

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Teza de doctorat își propune să analizeze unii factori de influență asupra stării tehnice a drumurilor, și să particularizeze influența acestora pentru zona Banatului. În acest sens, lucrarea de față caută să evidențieze unele caracteristici specifice ale zonei Banatului, precum și influența acestora asupra comportării în exploatare a complexelor rutiere, implicit asupra stării tehnice a drumurilor.

Studierea unor factori de influență asupra stării tehnice a drumurilor se face în scopul îmbunătățirii acestora și menținerii ei la standarde superioare pentru perioade cât mai îndelungate de timp. Cunoașterea influenței acestor factori permite o mai bună gestionare a administrării drumurilor, combate apariția unor situații nedorite generate de acești factori în exploatarea drumurilor și de asemenea, oferă posibilitatea de luare a unor măsuri care să elimine efectele negative ale unor factori, care sunt luați în studiu în prezenta teză de doctorat.

Pentru particularizarea zonei Banatului, în special în ceea ce privește factorii de influență considerați asupra stării tehnice a drumurilor, se caracterizează această zonă din punct de vedere geomorfologic, geologic, geotehnic, seismic, hidrologic, hidrogeologic, climateric și pluviometric și se evidențiază factorii specifici de influență ai zonei Banatului asupra stării tehnice a drumurilor. Statisticile pe drumurile naționale și județene, din această zonă, sunt, din nefericire, extrem de neconvingătoare, de altfel în ton cu ceea ce se regăsește la nivelul întregii țări.

Parametrii stării tehnice luați în considerare sunt cei care definesc de fapt această noțiune: planeitatea suprafeței de rulare, rugozitatea suprafeței îmbrăcămînții rutiere, capacitatea portantă a complexului rutier și starea de degradare a îmbrăcămînții rutiere, dar se pune accent, mai ales în partea de cercetare experimentală efectuată de autor, pe parametrul capacitate portantă. În acest sens, sunt luate în studiu un număr total de 18 sectoare experimentale de drumuri naționale, cu lungimea de 200,00 m, de pe raza administrativă a D.R.D.P. Timișoara pe care sunt efectuate o serie de investigații și măsurători de capacitate portantă prin diferite metode conforme cu normele din țara noastră. Totodată, aceleași sectoare experimentale sunt supuse modelării matematice și cercetate prin variații ale factorilor de influență considerați în teza de doctorat.

În **capitolul 1**, este prezentată zona Banatului, cu delimitarea clară a acesteia pe teritoriul României, și rețeaua de drumuri naționale și județene care își desfășoară traseul pe teritoriul zonei Banat. Astfel, se reține faptul că această zonă este străbătută de 1.166,052 km drumuri naționale și 2.245,369 km drumuri județene.

De asemenea în conținutul primului capitol se regăsesc particularități importante, din punct de vedere geomorfologic, geologic și geotehnic, ale zonei Banatului, dintre care se amintesc:

- a doua zonă din țara noastră, după zona Vrancei, cu o mare importanță din punct de vedere al hazardului seismic și riscului seismic;
- prezența în această regiune, în special în zonele de câmpie, a pământurilor cu umflări și contracții mari (PUCM);
- prezența în această zonă a pământurilor sensibile la umezire (PSU);
- prezența pământurilor sensibile la îngheț-dezghet în crusta superficială, deci tocmai pe adâncimea terenului expusă înghețului.

Se definește starea tehnică a drumurilor care se evaluează cu ajutorul următoarelor caracteristici:

- planeitatea suprafeței de rulare;
- rugozitatea suprafeței îmbrăcăminții rutiere;
- capacitatea portantă a complexului rutier;
- starea de degradare a îmbrăcăminții rutiere, caracterizată prin:
 - indicele global de degradare (IG) pentru îmbrăcămințile bituminoase;
 - indicele de degradare (ID) pentru îmbrăcămințile bituminoase și cele din beton de ciment.

Pe baza datelor obținute de la Direcția Regională de Drumuri și Poduri Timișoara și de la Consiliile Județene Timiș și Caraș - Severin este prezentată situația actuală a drumurilor naționale și județene de pe raza administrativă a unităților sus-menționate din punct de vedere a stării tehnice și a stării de viabilitate a acestora.

