

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII
BUCUREȘTI**

Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri

**TEZĂ DE DOCTORAT
-REZUMAT-**

*Contribuții pentru îmbunătățirea administrării
rețelelor rutiere bazate pe principii ale
Sistemelor Informaționale de tip GIS*

**Doctorand
Ing. MIHAI GABRIEL TOMA**

**Conducător Științific
Prof. Univ. Dr. Ing. MIHAI DICU**

București 2020

CUPRINS

Introducere.....	4
1. Prezentarea generală a rețelei de transport rutier din România în context european și mondial.....	6
1.1 Sistemul de transport rutier la nivel european.....	7
1.2 Sistemul de transport rutier din România.....	7
1.3 Rețeaua de drumuri naționale și autostrăzi din România.....	8
2. Urmărirea și coordonarea întreținerii structurilor rutiere din România.....	11
2.1 Administrarea rețelelor rutiere la nivel european.....	11
2.2 Administrarea rețelei de drumuri din România.....	13
2.3 Dificultăți întâlnite în administrarea rețelelor rutiere din România.....	14
3. Utilizarea Sistemelor Informaționale Geografice la întreținerea structurilor rutiere	15
3.1 Introducere în domeniul Sistemelor Informaționale Geografice.....	16
3.2 Elaborarea hărților digitale.....	19
3.3 Structuri de date spațiale.....	20
3.4 Proiecții cartografice. Sisteme de proiecție de interes pentru România.....	20
3.5 Baze de date geografice.....	21
3.6 Integrarea sistemelor GIS și PMS – Bune practici.....	21
4. Metode și tehnici statistice utilizate pentru analiza și prognoza viabilității rețelelor de drumuri.....	23
4.1 Literatura de specialitate	23
4.2 Metoda Electre – suport decizional pentru analiza stării tehnice a drumurilor.....	25
4.3 Aplicarea metodei electre pentru determinarea stării tehnice a drumurilor.....	25
5. Sisteme de baze de date utilizate în administrarea rețelelor rutiere.....	33
5.1 Baze de date. Noțiuni generale.....	33
5.2 Modele de organizare a bazelor de date.....	33
5.3 Baze de date relaționale. Sisteme de gestiune a bazelor de date relaționale (SGBDR).....	33
5.4 Tipologia sistemelor de baze de date.....	34
5.5 D.A.S.T.– aplicație dezvoltată pentru determinarea stării tehnice a drumurilor.....	37

6. Sistemul Informațional Geografic al rețelei de drumuri naționale și autostrăzi – Studiu de caz D.R.D.P. CLUJ.....	40
6.1 Scurtă prezentare a pachetului software utilizat.....	40
6.2 Aplicarea Sistemelor Informaționale Geografice pentru rețeaua de drumuri din administrarea D.R.D.P. Cluj.....	42
Concluzii finale. Contribuții Originale.....	44
Direcții viitoare de cercetare.....	48
Bibliografie selectivă.....	49

INTRODUCERE

Transporturile reprezintă o ramură însemnată a economiei datorită aportului acestora la crearea produsului intern brut. În același timp, transporturile au o contribuție semnificativă din punct de vedere social și economic întrucât asigură deplasarea pasagerilor și bunurilor în câmpul muncii, „*orice creștere economică la nivel național sau regional fiind amplificată de un sistem de transport competitiv și progresiv, adaptat nevoilor clienților*”¹. Astfel, pentru satisfacerea acestor necesități, transporturile depind în mod direct de existența căilor de comunicații și a mijloacelor de transport.

La nivel european întâlnim diferite tipuri de transport, în funcție de „*mediul ce servește drept cale de comunicație*”² și anume: transportul aerian, transportul maritim sau fluvial, transportul terestru care cuprinde transportul rutier și transportul feroviar.

Chiar dacă politica UE din ultimii ani în domeniul transporturilor se axează pe creșterea ponderii transporturilor cu impact scăzut asupra mediului înconjurător, fiind acordată o importanță sporită rețelei de cale ferată, transportul rutier rămâne de mare interes și s-a dezvoltat semnificativ în ultimele decenii datorită avantajelor tehnico-economice, respectiv utilizarea acestuia pe distanțe scurte și medii și în zonele rurale, unde nu există alte modalități de transport, precum și progreselor înregistrate în industria automobilelor.

Transportul rutier ocupă un loc important în țara noastră încă din anul 1964 când volumul mărfurilor transportate cu mijloacele auto ajunsese la un procent de aproximativ 50% din totalul transporturilor efectuate. Conform datelor statistice, la sfârșitul anului 2018, aproximativ 60,3% din volumul total de mărfuri transportate în decursul anului, respectiv 2,70 mil. tone, au fost tranzitate prin intermediul rețelei drumurilor publice. În ceea ce privește numărul pasagerilor transportați utilizând mijloace de transport specifice fiecărui mod de transport, aproximativ 78,70% din total, respectiv 2,95 mld. pasageri, au utilizat transportul rutier în decursul anului 2018 restul de 22% fiind repartizați celorlalte moduri de transport.

Din totalul drumurilor publice înregistrate la sfârșitul anului 2018, 17740 km erau drumuri naționale, 35085 km drumuri județene și 33409 km drumuri comunale. Drumurile naționale reprezintă 20,6% din rețeaua drumurilor publice și preiau aproximativ 75% din traficul rutier la nivel național.

Potrivit statisticilor Serviciului Menținere Drumuri Naționale și Autostrăzi din cadrul C.N.A.I.R. S.A., aproximativ 60% din rețeaua drumurilor naționale are durată de exploatare depășită, iar peste 5000 km de drum prezintă o stare tehnică medie și rea.

Astfel, pentru asigurarea unei rețele de transport fiabile, care să impulsioneze comerțul și creșterea economică, premegător construcției de noi drumuri naționale și autostrăzi, se impune menținerea rețelei existente la un nivel de viabilitate acceptabil.

¹ *Master Plan General de Transport al României*, (2015), AECOM, Variantă finală revizuită a Raportului privind Master Planul pe termen scurt, mediu și lung, http://mt.gov.ro/web14/documente/strategie/mpgt/23072015/Master%20Planul%20General%20de%20Transport_iulie_2015_vol%20I.pdf

² Diaconu E., Dicu M., Răcănel C., (2006), *Căi de comunicații rutiere*, Ed. Conspress, București

Administratorii rețelei rutiere sunt nevoiți să găsească un echilibru între programul de activități ce presupune lucrări de întreținere/reparații și lucrările ce se pot executa în limita fondurilor disponibile, astfel încât investiția să atingă rentabilitatea cea mai mare.

Principala **motivație** a începerii acestui studiu a fost funcționarea atipică a transportului rutier românesc. De asemenea, creșterea competitivității transportului rutier la nivel de operator rutier, sau companie se poate realiza, atât prin cunoștințe din domeniu tehnic, cât și din cel statistic-matematic-decizional.

Lucrarea de cercetare pune în evidență activitățile specifice administrațiilor rutiere de gestionare a patrimoniului, respectiv de urmărire continuă a viabilității rețelei de drumuri pe care o au în administrare. Aceste activități presupun o serie de intervenții periodice pe rețeaua administrată și o planificare eficientă, pentru a putea solicita o finanțare corectă a serviciilor de întreținere și reparații la drumuri, astfel încât participanții la trafic să circule în condiții de siguranță și confort.

În cadrul prezentei lucrări, mi-am propus să dezvolt un model suport de decizie bazat pe principii ale Sistemelor Informaționale Geografice, care să ajute administratorii rețelelor rutiere în luarea deciziilor ce țin prioritizarea lucrărilor de întreținere a drumurilor.

Deoarece la nivel mondial și european se încearcă utilizarea unor noi metode de analiză a viabilității rețelelor rutiere, **unul din obiectivele principale** ale tezei de doctorat îl reprezintă identificarea unor proceduri moderne și rapide de informare asupra stării tehnice a drumurilor, precum și urmărirea evoluției acesteia în perioada de exploatare a rețelei de drumuri. Datele culese periodic cu echipamentele de investigare a stării de degradare, din dotarea administratorului drumurilor, vor reprezenta baza de calibrare a sistemului GIS, care va permite identificarea punctelor slabe din rețeaua rutieră spre informarea administratorilor dar și a publicului interesat de starea tehnică a drumurilor.

Prioritizarea lucrărilor de întreținere a drumurilor va fi determinată cu ajutorul unei metode multicriteriale de analiză a deciziilor, respectiv metoda Electre, ca instrument de optimizare a deciziilor în condiții de certitudine.

Prin descrierea procedurii de utilizare concepute de Bertrand Roy, am analizat și mi-am propus aplicarea acesteia și în sistemul de administrare a rețelei de drumuri din România, **al doilea obiectiv** al lucrării fiind reprezentat de crearea unui instrument de lucru managerial în strategia de intervenție pentru viabilizarea rețelelor de drumuri aflate în exploatare. Modelul va fi dezvoltat pentru rețeaua de drumuri din administrarea Direcției Regionale de Drumuri și Poduri Cluj din România.

Un ultim obiectiv al lucrării îl reprezintă identificarea acelor sectoare de drum cu cele mai grave condiții în ceea ce privește starea tehnică a drumurilor, constituirea unei baze de date și importarea acesteia într-o aplicație GIS, sistemele informaționale geografice devenind din ce în ce mai utilizate și în domeniul transporturilor datorită unor caracteristici speciale cum ar fi analiza spațială și vizualizarea, care pot îmbunătăți sistemul de management al structurilor rutiere.

CAPITOLUL 1

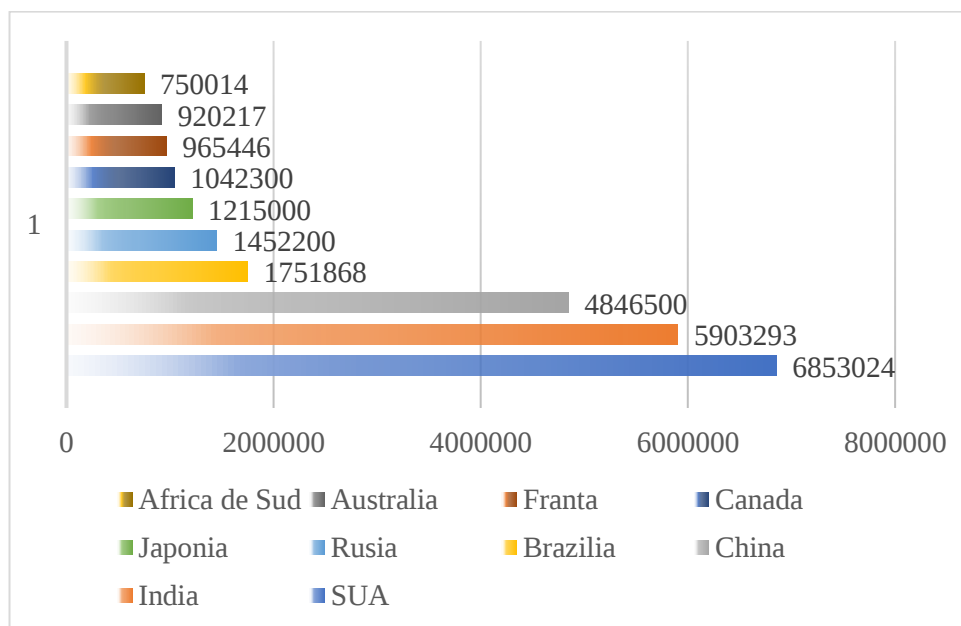
PREZENTAREA GENERALĂ A REȚELEI DE TRANSPORT RUTIER DIN ROMÂNIA ÎN CONTEXT EUROPEAN ȘI MONDIAL

Sistemul de transport îndeplinește un rol esențial în ceea ce privește bunăstarea economică națională și internațională, prin faptul că oferă mobilitate oamenilor și reprezintă legătura spațială între locațiile de producție și locațiile de consum de materiale și bunuri. Având în vedere lanțurile de aprovizionare cu nivel minim de stocare din prezent, sistemul de transport a devenit un avantaj competitiv pentru economia națională.

Transportul rutier, în ciuda faptului că reprezintă o sursă semnificativă de poluare a aerului la nivel mondial, rămâne de mare interes datorită unor avantaje certe: flexibilitate, costuri de întreținere scăzute, potrivit pentru distanțe scurte, viteze sporite de deplasare.

Civilizațiile moderne s-au dezvoltat împreună cu rețelele de drumuri, acestea fiind considerate sisteme simple și eficiente pentru colonizarea terenurilor libere, îmbunătățirea mobilității umane și transportul bunurilor. În prezent, rețeaua drumurilor publice "brăzdează" suprafața Pământului cu peste 14 mil. km de drumuri pavate. La sfârșitul anului 2018 SUA deținea cea mai mare rețea de drumuri din lume, de aproximativ 6,85 milioane km lungime din care 4,3 milioane km drumuri asfaltate, urmată de India 5,9 milioane de km, pe locul 3 mondial situându-se China cu 4,84 milioane km (Figura 1.1). În cazul Indiei, rețeaua rutieră reprezintă infrastructura principală de transport, aproximativ 65% din volumul de mărfuri și 80% din traficul total de pasageri desfășurându-se prin intermediul rețelei de drumuri.

Figura 1.1 Lungimea rețelelor rutiere la nivel mondial – Top 10 în anul 2018



Sursa datelor: realizat de autor

1.1 Sistemul de transport rutier la nivel European

La nivel european, transporturile reprezintă un sector important al economiei, cu o participare directă de aproximativ 4,8% la PIB-ul anual al Uniunii Europene pentru toate cele 28 state membre, asigurând în același timp peste 11 milioane de locuri de muncă în Europa.

Transportul rutier continuă să rămână soluția preferată pentru transportul călătorilor și mărfurilor în Europa. Din punct de vedere economic, reprezintă principalul mod de transport al mărfurilor și a luat amploare în mod constant în ultimele decenii, ocupând ponderea cea mai mare în cadrul transportului terestru pe teritoriul Uniunii Europene, chiar dacă este unul poluant.

Una din marile provocări care cu care se confruntă sistemele de transport în Europa o reprezintă infrastructura de transport. Calitatea acesteia variază de la un stat membru la altul, țările care au aderat în ultimii ani la UE nu dispun de căi ferate de mare viteză, iar rețelele de autostrăzi sunt mai puțin dezvoltate raportat la celelalte state membre. Schimbările majore în domeniul transporturilor nu vor fi posibile fără sprijinul unei infrastructuri de transport adecvate și a unei utilizări inteligente a acesteia, aceasta fiind cea care dă măsura mobilității.

Potrivit datelor furnizate de statisticile Eurostat, la nivelul Uniunii Europene, aproximativ 75% din volumul de mărfuri a fost transportat pe rețeaua drumurilor publice, 18,2% pe cale ferată restul de 6,8% revenind căilor navigabile interioare. La sfârșitul anului 2018, aproximativ 92% din volumul de călători a fost transportat pe rețeaua drumurilor publice, restul de 8% fiind repartizat celorlalte moduri de transport.

1.2 Sistemul de transport rutier din România

În cazul României, în perioada 2013 - 2018, din numărul pasagerilor transportați utilizând mijloace de transport specifice fiecărui mod de transport, respectiv 2,95 mld. pasageri, aproximativ 78,85% dintre aceștia au utilizat ca modalitate de transport transportul rutier, 17,00% transportul feroviar, restul de 4,05 % au utilizat transportul aerian, maritim precum și căile navigabile interioare.

În aceeași perioadă, din volumul total de mărfuri, respectiv 2,70 mld. tone, aproximativ 61,0% din total au fost transportate utilizând rețeaua de drumuri, 15,50% pe cale ferată, restul de 23,55% fiind distribuit pe căile navigabile interioare, aeriene și prin conductele petroliere magistrale.

Procentele ridicate ale transportului rutier se datorează progreselor înregistrate în industria automobilelor, mijloacelor de transport, camioanelor precum și avantajelor tehnico-economice pe care le are acest tip de transport.

Aceste statistici, denotă importanța infrastructurii și transportului rutier în România, atât în cazul deplasărilor efectuate pentru transportul pasagerilor cât și al mărfurilor.

Infrastructura de transport a unei țări influențează în mod direct dezvoltarea economică a acesteia, posibilitatea dezvoltării unei regiuni fiind amplificată de existența unei infrastructuri de transport moderne.

