiu limitat
Ride-pooling cu livrări	flexibilitate	securitate și responsabilitate
Hub-uri mixte	integrare urbană	costuri și organizare

- **Terminale intermodale și noduri de mobilitate**

Terminalele intermodale reprezintă punctele în care se realizează transferul între moduri de transport. Acestea pot fi gări intermodale, aeroporturi, porturi, terminale cargo, Park & Ride, Bike & Ride sau hub-uri logistice urbane.

Funcțiile acestora includ schimbarea modului de transport, consolidarea fluxurilor, integrarea serviciilor și reducerea timpilor de transfer. În transportul de mărfuri, terminalele intermodale permit transferul containerelor sau semiremorcilor între camion, tren și navă. În transportul de pasageri, nodurile de mobilitate permit transferul între tren, autobuz, tramvai, bicicletă, mers pe jos sau autoturism.

Un terminal intermodal eficient trebuie să asigure acces facil, timp redus de transfer, informații clare, siguranță și capacitate suficientă. Dacă transferul este lent sau dificil, avantajul intermodalității se reduce. De aceea, terminalele nu trebuie privite doar ca infrastructuri fizice, ci ca noduri funcționale într-o rețea logistică.

În mediul urban, nodurile de mobilitate pot avea și funcție logistică. De exemplu, o stație importantă de transport public poate fi conectată cu un microhub de livrare, lockere, parcare de biciclete și spații de colectare a retururilor. Astfel, același punct urban poate servi atât mobilitatea persoanelor, cât și distribuția mărfurilor mici.

Tabelul 53 - Exemple de terminale și noduri

Tip de nod	Flux principal	Funcții
Gară intermodală	pasageri	tren, autobuz, taxi, bicicletă
Terminal cargo	mărfuri	manipulare, transbordare, depozitare
Port	mărfuri și pasageri	transport naval, vamă, logistică
Aeroport	pasageri și cargo	mobilitate rapidă, mărfuri urgente
Park & Ride	pasageri	transfer auto–transport public
Hub logistic urban	mărfuri	consolidare, last mile, retururi
Bike & Ride	pasageri	bicicletă + transport public

3. Distribuția de ultim kilometru (Last Mile Logistics)

Distribuția de ultim kilometru reprezintă livrarea mărfurilor de la ultimul centru logistic către clientul final. Aceasta este una dintre cele mai importante componente ale logisticii urbane, deoarece are contact direct cu destinatarul și influențează calitatea percepută a serviciului.

Ultimul kilometru este, în multe cazuri, cea mai costisitoare etapă a distribuției, cea mai sensibilă la congestie și cea mai influențată de cerințele clienților. Costurile sunt ridicate deoarece

livrările sunt fragmentate, adresele sunt dispersate, timpul de oprire poate fi mare, iar unele livrări pot eșua dacă destinatarul nu este disponibil.

În comerțul electronic, distribuția de ultim kilometru a devenit critică. Clienții doresc livrări rapide, urmărirea comenzii în timp real, posibilitatea alegerii intervalului de livrare și opțiuni flexibile de preluare. Aceste cerințe determină operatorii să dezvolte soluții alternative.

Soluțiile utilizate includ micro-depozite urbane, lockere automate, biciclete cargo, vehicule electrice, drone și roboți autonomi. Micro-depozitele urbane reduc distanța până la client. Lockerele automate reduc livrările eșuate și oferă flexibilitate. Bicicletele cargo sunt utile în zone aglomerate sau cu restricții de acces. Vehiculele electrice reduc emisiile locale. Dronele și roboții autonomi pot fi soluții pentru anumite tipuri de livrări, dar depind de reglementări, siguranță și acceptarea publică.

Distribuția de ultim kilometru trebuie analizată în relație cu orașul. O soluție eficientă pentru operator nu este neapărat bună pentru comunitate dacă generează trafic, zgomot sau ocuparea excesivă a spațiului public. De aceea, soluțiile moderne trebuie să urmărească echilibrul dintre eficiență economică, calitatea serviciului și sustenabilitate urbană.

