

## EFFECTUL DEPĂȘIRII MASEI MAXIME AUTORIZATE ASUPRA STRUCTURILOR RUTIERE SUPLE ȘI SEMIRIGIDE

Liviu – Doru Rey<sup>1</sup>  
Ionel Savu<sup>1</sup>

Obiectivul dimensionării structurii rutiere este de a alege materialele potrivite cu grosimile corespunzătoare pentru stabilirea alcătuirii unei structuri rutiere optime (la un cost de execuție și întreținere minim), care să poată prelua încărcările din trafic pe perioada de perspectivă stabilită. Elementul cheie luat în calcul pentru dimensionarea structurilor rutiere este traficul de calcul.

La dimensionarea structurilor rutiere este utilizat traficul de calcul  $N_c$  – numărul de osii standard de 115 kN pe banda de circulație cea mai solicitată, echivalent cu volumul de trafic de vehicule fizice grele (vehicule încărcate la capacitatea nominală peste 3,5 t), care se va desfășura pe această bandă a drumului respectiv pe o perioadă de perspectivă dată.

Osia standard de 115 kN are următoarele caracteristici:

- sarcina pe roata jumelată 57,5 kN;
- presiunea de contact: 0,625 MPa;
- raza suprafeței circulare echivalente suprafeței de contact pneu-drum 0.171 m.

Se va prezenta rezultatul calculelor realizate cu ajutorul programului de calcul ALIZE – LCPC, iar prin comparația rezultatelor se vor trage concluzii asupra impactului circulației vehiculelor cu depășiri a masei maxime autorizată asupra stării tehnice a rețelei de drumuri naționale și autostrăzi.

Depășirea încărcărilor pe roată se vor modela utilizând modulul Special Loads din ALIZE – LCPC. Pentru calcul se va considera o presiune medie de 0.65 MPa. Raza suprafeței de contact se va calcula de către modulul Special Loads din ALIZE LCPC, funcție de sarcină și presiunea de contact.

Se vor realiza calcule utilizând două metode:

- comparare coeficienții de echivalare corespunzători criteriului deformației specifice de întindere admisibile la baza straturilor bituminoase;
- comparare coeficienții de echivalare corespunzători principiului energetic încărcare x deplasare (valoarea deflexiunilor).

Se vor prezenta rezultatul calculelor pentru creșterea încărcării cu 10%, 20%, respectiv 30%, pentru tipul osiei (unică, tandem sau tridem) utilizate la stabilirea traficului de calcul prin transformarea spectrului încărcărilor traficului în osii standard echivalente 115 kN.

The objective of road structure calculation is to choose the right materials with the appropriate thicknesses to establish the composition of an optimal road structure (at a minimum cost of execution and maintenance), which can take over the traffic loads over the established perspective period. The key element taken into account for the road structure calculation is the value of calculation traffic.

When calculating road structures,  $N_c$  calculation traffic is used - the number of standard axles of 115 kN on the most used traffic lane, equivalent to the traffic volume of heavy physical vehicles (vehicles loaded at a nominal capacity over 3.5 t), which will run on this road lane for a given period of time.

The standard 115 kN axle has the following features:

- load on the twin wheel 57.5 kN;
- contact pressure: 0.625 MPa;

---

1) Centrul de Studii Tehnice Rutiere și Informatică (e-mail. [office@cestrin.ro](mailto:office@cestrin.ro))

- the radius of the circular surface equivalent to the tire-road contact surface 0.171 m.

The result of the calculations performed using the ALIZE - LCPC calculation program will be presented, and by comparing the results, conclusions will be drawn on the impact of exceeding the maximum authorized mass on the technical condition of the national road and highway network.

Exceeding wheel loads will be modeled using the Special Loads module in ALIZE - LCPC. An average pressure of 0.65 MPa will be considered for the calculation. The radius of the contact surface will be calculated by the Special Loads module of ALIZE LCPC, depending on the load and the contact pressure.