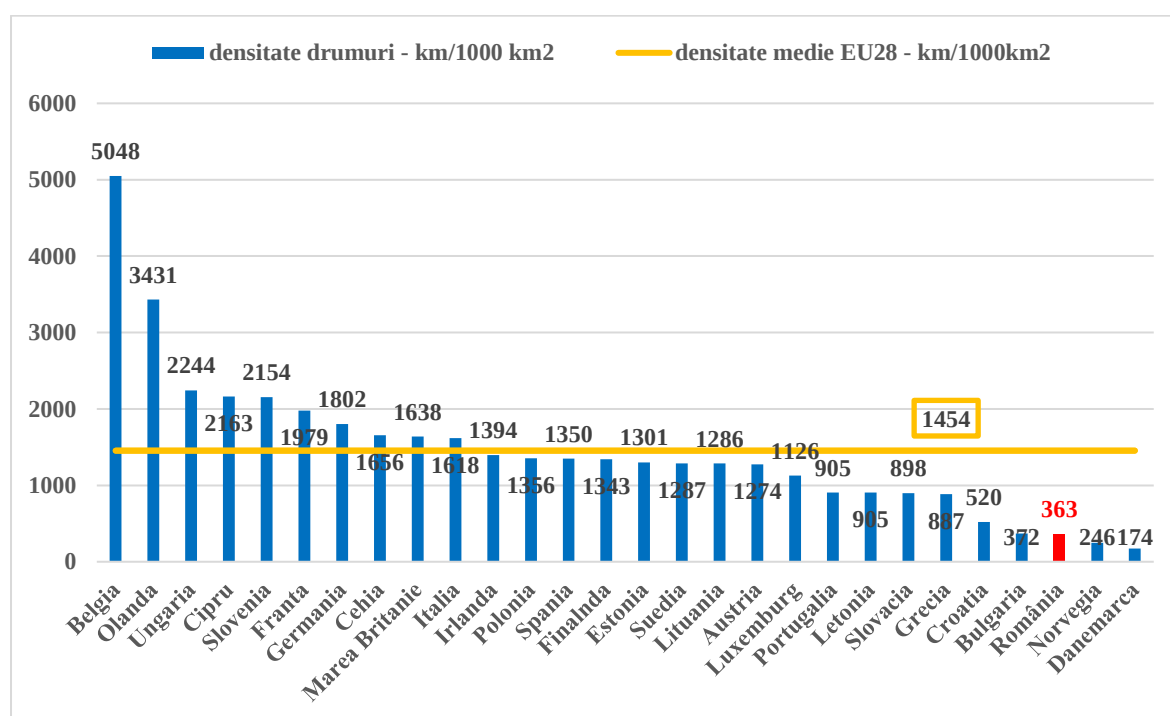
Lipsa unei infrastructuri de transport poate submina dezvoltarea unor regiuni, accesul dificil spre zonele cu funcțiuni economice sau de agrement face ca acestea să fie mai puțin atractive pentru mediul de afaceri cât și pentru populație, descurajează investițiile economice și conduc la declinul treptat al acelei zone.

1.3 Rețeaua de drumuri naționale și autostrăzi din România

În anul 2018, infrastructura rutieră a României se număra printre cele mai puțin dezvoltate din Europa în ceea ce privește acoperirea, conectivitatea cu celelalte state membre precum și siguranța rutieră. Cu toate acestea, aproximativ 85% din transportul de mărfuri și persoane se desfășura prin intermediul rețelei de drumuri. Efectele negative generate de calitatea slabă a drumurilor s-au manifestat în sectorul logistic național precum și printr-un număr ridicat de accidente rutiere soldate cu răniri grave și decese.

Potrivit statisticilor Eurostat, la sfârșitul anului 2018, Belgia deținea cea mai mare densitate a rețelei de drumuri publice de aproximativ 5050 km/1000 km², urmată de Olanda cu o densitate de aproximativ 3430 km/1000 km² și Ungaria cu o densitate de aproximativ 2245 km/1000 km². Cu o densitate de 363 km/1000 km², România se situează mult sub media EU 28 de 1454 km/1000 km², pe poziția 26 din cele 28 state analizate.

Figura 1.2 Densitatea rețelei de drumuri publice EU 28, în anul 2018



Sursa datelor: Statistici Eurostat, <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>

Conform datelor I.N.S., rețeaua drumurilor publice din România însuma la sfârșitul anului 2018, 86234 km de drum Tabelul nr. 1.1, din care: 17740 km (20,6%) drumuri naționale, 35085 km (40,7%) drumuri județene, 33409 km (38,7%) drumuri comunale.

Tabelul nr. 1.1 *Rețeaua drumurilor publice din România din punct de vedere funcțional*

Nr. Crt.	Categoria drumurilor	Lungime - km	Administratorul drumurilor
1	Drumuri naționale	16917	Ministerul Transporturilor prin Compania Națională de Administrare a Infrastructurii Rutiere
2	Autostrăzi	823	
3	Drumuri județene	35085	Consiliile județene
4	Drumurile comunale	33409	Consiliile locale

Sursa datelor: baza de date Tempo-online, Institutul Național de Statistică, [25]

Compania Națională de Administrare a Infrastructurii Rutiere S.A. este administratorul rețelei de drumuri naționale și autostrăzi din România, fiind singura companie din acest domeniu. Compania dispune de o structură organizatorică distribuită la nivel național, ceea ce permite administrarea operativă și coerentă a infrastructurii de autostrăzi și drumuri naționale. Rețeaua de drumuri naționale din România este administrată de C.N.A.I.R. S.A. prin 7 Direcții Regionale de Drumuri și Poduri.

Drumurile naționale reprezintă 20,6% din rețeaua drumurilor publice și preiau aproximativ 75% din traficul rutier la nivel național. Din totalitatea drumurilor naționale, 16818 km (aproximativ 95%) reprezintă drumuri naționale modernizate, 760 km (aproximativ 4%) sunt prevăzute cu îmbrăcămînți rutiere ușoare și 149 km (aproximativ 1%) sunt drumuri pietruite și de pământ.

În prezent, aproximativ 60% din rețeaua drumurilor naționale are durata de exploatare depășită, iar peste 5000 km de drum prezintă o stare tehnică mediocră și rea.

Rețeaua drumurilor județene și comunale din administrarea consiliilor județene și primăriilor prezintă o stare tehnică critică, iar 10625 km (39%) din totalul drumurilor județene modernizate și prevăzute cu îmbrăcămînți rutiere ușoare au durata de serviciu depășită, respectiv 2907 km (26%) din totalul drumurilor comunale.

În acest context, datorită condițiilor de circulație improprie, transportul rutier generează la ora actuală pierderi de timp, pierderi materializate prin consum ridicat de carburanți, lubrifianți, anvelope, întreținere, reparații vehicule care cumulate cu costurile generate de congestionarea traficului rutier depășesc suma de 200 milioane euro anual doar la nivelul rețelei de drumuri naționale, toate acestea materializându-se în prețul produselor pentru care consumatorii români trebuie să plătească.

Din punct de vedere al densității rețelei de autostrăzi, România se situează mult sub media EU 28, pe poziția 26 din 28 țări analizate, cu 3 km autostradă/1000km² față de media europeană de 22 km/1000 km².

Astfel, lipsa unei rețele rutiere care să asigure o capacitate de circulație corespunzătoare, precum și numărul mic al kilometrilor de autostradă – 823 km, cumulate cu creșterea remarcabilă a parcului de autovehicule – 8,5 mil. vehicule din care 70% autoturisme, are un impact negativ asupra timpului de călătorie precum și asupra siguranței traficului.

Chiar dacă politica UE din ultimii ani în domeniul transporturilor se axează pe creșterea ponderii transporturilor cu impact scăzut asupra mediului înconjurător, fiind acordată o importanță sporită rețelei de cale ferată, transportul rutier rămâne de mare interes și s-a dezvoltat semnificativ ultimele decenii datorită avantajelor tehnico-economice, respectiv utilizarea acestuia pe distanțe scurte și medii și în zonele rurale, unde nu există alte modalități de transport, precum și progreselor înregistrate în industria automobilelor.

Datele statistice prezentate, subliniază importanța transportului și rețelelor de transport rutier atât la nivel național cât și la nivel european. Transportul rutier rămâne soluția preferată pentru tranzitul călătorilor și mărfurilor în Europa, în ciuda faptului că infrastructura de transport nu este repartizată uniform în majoritatea țărilor care au aderat în ultimii ani la UE.

Chiar dacă infrastructura rutieră din România este printre cele mai puțin dezvoltate din Europa, în ceea ce privește acoperirea și conectivitatea cu celelalte state membre ale UE, cât și în ceea ce privește siguranța rutieră, aproximativ 85% din transportul de mărfuri și persoane se desfășoară prin intermediul rețelei de drumuri.

Totodată, starea tehnică și calitățile funcționale ale rețelei de drumuri publice la nivel național, sunt în general inacceptabile față de cerințele dezvoltării armonioase economice și sociale din prezent, iar întreținerea deficitară a drumurilor duce la imposibilitatea aplicării unor modele de degradare.

Având în vedere situația prezentată, rezultă în mod direct, necesitatea asigurării unei rețele de transport fiabile, care să impulsioneze comerțul și creșterea economică, premegător construcției de noi drumuri naționale și autostrăzi, precum și menținerea rețelei existente la un nivel de viabilitate acceptabil.

Funcțiile rețelei de drumuri sunt cele de asigurare a accesului de la și la locurile de existență a oamenilor, asigurarea siguranței, confortului, economicității și eficacității complexe a circulației și transporturilor rutiere. Recunoașterea calitativă și cantitativă a funcțiilor principale ale drumurilor se realizează, în contextul întregului concept promovat în cadrul prezentei lucrări prin studiile și aplicațiile realizate, printr-un sistem de criterii și indicatori tehnici de eficacitate a lucrărilor și activităților rețelelor rutiere, aspecte detaliate în cadrul Capitolelor 4-6.

Analiza efectuată, oferă factorilor de decizie o vedere de ansamblu asupra rețelei de drumuri din România, în special asupra rețelei de drumuri naționale și autostrăzi din administrarea C.N.A.I.R. S.A., pentru a stabili acțiunile ce se cer a fi întreprinse în vederea menținerii viabilității rețelei din administrare.

CAPITOLUL 2

URMĂRIREA ȘI COORDONAREA ACTIVITĂȚII DE ÎNTREȚINERE A STRUCTURILOR RUTIERE DIN ROMÂNIA

Una din activitățile principale ale administratorilor rețelelor rutiere este reprezentată de realizarea condițiilor pentru exploatarea optimă a drumurilor din administrare.

Elementele de bază pentru stabilirea procesului decizional se pot obține prin evaluarea corectă, din punct de vedere tehnic și financiar, a ceea ce este necesar pentru desfășurarea traficului rutier în condiții de siguranță și confort precum și pentru conservarea patrimoniului rutier.

În procesul de evaluare, administratorii rețelelor de transport rutier trebuie să aibă la îndemână argumente suficiente și să ofere răspuns la următoarele întrebări:

- care este starea tehnică a rețelei de drumuri la momentul analizei?;
- unde sunt necesare lucrări de întreținere/reparații?;
- care sunt lucrările prioritare?;

Numai în acest mod, administratorii rețelelor rutiere vor putea să adopte strategia adecvată astfel încât investiția să atingă rentabilitatea cea mai mare, în limita fondurilor disponibile alocate.

În ultimele decenii, a apărut o nouă disciplină cu caracter științific privind tehnologia întreținerii structurilor rutiere. Această tehnologie are la bază măsurători nedistructive, directe și de mare cadență, pentru evaluarea caracteristicilor funcționale și structurale ale sistemelor rutiere.

Datele obținute sunt utilizate la analiza procesului de diminuare în timp a performanțelor structurilor rutiere, ca urmare a acțiunii agresive a traficului rutier și depășirii duratei de exploatare. Această activitate se realizează în cadrul unui Program de urmărire și coordonare a întreținerii structurilor rutiere, întâlnit în literatura de specialitate sub denumirea de Pavement Management System - PMS.

2.1 Administrarea rețelelor rutiere la nivel european

În anul 1968, SUA prin U.S. Army Corps of Engineers (Corpul inginerilor din armata S.U.A), a pus bazele primului sistem de management al întreținerii structurilor rutiere - PAVER, ca instrument suport de decizie. Sistemul utilizează Indicele stării tehnice a drumului (Pavement Condition Index - PCI), un indice numeric cu valori între 0 și 100 care oferă indicații despre integritatea structurii rutiere și condițiile de operare a suprafeței carosabile și care se bazează pe scară de evaluare de 100 puncte, împărțite în 7 categorii.

Johnson ș.a. afirma în lucrarea *"Best practices handbook on asphalt pavement Maintenance"* [6], că sistemele de management al structurilor rutiere – PMS reprezintă un

instrument care ajută administratorii rețelelor rutiere să optimizeze strategiile de urmărire și coordonare a întreținerii structurilor rutiere, astfel încât acestea să atingă în permanență nivelul stării tehnice impuse de traficul rutier. Fără integrarea practicilor de management, administrarea și întreținerea structurilor rutiere poate fi dezorganizată și ineficientă în rezolvarea problemelor existente.

La sfârșitul anilor 1990, Austria a fost una dintre primele țări din Europa care a implementat un sistem de management al întreținerii structurilor rutiere pentru rețeaua de drumuri strategice, în cadrul unei cooperări dintre ASFINAG, Ministerele de Transport și Economie, Statele Federale și Mediul Academic.

Sistemul PMS implementat pune la dispoziția administratorilor un instrument suport de luare a deciziilor care îi ajută să realizeze programe de întreținere pentru optimizarea stării generale a rețelei rutiere. Limitările acestui sistem sunt reprezentate de bugetul redus alocat activităților de întreținere a drumurilor. Pentru un anumit set de condiționări (buget, starea tehnică a rețelei de drumuri), sistemul utilizează o analiză cost-beneficiu și tehnici de optimizare euristică pentru a identifica o strategie optimă de întreținere.

În anul 1999, în Germania a fost implementat un sistem de management al structurilor rutiere. Sistemul PMS a avut succes în monitorizarea stării rețelei și este acum utilizat în aproape toate statele federale pentru a sprijini procesul de planificare a întreținerii structurilor rutiere. Sistemul este capabil să evalueze starea structurilor rutiere pentru secțiunile individuale ale rețelei, pe baza datelor de intrare măsurate și a condițiilor observate empiric pe termen lung.

La nivel național, sistemul de administrare al drumurilor (PMS) a fost implementat încă din anul 1997, prin Programul PHARE de Asistență Tehnică al Comunității Europene [78]. Prin implementarea acestui program de către C.E.S.T.R.I.N. – organismul tehnic al C.N.A.I.R. S.A., „România se poate alinia la standardele Comunității Europene privind administrarea drumurilor naționale”³.

Acest sistem asigură administratorilor rețelelor rutiere, într-un concept unitar, elementele esențiale de eficiență tehnică și economică, care permit stabilirea cu obiectivitate a tuturor necesităților tehnice și financiare pentru planificarea, operarea și exploatarea optimă a unei rețele de structuri rutiere. Totodată, permite distribuirea logică a intervențiilor și mijloacelor necesar a fi executate, pentru readucerea structurii rutiere la nivelul de funcționalitate cerut.

Prin implementarea Programului de urmărire și coordonare a întreținerii structurilor rutiere se urmărește:

- stabilirea stării tehnice a structurilor rutiere;
- modificările care s-au produs într-un interval de timp;
- determinarea capacității portante a structurilor rutiere;
- determinarea duratei de viață reziduală a structurilor existente ;
- localizarea sectoarelor care necesită intervenții;

³ Prezentare generică a activităților și dotării tehnice, 2007, <https://www.cestrin.ro> [23]

- prezentarea unor măsuri preventive și de readucere a funcționalității structurilor la nivel normal;
- furnizarea elementelor necesare administratorului rețelei rutiere pentru a putea decide ce strategii să adopte în proiectele de consolidare sau reabilitare a structurilor rutiere, de modernizare sau dezvoltare a rețelelor de drumuri;
- constituirea unei practici operative a administratorului, de verificare sistematică a calității lucrărilor executate.

2.2 Administrarea rețelei de drumuri din România

Starea tehnică a drumurilor este urmărită constant de către administratorii drumurilor. În funcție de degradările înregistrate în timpul exploatării, aceștia pot programa lucrările de întreținere sau reparații necesare asigurării unui grad ridicat de siguranță rutieră și o bună funcționare a circulației.

În prezent, Administratorul drumurilor naționale și autostrăzilor din România utilizează și Sistemul de Administrare Rutieră Optimizată (SARO) [77], a drumurilor cu scopul de a întocmi anual programe de întreținere și reparații pentru perioade de perspectivă de 3 ani și pentru a elabora și aplica aceste programe de întreținere preventivă a drumurilor.

Sistemul cuprinde totalitatea activităților care asigură utilizarea judicioasă a fondurilor alocate pentru întreținerea și repararea drumurilor și aducerea la nivelul stării tehnice impuse de traficul rutier.

Starea tehnică a drumurilor din România se evaluează conform *Indicativ CD 155 - 2000: Instrucțiuni tehnice privind determinarea stării tehnice a drumurilor moderne* cu ajutorul următoarelor caracteristici:

- planeitatea suprafeței de rulare;
- rugozitatea suprafeței îmbrăcăminților rutiere;
- capacitatea portantă a sistemului rutier;
- starea de degradare.