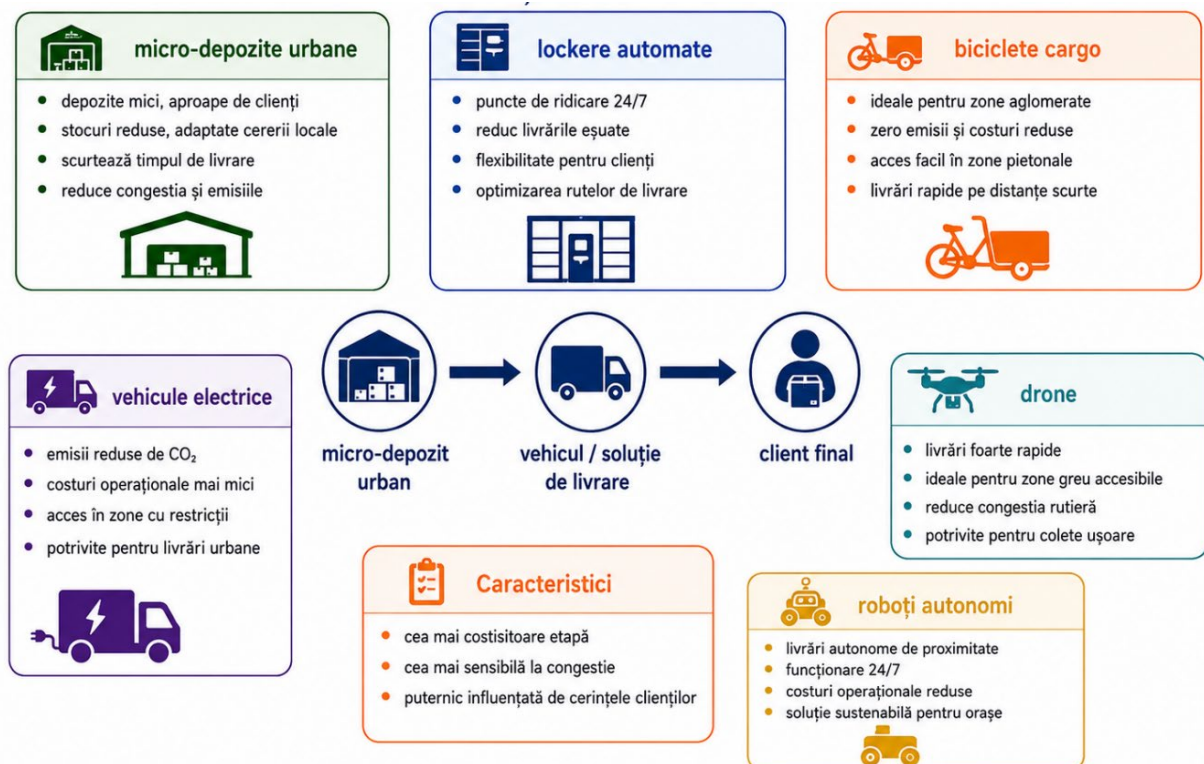


Figura 40 - Distribuția de ultim kilometru

Tabelul 54 - Soluții pentru distribuția de ultim kilometru

Soluție	Avantaje	Limitări
Micro-depozite urbane	apropiere de client, timp redus	costuri de spațiu
Lockere automate	reduc livrările eșuate	necesită amplasare potrivită
Biciclete cargo	emisii reduse, acces urban bun	capacitate limitată
Vehicule electrice	emisii locale reduse	autonomie și încărcare
Drone	livrare rapidă în anumite zone	reglementări și siguranță
Roboți autonomi	costuri reduse pe distanțe scurte	infrastructură și acceptare publică

4. Concluzii

Logistica urbană reprezintă o componentă esențială a sistemelor moderne de transport, deoarece orașele trebuie să gestioneze simultan fluxuri intense de mărfuri și pasageri. Creșterea comerțului electronic, densitatea urbană, congestionarea traficului și cerințele privind sustenabilitatea fac ca distribuția urbană să devină o problemă complexă, care nu poate fi rezolvată doar prin creșterea numărului de vehicule.

Intermodalitatea și multimodalitatea permit combinarea avantajelor mai multor moduri de transport și pot contribui la reducerea costurilor, emisiilor și congestiei. Terminalele intermodale, hub-urile urbane și nodurile de mobilitate sunt elemente importante pentru integrarea fluxurilor.

Integrarea transportului de mărfuri cu cel de pasageri reprezintă o direcție modernă, dar necesită o planificare atentă. Ea poate reduce numărul vehiculelor comerciale și poate utiliza mai bine infrastructura existentă, însă trebuie să respecte prioritatea, siguranța și confortul pasagerilor.

Distribuția de ultim kilometru rămâne una dintre cele mai dificile și costisitoare etape ale logisticii urbane. Soluțiile moderne, precum micro-depozitele, lockerele, bicicletele cargo, vehiculele electrice, dronele și roboții autonomi pot contribui la creșterea eficienței, dar trebuie integrate într-o strategie urbană coerentă.

5. Bibliografie

- Allen, J., Browne, M., Woodburn, A., & Leonardi, J. (2012). The role of urban consolidation centres in sustainable freight transport. *Transport Reviews*, 32(4), 473–490.
- Elbert, R., & Rentschler, J. (2022). Freight on urban public transportation: A systematic literature review. *Research in Transportation Business & Management*, 45, 100679.

- Gevaers, R., Van de Voorde, E., & Vanelslender, T. (2014). Cost modelling and simulation of last-mile characteristics in an innovative B2C supply chain environment with implications on urban areas and cities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 125, 398–411.
- MIT OpenCourseWare. (2006). *Logistics systems (ESD.260J / 1.260J / 15.770J)*. Massachusetts Institute of Technology.
- Rodrigue, J.-P. (2024). *The geography of transport systems* (6th ed.). Routledge.
- Taniguchi, E., Thompson, R. G., Yamada, T., & Van Duin, R. (2001). *City logistics: Network modelling and intelligent transport systems*. Pergamon.

CURS 13

Digitalizare, sustenabilitate și tendințe actuale în logistica transporturilor

Obiectivele cursului

La finalul acestui curs, studentul trebuie să fie capabil să:

- explice impactul digitalizării asupra logisticii și transporturilor;
- identifice principalele tehnologii utilizate în Logistics 4.0;
- analizeze rolul AI, IoT, Big Data și Digital Twins în optimizarea activităților logistice;
- descrie principiile logisticii verzi și ale economiei circulare;
- înțeleagă rolul mobilității inteligente și al automatizării în transporturi;
- explice importanța rezilienței și tendințele viitoare ale logisticii.

Introducere

Ultimele două decenii au adus schimbări majore în domeniul logisticii. Globalizarea, dezvoltarea comerțului electronic, digitalizarea, presiunea pentru reducerea emisiilor și nevoia de reziliență au modificat modul în care sunt proiectate și administrate sistemele de transport. Logistica nu mai poate fi definită doar prin transport și depozitare, ci prin integrarea tehnologiilor digitale, utilizarea datelor în timp real și dezvoltarea unor sisteme inteligente, flexibile, sustenabile și reziliente.

În sistemele logistice tradiționale, multe decizii erau luate pe baza experienței, a documentelor pe hârtie și a unor informații disponibile cu întârziere. În prezent, vehiculele, depozitele, terminalele, comenzile, mărfurile și utilizatorii pot genera date în timp real. Aceste date pot fi utilizate pentru planificarea rutelor, urmărirea livrărilor, prognoza cererii, optimizarea stocurilor, reducerea consumului energetic și anticiparea perturbărilor.