Capitolul 2 prezintă câteva considerații generale ale complexelor și structurilor rutiere, pornind de la definițiile acestora.

După clasificarea structurilor rutiere, începând din cele mai vechi timpuri (structurile rutiere romane), până la cele din zilele noastre, sunt prezentate tendințele la nivel mondial de realizare a acestora.

Grosimile straturilor rutiere, fie ele constructiv alese, sau dimensionate prin calcul specific, influențează comportarea în exploatare a complexelor rutiere, fapt evidențiat în diagramele prezentate în conținutul capitolului, care subliniază dependența deformațiilor înregistrate la diferite niveluri ale structurilor rutiere funcție de grosimile straturilor componente.

Straturile structurilor rutiere prezintă caracteristici fizico-mecanice și de portantă diferite, în funcție de materialele din care sunt realizate, tehnologia de execuție folosită și de rolul pe care îl îndeplinesc în alcătuirea ansamblului.

Structurile rutiere, indiferent de tipul și alcătuirea lor, sunt puternic influențate de calitatea terasamentelor pe care se execută. Având în vedere rolul esențial al terasamentelor în asigurarea unei durate de exploatare îndelungate a drumurilor, se impune tratarea acestora cu deosebită atenție. Orice defecțiuni la nivelul terasamentelor provoacă degradări ale structurii rutiere, care de cele mai multe ori se remediază foarte greu și cu investiții majore.

Pentru îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice ale pământurilor, sporirea și uniformizarea capacității portante la nivelul patului drumului se realizează așa-numitul *strat de formă*, care poate fi realizat într-o multitudine de variante în funcție de scop, mijloace existente și condiții locale.

În **capitolul 3**, se prezintă influența unor factori de tipul traficului rutier, factorilor climaterici (temperatura, regimul pluviometric), calitatea materialelor rutiere și calitatea terenului de fundare, asupra comportării în exploatare a complexelor rutiere. În ceea ce privește intensitatea și compoziția traficului rutier, se remarcă influența acestuia îndeosebi asupra defecțiunilor structurii rutiere și ale complexului rutier.

Vehiculele aplică sarcini verticale prin acțiunea asupra complexelor rutiere și orizontale prin acțiunea la nivelul suprafeței de rulare. Vehiculele grele (autovehiculele cu greutatea pe osie mai mare de 50 kN) aplică complexelor rutiere sarcini superioare considerate uzual ca rezultând din caracteristicile constructive și din încărcătura acestora. Încărcările statice depind doar de configurația și greutatea vehiculului, în timp ce încărcările dinamice introduc în plus efectul inerției, amortizării și rigidității acestuia.

Comportarea complexelor rutiere la acțiunea factorilor climaterici se referă la comportarea acestora sub influența temperaturii și a regimului pluviometric.

Influența factorilor climaterici asupra comportării complexelor rutiere se manifestă inclusiv la nivelul terenului de fundare, nu numai în straturile rutiere. Referitor la acest considerent, modulul de reacție al terenului de fundare (coeficientul de pat) variază semnificativ funcție de tipul pământului din care este alcătuit în raport cu variațiile sezoniere de temperatură.

Indiferent de tipul materialelor rutiere (agregate naturale, lianți, agregate naturale stabilizate), pentru ca acestea să poată fi folosite cu succes în domeniul căilor de comunicație terestre, ele trebuie să îndeplinească o serie de condiții de calitate. Nerespectarea condițiilor de calitate impuse atrage după sine o comportare necorespunzătoare a straturilor rutiere în exploatare, și deci implicit, degradări majore a complexelor rutiere și înrăutățirea prematură a stării tehnice a drumurilor.

Spre deosebire de alte construcții cu amplasamente de extindere mai redusă, pe traseul unui drum probabilitatea diversității elementelor geologice și geotehnice este mult mai mare, putând fi întâlnite zone cu terenuri dificile (compresibile, sensibile la umezire, cu umflări și contracții mari, cu sensibilitate mare la îngheț, alunecătoare). Funcționalitatea și viabilitatea drumurilor pot fi influențate uneori în sens defavorabil și de comportarea terenurilor din zonele adiacente platformei căii (versanți potențial instabili, zone inundabile etc.).