Calculations will be performed using two methods:

- comparison of the equivalence coefficients corresponding to the criteria of the specific permissible tensile deformation at the base of the bituminous layers;
- comparison of the corresponding equivalence coefficients corresponding to energy principle load x displacement (value of deflections).

The result of the calculations for increasing the load by 10%, 20%, respectively 30%, for the axle type (single, tandem or tridem) used to establish the calculation traffic by transforming the spectrum of traffic loads into standard axles equivalent to 115kN will be presented.

**CUVINTE CHEIE:** TRAFIC DE CALCUL/STRUCTURA RUTIERĂ/DEPĂȘIREA ÎNCĂRCĂRII MAXIME ADMISE PE OSIE.

## 1. INTRODUCERE

Obiectivul dimensionării structurii rutiere este de a alege materialele potrivite cu grosimile corespunzătoare pentru stabilirea alcătuirii unei structuri rutiere optime (la un cost de execuție și întreținere minim), care să poată prelua încărcările din trafic pe perioada de perspectivă stabilită. Elementul cheie luat în calcul pentru dimensionarea structurilor rutiere este traficul de calcul. Pentru a avea o structură rutieră corect dimensionată și cât mai economică este esențial să avem un trafic de calcul real, care să ia în considerare spectrul de încărcare pentru osiile vehiculelor care formează traficul pentru tronsonul de drum pe perioada de perspectivă.

## 2. SITUAȚIA ACTUALĂ

La dimensionarea structurilor rutiere este utilizat traficul de calcul  $N_c$  – numărul de osii standard de 115 kN pe banda de circulație cea mai solicitată, echivalent cu volumul de trafic de vehicule fizice grele (vehicule încărcate la capacitatea nominală peste 3,5 t), care se va desfășura pe această bandă a drumului respectiv pe o perioadă de perspectivă dată.

Osa standard de 115 kN are următoarele caracteristici:

- sarcina pe roata jumelată 57,5 kN;
- presiunea de contact: 0,625 MPa;
- raza suprafeței circulare echivalente suprafeței de contact pneu-drum 0.171 m.

Determinarea traficului de calcul  $N_c$  se face conform Normativului AND 584/2012 – Normativ pentru determinarea traficului de calcul pentru proiectarea drumurilor din punct de vedere al capacității portante și al capacității de circulație și are la bază intensitatea medie zilnică anuală a traficului pentru perioada de perspectivă (la începutul și la sfârșitul perioadei de perspectivă). Echivalarea vehiculelor fizice osii standard de 115 kN se

efectuează cu ajutorul coeficienților stabiliți pe grupe de vehicule, prin aplicarea celor două metode de măsurare a traficului:

- pentru drumurile unde nu există contori automați WIM, se aplică coeficienții medii de echivalare a vehiculelor fizice în osii 115 kN.
- pentru drumurile unde există contori automați WIM, în funcție de spectrul de încărcări pe osie a vehiculelor din fiecare grupă, determinat prin cântărirea vehiculelor în trafic real pe drum.

### 3. CALCULE REALIZATE

Agresivitatea autovehiculelor asupra structurii rutiere se stabilește cu referire la osia standard, reprezentând numărul de treceri ale acesteia, care produce aceeași degradare. Au fost realizate calcule utilizând două metode:

- comparare coeficienții de echivalare corespunzători criteriului deformației specifice de întindere admisibile la baza straturilor bituminoase;
- compararea coeficienții de echivalare corespunzători principiului energetic încărcare x deplasare (valoarea deflexiunilor).