Conceptul Logistics 4.0 reprezintă aplicarea principiilor Industriei 4.0 în domeniul logisticii. El presupune conectarea componentelor lanțului logistic prin tehnologii digitale, sisteme inteligente, Internet of Things, inteligență artificială, automatizare și analiză de date. Studiile recente despre Logistics 4.0 arată că aplicațiile de tracking, tracing și conectivitate digitală pot aduce valoare operațională prin creșterea vizibilității, transparenței, eficienței, siguranței și securității operațiunilor logistice (Helo, 2024).

Transformarea digitală nu trebuie înțeleasă ca simplă introducere a unor aplicații informatice. Ea schimbă modul de funcționare al întregului sistem logistic. Datele devin resursă operațională, iar deciziile pot fi actualizate permanent în funcție de trafic, cerere, disponibilitatea vehiculelor, starea mărfurilor și constrângerile de mediu.

În paralel, sustenabilitatea devine un criteriu esențial. Transporturile de mărfuri și pasageri sunt analizate tot mai mult prin impactul asupra emisiilor, consumului energetic, calității vieții urbane și investițiilor în infrastructură. ITF Transport Outlook 2023 analizează efectele politicilor de transport asupra cererii globale de transport și asupra emisiilor de CO₂ până în 2050, pentru transportul de pasageri și de marfă, pe toate modurile de transport (International Transport Forum, 2023).

O particularitate importantă a logisticii actuale este faptul că eficiența economică nu mai este suficientă. Un sistem logistic performant trebuie să fie și digitalizat, sigur, transparent, sustenabil și capabil să funcționeze în condiții de perturbare. În acest sens, logistica modernă evoluează de la optimizarea costurilor către optimizarea echilibrului dintre cost, timp, calitatea serviciului, impact asupra mediului și reziliență.

1. Evoluția logisticii către Logistics 4.0 și Logistics 5.0

Transformarea logisticii poate fi înțeleasă ca o evoluție în mai multe etape. Fiecare etapă a fost determinată de nivelul tehnologic disponibil, de organizarea economică și de cerințele pieței.

În etapa Logistics 1.0, accentul era pus pe mecanizare și transport convențional. Activitățile logistice erau predominant fizice: transport, manipulare, depozitare și distribuție. Informația circula lent, iar planificarea era în mare parte manuală.

Logistics 2.0 a introdus automatizarea parțială și informatizarea. Au apărut sisteme informatice pentru gestiunea comenzilor, a stocurilor și a transporturilor, dar multe dintre acestea funcționau separat. În această etapă, datele existau, dar nu erau întotdeauna integrate.

Logistics 3.0 a adus integrarea sistemelor informatice și dezvoltarea managementului lanțului de aprovizionare. Sistemele ERP, WMS și TMS au început să fie conectate cu procesele de aprovizionare, producție, depozitare și distribuție. Logistica devine parte a strategiei organizației, nu doar funcție operațională.

Logistics 4.0 presupune digitalizare completă, conectivitate, IoT, AI, Big Data, automatizare și vizibilitate în timp real. În această etapă, sistemul logistic este tratat ca rețea inteligentă, în care datele sunt folosite pentru decizii rapide și adaptare continuă.

Logistics 5.0 extinde această perspectivă prin accentul pus pe colaborarea om-tehnologie, sustenabilitate, reziliență și valoare socială. Dacă Logistics 4.0 pune accent pe conectivitate și automatizare, Logistics 5.0 pune accent pe utilizarea tehnologiei în sprijinul oamenilor, al mediului și al comunităților.

În prezent, multe organizații se află într-o etapă de tranziție între Logistics 4.0 și Logistics 5.0. Unele procese sunt digitalizate și automatizate, dar multe decizii depind încă de oameni, colaborare între actori și adaptare la situații neprevăzute.

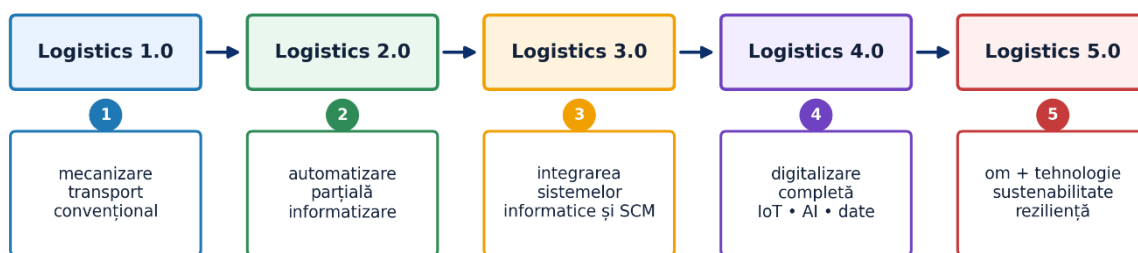


Figura 41 - Evoluția logisticii către Logistics 4.0 și Logistics 5.0

Tabelul 55 - Evoluția logisticii

Etapă	Caracteristici principale	Tip de sistem logistic
Logistics 1.0	mecanizare și transport convențional	sistem fizic, slab informatizat
Logistics 2.0	automatizare parțială și informatizare	sistem informatizat fragmentat
Logistics 3.0	integrarea sistemelor informatice și SCM	sistem integrat la nivel organizațional
Logistics 4.0	digitalizare completă, IoT, AI, Big Data	sistem conectat și inteligent
Logistics 5.0	colaborare om-tehnologie, sustenabilitate, reziliență	sistem adaptiv, sustenabil și centrat pe om

2. Tehnologii digitale în logistica transporturilor

Tehnologiile digitale sunt baza transformării către Logistics 4.0. Ele permit colectarea datelor, conectarea echipamentelor, monitorizarea fluxurilor, analiza predictivă și automatizarea unor decizii. Cele mai importante tehnologii sunt Internet of Things, Big Data, AI, Machine Learning, Digital Twins și Blockchain.