Prin poziția sa geografică, prin morfologia și litologia sa, prin regimul climateric și pluviometric, zona de câmpie a Banatului prezintă sub aspect geologico-tehnic și geotehnic unele particularități specifice. Necunoașterea și neluarea în considerare a acestor particularități specifice la proiectarea și construcția drumurilor poate influența defavorabil comportarea în exploatare a acestora.

Capitolul 4, face o trecere în revistă a metodelor de dimensionare a structurilor rutiere suple și mixte noi și ranforsate utilizate la nivel mondial și face o analiză critică a celor utilizate în țara noastră. Dintre metodele analitice de dimensionare utilizate pentru structurile rutiere suple noi cele mai des răspândite sunt: metoda engleză, metoda franceză, metoda Shell, metoda Nottingham și metoda Asphalt Institute.

Metodele analitice de dimensionare a structurilor rutiere suple sunt bazate pe modele matematice, structurile rutiere sunt alcătuite din straturi infinite în plan orizontal, așezate pe un teren de fundare de grosime semifinită, straturile sunt alcătuite din materiale omogene, izotrope și cu comportare elastică. Structurile rutiere mixte (semirigide) au la bază aceleași metodologii de dimensionare ca și cele ale structurilor rutiere suple, doar că criteriile de dimensionare sunt legate de tensiunile de întindere induse de prezența straturilor rigide din materiale stabilizate.

Ranforsarea structurilor rutiere reprezintă ansamblul de lucrări pentru mărirea capacității portante a complexelor rutiere existente, în principal, prin executarea unor noi straturi rutiere și asanarea corpului drumului, iar metodele de calcul a grosimilor straturilor de ranforsare au la bază principiile metodelor analitice de dimensionare ale structurilor rutiere suple și mixte noi

Deși comportarea materialelor din straturile rutiere nu este una elastică, ci mai degrabă una vâscoelastică (materialele bituminoase), totuși, pentru simplificare, calculele de dimensionare se fac în ipoteza elasticității liniare.

Elementele caracteristice metodelor de dimensionare analitice pentru structurile rutiere suple și mixte, noi sau ranforsate, sunt osia standard (sarcină, configurație, raza suprafeței de contact dintre pneu și îmbrăcămintea rutieră), modulul de elasticitate dinamic al straturilor rutiere componente și coeficientul lui Poisson al acestora. Metoda analitică de dimensionare a structurilor rutiere suple și mixte noi se face, în țara noastră, conform Normativului pentru dimensionarea

structurilor rutiere suple și semirigide, indicativ PD 177-2001, și se bazează pe îndeplinirea concomitentă a următoarelor criterii:

- deformația specifică de întindere admisibilă la baza straturilor bituminoase;
- tensiunea de întindere admisibilă la baza stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici (numai în cazul structurilor rutiere mixte);
- deformația specifică de compresiune admisibilă la nivelul patului drumului.

Metoda analitică de calcul a grosimii straturilor rutiere de ranforsare în cazul structurilor rutiere suple și mixte, se face conform Normativului pentru dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare a sistemelor rutiere suple și semirigide, indicativ AND 550-1999, iar principiile de calcul sunt aceleași cu cele folosite în cazul dimensionării complexelor rutiere noi și se bazează pe verificarea stării de solicitare a noii structuri rutiere sub acțiunea traficului de calcul, astfel încât să fie îndeplinite concomitent criteriile de dimensionare.

Calculul ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte (semirigide) pe baza măsurătorilor de deflexiuni sub sarcină statică cu ajutorul deflectometrului cu pârghie Benkelman constituie o metodă nedistructivă de măsurare rapidă a deformațiilor elastice reversibile ale complexelor rutiere suple și mixte.

Calculul ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte, pe baza măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină dinamică PHONIX FWD MLY 10000, se bazează pe măsurarea față de un sistem de referință a deplasărilor pe verticală (deflexiunilor) ale structurii rutiere deformate sub solicitarea dinamică a unei greutăți care cade pe o placă.