Cu ajutorul programului ALIZE LCPC au fost realizate calcule. Funcție de distanța dintre osii, acestea sunt osii simple, duble și triple. Pentru calcul au fost introduse osii simple, osii duble (tandem) și osii triple (tridem). Osiile au fost reduse la efectul semiosiiilor și au fost introduse în softwear-ul ALIZE-LCPC utilizând modulul Special Loads al programului de calcul ALIZE-LCPC. În situația osiilor simple în calcul a fost analizat efectul semiosiei considerat separat de restul osiilor, iar pentru osii duble (tandem) și osii triple (tridem) a fost analizat efectul suprapus al semiosiiilor elementare care alcătuiesc aceste osii. Pentru definirea solicitării există 4 parametri importanți, care influențează rezultatele obținute. Acești parametri sunt încărcarea pe osie/roată, presiunea de contact (presiunea de umflare), raza amprenteii suprafeței echivalente de contact și distanța dintre roți.

La definirea în cadrul programului de calcul au fost introduși toți parametrii menționați. Raza suprafeței de contact a fost stabilită în mod automat de modulul ALIZE-LCPC funcție de încărcarea și presiunea de contact. Prin această abordare, programul ALIZE-LCPC stabilește automat dacă este nevoie de roată dublă sau este suficientă roata simplă pentru preluarea încărcării. Presiunea de contact (presiunea de umflare), diferă funcție de tipul și dimensiunile pneului. Pentru calcul a fost considerată o presiune medie de 0.65 MPa pentru osia 115KN.

Au fost realizate calcule pentru structuri rutiere noi (structuri suple și structuri semirigide), pentru situația în care masa maxima autorizată (masa pe osie) este depășită cu 10%, 20% și 30%.

Tabel 1 – Mase pe osie pentru care au fost realizate calcule

Masa totală maximă admisă a vehiculului conform legii nr. 259 din 19 decembrie 2017 (t)	Masa maximă admisă pe osie	Masa pe osie când avem o depășire cu 10%	Masa pe osie când avem o depășire cu 20%	Masa pe osie când avem o depășire cu 30%
	(t)	(t)	(t)	(t)
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule				
Remorcă cu două osii	18	9	9.9	10.8
Remorcă cu trei osii	24	8	8.8	9.6
Ansamblu de vehicule				
Osia simplă				
Osia simplă nemotoare	10	10	11	12

Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor					
Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:					
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	11	5.5	6.05	6.6	7.15
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	16	8	8.8	9.6	10.4
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	18	9	9.9	10.8	11.7
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	20	10	11	12	13
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor					
Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:					
mai mica sau egala cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	21	7	7.7	8.4	9.1
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egala cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	24	8	8.8	9.6	10.4
Osia simplă motoare a autovehiculelor					
Osia motoare a vehiculelor	11	11	12.1	13.2	14.3
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor					
Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:					
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	11.5	5.75	6.325	6.9	7.475
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	16	8	8.8	9.6	10.4
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	19	9.5	10.45	11.4	12.35

Încărcările pe roată au fost modelate utilizând modulul Special Loads din ALIZE LCPC. Pentru calcul a fost considerată o presiune medie de 0.65 MPa. Raza suprafeței de contact este calculată de către modulul Special Loads din ALIZE LCPC, funcție de sarcină și presiunea de contact. În foto de mai jos este prezentat cum a fost introdus în modulul Special Loads din ALIZE LCPC – remorca cu două osii – încărcare pe osie 90 KN → încărcarea pe roată 0.045MN.