Caracteristicile drumului se stabilesc pe sectoare omogene caracterizate prin aceleași date privind:

- caracteristicile traficului;
- tipul structurii rutiere;
- anul modernizării sau al ultimei lucrări de întreținere sau reparații curente.

Pe baza calificativelor acordate caracteristicilor drumului, pe tronsoane omogene se stabilește starea tehnică a drumului supus investigării.

Pentru fiecare caracteristică a drumului, determinată conform metodologiei prezentate, se stabilește un calificativ pe baza cărora fiecare drum studiat va fi încadrat într-o clasă a stării tehnice.

În funcție de clasa stării tehnice rezultate, se stabilesc lucrările de întreținere periodică și cele de reparații curente în conformitate cu prevederile „Instrucțiunilor tehnice privind determinarea stării tehnice a drumurilor moderne - indicativ CD 155 – 2001”.

Lucrările de investigare nedistructivă pot fi reluate periodic, în funcție de starea tehnică reală, evoluția acesteia în timp și mai ales necesitatea măsurării eficienței lucrărilor de reabilitare și întreținere efectuate în perioada dintre investigații.

2.3 Dificultăți întâlnite în administrarea rețelelor rutiere din România

În România, problemele legate de administrarea rețelelor rutiere se rezumă la următoarele aspecte:

1. sistemele de tip PMS au fost implementate în țara noastră din anul 1997, însă deciziile administratorilor rețelei rutiere de atunci și până în prezent nu au avut la bază informațiile furnizate de sistem, acestea fiind folosite doar cu caracter orientativ;
2. organismele tehnice abilitate nu promovează noile tehnologii de execuție și materialele calitativ superioare, cu toate că în România există laboratoare dotate cu echipamente de ultimă generație;
3. preluarea standardelor europene de încercări, fără adaptarea prevederilor acestora la condițiile de exploatare a structurilor rutiere din România;
4. schimbările privind soluțiile din proiect precum și excepții privind calitatea și sursele materialelor utilizate chiar și după demararea lucrărilor;
5. întreținerea deficitară a drumurilor duce la imposibilitatea aplicării unor modele de degradare, deoarece toate modelele pornesc de la un pachet minimal de întreținere (plombări și colmatări).
6. colaborarea precară cu mediul universitar;
7. lipsa unei strategii privind pregătirea studenților potrivit nevoilor administrațiilor;
8. inexistența programelor de pregătire a personalului din administrații în universități;

Totodată, în România nu există un management al cercetării rutiere sau o concretizare reală a cercetării, materializată prin soluții și norme tehnice cu efect imediat sau pe termen lung.

O altă problemă cu care se confruntă administratorii rețelelor rutiere este reprezentată de planificarea lucrărilor de întreținere a drumurilor în contextul constrângerilor bugetare. Procesul de luare a deciziilor referitor la priorități devine foarte complicat datorită caracteristicilor precum și distribuției în spațiu a componentelor drumului.

Starea tehnică a drumurilor naționale în continuă degradare, a cărei durată de serviciu este expirată în proporție de 60%, cumulată cu creșterea continuă a intensității traficului rutier și a parcului de autovehicule, precum și finanțarea scăzută alocată lucrărilor de întreținere periodică/reparații curente de aproximativ 950 mil. lei în perioada 2016-2018, datorată redirectionării fondurilor către programele ce presupun construirea de autostrăzi, au determinat execuția principalelor lucrări de întreținere/reparații curente la niveluri fizice inadmisibile.

CAPITOLUL 3

UTILIZAREA SISTEMELOR INFORMAȚIONALE GEOGRAFICE LA ÎNTREȚINEREA STRUCTURILOR RUTIERE

Concomitent cu dezvoltarea sistemelor de tip PMS și Sistemele Informaționale Geografice au cunoscut o evoluție fără precedent. Caracteristica principală a celor din urmă este reprezentată de tratarea informației ținând cont de localizarea ei în teritoriu, prin coordonate. „*Tehnologiile GIS au apărut din necesitatea de a facilita operații complexe de analiză geografică pentru care sistemele existente (CAD, DBMS) nu ofereau nici o posibilitate ori necesitau un mare consum de timp sau proceduri foarte anevoioase*”⁴.

Sistemele Informaționale Geografice sunt sisteme de gestionare a bazelor de date care permit stocarea, recuperarea, analiza și afișarea datelor spațiale. Un GIS conține două categorii largi de informații, date spațiale georeferențiate (obiecte care au o orientare și relație în spațiu) și date despre atribute (caracteristicile geometrice ale unui drum, volume de trafic, starea tehnică a structurilor rutiere).

Similar cu sistemele de tip PMS, un GIS trebuie să răspundă la următoarele întrebări:

- ❖ **ce este la...?** localizarea unei caracteristici, deoarece o locație poate fi prezentată în mai multe feluri.
- ❖ **unde se găsește...?** adică exprimarea unei condiții. Scenariul în care dorim să știm în ce locații sunt satisfăcute anumite condiții.
- ❖ **ce s-a modificat la...?** adică evidențierea modificărilor apărute cu trecerea timpului.
- ❖ **ce se întâmplă dacă...?** adică modelarea. Ce impact asupra mediului produce construirea unei șosele.

Datorită capacităților de analiză spațială, care corespund cu natura geografică a rețelelor rutiere, GIS sunt considerate cele mai potrivite instrumente pentru îmbunătățirea activităților de urmărire și coordonare a întreținerii structurilor rutiere, cu particularități precum afișarea grafică a stării tehnice a drumurilor.

În prezent, tehnologia GIS este din ce în ce mai utilizată de autoritățile publice, cu o tendință crescândă spre integrarea datelor PMS în GIS. Această transpunere a datelor devine din ce în ce mai realistă datorită progreselor tehnologice înregistrate în domeniul hardware și software.

Integrarea celor două sisteme vine însoțită de numeroase avantaje cum ar fi: o editare mai ușoară a bazelor de date, posibilitatea vizualizării rezultatelor în urma interogării bazelor de date, statistici și diagrame, analiza managementului structurilor rutiere pe o hartă a rețelei

⁴ Doru M., (2013), *Curs – Sisteme Informaționale Geografice*

de drumuri, vizualizarea stării tehnice a rețelei prin codificarea dinamică a sectoarelor de drum folosind culori, accesare prin interfața grafică a hărții.

3.1 Introducere în Sistemele Informaționale Geografice (SIG/GIS)

Scurt istoric

În literatura științifică românească, noțiunea de Sistem Informațional „a fost asociată cu sistemele economice, mai precis cu managementul întreprinderii”⁵. Datorită extinderii sistemelor informaționale în diverse domenii de activitate, putem defini Sistemul Informațional „ca fiind totalitatea datelor, a mijloacelor de tratare a lor, precum și a informațiilor obținute”⁵.

Sistemele Informaționale Geografice au apărut la începutul anilor 1960 odată cu aplicarea tehnicii de calcul în realizarea unor hărți simple. Activitatea inițială a GIS a inclus cercetări importante realizate de comunitatea academică. Ulterior, Centrul Național de Informare și Analiză Geografică, sub îndrumarea Prof. Michael Goodchild, „a formalizat cercetările pe teme cheie ale științelor geografice informatice, cum ar fi analiza spațială și vizualizarea”⁶.

Primul Sistem Informațional Geografic a fost elaborat în Canada când Roger Tomlinson a pus bazele Sistemelor Informaționale Geografice asistate de calculator. Astfel, în anul 1963 a rezultat „primul GIS computerizat din lume”⁶, creat pentru inventarierea suprafețelor de pădure. Ulterior sistemul a fost extins spre celelalte resurse naturale ale Canadei, utilizând calculatorul pentru a îmbina datele privind resursele naturale din toate provinciile.

În prezent, Sistemele Informaționale Geografice oferă oamenilor posibilitatea de crea hărți digitale pentru a rezolva problemele cu care se confruntă. GIS-ul include mai multe tipuri de date ce au o componentă geografică. Analizele spațiale permit evaluarea, analiza, interpretarea și înțelegerea și oferă noi perspective în ceea ce privește luarea deciziilor. Aplicațiile furnizează experiențe noi și pot fi accesate utilizând orice dispozitiv: telefon mobil, tabletă, calculator personal.

Definirea GIS în literatura de specialitate

De-a lungul timpului, în literatura de specialitate au fost formulate mai multe definiții pentru Sistemele Informaționale Geografice, iar în urma analizei literaturii de specialitate le-am ales pe cele considerate mai cuprinzătoare:

- a) Imbroane A.M., (2012), [5], definea GIS ca fiind „un sistem informatic utilizat pentru captarea, stocarea, integrarea, manipularea, prelucrarea și vizualizarea datelor care au referință spațială”. Prin dată se înțelege o descriere simbolică a unui obiect, fenomen sau acțiuni. În cadrul prezentei lucrări vom avea date

⁵ Alexandru Mircea I., *Sisteme Informatic Geografice – Volumul I: Structuri de date*, Presa Universitară Clujeană (2012)

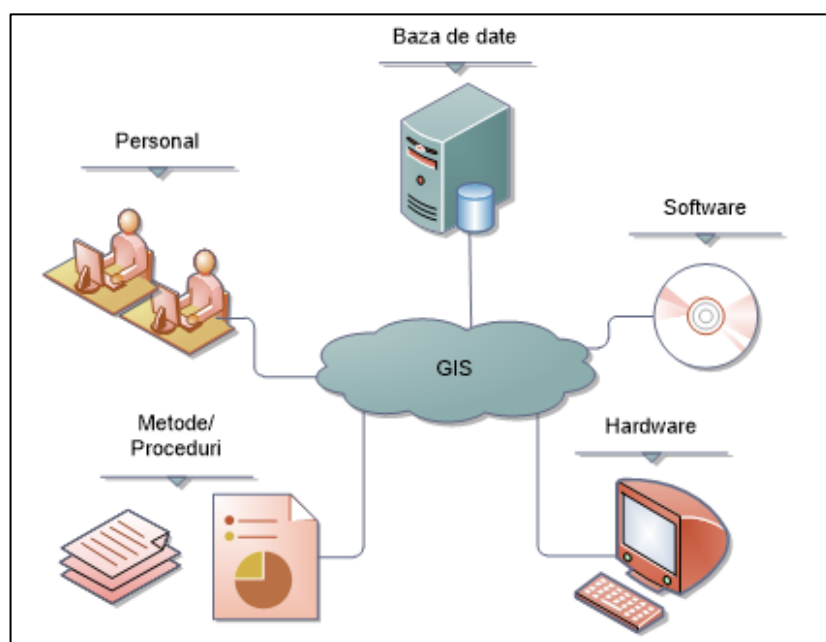
⁶ <https://www.esri.ro>

spațiale – reprezentări digitale ale hărților și date atribut – date numerice organizate tabelar pe linii și coloane asociate cu datele spațiale.

- b) Doru M., (2013), [3], considera că Sistemele Informaționale Geografice sunt „o colecție de componente hardware, software, date geografice și personal, destinată achiziției, stocării, actualizării, prelucrării, analizei și afișării informațiilor geografice în conformitate cu cerințele unui domeniu aplicativ”.
- c) Pentru Castraveț T., (2013), [1], „SIG/GIS reprezintă o colecție organizată compusă din: hardware, software, date geografice și personal, destinate: achiziției, stocării (înregistrării), actualizării, prelucrării, analizei și afișării informațiilor geografice (spațiale) în conformitate cu specificațiile unui domeniu”.

Pentru a înțelege mai bine aceste definiții și modul de organizare a unui SIG/GIS (Figura 3.1), sunt necesare următoarele comentarii:

Figura 3.1 Organizarea unui Sistem Informațional Geografic



Sursa: realizat de autor

Componenta hardware: cuprinde platforma de calcul și echipamentele periferice utilizate la introducerea datelor și pentru afișarea rezultatelor;

Componenta software: cuprinde sisteme de programe ce înglobează proceduri de analiză și management specific;

Baza de date: este alcătuită din baza de date geografică și baza de date atribut, cele două se integrează și formează harta digitală (simbolurilor grafice li se atașează o colecție de attribute pentru fiecare obiect reprezentat pe hartă);

Componenta personal: este reprezentată de o echipă de specialiști care implementează software-ul de bază, creează și întrețin baza de date, utilizează software-ul și baza de date pentru a rezolva probleme.

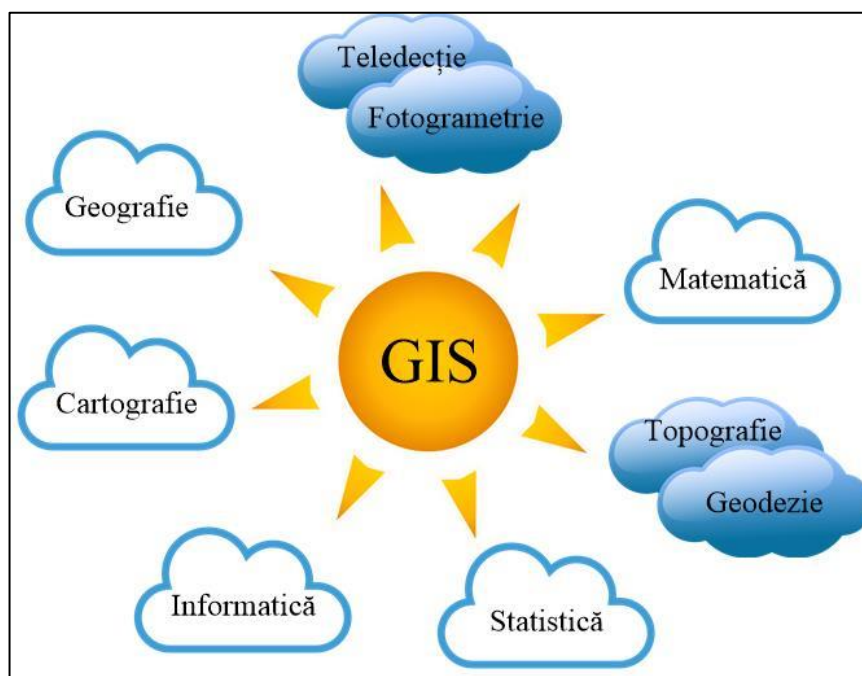
🚧 Domenii de aplicabilitate a Sistemelor Informaționale Geografice

Produsele GIS se prezintă într-o gamă largă de aplicații în diferite domenii. Tot ceea ce este legat de o suprafață intră sub incidența programelor cuprinse într-un GIS: utilități/dotări edilitare, mediu, amenajarea teritoriului, agricultură și silvicultură, resurse naturale, transport, demografie, marketing, cadastru, administrație publică.

🚧 Discipline care contribuie la dezvoltarea Sistemelor Informaționale Geografice

La realizarea unui Sistem Informațional Geografic contribuie mai multe discipline, unele având pondere mai mare în faza de proiectare, altele în exploatare. În continuare voi prezenta disciplinele fundamentale care au contribuit la dezvoltarea GIS (Figura 3.2).

Figura 3.2 Discipline ce contribuie la dezvoltarea Sistemelor Informaționale Geografice



Sursa: realizat de autor

- *geografia*: are în vedere analiza spațială și pune la dispoziția utilizatorilor o gamă variată de aplicații.
- *cartografia*: se ocupă cu reproducerea informațiilor spațiale/datelor geografice sub formă de hărți.
- *teledectia/fotogrametria*: pune la dispoziția utilizatorilor imagini digitale esențiale pentru realizarea unei baze de date spațiale, colectate cu ajutorul sateliților sau avioanelor.
- *topografia/geodezia*: asigură obținerea unor date spațiale cât mai precise.
- *statistica*: este o disciplină importantă deoarece ajută la determinarea erorilor și GIS și în același timp furnizează soluții pentru rezolvarea acestora.

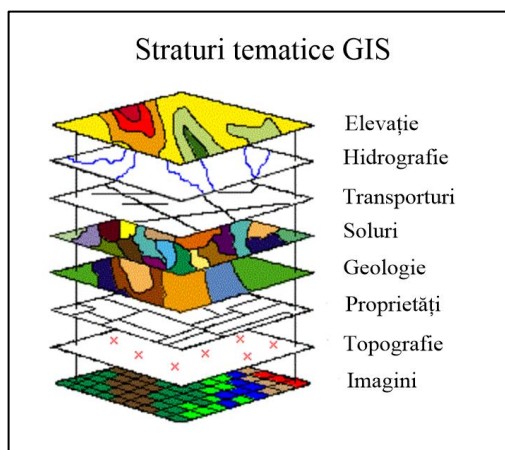
- *informatica*: contribuie la dezvoltarea GIS prin furnizarea componentelor hardware și software, a procedurilor avansate de grafică. De asemenea, un Sistem de Gestiune a Bazelor de Date cuprinde proceduri și aplicații pentru proiectarea, manevrarea și descrierea unui volum semnificativ de date.
- *matematica*: diverse ramuri ale matematicii se folosesc la proiectarea unui GIS precum și pentru interpretarea datelor geografice. Dintre acestea, cele mai importante sunt: geometria computațională utilizată în grafică, topologia și teoria grafelor care se utilizează în metodele topologice vectoriale, teoria probabilităților și metodele fuzzy.