Capitolul 5, conține studii teoretice și cercetări experimentale asupra comportării în exploatare pe șase sectoare experimentale, câte trei sectoare de drum omogene pentru fiecare drum național considerat, pentru fiecare tip climateric (I, II, III) și tip de structură (suplă și mixtă), fiecare sector având lungimea de 200 m. Aceste sectoare experimentale se găsesc pe raza administrativă a D.R.D.P. Timișoara, în județele Timiș, Caraș - Severin și Arad.

Alcătuirea structurilor rutiere luate în studiu și caracteristicile pământului din terenul de fundare s-au determinat pe baza sondajelor deschise și a determinărilor de laborator efectuate de către Departamentul C.C.T.F.C. pe fiecare dintre sectoarele omogene. Pe lângă determinările efectuate pentru caracterizarea terenului de fundare, s-au efectuat măsurători de capacitate portantă în vederea stabilirii grosimilor straturilor bituminoase de ranforsare pe sectoarele experimentale cu deflectometrul cu sarcină statică cu pârghia Benkelman și cu deflectometrul cu sarcina dinamică PHONIX FWD MLY 10000. Dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare cu ajutorul metodei analitice s-a efectuat conform Normativului pentru dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare a sistemelor rutiere suple și mixte (metoda analitică), indicativ AND 550-1999.

Prin determinările efectuate s-a urmărit realizarea unei analize critice asupra diferitelor metode de calcul a ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte, încercându-se stabilirea unor corelații între rezultatele obținute cu diversele metode de dimensionare a ranforsărilor complexelor rutiere suple și mixte, utilizate pe scară largă în țara noastră. Totodată s-au verificat rezultatele experimentale obținute prin aplicarea metodelor de dimensionare a calculului ranforsării structurilor rutiere suple și mixte (semirigide) și s-a încercat determinarea gradului de încredere al fiecărei metode aplicate în cadrul studiului experimental în raport cu celelalte.

În majoritatea situațiilor supuse cercetărilor, conform metodei analitice de dimensionare a grosimii straturilor rutiere de ranforsare pentru structuri rutiere

suple și mixte, criteriile de dimensionare au fost verificate, astfel că raportându-ne la cerințele metodei, se poate afirma faptul că aceste structuri rutiere corespund din punct de vedere a capacității portante și nu necesită o ranforsare pe perioada de perspectivă aleasă în calcul (10 ani). Pe baza măsurătorilor de capacitate portantă cu deflectometrul cu sarcină statică tip Benkelman, s-au efectuat calculele de dimensionare a grosimilor straturilor bituminoase de ranforsare, care, au dat rezultate numai pentru structurile rutiere suple, în timp ce pentru structurile rutiere mixte, conform prelucrării datelor, nu este necesară ranforsarea complexelor rutiere în niciuna dintre situațiile analizate. La fel ca în cazul măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină statică tip Benkelman, și în cazul măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcina dinamică tip PHONIX FWD MLY 10000, rezultate privind grosimile de ranforsare s-au obținut numai pentru structurile rutiere suple.

Analizând rezultatele obținute prin cele trei metode de dimensionare se poate observa faptul că metoda analitică, în majoritatea covârșitoare a cazurilor, indică faptul că structura rutieră nu necesită ranforsare, valorile obținute prin prelucrarea măsurătorilor efectuate cu deflectometrul cu sarcină statică tip Benkelman par supradimensionate, iar valorile obținute prin prelucrarea măsurătorilor efectuate cu deflectometrul cu sarcină dinamică PHONIX FWD MLY 10000 par a fi cele mai corecte.

Pentru studiul practic privind factorii de influență asupra comportării complexelor rutiere, implicit asupra stării tehnice a drumurilor, au fost modelate matematic două dintre structurile rutiere experimentale pe care s-au efectuat sondaje și măsurători de capacitate portantă, și anume, sectorul cu structură rutieră suplă, de pe drumul național 59C km 4+000...4+200, respectiv sectorul cu structură rutieră mixtă de pe drumul național 58 km 72+000...72+200). Factorii luați în studiu se referă la traficul rutier (sarcina maximă), ipotezele legăturii dintre straturile rutiere, condițiile climaterice și terenul de fundare. În acest sens s-a studiat comportarea acestor structuri rutiere la solicitările standard, în condiții normale de exploatare și prin variații ale diferiților parametri considerați (factori).