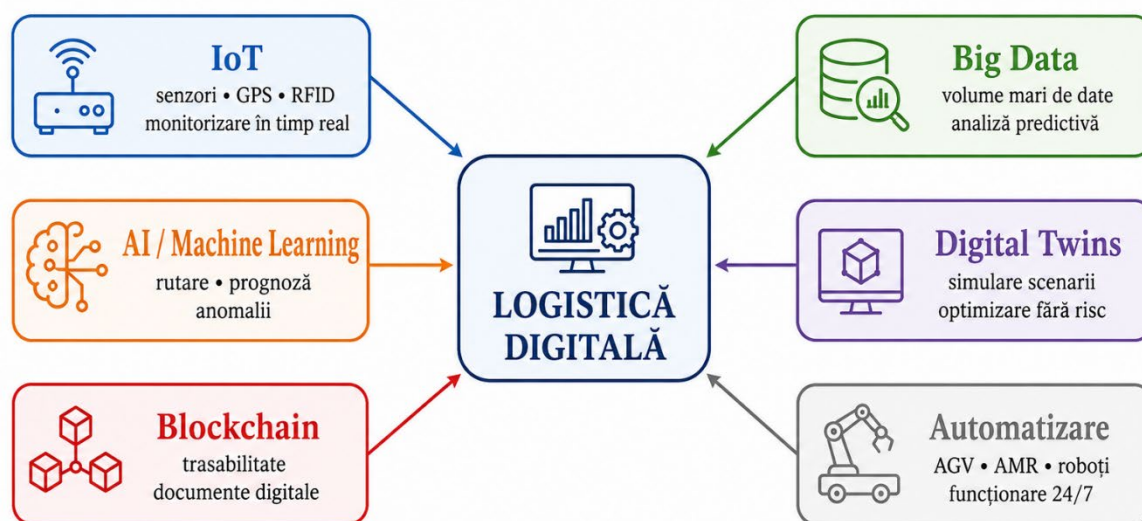


Figura 42 - Principalele tehnologii utilizate în Logistics 4.0

- **Internet of Things și monitorizarea în timp real**

Internet of Things reprezintă rețeaua de echipamente capabile să comunice și să transmită date în timp real. În logistică, IoT conectează vehicule, containere, paleți, colete, depozite, terminale și echipamente de manipulare. Această conectare permite observarea stării sistemului logistic în timpul funcționării.

În logistică sunt utilizați senzori de temperatură, senzori de umiditate, GPS, RFID, senzori pentru vibrații și dispozitive telematice. Aceste tehnologii sunt utile mai ales în transportul mărfurilor sensibile, cum sunt produsele alimentare, produsele farmaceutice, mărfurile fragile sau bunurile cu valoare ridicată.

Aplicațiile IoT includ monitorizarea vehiculelor, urmărirea mărfurilor, monitorizarea lanțului frigorific, managementul flotelor și întreținerea predictivă. De exemplu, un senzor de temperatură poate transmite automat o alertă dacă un vehicul frigorific depășește intervalul permis. Un dispozitiv GPS poate semnaliza devierea de la rută. Un senzor de vibrații poate indica manipularea necorespunzătoare a unui colet fragil.

Beneficiile principale sunt reducerea pierderilor, trasabilitatea completă și posibilitatea luării deciziilor în timp real. În loc ca operatorul să afle problema după livrare, sistemul poate semnaliza abaterea imediat, iar intervenția poate fi făcută înainte ca produsul să fie compromis.

Tabelul 56 - Tehnologii IoT utilizate în logistică

Tehnologie	Date colectate	Aplicație logistică
GPS	poziție, viteză, traseu	urmărirea vehiculelor
RFID	identificarea automată a bunurilor	inventar, trasabilitate
Senzori de temperatură	temperatură în timp real	lanț frigorific
Senzori de umiditate	condiții de mediu	produse sensibile
Senzori de vibrații	șocuri și manipulare	mărfuri fragile
Telematică	consum, stil de conducere, stare vehicul	management flotă

- **Big Data, AI și Machine Learning**

Sistemele logistice generează volume foarte mari de date. Acestea provin din GPS, sisteme ERP, TMS, WMS, senzori IoT, aplicații mobile, sisteme de ticketing, camere video și platforme digitale. Datele pot descrie poziția vehiculelor, durata transporturilor, comenzile, stocurile, timpii de procesare, consumul de combustibil, traficul și comportamentul utilizatorilor.

Big Data nu se referă doar la cantitatea mare de date, ci la capacitatea de a le prelucra și transforma în informații utile. În logistică, valoarea datelor apare atunci când acestea susțin decizii privind planificarea rutelor, capacitatea depozitelor, programarea livrărilor, alocarea vehiculelor sau anticiparea cererii.

Prin analiza Big Data se pot realiza prognoza cererii, estimarea timpilor de livrare, detectarea blocajelor, optimizarea rutelor și prognoza consumului energetic. Analiza predictivă permite anticiparea evenimentelor înainte ca acestea să apară. În loc să reacționeze doar după producerea unei întârzieri, operatorul poate identifica din timp probabilitatea unei întârzieri și poate modifica ruta, informa clientul sau realoca resursele.

Inteligența Artificială permite sistemelor informatice să analizeze date complexe, să identifice modele, să propună soluții și să sprijine decizii dificil de luat manual. Aplicațiile AI în logistică includ optimizarea rutelor, planificarea transporturilor, predicția cererii, alocarea comenzilor, managementul stocurilor, detectarea anomaliilor și optimizarea consumului energetic. Modelele AI pot analiza simultan milioane de combinații imposibil de evaluat manual.