3.2 Elaborarea hărților digitale

Harta este o reprezentare în plan, abstractă, convențională, micșorată a unei porțiuni din suprafața Pământului. Este abstractă pentru că folosim puncte, linii și poligoane pentru a indica poziția și forma spațială a obiectelor geografice. Este convențională deoarece folosim simbolurile grafice și texte care descriu aceste obiecte pentru a le deosebi (de exemplu un râu de un drum).

În GIS hărțile sunt stocate pe straturi tematice. Pentru a înțelege modul de înregistrare a hărților într-un GIS (Figura 3.3), putem să ne imaginăm că avem la dispoziție o hartă tradițională, într-un sistem de proiecție și la o anumită scară, pe care o reproducem pe mai multe foi de calc: mai întâi curbele de nivel, pe altă foaie râurile, drumurile, căile ferate. Se obțin astfel mai multe straturi tematice care prin suprapunere vor genera noi hărți.

Figura 3.3 Straturi tematice GIS



Sursa: realizat de autor

Harta digitală este o reprezentare la scară a unei regiuni, în care punctele, liniile și poligoanele sunt localizate prin coordonate (elementele conținute au perechi de coordonate x, y specifice unei proiecții cartografice). Spre deosebire de hărțile clasice, harta digitală poate fi vizualizată în mediul GIS chiar și la scară 1:1, scara de referință a acestui tip de hartă fiind aceeași cu cea a sursei din care a fost generată harta digitală.

GIS utilizează mai multe sisteme de reprezentare ale hărților și straturilor tematice după cum urmează:

- sistemul de reprezentare vectorial;
- sistemul de reprezentare raster.

3.3 Structuri de date spațiale

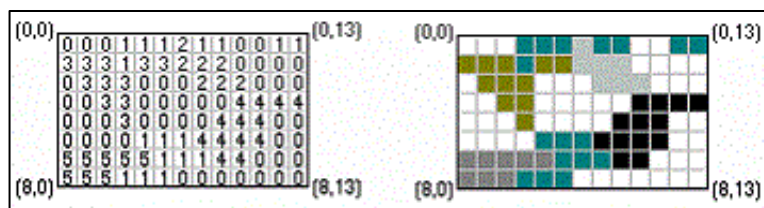
✚ Structuri de date spațiale vectoriale

Structurile vectoriale au la baza 3 entități grafice: punctul, linia și poligonul. Modelul de date vectoriale este o reprezentare convențională a structurilor de date într-un cadru bine precizat, care permite indentificarea datelor, restricțiile impuse pentru păstrarea integrității acestora precum și operatorii care acționează asupra structurilor de date.

✚ Structuri de date spațiale raster

O structură de date raster este caracterizată prin celule ce au o anumită poziție, iar totalitatea celulelor formează o imagine (Figura 3.4). Celula este indivizibilă și îi corespunde un număr căruia i se poate atribui o culoare. Fiecare celulă (pixel) este un pătrat care reprezintă o porțiune din suprafață.

Figura 3.4 Structura de date raster



Acuratețea reprezentării depinde de scara și de mărimea celulei. Cu cât rezoluția rasterului este mai mare, cu atât celulele reprezintă suprafețe mai mici și cu o acuratețe mai bună.

Avantajele sistemului de reprezentare raster sunt: structură de date simplă, suprapunerea straturilor ușor de realizat, reprezentare grafică fără prelucrări suplimentare. Dezavantajele sistemului raster sunt următoarele: este un mare consumator de resurse (memorie) deoarece trebuie păstrate valori pentru fiecare celulă, nu este util pentru reprezentări de tip liniar (ex: drum, râu), calitatea prezentării datelor grafice este inferioară.

3.4 Proiecții cartografice. Sisteme de proiecție de interes pentru România

Deoarece forma generală a Pământului nu se încadrează în niciuna din formele geometrice cunoscute cu care a fost aproximată (sferă sau elipsoid), utilizarea unei reprezentări fizice de acest tip devine nepotrivită pentru un studiu amănunțit al suprafeței terestre. Astfel, reprezentarea suprafeței Pământului pe o hartă înlătură toate neajunsurile, se poate reprezenta orice detaliu, iar măsurătorile se pot efectua cu instrumente obișnuite.

Proiecția cartografică este un procedeu matematic folosit pentru a transpune în plan suprafața sferică sau eliptică a Pământului cu scopul reprezentării, stabilind o corespondență între punctele de pe suprafața curbată și planul de proiecție.

Hărțile utilizate în prezent pe teritoriul României sunt concepute folosind unul dintre sistemele de proiecție cartografică: Mercator, Universal Transverse Mercator (UTM), Gauss Kruger și Stereo 70.

3.5 Baze de date geografice

Bazele de date geografice (geodatabase) sunt baze de date relaționale care conțin informații geografice. Noțiunea de geodatabase a fost introdusă începând cu versiunea ArcGIS 8, pentru a permite definirea relațiilor între entitățile grafice.

După Imbroane A., (2012), [5], bazele de date geografice aduc o serie de îmbunătățiri bazelor de date relaționale cum ar fi:

- reprezentarea bazelor de date geografice în 4 tipuri diferite;
- stocarea datelor într-un sistem de gestiune a bazelor de date în funcție de numărul de utilizatori (Access pentru un singur utilizator și Oracle pentru utilizatori multipli);
- stochează forme ale entităților grafice;
- permite definirea entităților grafice de către utilizator în mai multe dimensiuni (2D, 3D, 4D utilizând o caracteristică definită de utilizator);
- permite definirea de relații între entități grafice și obiecte;
- permite integrarea atributelor provenite din domenii diferite cu regulile lor de validare;
- asigură entităților grafice un comportament cât mai apropiat de realitate;

3.6 Integrarea sistemelor GIS și PMS – Bune practici

Sistemele de management al structurilor rutiere (PMS) sunt susținute prin colectarea și păstrarea unui volum semnificativ de informații, care sunt disponibile în diferite formate, sisteme de referință. Sistemele informaționale geografice reprezintă un instrument adecvat pentru integrarea, gestionarea și analiza acestor date, datorită capacităților de analiză spațială, care corespund cu natura geografică a rețelilor rutiere.

Prin urmare, numeroase companii care se ocupă cu administrarea rețelilor rutiere, au utilizat frecvent GIS și alte tehnologii spațiale pentru dezvoltarea sistemelor de tip PMS, după cum se poate observa și din revizuirea literaturii de specialitate prezentată anterior.

Principalele constatări deprinse din revizuirea literaturii de specialitate, referitoare la sistemele de management al structurilor rutiere bazate pe GIS sau alte tehnologii spațiale, includ următoarele:

- majoritatea companiilor/departamentelor care se ocupă cu administrarea rețelilor rutiere, utilizează în prezent sau intenționează să utilizeze GIS sau alte tehnologii spațiale, pentru a sprijini și îmbunătăți activitățile de gestionare a întreținerii structurilor rutiere (ex. Ministerul Lucrărilor Publice din Spania), sau utilizează

GIS pentru afișarea rezultatelor sub forma hărților tematice, folosind coduri de culori (ex. Sistemul de administrare a structurilor rutiere din orașul Gaza);

- totodată, bazele de date geospațiale pot fi utilizate pentru integrarea datelor între diferite departamente de transport (această caracteristică pusă la dispoziția administratorilor rețelelor de drumuri prin utilizarea GIS, poate fi utilizată și în România pentru integrarea datelor între Direcțiile Regionale de Drumuri și Poduri și afișarea stării tehnice a drumurilor prin intermediul hărților tematice);
- o problemă identificată în dezvoltarea și utilizarea sistemelor integrate GIS și PMS poate fi utilizarea unor metode de referință diferite, precum și efortul necesar pentru dezvoltarea și menținerea bazelor de date spațiale și gestionarea problemelor temporale. Alte probleme care pot apărea pe parcursul utilizării GIS în administrarea rețelelor rutiere îl reprezintă diferențele între utilizatori în ceea ce privește nivelul de detaliu necesar pentru a descrie rețeaua, acuratețea datelor colectate prin intermediul sistemelor de poziționare globală (GPS), așteptările exagerate ale utilizatorilor precum și capacitatea utilizatorilor de înțelegere și utilizare a software-ului și procedurilor GIS;

Pe baza revizuirii literaturii de specialitate, pot spune că Sistemele Informaționale Geografice oferă alternative eficiente pentru dezvoltarea Sistemelor de management al structurilor rutiere (PMS), datorită capacităților de analiză spațială, care corespund cu natura geografică a rețelelor rutiere. Astfel, GIS pot fi considerate cele mai potrivite instrumente pentru îmbunătățirea activităților de urmărire și coordonare a întreținerii structurilor rutiere, cu particularități precum afișarea grafică a stării tehnice a drumurilor.

În prezent, tehnologia GIS este din ce în ce mai utilizată de autoritățile publice, cu o tendință crescândă spre integrarea datelor PMS în GIS. Această transpunere a datelor devine din ce în ce mai realistă datorită progreselor tehnologice înregistrate în domeniul hardware și software.

Integrarea celor două sisteme vine însoțită de numeroase avantaje cum ar fi: o editare mai ușoară a bazelor de date, posibilitatea vizualizării rezultatelor în urma interogării bazelor de date, statistici și diagrame, analiza managementului structurilor rutiere pe o hartă a rețelei de drumuri, vizualizarea stării tehnice a rețelei prin codificarea dinamică a sectoarelor de drum folosind culori, accesare prin interfața grafică a hărții.

CAPITOLUL 4

METODE ȘI TEHNICI UTILIZATE PENTRU ANALIZA ȘI PROGNOZA VIABILITĂȚII REȚELOR DE DRUMURI

Infrastructura rutieră aparține ansamblului de active care joacă un rol esențial în societate. Datorită expunerii la diverși factori de deteriorare, drumurile tind să se degradeze în timp.

Una dintre responsabilitățile administratorului rețelei rutiere este de a decide ce intervenții de întreținere și reabilitare trebuie efectuate astfel încât infrastructura să își îndeplinească în continuare scopul. Aceste decizii sunt adesea luate într-un context restrâns de restricții tehnice, economice, financiare și sociale. În consecință, procesul decizional are loc într-un sistem complex, care ar trebui abordat din punct de vedere structurat.

Administratorii rețelilor rutiere efectuează deseori reparații ale structurilor rutiere fără a lua în considerare prioritatea de întreținere și fără a utiliza o procedură sistematică. Aceste tipuri de decizii arbitrare nu garantează de obicei eficiența alocării bugetului.

Procesul de luare a deciziilor face parte din procesul de rezolvare a problemelor legate de infrastructură. Aceasta include: identificarea problemelor care pot fi soluționate prin construirea unei noi infrastructuri, prin reabilitarea infrastructurii existente sau prin îmbunătățirea managementului acesteia. Gestionarea infrastructurii presupune luarea deciziilor privind întreținerea, reconstrucția, îmbunătățirea sau modernizarea sistemelor de infrastructură.

De-a lungul timpului, în literatura de specialitate au fost elaborate diverse metode pentru analiza și prognoza viabilității la nivelul rețelilor rutiere.

Astfel, metodele multicriteriale de analiză au fost aplicate în procesele de luare a deciziilor legate de întreținerea și reconstrucția infrastructurii de transport.

4.1 Literatura de specialitate

Menținerea viabilității rețelilor rutiere existente este esențială pentru creșterea economică a oricărei țări, pe lângă dezvoltarea rețelei de autostrăzi și drumuri naționale. Politicile de întreținere inadecvate adoptate de mai multe țări au drept consecință pierderi financiare semnificative, materializate prin creșterea costurilor utilizatorilor rețelilor rutiere și disconfort pentru utilizatorii.

Într-o țară în curs de dezvoltare precum România, în care fondurile alocate lucrărilor de întreținere și reparații ale rețelei rutiere existente sunt limitate, este important ca fondurile alocate acestor lucrări să fie utilizate cât mai eficient, astfel încât investiția să atingă rentabilitatea cea mai mare.

Astfel, abordarea multicriterială reprezintă opțiunea ideală pentru planificarea lucrărilor de întreținere și reparații, abordare încercată și testată de mulți cercetători din domeniul cercetării operaționale pentru clasarea alternativelor în diferite situații.

În linii mari, metodele multicriteriale sunt clasificate după cum urmează:

- metode de prioritate sau utilitate, cum ar fi *Teoria utilității cu mai multe atribute /Teoria valorii cu mai multe atribute (MAUT / MAVT)* și *Tehnica de evaluare simplă a atributelor multiple (SMART)*;
- metodele de surclasare, cum ar fi „*Eliminarea și alegerea realității de exprimare*” sau „*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*” (*ELECTRE*) în limba franceză și *Metoda de organizare a preferințelor pentru îmbogățirea evaluărilor (PROMETHEE)*;
- metode bazate pe distanță, cum ar fi *Tehnica pentru ordinea preferinței prin asemănare cu soluția ideală (TOPSIS)* și *Soluția de optimizare și compromisuri cu mai multe criterii sau Višekriterijumsko Kompromisno Rangiranje (VIKOR)* în sârbă;
- metode mixte cum ar fi: *Procesul ierarhiei analitice (AHP)*, *scala Likert*, *TOPSIS - fuzzy*, *Fuzzy-VIKOR*.

Diferiți cercetători / practicieni au utilizat o serie de metode multicriteriale de analiză a deciziilor pentru combinarea valorii parametrilor de performanță. Mardani A. ș.a. a prezintă în studiul "*Multiple criteria decision-making techniques and their applications: A review of the literature from 2000 to 2014*" [10], utilizarea metodelor de analiză multicriterială (MCA) (100%), AHP (32,57%), hibrid (MCDM) (16,28%), metode de luare a deciziilor (DM) de agregare (11,70%), TOPSIS (11,4%), ELECTRE (8,65%), PROMETHEE (6,62%) și VIKOR (3,56%) pentru rezolvarea problemelor de luare a deciziilor cu mai multe criterii. Cu toate acestea, nu există o abordare universal acceptată, fiecare metodă are la bază propriile fundamente și principii.

În tabelul 4.1, sunt prezentate avantajele și dezavantajele fiecărei metode analizate în cadrul literaturii de specialitate. Aceste metode, împreună cu metodele din formele lor originale, pot avea un mare succes în practică, dacă punctele tari și punctele slabe ale acestora sunt evaluate corect. Anumite probleme pot utiliza cu ușurință o metodă care poate nu este cea mai potrivită pentru rezolvarea acesteia.

Tabelul nr. 4.1 Sumarul metodelor multicriteriale de analiză a deciziilor

Metoda	Avantaje	Dezavantaje	Domenii de aplicare
Procesul ierarhiei analitice (AHP)	Ține cont de incertitudine; poate încorpora preferințe.	Sunt necesare multe date de intrare; Preferințele trebuie să fie foarte bine stabilite.	Economie, finanțe, management energetic; Administarea rețelilor rutiere
Raționamentul bazat pe cazuri (CBR)	Nu necesită un volum semnificativ de date de intrare; Se poate îmbunătăți pe parcurs.	Sensibil la date inconsecvente; necesită multe cazuri.	Afaceri, asigurări de vehicule, medicină, proiectare; Administarea rețelilor rutiere

Sisteme fuzzy	Permite introducerea informațiilor imprecise; Ia în considerare informații insuficiente.	Dificil de dezvoltat; Necesită numeroase simulări înainte de utilizare.	Inginerie; Economie; Management; Administrarea rețelelor rutiere.
Electre	Se bazează pe conceptul de surclasare pentru eliminarea alternativelor care sunt într-un anumit sens "dominate".	Procesul și rezultatele sunt dificil de explicat în termeni laici.	Energie; Economie; Mediu, Probleme de transport; Administrarea rețelelor rutiere.
Promethee	Ușor de folosit; Criteriile nu trebuie să fie proporționale;	Nu oferă o metodă clară pentru stabilirea ponderilor alocate criteriilor.	Mediu; Hidrologie; Chimie; Logistică și transport; Energie; Administrarea rețelelor rutiere.
Topsis	Are un proces simplu; Ușor de utilizat și programat.	Utilizarea matricei Euclidiană nu are în vedere corelația atributelor.	Inginerie; Resurse umane; Mediu; Afaceri și marketing; Administrarea rețelelor rutiere.

4.2 Metoda Electre – suport decizional pentru analiza stării tehnice a drumurilor

Una din metodele utilizate în elaborarea deciziilor este și metoda Electre (Elimination et Choix Traduisant la Réalité), elaborată de Bertrand Roy în anul 1967, fiind un instrument de optimizare a deciziilor în condiții de certitudine.