Modelarea numerică utilizată pentru complexele rutiere alese are la bază Metoda Elementelor Finite (M.E.F.), iar programul folosit a fost ABAQUS 6.8-3, care este un program de modelare care are la bază metoda elementelor finite și care a fost aplicat pe scară largă la analiza structurilor rutiere.

Pentru cele două complexe rutiere s-au creat modele numerice în două ipoteze de conlucrare dintre straturi, legătură perfectă sau interfețe libere, și prin variații ale parametrilor considerați (creșterea sarcinii pe osie la 130, respectiv 150 kN, variația caracteristicilor de deformabilitate a straturilor bituminoase prin considerarea valorii modulului de elasticitate dinamic jumătate sau dublu față de cel nominal, variația calității terenului de fundare prin considerarea unor situații extreme în ceea ce privește tipul pământului din terenul de fundare, tipul climateric și regimul hidrologic). Astfel, s-au obținut deformațiile pe verticală la diferite nivele ale complexelor rutiere, iar pentru structura rutieră mixtă, în plus, tensiunile normale σ_z , pe baza cărora s-au formulat câteva concluzii referitoare la comportarea complexelor rutiere la variații ale unor factori de influență asupra acesteia.

Raportându-ne la cele două ipoteze a legăturii dintre straturile rutiere, legătură perfectă sau legătură inexistentă, s-au remarcat diferențe semnificative între comportarea structurilor rutiere suple și comportarea celor mixte, astfel că valorile deplasărilor în cazul structurilor rutiere suple sunt sensibil mai mari decât în cazul celor mixte, fapt explicat prin comportarea elastică a acestora și prin prezența în alcătuirea structurilor rutiere mixte a stratului din materiale stabilizate care conferă o oarecare rigiditate structurii.

Influența calității terenului de fundare se face resimțită mai accentuat în cazul structurilor rutiere suple și a celor cu o grosime mai mică decât în cazul unor structuri rutiere mixte (semirigide) și a unor structuri rutiere cu o grosime mai mare, pe adâncimi mai mari ale zonei active a terasamentelor în cazul structurilor rutiere mixte față de structurile rutiere suple. O calitate mai bună a terenului de fundare face ca deformațiile verticale ale complexului rutier să se reducă mai semnificativ la nivelul patului drumului și în corpul terasamentelor față de cele din structura rutieră. Un teren de fundare de calitate slabă face ca deformațiile complexelor rutiere să crească mai mult în cazul structurilor rutiere suple, iar un teren de fundare de bună calitate face ca deformațiile în complexele rutiere să scadă mai mult în cazul structurilor rutiere mixte.

Modificările caracteristicilor mixturilor asfaltice, la structurile rutiere mixte, fac ca deformațiile complexului rutier să fie proporționale la scăderea modului de elasticitate dinamic (creșterea deformațiilor) cu cele de la creșterea acestuia (scăderea deformațiilor). La structurile rutiere suple, modificările mai importante, privind deformațiile complexului rutier, sunt aduse de creșterea modului de elasticitate dinamic (scăderea deformațiilor) decât scăderea acestuia (creșterea deformațiilor). De asemenea, odată cu creșterea adâncimii în complexul rutier, începând cu adâncimi de cca 1,00 m influența caracteristicilor de deformabilitate a straturilor bituminoase este aproape inexistentă, în timp ce în cazul structurilor rutiere mixte această influență se resimte până la adâncimi de cca 2,00 m.

Influența modului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice în cazul structurilor rutiere mixte aduce modificări mai importante în deformarea complexelor rutiere decât în cazul structurilor rutiere suple.

Creșterea sarcinii pe osie, peste limita admisă de 115 kN, determină o creștere a deformațiilor proporțională în ambele complexe rutiere analizate și ipoteze privind legătura dintre interfețe, cu observația că la nivelul terenului de fundare creșterea deplasărilor este puțin mai mare decât cea de la nivelul inferior al straturilor bituminoase.