Machine Learning este ramura AI prin care sistemele învață din date istorice. În logistică, machine learning poate fi utilizat pentru estimarea întârzierilor, prognoza comenzilor, identificarea riscurilor, recomandarea rutelor optime și detectarea fraudelor. Sistemele devin mai precise pe măsură ce acumulează date, dar numai dacă datele sunt corecte, relevante și actualizate.

Digitalizarea lanțurilor de aprovizionare poate sprijini sustenabilitatea prin eficiență crescută și reducerea risipei, iar tehnologii precum AI, blockchain și IoT sunt prezentate ca instrumente importante pentru îmbunătățirea eficienței și reducerea pierderilor în lanțurile de aprovizionare (World Economic Forum, 2024).

Tabelul 57 - Aplicații AI și Machine Learning în logistică

Aplicație	Rol	Exemplu
Rutare	alegerea traseelor eficiente	distribuție urbană
Prognoză cerere	anticiparea comenzilor	e-commerce
Alocare comenzi	repartizare către depozite/vehicule	distribuție regională
Mentenanță predictivă	prevenirea defecțiunilor	flotă de camioane
Detectare anomalii	identificarea abaterilor	fraudă, furt, întârzieri
Optimizare energetică	reducerea consumului	transport verde

- **Digital Twins și simularea sistemelor logistice**

Digital Twin reprezintă copia virtuală a unui sistem fizic. În logistică, un digital twin poate fi realizat pentru un depozit, o rețea logistică, un terminal, un oraș sau o flotă. Această copie digitală este conectată cu sistemul real prin date și poate fi utilizată pentru analiză, monitorizare, simulare și optimizare.

Un digital twin permite simularea scenariilor, evaluarea investițiilor, testarea modificărilor fără riscuri și optimizarea performanței. De exemplu, înainte de reorganizarea unui depozit, se poate testa digital impactul asupra fluxurilor interne. Înainte de deschiderea unui nou terminal, se poate simula cum se modifică rutele și timpii de transport.

În transporturi, digital twins pot fi utilizate pentru simularea traficului urban, a fluxurilor de marfă, a activității terminalelor și a rețelelor intermodale. Astfel, deciziile pot fi testate înainte de implementarea reală, reducând riscul investițiilor greșite.

Cercetările recente arată că digital twins pentru logistică și supply chain pot contribui la decizii mai eficiente, transparente și rapide, dar ridică și provocări legate de date, interoperabilitate, modelare și implementare practică (Le & Fan, 2024).

- **Blockchain și trasabilitatea**

Blockchain permite înregistrarea securizată și greu de modificat a informațiilor logistice. Într-un blockchain, datele sunt stocate sub formă de blocuri legate între ele, iar modificarea ulterioară a informațiilor este foarte dificilă fără detectare. Această caracteristică este utilă în lanțurile logistice unde trasabilitatea și încrederea între actori sunt importante.

Aplicațiile blockchain includ trasabilitatea produselor, documente digitale, lanț frigorific, produse alimentare, produse farmaceutice și contracte inteligente. În cazul produselor alimentare, blockchain poate înregistra originea, transportul, condițiile de depozitare și transferurile dintre actori. În cazul produselor farmaceutice, poate sprijini verificarea autenticității și reducerea riscului de falsificare.

Beneficiile includ transparență, reducerea fraudelor și reducerea documentelor pe hârtie. Contractele inteligente pot automatiza anumite procese, de exemplu declanșarea unei plăți atunci când livrarea este confirmată.

Totuși, blockchain nu rezolvă automat toate problemele de trasabilitate. Calitatea sistemului depinde de calitatea datelor introduse. Dacă informația inițială este greșită, blockchain doar o păstrează într-o formă greu de modificat. De aceea, blockchain trebuie combinat cu IoT, verificări operaționale și proceduri clare.

Tabelul 58 – Aplicații blockchain în logistică

Aplicație	Utilizare	Beneficiu
Trasabilitate produse	origine, transferuri, livrare	transparență
Lanț frigorific	temperatură și condiții	control calitate
Documente digitale	documente de transport, vamă	reducerea hârtiei
Smart contracts	automatizare plăți/procese	eficiență
Produse farmaceutice	verificarea autenticității	reducerea falsurilor
Alimente	urmărirea originii	siguranță alimentară

3. Automatizare, robotizare și transport autonom

Automatizarea și robotizarea transformă operațiunile logistice din depozite, terminale și transporturi. Ele urmăresc creșterea productivității, reducerea erorilor, funcționarea continuă și creșterea siguranței.

Depozitele moderne utilizează AGV, AMR, brațe robotice, sisteme automate AS/RS și drone pentru inventariere. AGV, Automated Guided Vehicles, sunt vehicule ghidate automat care se deplasează pe trasee prestabilite. AMR, Autonomous Mobile Robots, sunt roboți mobili autonomi capabili să se deplaseze mai flexibil în depozit. Brațele robotice pot manipula produse, iar sistemele AS/RS pot stoca și extrage automat mărfuri din rafturi.

Beneficiile automatizării sunt productivitatea ridicată, reducerea erorilor, funcționarea 24/7 și siguranța crescută. În depozitele cu volum mare, automatizarea poate reduce timpul de pregătire a comenzilor și poate îmbunătăți acuratețea inventarului.

Totuși, automatizarea presupune investiții mari, mentenanță, personal calificat și integrarea cu sistemele informatice. Ea nu este potrivită pentru orice tip de depozit. În depozitele cu cerere foarte variabilă sau produse foarte diverse, flexibilitatea oamenilor rămâne importantă.

Transporturile autonome reprezintă una dintre direcțiile majore de dezvoltare. Exemplele includ camioane autonome, autobuze autonome, roboți de livrare și drone logistice. Aceste tehnologii urmăresc reducerea costurilor, creșterea siguranței și optimizarea rutelor.