Metoda Electre se utilizează în situații în care există mai multe variante $V_i ; i = \overline{1, m}$ posibile pentru atingerea unui obiectiv, evaluarea fiind realizată pe baza mai multor criterii $C_j ; j = \overline{1, n}$, respectiv, prin comparația variantelor două câte două.

Metoda Electre este o metodă de clasament și alegere în prezența unor puncte de vedere multiple. Permite ordonarea variabilelor după criterii complexe prin comparații succesive, două câte două.

4.3 Aplicarea metodei Electre pentru determinarea stării tehnice a drumurilor

În cadrul prezentei lucrări, am utilizat metoda Electre pentru determinarea stării tehnice a rețelei de drumuri naționale și autostrazi din administrarea Direcției Regionale de

Drumuri și Poduri Cluj din România, rețea de drumuri care prezintă diverse tipuri de degradări ale suprafeței carosabile.

Pentru a efectua analiza multicriterială, am luat în considerare, în această fază a cercetării, patru criterii reprezentative pentru starea tehnică a drumurilor (rugozitate, capacitate portantă, planeitate, indice de degradare). Alegerea acestora s-a bazat pe presupunerea că indicatorii trebuie să fie ușor de măsurat și trebuie să fie clari pentru factorii de decizie. Caracteristicile stării tehnice au fost notate astfel: C₁-planeitate, C₂-rugozitate, C₃-capacitate portantă, C₄-indice de degradare.

Pentru exemplificarea calculului am ales pentru 4 sectoare consecutive din Drumul Național 1 din România, sectoare care prezentau diverse tipuri de degradări ale suprafeței carosabile. Lungimea fiecărui sector de drum luat în considerare a fost de 10 km, de la km 350+000 – km 390+000, iar fiecare sector a fost notat cu V₁, V₂, V₃, V₄ (ca variante de analiză) pentru simplificarea calculului.

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 2,41 & 0,62 & 63 & 89 \\ 1,71 & 0,53 & 56 & 89 \\ 2,48 & 0,54 & 62 & 88 \\ 2,13 & 1,08 & 57 & 86 \end{pmatrix} \\ \begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \end{matrix} & & \end{matrix} \quad \text{valorile caracteristicilor stării tehnice a drumurilor}$$

Am realizat matricea M, matricea calificativelor, în conformitate cu prevederile indicativului CD 155-2001 - *Instrucțiuni tehnice privind determinarea stării tehnice a drumurilor moderne*, pentru fiecare clasă a stării tehnice, pe sectoarele DN 1 analizate în prezentul Studiu de Caz, și am obținut:

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 2,41 & 0,62 & 63 & 89 \\ 1,71 & 0,53 & 56 & 89 \\ 2,48 & 0,54 & 62 & 88 \\ 2,13 & 1,08 & 57 & 86 \end{pmatrix} \\ \begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \end{matrix} & & \end{matrix} \implies M = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} FB & B & R & M \\ FB & M & R & M \\ FB & M & R & M \\ FB & FB & R & M \end{pmatrix} \\ \begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \end{matrix} & & \end{matrix} \quad (4.1)$$

Calificativele calitative (FB=Foarte bună, B=Bună, M=Mediocră, R=rea, FR= Foarte rea), pentru criteriile tehnice ale drumului analizat (C₁-planeitate, C₂-rugozitate, C₃-capacitate portantă, C₄-indice de degradare), aferente matricei M au fost înlocuite cu note alocate de la 1 la 5, stabilite pentru fiecare criteriu (ponderi), conform indicativului CD 155-2001 - *Instrucțiuni tehnice privind determinarea stării tehnice a drumurilor moderne* și a rezultat matricea M₁.

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} FB & B & R & M \\ FB & M & R & M \\ FB & M & R & M \\ FB & FB & R & M \end{pmatrix} \\ \begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \end{matrix} & & \end{matrix} \implies M_1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 5 & 4 & 2 & 3 \\ 5 & 3 & 2 & 3 \\ 5 & 3 & 2 & 3 \\ 5 & 5 & 2 & 3 \end{pmatrix} \\ \begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \end{matrix} & & \end{matrix} \quad (4.2)$$

În următoarea etapă de analiză, am luat în considerare coeficienții de importanță aferenți fiecărui criteriu de stare tehnică C_1, C_2, C_3, C_4 , evaluat pe fiecare sector de 10 km din DN1 cercetat cu Metoda ELECTRE.

Din moment ce caracteristicile stării tehnice a drumurilor nu influențează în mod egal starea tehnică a drumurilor, pentru a lua în considerare efectul lor individual, am atribuit coeficienți de importanță/ponderi diferite fiecărui criteriu de stare tehnică C_1, C_2, C_3, C_4 . Această practică este des întâlnită în literatura de specialitate [7, 8, 11-13, 19, 20], administratorii rețelelor rutiere atribuie ponderi diferite criteriilor ce caracterizează starea tehnică a drumurilor, în baza opiniilor oferite de experți în domeniu, a inginerilor din teren precum și a profesorilor universitari.

Am stabilit, în funcție de scenariile de intervenție posibile pentru viabilizarea drumului analizat, 4 variante pentru vectorul coeficienților de importanță k_j ; $j = \overline{1,4}$. Această operație este necesară pentru sublinierea ponderii criteriilor în procesul de elaborare a deciziei finale. Suma coeficienților de importanță trebuie să fie egală cu 1.

$k_1 = (0,25; 0,25; 0,25; 0,25)$ pondere egală pentru cele patru criterii

$k_2 = (0,3; 0,2; 0,3; 0,2)$ pondere sporită pentru C_1 -planeitate și C_3 -capacitate portantă

$k_3 = (0,15; 0,1; 0,45; 0,3)$ pondere sporită pentru C_3 -capacitate portantă și C_4 -IG

$k_4 = (0,15; 0,05; 0,5; 0,3)$ pondere sporită pentru C_3 -capacitate portantă și C_4 -IG

Notele matricei M_1 (matricea de date culese din teren) se înmulțesc, pe rând cu, coeficienții de importanță atribuiți fiecărui criteriu, obținându-se matricea omogenă M_2 (matricea ponderală de stare tehnică), matricea de concordanță (**C**) cu datele preluate din teren și matricea de discordanță (**D**), prin vizualizarea aceluiași date din teren. (Matricea de concordanță este pătratică și exprimă superioritatea variantei V_i în comparație cu varianta V_j).

Astfel, pentru fiecare scenariu luat în considerare de administratorul drumului, am calculat parametrii matricei M_2 , astfel:

➤ **pentru scenariul** $k_1 = (0,25; 0,25; 0,25; 0,25)$ **am obținut:**

$$M_2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1,25 & 1 & 0,5 & 0,75 \\ 1,25 & 0,75 & 0,5 & 0,75 \\ 1,25 & 0,75 & 0,5 & 0,75 \\ 1,25 & 1,25 & 0,5 & 0,75 \end{pmatrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{matrix} & & \end{matrix} \quad (4.3)$$

În evaluarea indicilor de stare tehnică, rezultă calificativul 1,25 Foarte Bun, calificativul 1 Bun, calificativul 0,75 Mediocră și calificativul 0,5 Rău.

Având în vedere faptul că în situația de față, adaptarea rezultatelor obținute la anexa 6 sau anexa 7 din *Instrucțiuni tehnice privind determinarea stării tehnice a drumurilor moderne indicativ CD 155-2001* este dificilă, am propus următoarea variantă de clasificare

pentru starea tehnică a drumurilor (Tabelul 4.2). Anexele 6 și 7 se regăsesc atașate în cadrul Anexei 1 a lucrării.

Tabelul nr. 4.2 Stabilirea stării tehnice a drumurilor

Starea tehnică	Clasa stării tehnice	Lucrări de întreținere și reparații	Reprezentare
Foarte bună	>1		
Bună	0.75...1	Tratamente bituminoase/straturi bituminoase foarte subțiri	
Mediocră	0.5...0.75	Covoare bituminoase	
Rea	0.25...0.5	Reciclare in situ	
Foarte Rea	<0.25	Ranforsare structură rutieră	

Sursa: realizat de autor

În cazul în care rezultatele obținute vor reflecta cât mai fidel realitatea din teren, această variantă va fi utilizată în cadrul metodei ca variantă de clasificare, precum și în capitolul următor, capitol în care voi descrie implementarea rezultatelor metodei în GIS și testarea acesteia pentru rețeaua de drumuri din administrația D.R.D.P. Cluj.

În baza calificativelor obținute se vor determina elementele c_{ij} ale matricei de concordanță C și elementele d_{ij} ale matricei de discordanță D astfel:

$$C = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

matricea de concordanță C

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} \\ d_{41} & d_{42} & d_{43} & d_{44} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

matricea de discordanță D

- Se calculează matricea de concordanță C_{ij} $i = \overline{1,4}$; $j = \overline{1,4}$ cu ajutorul relației (4.4); matricea de concordanță este pătratică și exprimă superioritatea variantei V_i în comparație cu varianta V_j , calculul elementelor realizându-se cu ajutorul relației:

$$c_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^m k_j}{\sum_{j=1}^m k_j} \quad (4.4)$$

unde:

$\sum_{j=1}^m k_j$ reprezintă suma coeficienților de importanță corespunzători criteriilor pentru care nota variantei V_i (din matricea omogenă M_2), este mai mare sau egală în comparație cu nota variantei V_j (din matricea omogenă M_2);

$\sum_{j=1}^n k_j$ este suma tuturor coeficienților de importanță, având valoarea 1 sau dacă este exprimat ponderal 100.

Utilizând acest mod de calcul rezulta următorii coeficienți de importanță pentru matricea de concordanță:

În cazul elementului c_{12} al matricei de concordanță C , suma coeficienților de importanță se obține după ce se compară notele variantei V_1 cu notele variantei V_2 .

$$M_2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1,25 & 1 & 0,5 & 0,75 \\ 1,25 & 0,75 & 0,5 & 0,75 \\ 1,25 & 0,75 & 0,5 & 0,75 \\ 1,25 & 1,25 & 0,5 & 0,75 \end{pmatrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{matrix} & & \end{matrix} \quad (4.5)$$

Din analiza matricei M_2 se poate observa că notele variantei V_1 sunt mai mari sau egale decât notele variantei V_2 .

$1,25 \geq 1,25$ se reține valoarea coeficientului de importanță, respectiv 0,25

$1 \geq 0,75$ se reține valoarea coeficientului de importanță, respectiv 0,25

$0,5 \geq 0,5$ se reține valoarea coeficientului de importanță, respectiv 0,25

$0,75 \geq 0,75$ se reține valoarea coeficientului de importanță, respectiv 0,25

Astfel, din însumarea coeficienților de importanță și aplicarea relației (4), obținem

$$c_{12} = (0,25+0,25+0,25+0,25)/1 = 1$$

Similar am procedat și pentru celelalte elemente ale matricei, iar prin completarea pozițiilor corespunzătoare c_{ij} se obține matricea de concordanță.

$$C = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} \end{pmatrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{matrix} & & \end{matrix} \implies C = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} x & 1 & 1 & 0,75 \\ 0,75 & x & 1 & 0,75 \\ 0,75 & 1 & x & 0,75 \\ 1 & 1 & 1 & x \end{pmatrix} \\ \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & & \end{matrix} \quad (4.16)$$

Am calculat elementele matricei de discordanță cu ajutorul relației (4.12). Matricea de discordanță este de asemenea pătratică ($m \times m$) și exprimă superioritatea variantei V_j în comparație cu varianta V_i , calculul elementelor sale realizându-se astfel:

$$d_{ij} = \frac{\max(\delta d)}{h_m} \quad (4.17)$$

unde:

h_m reprezintă diferența dintre cea mai mare și cea mai mică notă a matricei M_2 .

$$h_m = 1,25 - 0,5 = 0,75$$

$\max(\delta d) = (N(V_j) - N(V_i))$, unde: $N(V_j)$, $N(V_i)$ reprezintă notele variantei V_j și variantei V_i , corespunzătoare aceluiași criteriu din cadrul matricei omogene M_2 .

$$M_2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1,25 & 1 & 0,5 & 0,75 \\ 1,25 & 0,75 & 0,5 & 0,75 \\ 1,25 & 0,75 & 0,5 & 0,75 \\ 1,25 & 1,25 & 0,5 & 0,75 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

În cazul elementului d_{12} se scad elementele matricei M_2 de pe coloana C_1 respectiv pozițiile $N(V_j) = N(V_2) = d_{21}$ și $N(V_i) = N(V_1) = d_{11}$ (deoarece matricea de discordanță exprimă superioritatea variantei V_j față de varianta V_i). Prin împărțirea diferenței la h_m se obține valoarea elementului d_{12} al matricei de discordanță.

$$d_{12} = |N(V_2) - N(V_1)| / h_m = (1,25 - 1,25) / 0,75 = 0$$

În cazul elementului d_{13} se scad elementele matricei M_2 de pe coloana C_1 respectiv pozițiile $N(V_j) = N(V_3) = d_{31}$ și $N(V_i) = N(V_1) = d_{11}$ (deoarece matricea de discordanță exprimă superioritatea variantei V_j față de varianta V_i). Prin împărțirea diferenței la h_m se obține valoarea elementului d_{13} al matricei de discordanță.

$$d_{13} = |N(V_3) - N(V_1)| / h_m = (1,25 - 1,25) / 0,75 = 0$$

Similar se procedează și pentru celelalte elemente ale matricei, iar prin completarea pozițiilor corespunzătoare d_{ij} se obține matricea de discordanță.

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} \\ d_{41} & d_{42} & d_{43} & d_{44} \end{pmatrix} \end{matrix} \implies D = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} x & 0 & 0 & 0 \\ 0,33 & x & 0 & 0,67 \\ 0 & 0 & x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x \end{pmatrix} \end{matrix}$$

- se evaluează ordinea variantelor conform următoarelor relațiilor:

$$c_{ij} > c_{ji}, \text{ atunci } V_i \geq V_j \quad (4.18)$$

(varianta V_i surclasează varianta V_j)

$$d_{ij} > d_{ji}, \text{ atunci } V_i \geq V_j \quad (4.19)$$

(varianta V_i surclasează varianta V_j)

Pentru a evalua ordinea variantelor conform relațiilor (4.14) și (4.15) se determină transpusa matricei de concordantă C și transpusa matricei de discordanță D .

$$C^T = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} x & 0,75 & 0,75 & 1 \\ 1 & x & 1 & 1 \\ 1 & 1 & x & 1 \\ 0,75 & 0,75 & 0,75 & x \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \text{transpusa matricei de concordanță } \mathbf{C}$$

$$D^T = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} x & 0,33 & 0 & 0 \\ 0 & x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x & 0 \\ 0 & 0,67 & 0 & x \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \text{transpusa matricei de discordanță } \mathbf{D}$$

Dacă relația (4.14) se înmulțește cu (-1) și se adună cu relația (4.15), atunci se obține:

$$c_{ij} - d_{ij} > c_{ji} - d_{ji}, \text{ atunci } V_i \geq V_j \quad (4.110)$$

$$c_{ij} - d_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} x & 1 & 1 & 0,75 \\ 0,41 & x & 1 & 0,083 \\ 0,75 & 1 & x & 0,75 \\ 1 & 1 & 1 & x \end{pmatrix} \end{matrix} \quad c_{ji} - d_{ji} = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} x & 0,41 & 0,75 & 1 \\ 1 & x & 1 & 1 \\ 1 & 1 & x & 1 \\ 0,75 & 0,083 & 0,75 & x \end{pmatrix} \end{matrix}$$

- interpretarea rezultatelor:

$V_i = V_1 = 1 > V_j = V_2 = 0,41 \implies$ varianta V_i surclasează varianta V_j ; astfel, sectorul de drum V_1 prezintă caracteristici superioare față de sectorul V_2 ;

$V_i = V_1 = 1 > V_j = V_3 = 0,75 \implies$ varianta V_i surclasează varianta V_j ; astfel, sectorul de drum V_1 prezintă caracteristici superioare față de sectorul V_3 ;

$V_i = V_1 = 0,75 < V_j = V_4 = 1 \implies$ varianta V_j surclasează varianta V_i ; astfel, sectorul de drum V_4 prezintă caracteristici superioare față de sectorul V_1 .

Din analiza prezentată mai sus, se observă că sectorul care prezintă cele mai bune caracteristici ale stării tehnice este sectorul 4 km 380+000 – km 390+000, urmat de sectorul 1 km 350+000 – km 360+000 și de sectoarele 2 km 360+000 – km 370+000 și 3 km 370+000 – km 380+000, cele din urmă fiind prioritare pentru execuția lucrărilor de întreținere și reparare.

