

# TENDINȚE ACTUALE ÎN ANALIZA STRUCTURILOR RUTIERE FLEXIBILE

*Ș.I.dr.ing. Ștefan Marian Lazăr, Prof.dr.ing. Elena Diaconu*

*Universitatea Tehnică de Construcții București din România,  
Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri*

## **ABSTRACT**

Currently computer modeling has become a highly used solution to establish the performance of flexible pavement structures. Computer modeling is not as realistic as full scale fieldwork, but is much less expensive and can provide quick answers to complex questions. The goal of this paper is to present synthetically the current main trends regarding the flexible pavement structures analysis. In paper will be presented the theoretical bases of finite elements and layered elastic analysis methods and also a case study whose results are presented and discussed in detail.

## **1. INTRODUCERE**

Până la apariția calculatoarelor electronice, singura cale de a găsi un răspuns convenabil la toate întrebările legate de comportarea unei lucrări inginerești la acțiunile exterioare, era apelarea la procedee de calcul simplificat, urmate de teste pe modele sau direct la scară naturală.

În prezent modelarea pe calculator a devenit o soluție extrem de utilizată pentru stabilirea performanței structurilor rutiere flexibile. Astfel, pentru analiza stării de tensiuni și deformații specifice a structurilor rutiere se folosesc cu precădere trei abordări mecanice: metoda multi-strat elastic, modelarea cu elemente finite bi-dimensionale (2D) și modelarea cu elemente finite tri-dimensionale (3D), ultimele două câștigând din ce în ce mai mult teren.

Metoda straturilor elastice este procedura cea mai populară fiind ușor de înțeles și utilizat. Abordările prin metoda elementelor finite (MEF) sunt mai noi și automat mai puțin cunoscute masei largi de proiectanți. În plus sunt proceduri mult mai complexe necesitând o bună cunoaștere a principiilor metodei cu elemente finite și utilizarea acesteia de către specialiști care să gestioneze corect capacitățile aproape nelimitate de modelare. Ele își propun să depășească limitările de modelare specifice metodei multi-strat elastic, și să modeleze mult mai realist situațiile concrete din teren.

Scopul acestei lucrări este de a prezenta sintetic principalele tendințe actuale privind analiza structurilor rutiere flexibile. În lucrare se vor expune bazele teoretice ale metodelor de analiză cu straturi elastice și elemente finite.

Lucrarea conține de asemenea un studiu de caz ale cărui rezultate sunt prezentate și comentate pe larg.

## **2. PREZENTAREA MODELELOR DE ANALIZĂ**

În ultimii ani au fost dezvoltate modele avansate de analiză a răspunsului și degradării structurilor rutiere. Aceste modele descriu numai un număr limitat de fenomene de degradare și uneori necesită capacități mari de calcul. De aceea, unele dintre ele nu au fost incluse în practica curentă de proiectare și sunt relativ necunoscute majorității potențialilor utilizatori din Europa.

### **2.1. Modele analitice multi-strat (stratificate)**

Modelele Analitice Stratificate (LAM = Layered Analytical Models) se bazează în general pe modelul lui Burmister (1943) [1]. Ele adesea fac referire la soluții matematice exacte, unde ecuația diferențială de ordinul patru este rezolvată pentru condițiile de margine date utilizând integrarea numerică. Aceste modele dau răspunsul (tensiuni și deformații specifice) în orice punct al structurii rutiere indus de încărcarea unei roți, într-o structură rutieră multi-strat linear elastică în care straturile sunt tratate ca fiind infinite orizontal și rezemând pe un teren de fundare semi-infinit. Inițial, modelele analitice stratificate de acest tip au considerat numai straturi linear elastice izotrope, încărcări circulare uniforme distribuite și conlucrare perfectă la interfețele straturilor, dar acum unele modele pot considera interacțiuni complexe între drum și pneu, încărcări cu roți multiple și comportarea complexă a materialelor (anizotropie, vâsco-elasticitate).

### **2.2. Modele cu elemente finite**

Modelele cu Elemente Finite sunt bazate pe *Metoda Elementelor Finite* (FEM = Finite Element Method). Este dificil de a stabili originile metodei elementelor finite și de a preciza momentul inventării ei. Clough (1960) [2] pare a fi primul care a folosit termenul de “element finit”.

Această metodă presupune că un mediu continuu poate fi divizat în mai multe elemente mici cu rezolvare cunoscută. Aceste elemente finite, după cum chiar numele lor sugerează, sunt de dimensiuni finite și împreună formează o rețea de elemente finite. Fiecare element are definită propria comportare a materialului. Comportarea fiecărui element poate fi analizată separat și deformațiile cumulate ale elementelor asamblate dau o deformație rezultantă a întregii structuri.

Modelele cu elemente finite pot fi prevăzute cu comportare materială nelineară, tensiuni complexe pe amprenta pneului și în principiu cu orice fel de condiții geometrice, inclusiv discontinuități în alcătuirea structurilor rutiere. Pe baza deplasărilor nodale, pot fi calculate tensiunile și deformațiile specifice în orice loc al structurii.