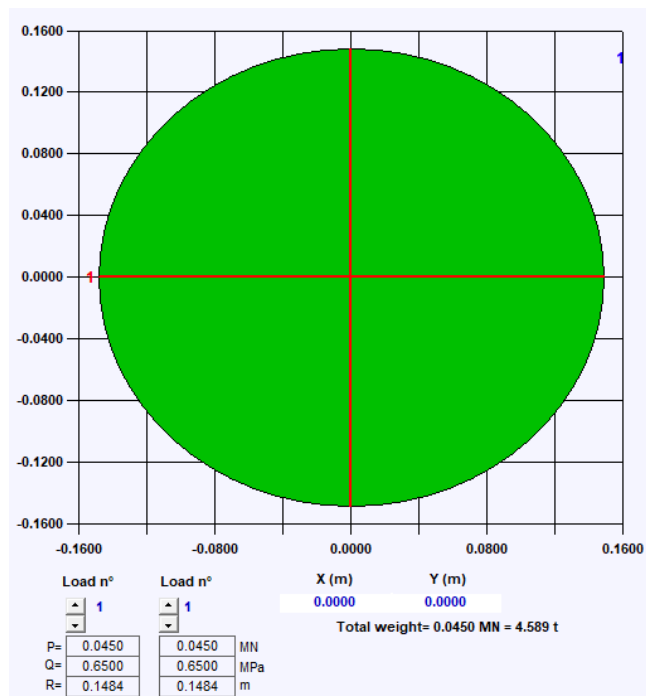


Foto 1 – Încărcarea maximă admisă pentru o osie componentă a remorcii cu două osii  
 În foto de mai jos este prezentat cum a fost introdus în modul Special Loads din ALIZE LCPC – situația când încărcările ce depășesc cu 10% încărcările maxime pe roată pentru Remorcă cu două osii – încărcare pe osie 99 KN → încărcarea pe roată 0.0495MN.

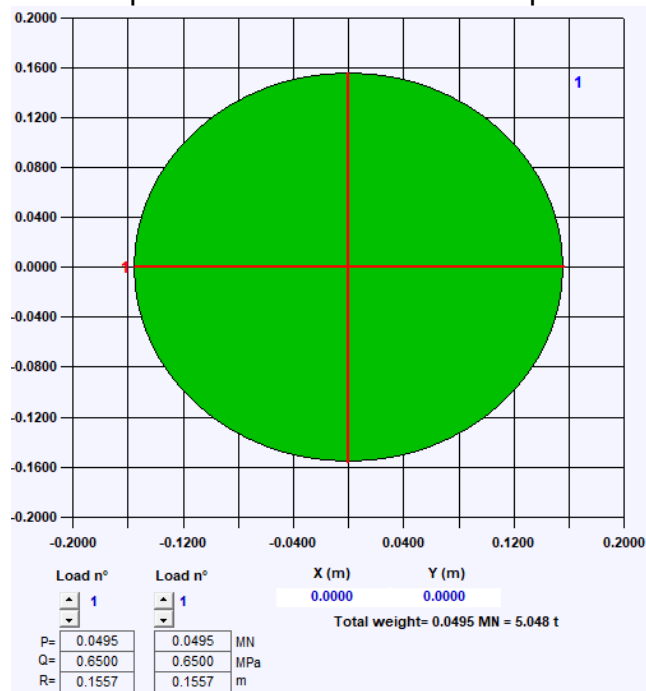


Foto 2 – Încărcarea maximă admisă majorată cu 10% pentru o osie componentă a remorcii cu două osii

Au fost realizate calcule pentru structura rutieră flexibilă și structura rutieră semirigidă. Urmare a rulării în programul ALIZE-LCPC, rezultă raportul din foto de mai jos.

Alize-Lcpc - Results (Structure: data shoown on Structure screen, Load: file abcd.cfg)

variant no 1: Duration 00:00sec

thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson ratio	Zcalcul (m)	EpsT (μdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (μdef)	SigmaZ (MPa)
0.040	3300.0 bonded	0.350	0.000	130.6	1.013	-17.9	0.650
			0.040	54.1	0.608	58.7	0.619
0.060	3000.0 bonded	0.350	0.100	54.1	0.583	70.4	0.619
			0.100	-3.4	0.217	93.4	0.432
0.080	5000.0 bonded	0.350	0.180	-3.4	0.207	57.5	0.432
			0.180	-111.9	-0.775	140.4	0.159
0.250	500.0 bonded	0.270	0.430	-111.9	-0.018	338.0	0.159
			0.430	-100.2	-0.055	132.2	0.036
0.300	182.0 bonded	0.270	0.730	-100.2	-0.012	233.7	0.036
			0.730	-84.8	-0.016	121.1	0.013
infinite	70.0	0.420	0.730	-84.8	-0.001	197.1	0.013