Pentru a stabili o stare tehnică conform variantei de clasificare propusă în cadrul (Tabelului 4.1), am determinat media ponderată a caracteristicilor utilizate la evaluarea stării tehnice a drumurilor. În urma analizei, se observă că sectoarele de drum luate în considerare prezintă o stare tehnică bună și sunt clasificate în funcție de punctajul obținut (Tabelul 4.3).

Tabelul 4.3. Starea tehnică a drumurilor pentru scenariul $k_1 = (0,25; 0,25; 0,25; 0,25)$

Matricea M2					Medie ponderată	Stare tehnică	Prioritizare
M1*kj	C1	C2	C3	C4			
V1	1.25	1	0.5	0.75	0.875	Bună	2
V2	1.25	0.75	0.5	0.75	0.8125	Bună	1
V3	1.25	0.75	0.5	0.75	0.8125	Bună	1
V4	1.25	1.25	0.5	0.75	0.9375	Bună	3

Sursa: realizat de autor

Similar am procedat și pentru celelalte scenarii k_2 , k_3 , k_4 și am stabilit sectoarele de drum care prezintă o stare tehnică deficitară.

Având în vedere cele 4 scenarii luate în considerare precum și rezultatele obținute, am propus aplicarea scenariului 3 în cadrul metodei, deoarece acest scenariu se apropie cât mai mult de realitatea din teren și de prevederile *Instrucțiunilor tehnice privind determinarea stării tehnice a drumurilor moderne indicativ CD 155-2001*.

Metoda Electre prezintă un grad de dificultate mediu și este destul de greu de implementat pe scară largă în forma mai sus prezentată. Cu scopul a oferi o metodă de lucru accesibilă specialiștilor din cadrul departamentelor care se ocupă cu exploatarea infrastructurii rutiere, am realizat o aplicație de calcul în programul Microsoft Access pentru fiecare categorie de drum în parte. Etapele de realizare a aplicației și metoda de lucru sunt prezentate în cadrul Capitolului 5.

CAPITOLUL 5

SISTEME DE BAZE DE DATE UTILIZATE ÎN ADMINISTRAREA REȚELELOR RUTIERE

5.1 Baze de date. Noțiuni generale

De-a lungul timpului, în literatura de specialitate au fost formulate o serie de definiții pentru Bazele de date și în urma analizei acestora le-am ales pe cele considerate mai cuprinzătoare:

- a) Trandafir ș.a., (2012), [18], definesc baza de date ca fiind „*un ansamblu de date integrat, anume structurat și dotat cu o descriere a acestei structuri. Descrierea structurii poartă numele de dicționar de date sau metadate și crează o interdependență între datele propriu-zise și programe*”.
- b) Pentru Lungu ș.a. [9], baza de date este „*un ansamblu de colecții organizat, structurat, cu o redundanță minimă și controlată, accesibil mai multor utilizatori în timp util*”.

5.2 Modele de organizare a bazelor de date

Primele modele de baze de date apărute între anii 1960-1970 au fost modelul ierarhic și cel în rețea, cel din urmă a fost creat pentru a rezolva anumite neajunsuri ale modelului ierarhic cum ar fi incapacitatea de a reprezenta relații complexe.

În anul 1970 E.F. Codd a pus bazele unui model superior primei generații de sisteme de gestiune a bazelor de date, respectiv modelul relațional. În cazul acestei abordări, datele se prezintă sub forma unor tabele bidimensionale, similar cu o foaie de calcul din Microsoft Excel.

Bazele de date relaționale împreună cu sistemele lor de gestiune, reprezintă în prezent principalul element software de prelucrare a datelor. Flexibilitatea bazelor de date relaționale este dată de capacitatea de a utiliza tabele independente sau în combinații, fără să depindă de alte elemente (ierarhii, secvențe etc.) care să le faciliteze accesul la date.

5.3 Baze de date relaționale. Sisteme de gestiune a bazelor de date relaționale (SGBDR)

Bazele de date relaționale utilizează modelul relațional și noțiunile aferente. Prezintă numeroase avantaje, cum ar fi: deschidere și portabilitate mare, păstrarea structurii de date în dicționarul bazei de date, interdependența logică și fizică a datelor, reprezentarea și utilizarea simplificată a datelor.

Etapele parcurse pentru realizarea unei baze de date relaționale sunt:

1. Analiza de sistem: scopul acestei etape este de a evidenția cerințele aplicației și resursele utilizate și de a evalua aceste cerințe prin modelare (sub aspect structural, dinamic și funcțional).

2. Proiectarea structurii bazei de date: se realizează pe baza modelelor create în etapa de analiză, după alegerea unui sistem de gestiune a bazelor de date, alegere condiționată de cerințele aplicației și performanțele tehnice ale acestuia.

3. Realizarea componentelor logice: reprezintă programele de aplicație dezvoltate în sistemul de gestiune a bazei de date ales, realizate potrivit modulelor funcționale proiectate anterior.

4. Punerea în funcțiune și exploatarea: în cadrul acestei etape se testează funcțiile bazei de date relaționale.

5. Dezvoltarea sistemului: sistemul de gestiune a bazelor de date relaționale este o interfață între utilizator și baza de date, în care datele sunt organizate conform modelului relațional. Conceptul de bază al modelului relațional este acela de relație/tabelă.

Un SGBDR poate fi considerat ca o categorie distinctă a sistemelor de gestiune a bazelor de date, dacă este caracterizat la nivel global, sau poate avea particularități individuale, dacă este tratat individual.

5.4 Tipologia sistemelor de baze de date

Bănci de date rutiere – sisteme de gestiune

Banca de date rutiere este un sistem informatizat, care conține date rutiere corective de o asemenea manieră, încât să poată recunoaște pe care sectoare de drum din rețeaua aflată sub observație se aplică. În același timp, prin intermediul bancii de date sunt evidențiate preocupările și interesele, care dau posibilitatea administratorului să o aplice.

Realizarea unei baze de date necesită cunoașterea perfectă a rețelei asupra căreia se va aplica (identificare și bornare).

Rețeaua rutieră poate fi:

- rețea de autostrăzi;
- rețea rutieră națională la nivelul administrației centrale a unei țări;
- rețea rutieră a unei colectivități locale (județ, comună...).

În cele ce urmează, voi prezenta sistemele de baze de date folosite în România pentru administrarea rețelelor rutiere precum și aplicația dezvoltată pentru determinarea stării tehnice a drumurilor.

VISAGE – sistem de gestiune de bază de date rutieră

Visage, a fost conceput pentru a ajuta administratorii rețelelor rutiere să pună în aplicare informațiile obținute în urma derulării activității de gestiune privind întreținerea drumurilor. Este un sistem de gestiune a informațiilor rutiere fixate prin coordonate (abscise

și curbe) pornind de la punctele de reper, fiind integral adoptat pentru a realiza o bancă de date tehnice rutiere.

Față de funcțiile clasice, Visage permite realizarea de probleme mai mult sau mai puțin complexe, analize, reguli de aplicare și editări grafice sofisticate (hartă tematică, schemă itinerar etc), fapt care permite utilizarea ca sistem suport la gestionarea unei rețele rutiere

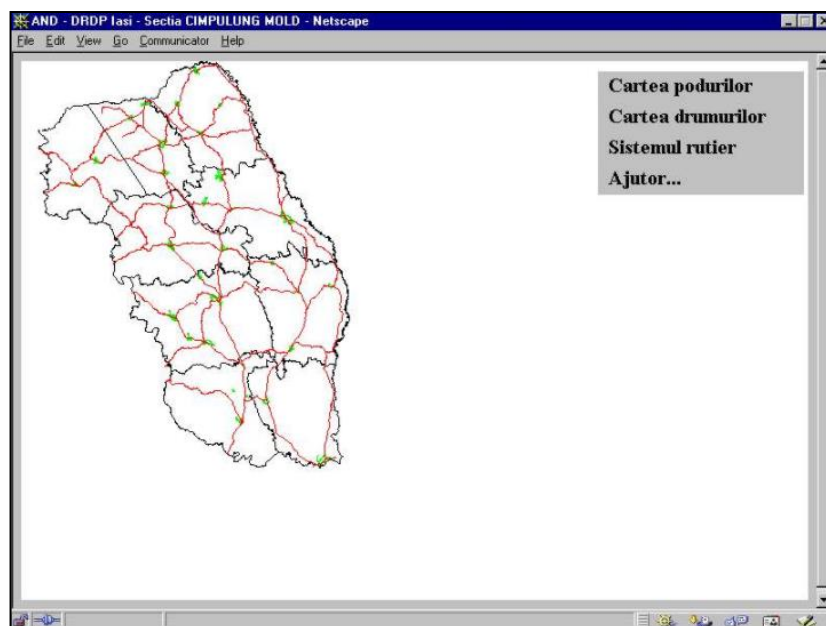
Banca Centrală de Date Tehnice Rutiere

Datorită progresului tehnologic înregistrat în ultimele decenii, rețeaua de drumuri a fost supusă unui proces informațional, fiecare regională de drumuri și poduri din cadrul C.N.A.I.R. S.A. având la dispoziție o bază de date a drumurilor, cunoscută sub denumirea de Banca Centrală de Date Tehnice Rutiere.

D.R.D.P. Iași are la dispoziție un set de aplicații cu ajutorul cărora administratorii rețelei rutiere pot vizualiza și actualiza datele din Banca Centrală de Date Tehnice Rutiere. Prin urmare, a fost realizată o interfață care permite navigarea cu ușurință prin baza de date. Aplicația poate fi accesată și utilizată de orice persoană care dispune de cunoștințe minime de utilizare a calculatoarelor și oferă specialiștilor din domeniul rutier, posibilitatea de a descoperi și identifica neconcordanțele care pot să apară la un moment dat în baza de date.

După reunirea și integrarea diferitelor module a fost obținută o interfață unitară (Figura 5.1), unde utilizatorul poate observa limitele teritoriale ale Direcției Regionale de Drumuri și Poduri Iași, județele, orașele, drumurile naționale din administrare și poate accesa unul din modulele aplicației.

Figura 5.1 *Harta Direcției Regionale de Drumuri și Poduri Iași*

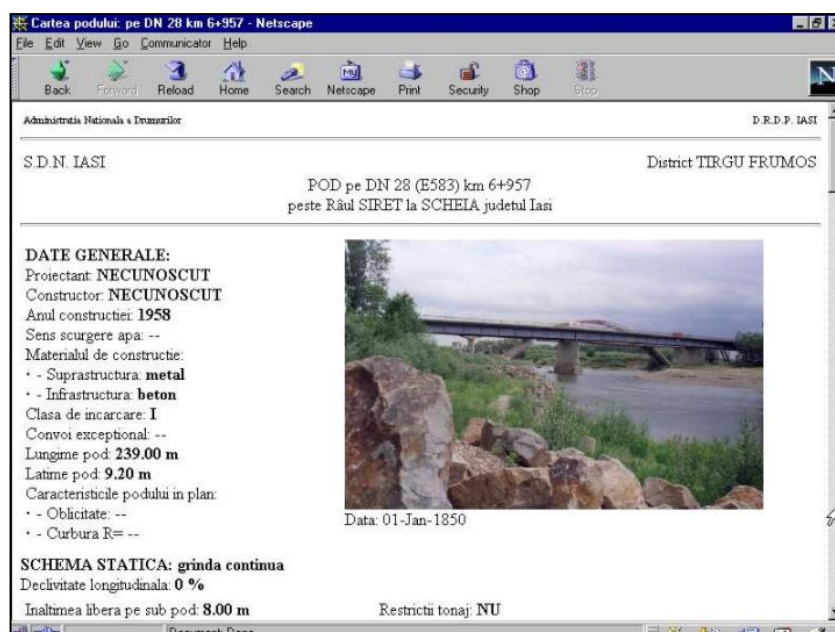


Sursa: <http://rast.orgfree.com/articole/java/index.html> [28]

Cartea podurilor: în cadrul acestui modul sunt prezentate, pentru fiecare pod în parte, date extrase din baza de date rutieră. După cum se poate observa (Figura 5.2), aplicația

furnizează informații despre: drumul național pe care se află podul, poziția kilometrică, anul construcției, materialul de construcție, lungime, lățime, caracteristicile podului în plan, schema statică, înălțime liberă sub pod.

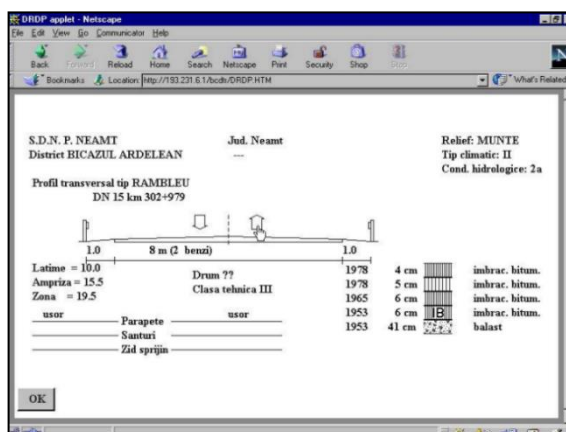
Figura 5.2 Modulul Cartea podurilor



Sursa: <http://rast.orgfree.com/articole/java/index.html> [28]

Cartea drumului: acest modul prezintă elementele drumului la scară (lățime parte carosabilă, acostamente, șanțuri, parapete, marcaje, indicatoare rutiere, etc) pe o lungime de 150 metri. Totodată, aplicația permite utilizatorilor să parcurgă drumul, cu un pas de 150 metri în ambele sensuri. După cum se poate observa (Figura 5.3), prin intermediul mouse-ului se pot accesa diferite elemente ale drumului pentru a obține informații detaliate despre: secțiunea transversală a drumului, intersecții, podețe, poduri etc.

Figura 5.3 Modulul Cartea drumurilor



Sursa: <http://rast.orgfree.com/articole/java/index.html> [28]

Sistemul rutier: acest modul a fost realizat pentru a permite administratorilor rețelei rutiere să vizualizeze mai ușor sectoarele omogene și alcătuirea lor.

5.5. D.A.S.T. – aplicație realizată pentru determinarea stării tehnice a drumurilor

În cadrul prezentei lucrări, am dezvoltat în programul Microsoft Access aplicația D.A.S.T., aplicație destinată determinării stării tehnice a drumurilor naționale și autostrăzilor din administrarea D.R.D.P. Cluj. Aplicația are la bază una din metodele multicriteriale de analiză a deciziilor, respectiv metoda Electre elaborată de Bertrand Roy, ca instrument de optimizare a deciziilor în condiții de certitudine.

Pentru realizarea unei baze de date am parcurs următoarele etape:

1. am generat structura bazei de date: în cadrul acestei etape am stabilit câmpurile care vor alcătui o înregistrare. Fiecărui câmp îi va fi atribuit un nume, un tip de date și o gamă de reprezentare.
2. în etapa următoare am stabilit tabelele în care vor fi distribuite înregistrările precum și legăturile dintre aceste tabele.
3. am completat baza de date cu informații, operație care se desfășoară în paralel cu exploatarea bazei de date.
4. exploatarea bazei de date presupune elaborarea rapoartelor și statisticilor pornind de la datele deținute.

Accesarea formularului se realizează cu ajutorul mouse-ului (dublu click pe DN Principal din zona Forms). Pentru a calcula starea tehnică a unui drum național principal, am procedat astfel (Figura 5.4):

- în rubrica *Nume* drum am selectat drumul național (în acest caz VO Baia Mare clasificat ca drum național principal);
- în rubrica *MZA* am completat valorile traficului mediu zilnic anual pe sector de drum, determinate în ultimul recensământ de trafic;
- rubrica *MZA* osii standard se actualizează automat fiind produsul dintre *MZA* (intensitatea medie zilnică anuală a traficului) și *Fek* (coeficienții de echivalare ai vehiculelor fizice în osii standard);
- coeficienții de evoluție a traficului p_{ki} sunt valori implicite introduse de la tastatură, pentru fiecare categorie de drum național, în etapa în care se realizează formularul și nu necesită modificări; aceștia pot fi actualizați la noul recensământ de circulație cu valorile determinate în anul respectiv accesând meniul *Design View*;
- pentru sectorul de drum studiat, am completat de la tastatură rubricile km început, km sfârșit, respectiv rubricile destinate caracteristicilor utilizate în evaluarea stării tehnice a drumurilor;
- rubrica vectorului coeficienților de importanță are valori implicite ce nu necesită modificări; acestea pot fi actualizate de utilizator după necesități;
- pentru memorarea sectorului de drum studiat în baza de date, am apăsă butonul *Adaugă*; dacă se dorește calculul stării tehnice pentru alt sector de drum, utilizatorul va apăsa butonul *Resetează* și va repeta pașii descriși mai sus.