### 2.3. Utilizarea modelelor de analiză în programe specializate

În cadrul Proiectului AMADEUS (*Advanced Models for Analytical Design of European pavement Structures* - Modele Europene Avansate de Proiectare Analitică a Structurilor Rutiere) [3] s-a făcut un inventar al modelelor analitice avansate disponibile în prezent pe plan mondial, care permit analiza structurilor rutiere (tabelul 1). În tabelul 1 sunt prezentate 17 programe de calcul specializate, unele din Europa, altele din afara ei.

Tabelul 1

Inventarierea modelelor și programelor de proiectare existente

| Numele programului | Tipul de model      |
|--------------------|---------------------|
| APAS-WIN           | Multistrat          |
| AXYDIN             | MEF Axial-simetrice |
| BISAR/SPDM         | Multistrat          |
| CIRCLY             | Multistrat          |
| CAPA-3D            | MEF-3D              |
| CESAR              | MEF-3D              |
| ECOROUTE           | Multistrat          |
| ELSYM 5            | Multistrat          |
| KENLAYER           | Multistrat          |
| MICHPAVE           | MEF Axial-simetrice |
| MMOPP              | Multistrat          |
| NOAH               | Multistrat          |
| ROADENT/WESLEA     | Multistrat          |
| SYSTUS             | MEF-3D              |
| VAGDIM 95          | Multistrat          |
| VEROAD             | Multistrat          |
| VESYS              | Multistrat          |

### 3. STUDIU COMPARATIV

Din păcate, pentru specialiștii din România, accesul la programele de calcul testate în cadrul Proiectului AMADEUS nu este tocmai un lucru facil. În

aceste condiții, mai ales pentru scopuri de cercetare, o soluție este dezvoltarea unor modele de calcul specializate în cadrul unor programe de calcul cu caracter general. Astfel, la UTCB (Universitatea Tehnică de Construcții București), utilizând programul LUSAS bazat pe Modelarea cu Elemente Finite [4], a fost dezvoltat și analizat un model de calcul al structurilor rutiere flexibile denumit MEFAS 2D (Model cu Elemente Finite Axial-Simetrice 2D) [5].

În continuare se prezintă un studiu comparativ între rezultatele analizei stării de tensiuni și deformații efectuate pe o structură rutieră flexibilă utilizând metoda multi-strat elastic (programul ALIZÉ) și metoda elementelor finite (programul LUSAS - MEFAS 2D).

Programul de calcul ALIZÉ, dezvoltat de către LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées = Laboratorul Central de Poduri și Șosele) în anii 65 [6], este programul de referință utilizat în “Metoda franceză de dimensionare a structurilor rutiere”. Începând din iulie 1992 o versiune a programului ALIZÉ a fost pusă la dispoziția Laboratorului de Drumuri din cadrul Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri a Universității Tehnice de Construcții București, de către LCPC - Franța, pentru a servi activităților didactice și de cercetare.

Rezultatele obținute cu programul LUSAS în domeniul elastic, utilizând modelul de calcul cu elemente finite MEFAS 2D, validat în cadrul mai multor studii anterioare [7], au fost comparate cu cele obținute în aceleași ipoteze și condiții utilizând programul ALIZÉ ce are la bază modelul multi-strat elastic al lui Burmister.

Alcătuirea structurii rutiere flexibile supuse analizei, precum și caracteristicile materialelor componente sunt prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2

Caracteristicile structurii rutiere

| Material în strat structură rutieră | h<br>cm  | Modul de elasticitate<br>dinamic, MPa | Coeficientul lui<br>Poisson |
|-------------------------------------|----------|---------------------------------------|-----------------------------|
| Beton asfaltic, BAR 16              | 4        | 3600                                  | 0,35                        |
| Binder, BAD 25                      | 5        | 3000                                  | 0,35                        |
| Anrobat bituminos, AB 2             | 8        | 5000                                  | 0,35                        |
| Material granular, Balast           | 15       | 300                                   | 0,27                        |
| Nisip (constructiv)                 | 10       | -                                     | -                           |
| Teren de fundare tip P5             | $\infty$ | 70                                    | 0,42                        |

S-a verificat gradul de corelare între valorile calculate cu cele două metode, ale tensiunilor verticale de compresiune și respectiv ale deformațiilor specifice orizontale de întindere, într-un profil de observație vertical prin axa de simetrie (de încărcare) a modelului.

Din analiza celor două reprezentări grafice (Figurile 1 și 2) se constată obținerea de coeficienți de corelație cu valori foarte aproape de 1, ceea ce arată o

bună corelare a valorilor calculate cu modelul MEFAS 2D față de valorile modelului Burmister luate ca valori reper.