Camioanele autonome sunt analizate mai ales pentru transport pe coridoare controlate sau pe distanțe lungi. Autobuzele autonome sunt testate în zone urbane sau campusuri, unde mediul este mai controlat. Roboții de livrare pot fi utilizați pentru ultimul kilometru, pe distanțe scurte, iar dronele pot livra colete ușoare în zone greu accesibile.

Avantajele potențiale sunt reducerea costurilor cu personalul, utilizarea mai bună a vehiculelor, reducerea erorilor umane și livrări mai rapide în anumite condiții. Limitările sunt însă importante: legislație, acceptare socială, infrastructură, siguranță, responsabilitate juridică și adaptarea la situații imprevizibile.

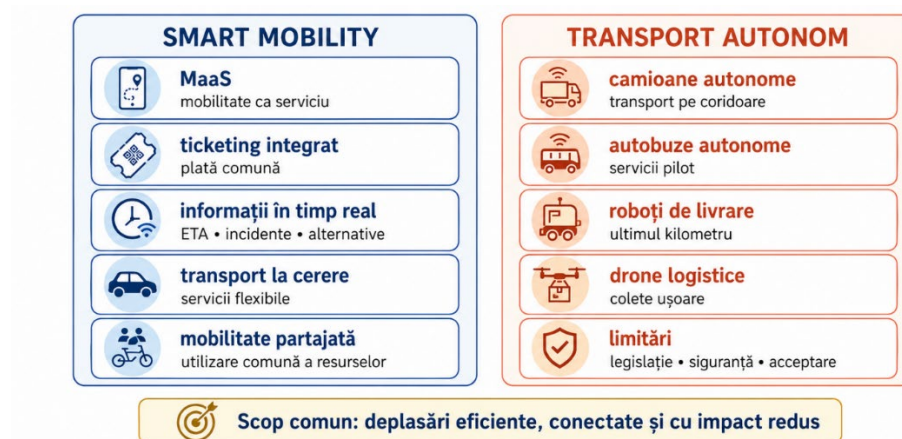


Figura 43 - Mobilitatea inteligentă și transportul autonom

Tabelul 59 – Automatizare și transport autonomy

Tehnologie	Aplicație	Avantaje	Limitări
AGV	transport intern în depozit	trasee stabile, costuri reduse	flexibilitate limitată
AMR	deplasare autonomă în depozit	adaptabilitate mai mare	cost și mentenanță
AS/RS	stocare și extragere automată	productivitate ridicată	investiție inițială mare
Drone inventariere	verificare stocuri	rapiditate	reglementări și autonomie
Camioane autonome	transport pe coridoare	utilizare eficientă	legislație și siguranță
Roboți de livrare	ultimul kilometru	costuri reduse pe distanțe scurte	infrastructură și acceptare

4. Logistica verde și economia circulară

Logistica verde urmărește reducerea impactului asupra mediului generat de activitățile logistice. Aceasta include reducerea emisiilor, optimizarea rutelor, reducerea consumului energetic, electrificarea flotelor, utilizarea combustibililor alternativi, reciclarea ambalajelor și economia circulară.

Transportul este una dintre componentele logistice cu impact important asupra mediului. Emisiile depind de modul de transport, tipul vehiculului, combustibil, gradul de încărcare, stilul de conducere, congestie și distanță. De aceea, logistica verde începe adesea cu optimizarea rutelor și reducerea curselor goale.

ITF estimează că, în scenariul Current Ambition, cererea de transport de pasageri ar putea crește cu 79% până în 2050, iar cererea de transport de marfă s-ar putea aproape dubla; în scenariul High Ambition, creșterile estimate sunt mai reduse, de 65% pentru pasageri și 59% pentru marfă (International Transport Forum, 2023). Această estimare arată că reducerea impactului transporturilor nu poate fi obținută doar prin limitarea cererii, ci necesită politici, tehnologii și soluții logistice mai eficiente.

Electrificarea flotelor este o direcție importantă, mai ales în distribuția urbană. Vehiculele electrice reduc emisiile locale și zgomotul, dar necesită infrastructură de încărcare, planificarea autonomiei și adaptarea operațiunilor.

Combustibilii alternativi, transportul feroviar, intermodalitatea, consolidarea livrărilor și utilizarea ambalajelor reutilizabile pot contribui la reducerea impactului. Totuși, logistica verde nu înseamnă doar vehicule mai curate. Ea presupune regândirea întregului sistem: rute, încărcare, depozite, ambalaje, returnuri, consum energetic și colaborare între actori.

Economia circulară extinde această perspectivă. Într-o economie circulară, produsele și materialele trebuie menținute cât mai mult timp în circuitul economic. Logistica sprijină economia circulară prin reutilizarea produselor, colectarea produselor uzate, reciclare, remanufacturare și reverse logistics.

Fundația Ellen MacArthur definește economia circulară prin trei principii: eliminarea deșeurilor și poluării, circularea produselor și materialelor și regenerarea naturii (Ellen MacArthur Foundation, n.d.). În logistică, acest model presupune trecerea de la fluxul liniar furnizor–client la fluxuri circulare, în care produsele pot reveni pentru reparație, reciclare, recondiționare sau reutilizare.