Figura 5.4 Formularul DN Principal

DN Principal

Nume drum: VO BAI A MARE

Coefficienti de evolutie pki pentru anii

Grupa de vehicule	MZA	FEK	MZA osii standard 115 kN	2015	2020	2025	2030	Suma coef de evolutie	PRODUS
Autocamioane si derivate cu doua axe derivate cu doua axe	242	0.4	96.8	1	0.85	1.03	1.08	29.2	2826.56
Autocamioane si derivate cu doua axe derivate cu trei sau patru axe	181	0.6	108.6	1	0.68	0.81	0.84	24.1	2617.26
Autocamioane si derivate cu doua axe derivate cu trei sau patru axe	341	0.8	272.8	1	1.17	1.52	1.63	40.05	10925.64
Autobuze si autocare	80	0.6	48	1	1.68	2.05	2.16	53.1	2548.8
Tractoare cu/fara remorca, vehicule speciale	17	0.3	5.1	1	0.69	0.85	0.9	24.9	126.99
Autocamioane cu 2, 3 sau 4 axe, cu remorci (tren rutier)	32	0.6	19.2	1	0.76	0.88	0.91	25.95	498.24
TRAFICUL DE CALCUL:								1.605009	19543.49

Km inceput: 0

Km sfarsit: 1600

INDICE PLANEITATE IRI: 7.46

RUGOZITATEA HS: 0.49

CAPACITATEA PORTANTA: 61

INDICE DE DEGRADARE IG: 91

INTRODUCETI PONDERI:

	KM INCEPUT	KM SFARSIT	INDICE PLANEITATE IRI	RUGOZITATEA HS	CAPACITATEA PORTANTA	INDICE DE DEGRADARE IG	INTRODUCETI PONDERI:
V1	0	400	7.46	0.49	61	91	C1 0.15
V2	400	800	7.36	0.61	60	91	C2 0.1
V3	800	1200	6.48	0.67	55	96	C3 0.45
V4	1200	1600	6.8	0.72	57	89	C4 0.3

Adauga Sectoare Reseteaza

Sursa: realizat de autor

Exploatarea bazei de date presupune elaborarea rapoartelor și statisticilor pornind de la datele deținute. Raportul (Report) este instrumentul care permite utilizatorului să exporte liste și statistici pe baza datelor introduse în tabele.

În (Figura 5.5) am prezentat raportul Stare tehnică drumuri. Raportul oferă informații despre clasa stării tehnice a sectoarelor de drum studiate (în acest caz CORA, DN 79 și DN 75), ziua și ora la care a fost întocmit raportul.

Figura 5.5 Afișarea raportului *Stare tehnică drumuri*

Stare tehnica drumuri		
Saturday, May 11, 2019 1:57:40 PM		
DESCRIERE	stare	Sector
CORA	Mediocra	Sector 1
CORA	Mediocra	Sector 2
CORA	Mediocra	Sector 3
CORA	Mediocra	Sector 4
DN79-1	Mediocra	Sector 1
DN79-1	Mediocra	Sector 2
DN79-1	Mediocra	Sector 3
DN79-1	Mediocra	Sector 4
DN75-1	Mediocra	Sector 1
DN75-1	Mediocra	Sector 2
DN75-1	Mediocra	Sector 3
DN75-1	Mediocra	Sector 4

Sursa: realizat de autor

Totodată, aplicația permite exportarea unor rapoarte care să prezinte doar sectoarele de drum cu stare tehnică deficitară sau sectoarele de drum cu stare tehnică bună și foarte bună din cadrul rețelei analizate și crearea unor rapoarte noi în funcție de necesități. Rapoartele create pot fi exportate în diferite formate (Excel, Word, Pdf) folosind comanda *Export*.

CAPITOLUL 6

SISTEMUL INFORMAȚIONAL GEOGRAFIC AL REȚELEI DE DRUMURI NAȚIONALE ȘI AUTOSTRĂZI - STUDIU DE CAZ D.R.D.P. CLUJ

6.1 Scurtă prezentare a pachetului software utilizat

Pentru realizarea Sistemului Informațional Geografic al rețelei de drumuri din România am folosit tehnologia ArcGIS, un concept al firmei Esri care înglobează o familie de produse soft de la palmtopuri la stații grafice sau servere de Internet.

ArcGIS este un sistem informatic geografic integrat compus din trei părți: ArcGIS Desktop, ArcSDE și ArcIMS.

ArcGIS Desktop: este un sistem de aplicații GIS complexe (ArcView, ArcEditor și ArcInfo) cu grade de complexitate diferite. ArcView înglobează funcțiile și prelucrările de bază ale datelor spațiale. ArcEditor include toate funcționalitățile lui ArcView, la care se adaugă și posibilitatea realizării topologiei structurilor vectoriale coverage sau celor din baza de date geografice. ArcInfo include toate funcționalitățile celor două, la care se mai adaugă operații complexe de procesare a datelor spațiale.

Pachetul ArcGIS Desktop are în componență trei aplicații integrate (ArcMap, ArcCatalog și ArcToolbox) cu ajutorul cărora se pot executa operații simple sau proceduri avansate de analiză spațială.

6.2 Aplicarea Sistemelor Informaționale Geografice pentru rețeaua de drumuri din administrarea D.R.D.P. Cluj

În cadrul acestui subcapitol am prezentat pașii parcurși în modulul ArcMap, care au condus la realizarea hărții de drumuri naționale și autostrăzi din administrarea Direcției Regionale de Drumuri și Poduri Cluj.

Primul pas constă în realizarea unei baze de date, structura vectorială (clasa de entități grafice feature class) fiind folosită ca bază de date principală în cadrul geodatabase. Pachetul de programe ArcGIS Desktop oferă utilizatorului posibilitatea de a realiza o serie de operațiuni asupra datelor utilizate și anume: aplicația ArcCatalog ce permite compunerea, alcătuirea și administrarea datelor în timp ce modulul ArcMap facilitează editarea acestora.

În etapa următoare, am încărcat în geotadabase-ul Hartă_drumuri creat anterior, baza de date Excel, exportată din aplicația D.A.S.T., baza de date ce prezintă starea tehnică a drumurilor naționale și autostrăzilor din administrarea D.R.D.P. Cluj. Starea tehnică a fost determinată prin prelucrarea caracteristicilor utilizate la determinarea stării tehnice a drumurilor cu ajutorul metodei Electre.

Pentru a realiza o legătură între rețeaua de drumuri creată și baza de date Excel, am folosit comanda *Create Routes* (referință lineară). Referința lineară este o metodă de stocare

a locațiilor geografice prin utilizarea pozițiilor relative de-a lungul unei caracteristici lineare măsurate. Multe locații sunt înregistrate ca evenimente în funcție de caracteristicile liniare (locațiile accidentelor rutiere). De asemenea, referențierea lineară este utilizată pentru a asocia mai multe seturi de attribute unor sectoare de drum fără a fi nevoie ca acestea să fie împărțite în segmente mai mici de fiecare dată când se modifică valorile atributelor.

Următorul pas este reprezentat de publicarea hărții create cu ajutorul programului ArcMap în contul de developer. Am publicat harta creată pentru a putea fi personalizată și apoi accesată de utilizatorii agreați sau de public.

După publicarea cu succes a serviciului, m-am conectat la contul de developer (folosind un browser web, ex: Google Chrome) și am regăsit serviciul creat.

Utilizând acest feature service, am posibilitatea de a crea un web map, iar ulterior o aplicație web utilizând capabilitățile ArcGIS online. Din ArcGIS online, utilizând aplicația Web AppBuilder for ArcGIS, am personalizat harta în funcție de preferințe:

Astfel, în cadrul prezentei lucrări, am realizat o serie de aplicații web care conțin informații referitoare la starea tehnică a drumurilor și podurilor din administrarea D.R.D.P. Cluj, aplicații destinate publicului / administratorilor rețelei rutiere (Figura 6.1).

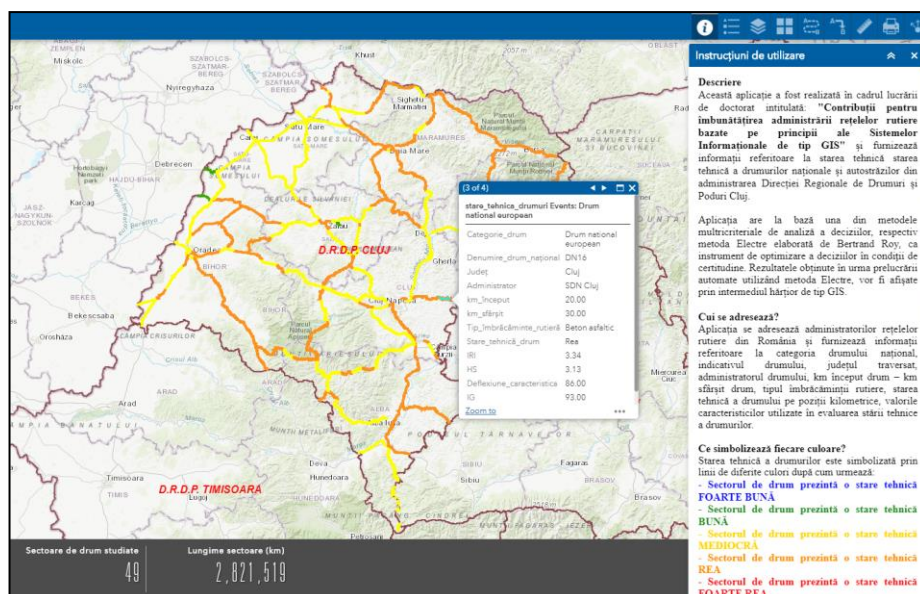
Figura 6.1 Portal ArcGIS online



Sursa: realizat de autor

De exemplu, aplicația *ST_DRDP_CLUJ* (Figura 6.2), se adresează administratorilor rețelelor rutiere din România și furnizează informații referitoare la categoria drumului național, indicativul drumului, județul traversat, administratorul drumului, km început sector drum – km sfârșit sector drum, tipul îmbrăcămînții rutiere, starea tehnică a drumului pe poziții kilometrice, valorile caracteristicilor utilizate în evaluarea stării tehnice a drumurilor, numărul km drum analizați.

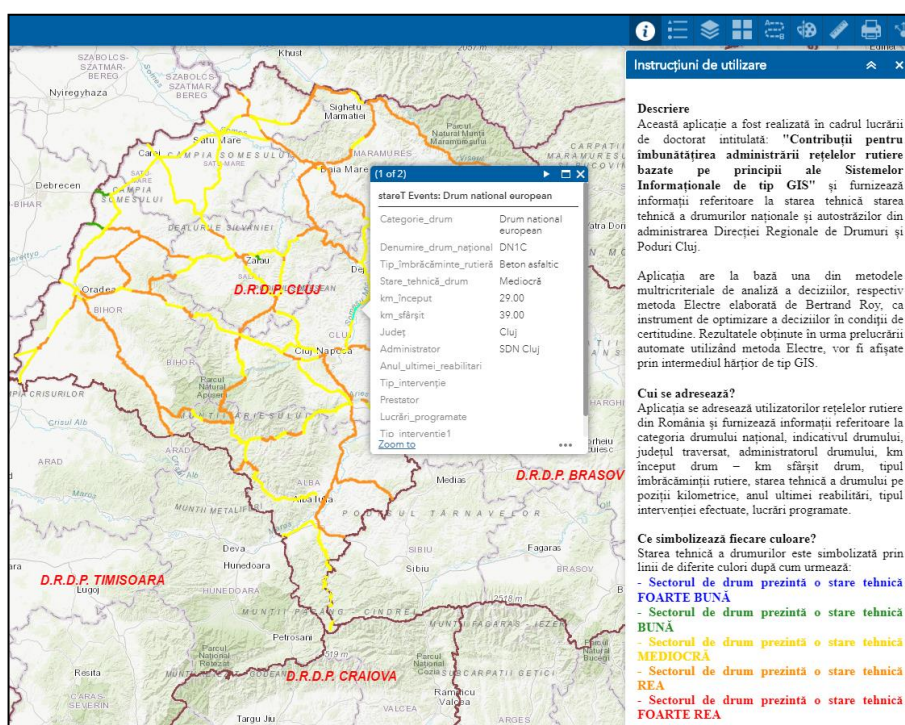
Figura 6.2 Aplicația ST_DRDP_CLUJ



Sursa: realizat de autor

Aplicația *StareTehnicăDrumuri* (Figura 6.3), se adresează utilizatorilor rețelilor rutiere din România și furnizează informații referitoare la categoria drumului național, indicativul drumului, județul traversat, administratorul drumului, km început sector drum – km sfârșit sector drum, tipul îmbrăcămînții rutiere, starea tehnică a drumului pe poziții kilometrice, anul ultimei reabilitări, tipul intervenției efectuate, lucrări programate. Prin intermediul barei meniu, am pus la dispoziția utilizatorilor o serie de comenzi care îi facilitează accesul la această aplicație, similar aplicației *ST_DRDP_CLUJ*.

Figura 6.3 Aplicația StareTehnicăDrumuri



Sursa: realizat de autor

Aplicațiile *Stare_Tehnică_Poduri* și *Poduri* (Figura 6.4), se adresează atât administratorilor rețelei de drumuri naționale și autostrăzi din România și utilizatorilor rețelei rutiere și oferă o imagine de ansamblu asupra stării de viabilitate a podurilor de șosea din beton, beton armat, beton precomprimat, metal și compozite.

Starea tehnică a podurilor a fost determinată în conformitate cu normativele în vigoare din România - indicativ CD 138-2010 *Normativ privind criteriile de determinare a stării de viabilitate a podurilor de șosea din beton, beton armat, beton precomprimat, metal și compozite* și AND 522-2006 *Instrucțiuni tehnice pentru stabilirea stării tehnice a unui pod*.

Starea tehnică a podurilor este simbolizată prin cercuri de diferite culori după cum urmează: albastru - podul prezintă o stare tehnică Foarte Bună, verde - podul prezintă o stare tehnică Bună, portocaliu - podul prezintă o stare tehnică Satisfăcătoare, roșu - podul prezintă o stare tehnică Nesatisfăcătoare, mov - podul prezintă o stare tehnică Critică.

Figura 6.4 Aplicațiile *Stare_Tehnică_Poduri* - stânga și *Poduri* - dreapta



Sursa: realizat de autor

Pe lângă starea tehnică a podurilor, aplicațiile pun la dispoziția utilizatorilor informații referitoare la: indicativul drumului pe care se află podul, poziția kilometrică, obstacolul traversat, lungime totală, lățime parte carosabilă, an construcție, an consolidare, administrator, județ.

Suplimentar, aplicația *Stare_Tehnică_Poduri* destinată administratorilor rețelelor rutiere oferă informații utile referitoare la tipul infrastructurii, tipul suprastructurii, soluție fundare, număr deschideri, înălțime etiaj, schemă statică, clasa de încărcare.

Pentru realizarea aplicațiilor *Stare_Tehnică_Poduri* și *Poduri*, au fost utilizate datele publicate în Rapoartele anuale (2013-2018) ale Companiei Naționale de Administrare a Infrastructurii Rutiere. Aplicațiile au fost create cu scopul de a evidenția capacitatea Sistemelor Informaționale Geografice de a gestiona datele spațiale și de a le vizualiza folosind hărți.

CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE

Prin prisma rezultatelor obținute, lucrarea de față oferă administratorilor rețelelor rutiere, o procedură modernă și rapidă de informare asupra stării tehnice a drumurilor, precum și posibilitatea urmăririi evoluției acesteia, în perioada de exploatare a rețelei de drumuri.

În cadrul prezentei lucrări am analizat rețeaua drumurilor publice din România, în special rețeaua drumurilor naționale din administrarea Companiei Naționale de Administrare a Infrastructurii Rutiere.

În acest context, **un prim rezultat** important al lucrării îl reprezintă identificarea principalelor caracteristici ale rețelelor de drumuri din România.

Potrivit datelor statistice disponibile la sfârșitul anului 2018, în perioada 2013 - 2018, din numărul pasagerilor transportați utilizând mijloace de transport specifice fiecărui mod de transport, aproximativ 80% dintre aceștia au utilizat ca modalitate de transport transportul rutier. Tot în aceeași perioadă, din volumul total de mărfuri transportate respectiv 2,70 mld. tone, aproximativ 61,0% din total au fost deplasate utilizând rețeaua de drumuri.

La sfârșitul anului 2018, infrastructura rutieră a României se număra printre cele mai puțin dezvoltate din Europa în ceea ce privește acoperirea, conectivitatea cu celelalte state membre precum și siguranța rutieră, chiar dacă în anul 2003, prin adoptarea Legii 451, statul Român s-a angajat să realizeze până la sfârșitul anului 2015 aproximativ 1736 km autostradă.

În prezent România are în exploatare aproximativ 47% din lungimea totală de autostrăzi asumată, respectiv 823 km, cu alte cuvinte o densitate a rețelei de autostrăzi de 3 km autostradă/1000 km² față de media europeană de 22 km/1000 km², plasând România mult sub media UE 28 pe poziția 26 din cele 28 state analizate.