Results shown on screen

Table 1 Table 2  
Table 3 Table 4  
Table 5 Table 6  
Table 7 Table 8

Deflection = 35.0 mm/100  
maximum: profile P1

Rdc = 429.4 m

Print Save  
See loading Exit

Foto 3 – Rezultate obținute în urma rulării în programul ALIZE-LCPC

După rularea pentru fiecare caz de încărcare și structură rutieră analizată, au fost centralizate următoarele valori:

- valoarea deformația specifice de întindere produsă de solicitarea sarcinii semiosiei, la baza straturilor bituminoase, în microdeformații – cazul când au fost comparați coeficienții de echivalare corespunzători criteriului deformației specifice de întindere admisibile la baza straturilor bituminoase.
- valoarea deflexiunii, în mm/100 – cazul când au fost comparați coeficienții de echivalare corespunzători principiul energetic încărcare x deplasare

### 3.1. Compararea coeficienții de echivalare corespunzători criteriului deformației specifice de întindere admisibile la baza straturilor bituminoase

Coeficienții de echivalare corespunzători criteriului deformației specifice de întindere admisibile la baza straturilor bituminoase, sunt cei care indică agresivitatea creșterii încărcărilor asupra structurii rutiere.

Agresivitatea unui autovehicul corespunzătoare criteriului deformației specifice de întindere admisibile la baza straturilor bituminoase se stabilește plecând de la definiția ratei de degradare prin oboseală (RDO), care, pentru o osie cu sarcina "i" se calculează cu relația:

$$RDO_{o.i.} = n_{o.i.} / N_{adm.o.i.}$$

în care:

RDO<sub>o.i.</sub> este rata de degradare prin oboseală pentru solicitarea sarcinii osiei "i";

n<sub>o.i.</sub> - numărul de solicitari ale osiei "i" ;

N<sub>adm.o.i.</sub> - numărul de solicitari admisibil ale osiei "i".

Luând în considerare legea de oboseală, făcând egalitatea dintre ratele de degradare prin oboseală, aplicând prevederile normativului indicativ AND 550, b = 3,97, relația devine:

$$f_{ek.o.i.}^z = (\epsilon_{r.o.s.115} / \epsilon_{r.o.i.})^{-3,97} \text{ sau } f_{ek.o.i.}^z = (\epsilon_{r.o.i.} / \epsilon_{r.o.s.115})^4$$

în care:

$f_{ek.o.i}^z$  este coeficientul de echivalare a acțiunii osiei "i" în osii standard;

$\varepsilon_{r.o.s.115}$  este deformația specifică de întindere produsă de solicitarea sarcinii semiosiei standard, la baza straturilor bituminoase, în microdeformații;

$\varepsilon_{r.o.i}$  este deformația specifică de întindere produsă de solicitarea sarcinii semiosiei "i", la baza straturilor bituminoase, în microdeformații;

Pentru determinarea deformațiilor orizontale la baza straturilor de mixturi conform PD177-2001 se utilizează programul de calcul Calderom 2000. Acest program calculează structura rutieră la solicitarea osiei standard de 115 kN. Programul CALDEROM 2000 face parte integrantă din "Normativul pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple și semirigide" fiind utilizat curent la proiectarea și verificarea structurilor rutiere suple și semirigide.

Deoarece programul de calcul Calderom 2000 nu permite schimbarea solicitării, pentru calcul a fost utilizat softwearul ALIZE-LCPC care permite schimbarea solicitării asupra structurii rutiere. Programul ALIZE este programul de referință utilizat în "Metoda franceză de dimensionare a structurilor rutiere" (LCPC, 1994).

Ambele programe se bazează pe rezolvarea analitică a stării de tensiune și de deformație sub sarcină a structurilor rutiere multistrat, cu ajutorul modelului multistrat elastic Burmister.