Referitor la valorile tensiunii σ_z , analizate numai în cazul complexelor rutiere mixte, se remarcă, în ipoteza interfețelor libere, că acestea sunt mai mari cu cca 20 % decât în ipoteza legăturii perfecte dintre straturi la diferite nivele în straturile bituminoase. Valorile de la nivelul straturilor rutiere din materiale stabilizate, conform rezultatelor obținute pe baza analizelor numerice efectuate, sunt puternic influențate de variațiile caracteristicilor de deformabilitate a straturilor bituminoase și mai puțin influențate de creșterea sarcinii pe osie. În zona activă a terasamentelor, tensiunea nu este influențată de niciunul din factorii considerați în modelarea numerică a complexelor rutiere, și are valori aproape nule.

Pornind de la rezultatele obținute prin cele trei metode aplicate pentru stabilirea grosimilor straturilor bituminoase de ranforsare, s-a analizat comportarea structurii rutiere suple modelată numeric în trei situații distincte: ranforsare cu un strat de uzură în grosime de 4,0 cm, ranforsare cu un strat de uzură de 4,0 cm și un strat de legătură de 5,0 cm, respectiv ranforsare cu un strat de uzură de 4,0 cm, un strat de legătură de 5,0 cm și un strat de bază în grosime de 9 cm.

Rezultatele au arătat că la baza straturilor bituminoase după ranforsare deformațiile se reduc cu cca 40 % în cazul ranforsării cu două straturi bituminoase și cu cca 80 % în cazul ranforsării cu trei straturi bituminoase față de ranforsarea cu un singur strat, iar la nivelul terenului de fundare deformațiile se reduc cu cca 60 % în cazul ranforsării cu două straturi bituminoase și cu cca 120 % în cazul ranforsării cu trei straturi bituminoase.

Contribuțiile personale aduse de autor în domeniul factorilor de influență asupra comportării în exploatare a complexelor rutiere, implicit asupra stării tehnice a drumurilor constă din:

- inventarierea rețelei de drumuri naționale și județene din zona Banatului;
- sistematizarea particularităților specifice din punct de vedere geotehnic, geologic, hidrologic, seismologic, climateric și pluviometric a zonei Banatului;
- determinarea alcătuirii complexelor rutiere prin sondaje deschise efectuate pe șase drumuri naționale de pe raza administrativă a D.R.D.P. Timișoara din județele Timiș, Caraș - Severin și Arad;
- determinarea caracteristicilor terenului de fundare prin analize de laborator efectuate în cadrul departamentului de C.C.T.F.C. al Facultății de Construcții din Timișoara pentru toate sectoarele experimentale analizate;
- efectuarea de măsurători de capacitate portantă cu deflectometre cu sarcină statică (tip Benkelman) și dinamică (tip PHONIX FWD MLY 10000) pe sectoarele de drumuri naționale supuse cercetărilor;
- determinarea grosimilor straturilor bituminoase de ranforsare utilizând trei metode de calcul a complexelor rutiere (metoda analitică, metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometrul Benkelman și metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometre cu sarcină dinamică);
- analiza critică a metodelor de dimensionare utilizate pentru determinarea grosimilor de ranforsare;
- cercetarea, în premieră națională, privind exactitatea rezultatelor obținute prin metodele de dimensionare a structurilor rutiere suplă și mixte standardizate în România;
- realizarea unui studiu al metodelor de dimensionare aplicate pe plan mondial, cu evidențierea criteriilor de dimensionare și a factorilor de influență considerați;
- modelarea numerică a două complexe rutiere pe baza Metodei Elementului Finit în două ipoteze referitoare la conclucrarea straturilor rutiere;
- studiul influenței factorilor considerați (trafic rutier, factori climaterici, calitatea materialelor rutiere și a terenului de fundare) în ceea ce privește starea de tensiuni și deformații în complexele rutiere modelate matematic;
- modelarea matematică a structurii rutiere ranforsate pe baza soluțiilor obținute prin calculul cu cele trei metode utilizate;
- sistematizarea și analiza influenței unor factori asupra stării tehnice a drumurilor cu structuri rutiere suplă și mixte (semirigide) la variații ale condițiilor de exploatare.