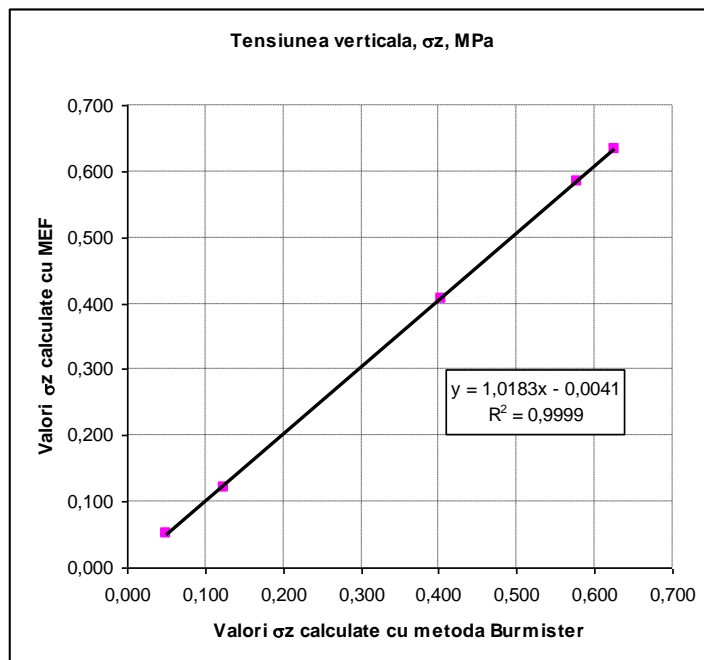


Figura 1. Gradul de corelare al valorilor tensiunilor verticale

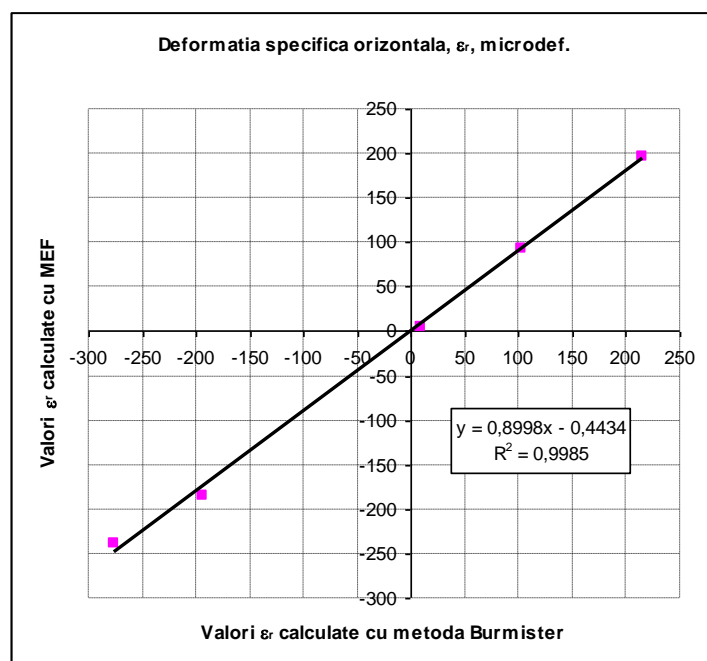


Figura 2. Gradul de corelare al valorilor deformațiilor specifice orizontale

#### 4. CONCLUZII

Plecând de la modelele analitice multistrat simple, mergând spre modelele analitice mai avansate și ajungând până la modelele cu elemente finite axialsimetrice (2D) și tri-dimensionale (3D), complexitatea crește, nu numai din punctul de vedere al modelelor utilizate dar și datorită parametrilor de intrare necesari și a operațiilor programelor de calcul. Această sporire a complexității poate fi justificată numai dacă răspunsul prezis de către modelele mai complexe este semnificativ mai apropiat de răspunsul real al structurii rutiere, comparativ cu răspunsul prezis de către modelele mai simple. Dacă modelele mult mai complexe nu îmbunătățesc concordanța cu răspunsul real al structurilor rutiere, atunci sunt de preferat modelele mai simple.

#### BIBLIOGRAFIE

- [1] D.M. Burmister, “*The theory of the stress and displacements in layered systems and applications of design of airport runway*”, Proceeding of the Highway Research Board, 23, pp. 126-148, 1943.
- [2] R.W. Clough, “*The finite element in plane stress analysis*”, Proc. 2nd ASCE Conf. on Electronic Computation, Pittsburgh, Pa., Sept. 1960.
- [3] AMADEUS, *Advanced Models for Analytical Design of European Pavement Structures*, European Commission under the Transport RTD Programme, Final report of the 4th Framework Programme, march 29<sup>th</sup> 2000.
- [4] \*\*\*, *Lusas Theory Manual*, FEA Ltd., Forge House, Kingston Upon Thames, United Kingdom, 1999.
- [5] Ș.M. Lazăr, “*Contribuții la dimensionarea ranforsării sistemelor rutiere suple*”, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, septembrie 2011.
- [6] \*\*\*, LCPC, “*Comportement statique des chaussées - Problèmes à symétrie axiale - Méthode de Burmister - Rapport n°2 du SEMA*”, Rapport technique, LCPC-SEMA, 1964.
- [7] C. Romanescu, Ș.M. Lazăr, “*Model cu elemente finite 2D axialsimetrice pentru analiza structurilor rutiere suple*”, Lucrările celei de a IV-a Sesiune Științifică Construcții-Instalații “CIB 2008”, Volumul 2, Universitatea Transilvania din Brașov, 21-22 noiembrie 2008.