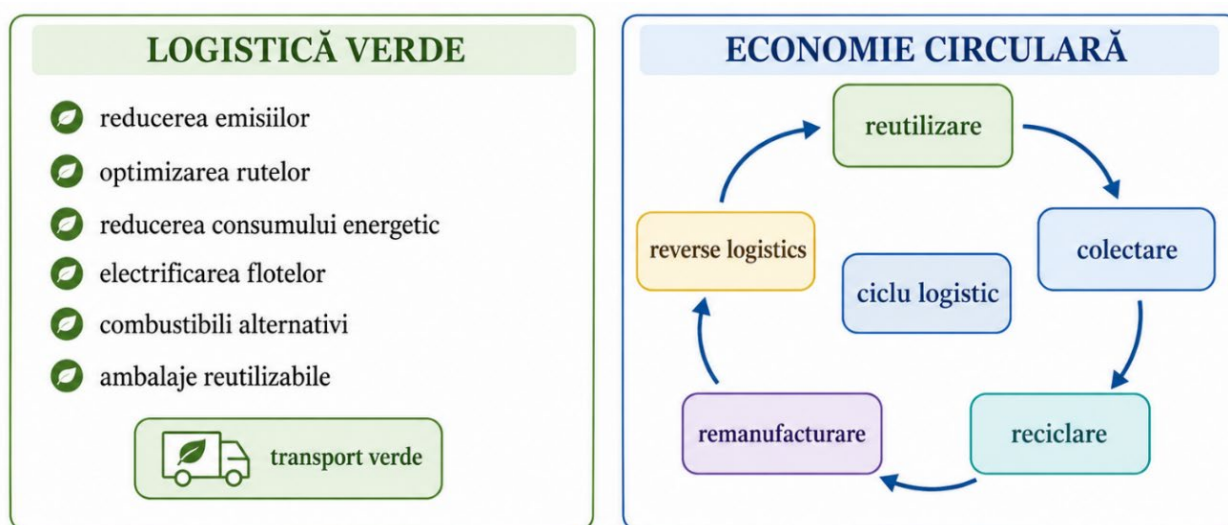


Figura 44 – Legătura dintre logistica verde și economia circulară

Tabelul 60 – Principii ale logisticii verzi și economiei circulare

Direcție	Măsurile logistice	Efect urmărit
Reducerea emisiilor	optimizare rute, vehicule electrice	impact climatic mai mic
Reducerea consumului energetic	încărcare eficientă, condus economic	costuri și emisii reduse
Intermodalitate	combinarea rutier-feroviar-naval	eficiență pe distanțe lungi
Ambalaje reutilizabile	colectare, curățare, reintroducere	reducerea deșeurilor
Reverse logistics	colectarea produselor uzate	susținerea economiei circulare
Remanufacturare	recuperarea componentelor	reducerea consumului de resurse

5. Mobilitate inteligentă și integrarea sistemelor de transport

Conceptul de Smart Mobility urmărește integrarea tuturor modurilor de transport pentru a oferi deplasări mai eficiente, mai flexibile și mai sustenabile. El include Mobility as a Service, ticketing integrat, informații în timp real, transport la cerere, vehicule electrice și mobilitate partajată.

Mobility as a Service presupune integrarea mai multor servicii de transport într-o platformă comună, astfel încât utilizatorul să poată planifica, rezerva și plăti o călătorie folosind mai multe moduri. De exemplu, o deplasare poate combina tren, autobuz, bicicletă partajată și mers pe jos.

Ticketingul integrat reduce dificultatea folosirii mai multor moduri de transport. Informațiile în timp real permit utilizatorilor să ia decizii mai bune, să evite întârzierile și să aleagă rute alternative. Transportul la cerere permite adaptarea serviciului la zone sau intervale cu cerere variabilă.

Scopul mobilității inteligente este optimizarea deplasărilor și reducerea dependenței de autoturismul personal. Pentru logistica transporturilor, această direcție este importantă deoarece aceleași infrastructuri sunt utilizate și de transportul de mărfuri. Un oraș cu mobilitate mai bine organizată poate oferi condiții mai bune și pentru distribuția urbană.

Mobilitatea inteligentă poate susține și integrarea transportului de mărfuri cu cel de pasageri. Datele în timp real, platformele digitale și nodurile intermodale pot permite coordonarea mai bună a fluxurilor urbane. De exemplu, un hub de transport public poate include și lockere, puncte de colectare a retururilor sau micro-depozite pentru distribuție de ultim kilometru.

Tabelul 61 – Componente ale mobilității inteligente

Componentă	Rol	Efect asupra sistemului
MaaS	integrarea serviciilor de mobilitate	călătorii mai simple și flexibile
Ticketing integrat	plată comună pentru mai multe moduri	reducerea barierelor de utilizare
Informații în timp real	estimări, incidente, alternative	reducerea incertitudinii
Transport la cerere	servicii adaptate cererii	eficiență în zone cu cerere variabilă
Mobilitate partajată	utilizarea comună a resurselor	reducerea presiunii pe infrastructură
Vehicule electrice	emisii locale reduse	mobilitate urbană mai curată

6. Reziliența și viziunea asupra logisticii în 2040–2050

Evenimente precum pandemia COVID-19, conflictele geopolitice, crizele energetice, atacurile cibernetice și întreruperile lanțurilor globale au demonstrat importanța rezilienței. Un lanț logistic eficient, dar foarte fragil, poate funcționa bine în condiții normale, dar se poate bloca rapid atunci când apare o perturbare.

Reziliența reprezintă capacitatea unui sistem logistic de a rezista, de a se adapta și de a se recupera după un șoc. Măsurile utilizate includ furnizori multipli, stocuri strategice, rute alternative, monitorizare în timp real, planuri de continuitate și digitalizare.

Digitalizarea contribuie la reziliență prin vizibilitate. Dacă o organizație știe unde se află mărfurile, care furnizor are probleme, ce rută este blocată și ce capacitate alternativă există, poate reacționa mai rapid. AI și analiza predictivă pot sprijini identificarea riscurilor înainte ca acestea să afecteze puternic sistemul.

World Economic Forum arată că liderii lanțurilor logistice trebuie să creeze rețele mai reziliente și mai sustenabile, iar AI poate avea un rol important în protejarea supply chain-urilor împotriva șocurilor majore (World Economic Forum, 2025).

În următoarele două decenii, se estimează că logistica va deveni mult mai conectată, automatizată, predictivă și orientată spre sustenabilitate. Depozitele vor deveni în mare parte autonome, vehiculele autonome vor fi integrate progresiv în transportul de marfă, iar inteligența artificială va planifica în timp real rețele logistice complexe.