Din punct de vedere al densității rețelei de drumuri publice, România se situează și în acest caz sub media EU 28, pe poziția 26 din 28 țări analizate, cu 363 km autostradă/1000km² față de media europeană de 1454 km/1000km².

Rețeaua națională de drumuri și autostrăzi continuă să rămână slab dezvoltată chiar dacă în perioada 1990-2018, fondurile alocate lucrărilor de construcție de drumuri și autostrăzi au fost semnificative, iar factorii decidenți au adoptat numeroase strategii și acte normative privind extinderea infrastructurii rutiere.

Aceste statistici denotă importanța transportului rutier în România, în ciuda faptului că reprezintă o sursă semnificativă de poluare a aerului la nivel mondial.

Lipsa unei rețele rutiere care să asigure o capacitate de circulație corespunzătoare, precum și numărul mic al kilometrilor de autostradă, cumulate cu creșterea remarcabilă a parcului de autovehicule are un impact negativ asupra timpului de călătorie precum și asupra siguranței traficului.

Al doilea rezultat important al lucrării îl reprezintă identificarea practicilor de gestionare a structurilor rutiere atât la nivel național cât și la nivel mondial, precum și dificultățile identificate în administrarea rețelelor rutiere din România.

Chiar dacă sistemele de tip PMS au fost implementate în țara noastră încă din anul 1997, informațiile furnizate de sistem au fost folosite de administratorii drumurilor doar cu caracter orientativ.

Totodată, în România nu există un management al cercetării rutiere sau o concretizare reală a cercetării, materializată prin soluții și norme tehnice cu efect imediat sau pe termen lung, nu sunt promovate noile tehnologii de execuție și materialele calitativ superioare, nu există o colaborare cu mediul universitar și nici o strategie pentru pregătirea studenților potrivit nevoilor administrațiilor.

O altă problemă cu care se confruntă administratorii rețelelor rutiere este reprezentată de planificarea lucrărilor de întreținere a drumurilor în contextul constrângerilor bugetare.

Programele ce presupun construirea de noi drumuri naționale și autostrăzi prezintă o importanță deosebită pentru economia națională, pentru factorii decidenți și mass-media și beneficiază de sume considerabile, alocate de la bugetul statului, din fonduri europene și împrumuturi externe în detrimentul lucrărilor de reabilitare/întreținere/reparare/modernizare a drumurilor.

Al treilea rezultat important al lucrării este reprezentat de evidențierea unor preocupări pe plan mondial de utilizare a unor metode statistico-matematice în vederea analizei deciziilor și prognozei unor variabile legate de starea tehnică a drumurilor.

Utilizarea unor astfel de tehnici și metode are ca efecte: îmbunătățirea transparenței proceselor și managementul informațiilor; facilitează procesele de planificare și de luare a deciziilor; crearea oportunităților pentru externalizarea proceselor economice specifice; reducerea costurilor de exploatare și întreținere a drumurilor.

Metodele multicriteriale de analiză a deciziilor au înregistrat o utilizare fără precedent în ultimele decenii. Rolul acestora și aplicarea în diferite domenii de activitate a crescut semnificativ, pe măsură ce noile metode se dezvoltă și cele vechi se îmbunătățesc.

De-a lungul timpului, în literatura de specialitate au fost elaborate diverse metode pentru analiza și prognoza viabilității la nivelul rețelelor rutiere.

În cadrul prezentei lucrări am descris și utilizat o metodă multicriterială de analiză – metoda Electre – utilizată ca instrument suport pentru rezolvarea problemelor decizionale complexe ce țin de determinarea stării tehnice a drumurilor și alegerea lucrărilor de întreținere și reparații potrivite.

Pentru a efectua analiza multicriterială, am luat în considerare, patru criterii reprezentative pentru starea tehnică a drumurilor (rugozitate, capacitate portantă, planitate, indice de degradare). Alegerea acestora se bazează pe presupunerea că indicatorii trebuie să fie ușor de măsurat și trebuie să fie clari pentru factorii de decizie.

Prin aplicarea metodei, am determinat starea tehnică a rețelei de drumuri naționale și autostrăzi din administrarea Direcției Regionale de Drumuri și Poduri Cluj și am identificat sectoarele de drum cu cele mai grave condiții în ceea ce privește starea tehnică a drumurilor.

Rezultatele obținute prin utilizarea acestor proceduri de evaluare a stării tehnice a unui drum, permit măsurarea amplitudinii și a gravității problemei de evaluare a stării tehnice la un drum, însă pentru aceasta este nevoie de un istoric consistent, care ar trebui să existe în Banca de Date a administratorului drumului. Tot aceste metode și tehnici statistice pot reprezenta instrumente esențiale de lucru în domeniul administrării rețelelor rutiere și permit stabilirea obiectivelor clare pentru acțiuni strategice de intervenție în infrastructura de transport rutier.

Un avantaj major al metodelor multicriteriale și implicit al metodei Electre este reprezentat de faptul că acestea nu elimină procesul de gândire al decidentului. Scopul metodelor multicriteriale este de a pune la dispoziția factorilor de decizie metode care să îi sporească capacitatea de examinare și hotărâre, eliminând din procesul de decizie intuiția sau raționamentul personal.

Dezavantajul Metodei Electre este acela că întregul proces și interpretarea rezultatelor sunt dificil de explicat în termeni laici.

Astfel, **al patrulea rezultat** important al lucrării îl reprezintă aplicația D.A.S.T., dezvoltată în programul Microsoft Access, aplicație ce permite determinarea automată a stării tehnice a drumurilor, similar sistemelor de tip PMS. Aplicația are la bază metoda multicriterială de analiză a deciziilor, respectiv metoda Electre. Astfel, prin aplicarea metodei și în sistemul de administrare a rețelei de drumuri din România, a fost realizat un instrument de lucru managerial în strategia de intervenție pentru viabilizarea rețelelor de drumuri aflate în exploatare.

Rezultatele obținute în urma prelucrării automate utilizând metoda Electre, au fost afișate prin intermediul hărților de tip GIS, pentru o vizualizare ușoară, sistemele informaționale geografice devenind din ce în ce mai utilizate și în domeniul transporturilor datorită unor caracteristici speciale cum ar fi analiza spațială și vizualizarea, care pot îmbunătăți sistemul de management al structurilor rutiere.

În urma revizuirii literaturii de specialitate privind utilizarea Sistemelor Informaționale Geografice în cadrul sistemelor de management al întreținerii îmbrăcăminților rutiere, am observat că SIG au un avantaj major în ceea ce privește colectarea, arhivarea și analizarea datelor care țin de starea tehnică a drumurilor și de sistemul de transport. Un alt avantaj recunoscut al Sistemelor Informaționale Geografice îl reprezintă capacitatea acestora de a gestiona datele spațiale și de a le vizualiza folosind hărți.

Utilizarea Sistemelor Informaționale Geografice în procesul decizional și cel al gestionării resurselor este esențială, cel mai important aspect fiind reprezentat de precizia datelor, precum și gradul de actualizare al acestora.

În acest context, **al cincilea rezultat** important al lucrării îl reprezintă realizarea Sistemului Informațional Geografic al rețelei de drumuri naționale și autostrăzi din România.

Principalele caracteristici ale sistemului informațional realizat în cadrul prezentei

Sistemele Informaționale Geografice au fost utilizate cu succes în gestionarea datelor geospațiale referitoare la caracteristicile utilizate în evaluarea stării tehnice a drumurilor. Capacitățile GIS de analiză spațială asupra caracteristicilor utilizate în evaluarea stării tehnice a drumurilor, precum și afișarea vizuală și grafică a rezultatelor a fost demonstrată

în studiu. Astfel, GIS poate fi folosit pentru a construi un sistem de tip PMS ca instrument suport de decizie în alegerea strategiei de intervenție pentru viabilizarea rețelelor de drumuri aflate în exploatare.

În urma studiului efectuat, se recomandă ca administratorii rețelelor rutiere din România să ia în considerare utilizarea Sistemelor Informaționale Geografice ca instrument suport de decizie pentru gestionarea activității de întreținere a rețelelor de transport rutier datorită versatilității SIG în analiza datelor, capacității de interogare, precum și reprezentarea grafică și vizuală.

Sistemul de management al îmbrăcăminților rutiere bazat pe principii ale SIG, trebuie să fie considerat un instrument de luare a deciziilor, nu un factor de decizie în sine. Sistemul nu intenționează să înlocuiască expertiza și judecata inginerilor, ci mai degrabă contribuie la îmbunătățirea procesului de luare a deciziilor în ceea ce privește prioritizarea sectoarelor cu o stare tehnică deficitară și alegerea strategiei de intervenție pentru viabilizarea rețelelor de drumuri aflate în exploatare.

Consider că lucrarea a atins obiectivele propuse și aduce un plus de cunoaștere prin implementarea Sistemelor Informaționale Geografice în domeniul administrării rețelelor rutiere din România. Aplicarea unor metode statistico-matematice a permis identificarea sectoarelor de drum care prezintă o stare tehnică deficitară. Aplicațiile GIS realizate în cadrul lucrării fac posibilă monitorizarea și evaluarea stării tehnice a rețelei studiate.

Lucrarea poate fi considerată un prim pas în procesul complex de analiză și prognoză a viabilității rețelelor de drumuri prin intermediul Sistemelor Informaționale Geografice și poate fi utilă decidenților și instituțiilor locale și naționale din domeniul rutier.

Totodată, în plan științific, unele idei și contribuții originale fac obiectul unor articole deja publicate, alte articole și studii fiind în pregătire pentru publicare și după finalizarea Programului de Pregătire Doctorală.

În final, reiterez principalele contribuții originale care aduc plusvaloare prezentei lucrări:

- identificarea principalelor caracteristici ale rețelelor de drumuri din România;
- identificarea practicilor de gestionare a structurilor rutiere atât la nivel național cât și la nivel mondial, precum și dificultățile existente în administrarea rețelelor rutiere din România;
- aplicarea unor metode și tehnici statistice utilizate pentru analiza și prognoza viabilității rețelelor de drumuri;
- realizarea aplicației D.A.S.T., dezvoltată în programul Microsoft Access, aplicație ce permite determinarea automată a stării tehnice a drumurilor;
- realizarea Sistemului Informațional Geografic al rețelei de drumuri naționale și autostrăzi din România;
- realizarea aplicațiilor GIS, care oferă o vedere de ansamblu asupra stării tehnice a rețelei de drumuri studiate, spre informarea administratorilor rețelelor rutiere cât și utilizatorilor.

DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Conceptele prezentate ca și contribuții originale la tema Tezei de Doctorat, mi-au permis prognozarea unor Direcții viitoare de cercetare, astfel:

- cercetarea poate fi continuată cu evaluarea întregii rețele de drumuri naționale și autostrăzi din administrarea C.N.A.I.R. S.A. și de ce nu și a rețelei de drumuri județene și comunale din România;
- o astfel de abordare poate fi utilă administratorilor rețelelor rutiere pentru stabilirea din punct de vedere tehnic și economic a tipurilor de lucrări și servicii pentru activitățile de întreținere și reparare a drumurilor;
- prin reglementarea organizării, planificării și urmărirea execuției lucrărilor și serviciilor de întreținere și reparații, este asigurată conservarea patrimoniului rutier și desfășurarea traficului rutier în condiții de siguranță și confort.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- 1 Castraveț T., Bejenaru G., Căpătîna L., Dilan V., (2013), *Inițiere în SIG – Curs universitar*, http://downloads.gvsig.org/download/documents/books/CURS_GIS_UST_ro.pdf
- 2 Diaconu E., Dicu M., Răcănel C., (2006), *Căi de comunicații rutiere*, Ed. Conspress, București
- 3 Doru M., (2013), *Curs – Sisteme Informaționale Geografice*
- 4 Fancello G., Carta M., Fadda P., (2013), *A decision support system for road safety analysis*, www.sciencedirect.com
- 5 Imbroane A. M., *Sisteme Informatică Geografice – Volumul I: Structuri de date*, Presa Universitară Clujeană (2012)
- 6 Johnson A., Snopl P. J. (2000), *Best practices handbook on asphalt pavement Maintenance*, <http://www.cee.mtu.edu/~balkire/CE5403/AsphaltPaveMaint.pdf>
- 7 Juang C.H., Amirkhanian S.N., (1992), *Unified pavement distress index for managing flexible pavements*, Journal of Transportation Engineering, ASCE, 118 (5), 686-699
- 8 Karashain M., Terzi S., (2011), *Performance model for asphalt concrete pavement based on the fuzzy logic approach*, <https://journals.vgtu.lt/index.php/Transport/article/view/1783>, Transport, 29:1, 18-27, DOI: 10.3846/16484142.2014.893926
- 9 Lungu I., Botha I., Baze de date, Curs – Academia de Studii Economice București
- 10 Mardani A., Jusoh A., Nor K., Khalifah Z., Zakwan N., Valipour A., *Multiple criteria decision making techniques and their applications – a review of the literature from 2000 to 2014*, Economic Research-Ekonomska Istraživanja, 28:1, 516-571, <http://dx.doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>
- 11 Shah Y., Jain S.S., Tiwari D., Jain M.K., (2013), *Development of Overall Pavement Condition Index for Urban Road Network*, www.sciencedirect.com
- 12 Shah Y.U., Jain S.S., Parida M., (2012), *Evaluation of prioritization methods for effective pavement maintenance of urban roads*, International Journal of Pavement Engineering, 15:3, 238-250, DOI: 10.1080/10298436.2012.657798
- 13 Sharfaraz A., Vedagir P., Krishna Rao K.V., (2017), *Prioritization of Pavement Maintenance Sections Using Objective Based Analytic Hierarchy Process*, International Journal of Pavement Research and Technology, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.01.001>
- 14 Toma M. G., (2018), *Raport de cercetare nr. 1 - Prelucrarea statistică a datelor și interpretarea rezultatelor în vederea stabilirii caracteristicilor de viabilitate la nivelul rețelei de drumuri*
- 15 Toma M. G., (2019), *Raport de cercetare nr. 2 - Domenii de utilizare a datelor cuprinse în sistemele informaționale de tip GIS, pentru îmbunătățirea administrării rețelelor rutiere*

- 16 Toma M. G., (2019), *Raport de cercetare nr. 3 – Elaborarea hărților digitale și a aplicațiilor ce au ca scop îmbunătățirea administrării rețelelor de transport rutier*
- 17 Toma M. G., Pavai F.F., Dicu M., Anton V., (2018), *Eficientizarea activității de întreținere prin utilizarea unei baze de date GIS privind starea tehnică a drumurilor*, Congres APDP 2018, <http://www.apdpmoldova.ro/apdpm/wp-content/uploads/2018/10/141.pdf>
- 18 Trandafir R., Nistorescu M., Mierluș I. M., (2007), *Bazele informatice și limbaje de programare*, Universitatea Tehnică de Construcții București
- 19 Yashon Ouma O., Opudo J., Nyambenya S., (2015), *Comparison of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS for Road Pavement Maintenance Prioritization: Methodological Exposition and Case Study*, <https://www.hindawi.com/journals/ace/2015/140189/>
- 20 Yogesh U.S., Jain S.S., Jain M.K., Devesh T., (2013), *Critical Review of Prioritization Models for Pavement Maintenance Management Decisions*, 2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology, April 12, 13, 2013 College of Engineering, Teerthanker Mahaveer University
- 21 *** *CD 155 - 2000: Instrucțiuni tehnice privind determinarea stării tehnice a drumurilor moderne* – 2001, Administrația Națională a Drumurilor, România
- 22 *** Civil engineers find savings where the rubber meets the road, <http://energy.mit.edu/news/civil-engineers-find-savings-where-the-rubber-meets-the-road/>
- 23 *** Compania Națională de Administrare a Infrastructurii Rutiere SA – Centrul de Studii Tehnice și Informatică CESTRIN, *Prezentarea generică a activităților și dotării tehnice*, (2017), <https://www.cestrin.ro/web2014/pdf/prezentare%202017.pdf>
- 24 *** <https://www.esri.ro>
- 25 *** *Lungimea căilor de transport la sfârșitul anului 2018*, <http://www.insse.ro/cms/ro/tags/lungimea-cailor-de-transport>
- 26 *** *Master Plan General de Transport al României*, (2015), AECOM, Variantă finală revizuită a Raportului privind Master Planul pe termen scurt, mediu și lung, http://mt.gov.ro/web14/documente/strategie/mpgt/23072015/Master%20Planul%20General%20de%20Transport_iulie_2015_vol%20I.pdf
- 27 *** *Mărfuri transportate, pe moduri de transport*, Tempo Home – B. Statistică Economică - Transporturi – Activitatea de Transport – TRN137A, Institutul Național de Statistică, <http://statistici.insse.ro:8077/tempo-online/#/pages/tables/insse-table>
- 28 *** Modalități de vizualizare a bazelor de date, <http://rast.orgfree.com/articole/java/index.html>