Spre deosebire de programul CALDEROM 2000, programul ALIZE permite utilizatorului să aleagă dacă interfețele dintre straturi sunt considerate perfect aderente sau fără aderență, iar solicitarea structurii rutiere se poate realiza atât cu încărcări de la osie simplă cât și cu încărcări multiple. Rezultatelor obținute prin utilizarea celor două programe de calcul sunt similare, atâta timp cât se utilizează aceleași ipoteze (structura rutieră are aceeași alcătuire, cu straturile legate între ele și încărcarea este identică).

### 3.1.1. Calcule pentru structura rutieră suplă

Pe baza încărcărilor stabilite în tabelul 1, au fost realizate calcule în programul ALIZE-LCPC pentru structura rutieră suplă cu trei straturi de mixturi.

Tabel 3 – Structura rutieră considerată pentru calcule

Nr. crt.	Denumire strat	Grosime [cm]	Modul de elasticitate dinamic [MPa]	Coeficientul lui Poisson
1	strat de uzură	4	3300	0.35
2	binder	6	3000	0.35
3	strat de bază	8	5000	0.35
4	strat superior de fundație din piatră spartă	25	500	0.27
5	strat inferior de fundație din balast	30	182*	0.27
6	Teren de fundare – pământ P5	semifinit	70	0.42

\* – modulul de elasticitate dinamic a fost calculat conform punctului 6.3. din normativul PD177-2001.  $E_{bal}=0.20 \times h_{bal}^{0.45} \times E_p=0.20 \times 300^{0.45} \times 70=182$  MPa

Tabel 4 – Deformația orizontală la baza straturilor de mixturi exprimată în microdeformații rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Deformație orizontală la baza straturilor de mixturi (microdef)
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule			
Remorcă cu două osii	90	simplă	111.9
Remorcă cu trei osii	80	simplă	104.9
Ansamblu de vehicule			
Osia simplă			
Osia simplă nemotoare	100	simplă	118.5
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:			
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	55	tandem	85.1
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	80	tandem	107.5
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	90	tandem	113
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	100	tandem	119
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:			
mai mica sau egala cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	70	tridem	100
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egala cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	80	tridem	104.1
Osia simplă motoare a autovehiculelor			
Osia motoare a vehiculelor	110	simplă	124.5
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:			
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	57.5	tandem	87.8
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	80	tandem	107.5
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	95	tandem	116.4

Tabel 5 – Deformația orizontală la baza straturilor de mixturi exprimată în microdeformații rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile cu o depășire de 10% și coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei toale cu 10%



Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Deformație orizontală la baza straturilor de mixturi (microdef)	Coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 10%
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule				
Remorcă cu două osii	99	simplă	117.9	1.05
Remorcă cu trei osii	88	simplă	110.6	1.05
Ansamblu de vehicule				
Osia simplă				
Osia simplă nemotoare	110	simplă	124.5	1.05
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	60.5	tandem	90.7	1.07
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	88	tandem	113.6	1.06
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	99	tandem	119	1.05
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	110	tandem	125	1.05
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mica sau egala cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	77	tridem	106	1.06
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egala cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	88	tridem	109.8	1.05
Osia simplă motoare a autovehiculelor				
Osia motoare a vehiculelor	121	simplă	130.5	1.05
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	63.25	tridem	93.3	1.06
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	88	tridem	113.6	1.06
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	104.5	tridem	122.5	1.05

Din calculul realizat, se observă o creștere a deformațiilor orizontale la baza straturilor de mixturi cu o valoare medie de 6% față de valorile rezultate din încărcarea maximă admisibilă pentru fiecare osie analizată.