Digital Twins vor fi utilizați pentru simularea continuă a orașelor, terminalelor și lanțurilor logistice. Aceste modele vor permite testarea rapidă a scenariilor: schimbări de trafic, creșteri ale

cererii, întreruperi de infrastructură, modificări ale rutelor sau introducerea unor noi centre logistice.

Logistica colaborativă va deveni mai răspândită. În loc ca fiecare operator să utilizeze separat resursele proprii, este posibilă partajarea capacităților, consolidarea fluxurilor și utilizarea platformelor digitale comune. Acest lucru poate reduce cursele goale, costurile și emisiile.

Integrarea dintre transportul de mărfuri și mobilitatea urbană va crește. Orașele vor trebui să coordoneze mai bine transportul public, livrările urbane, mobilitatea activă, vehiculele electrice, microhub-urile și sistemele de informare în timp real.

Criteriile de sustenabilitate și reziliență vor avea aceeași importanță ca eficiența economică. Logistica viitorului nu va fi evaluată doar prin cost și timp, ci și prin emisii, flexibilitate, siguranță, impact urban, utilizarea resurselor și capacitatea de adaptare la șocuri.

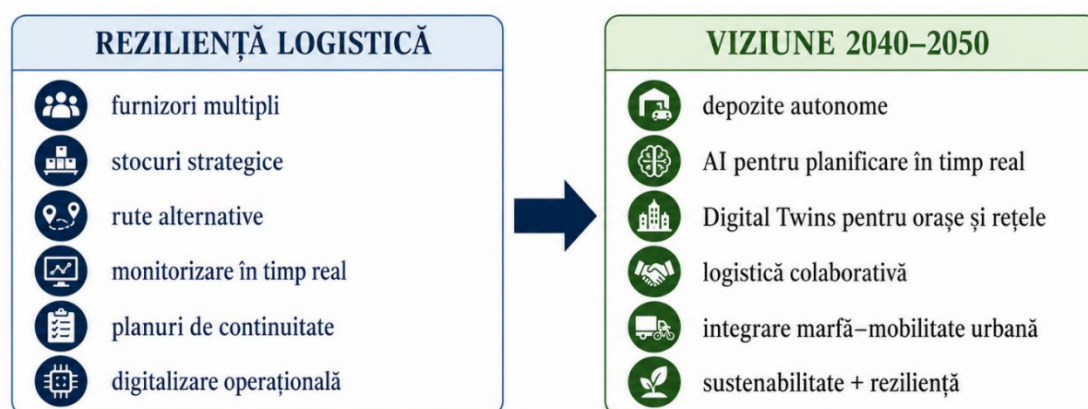


Figura 45 – Reziliența lanțurilor logistice și viziunea asupra logisticii în 2040-2050

Tabelul 62 – Măsuri pentru reziliență și direcții probabile pentru 2040-2050

Direcție	Exemple	Impact posibil
Furnizori multipli	alternative regionale și globale	dependență redusă
Stocuri strategice	produse critice, piese, materiale	continuitate operațională
Rute alternative	coridoare suplimentare	flexibilitate
Monitorizare în timp real	IoT, GPS, platforme digitale	reacție rapidă
Depozite autonome	robotizare și AI	productivitate
Digital Twins	simulare rețele și orașe	decizii testate înainte de implementare
Logistică colaborativă	capacități partajate	reducerea curselor goale
Sustenabilitate integrată	emisii, energie, economie circulară	impact redus asupra mediului

7. Concluzii

Digitalizarea, sustenabilitatea și reziliența definesc direcțiile actuale ale logisticii transporturilor. Logistics 4.0 aduce conectivitate, date în timp real, IoT, AI, Digital Twins, blockchain, automatizare și sisteme inteligente. Logistics 5.0 extinde această direcție prin integrarea dimensiunii umane, a sustenabilității și a capacității de adaptare.

Tehnologiile digitale permit monitorizarea vehiculelor, urmărirea mărfurilor, prognoza cererii, optimizarea rutelor, automatizarea depozitelor și anticiparea perturbărilor. Totuși, ele necesită date corecte, interoperabilitate, securitate cibernetică și personal capabil să interpreteze rezultatele.

Sustenabilitatea devine o cerință centrală. Logistica verde, electrificarea flotelor, intermodalitatea, economia circulară și reverse logistics contribuie la reducerea impactului asupra mediului. În același timp, reziliența lanțurilor logistice devine esențială într-o lume marcată de crize, volatilitate și incertitudine.

Viitorul logisticii va fi caracterizat de sisteme conectate, colaborative, autonome și sustenabile, în care eficiența economică va trebui echilibrată cu impactul asupra mediului, siguranța, transparența și capacitatea de adaptare.

8. Bibliografie

- Adhikari, R., & Chanda, R. (2024). *How digitalization can drive sustainable supply chains in the least developed countries*. World Economic Forum.
- Caplice, C., & Sheffi, Y. (2006). *Logistics systems (ESD.260J / 1.260J / 15.770J)*. MIT OpenCourseWare, Massachusetts Institute of Technology.
- Ellen MacArthur Foundation. (n.d.). *The circular economy: Definition and model explained*.
- Helo, P., & Thai, V. V. (2024). Logistics 4.0 – Digital transformation with smart connected tracking and tracing devices. *International Journal of Production Economics*, 275, 109336.
- International Transport Forum. (2023). *ITF transport outlook 2023*. OECD Publishing.
- Johar, P. (2025). *AI will protect global supply chains from the next major shock*. World Economic Forum.
- Le, T. V., & Fan, R. (2024). Digital twins for logistics and supply chain systems: Literature review, conceptual framework, research potential, and practical challenges. *Computers & Industrial Engineering*, 187, 109768.