Tabel 6 – Deformația orizontală la baza straturilor de mixturi exprimată în microdeformații rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile cu o depășire de 20% și coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei toale cu 20%

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Deformație orizontală la baza straturilor de mixturi (microdef)	Coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 20%
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule				
Remorcă cu două osii	108	simplă	123.3	1.10
Remorcă cu trei osii	96	simplă	115.9	1.10
Ansamblu de vehicule				
Osia simplă				
Osia simplă nemotoare	120	simplă	130	1.10
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	66	tandem	95.8	1.13
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	96	tandem	119.2	1.11
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	108	tandem	124.6	1.10
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	120	tandem	130.5	1.10
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mica sau egala cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	84	tridem	111.6	1.12
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egala cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	96	tridem	115.2	1.11
Osia simplă motoare a autovehiculelor				
Osia motoare a vehiculelor	132	simplă	136	1.09
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	69	tridem	98.6	1.12
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	96	tridem	119.2	1.11
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	114	tridem	128.1	1.10

Din calculul realizat, se observă o creștere a deformațiilor orizontale la baza straturilor de mixturi cu o valoare medie de 11% față de valorile rezultate din încărcarea maximă admisibilă pentru fiecare osie analizată.

Tabel 7 – Deformația orizontală la baza straturilor de mixturi exprimată în microdeformații rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile cu o depășire de 30% și coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 30%

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Deformație orizontală la baza straturilor de mixturi (microdef)	Coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 30%
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule				
Remorcă cu două osii	117	simplă	128.4	1.15
Remorcă cu trei osii	104	simplă	121	1.15
Ansamblu de vehicule				
Osia simplă				
Osia simplă nemotoare	130	simplă	135	1.14
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	71.5	tandem	100.8	1.18
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	104	tandem	124.5	1.16
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	117	tandem	129.8	1.15
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	130	tandem	135.6	1.14
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mica sau egala cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	91	tridem	116.8	1.17
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egala cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	104	tridem	120.1	1.15
Osia simplă motoare a autovehiculelor				
Osia motoare a vehiculelor	143	simplă	141	1.13
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	74.75	tridem	103.5	1.18
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	104	tridem	136.1	1.27
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	123.5	tridem	133.3	1.15

Din calculul realizat, se observă o creștere a deformațiilor orizontale la baza straturilor de mixturi cu o valoare medie de 16% față de valorile rezultate din încărcarea maximă admisibilă pentru fiecare osie analizată.

### 3.1.2. Calcule pentru structura rutieră semirigidă

Pe baza încărcărilor stabilite în tabelul 1, au fost realizate calcule în programul ALIZE-LCPC pentru structura rutieră suplă cu trei straturi de mixturi.

Tabel 8 – Structura rutieră considerată pentru calcule

Nr. crt.	Denumire strat	Grosime [cm]	Modul de elasticitate dinamic [MPa]	Coeficientul lui Poisson
1	strat de uzură	4	3300	0.35
2	binder	6	3000	0.35
3	strat de bază	8	5000	0.35
4	strat superior de fundație din balast stabilizat cu lianți hidraulici	20	1000	0.25
5	strat inferior de fundație din balast	30	182*	0.27
6	Teren de fundare – pământ P5	semifinit	70	0.42

\* – modulul de elasticitate dinamic a fost calculat conform punctului 6.3. din normativul PD177-2001.  $E_{bal}=0.20 \times h_{bal}^{0.45} \times E_p=0.20 \times 300^{0.45} \times 70=182$  MPa

Tabel 9 – Deformația orizontală la baza straturilor de mixturi exprimată în microdeformații

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Deformație orizontală la baza straturilor de mixturi (microdef)
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule			
Remorcă cu două osii	90	simplă	81.00
Remorcă cu trei osii	80	simplă	76.20
Ansamblu de vehicule			
Osia simplă			
Osia simplă nemotoare	100	simplă	85.40
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:			
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	55	tandem	62.60
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	80	tandem	78.20
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	90	tandem	81.80
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	100	tandem	85.70
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:			
mai mica sau egala cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	70	tridem	73.10
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egala cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	80	tridem	75.60
Osia simplă motoare a autovehiculelor			
Osia motoare a vehiculelor	110	simplă	89.30
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:			
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	57.5	tandem	64.50
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	80	tandem	78.20

Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	95	tandem	84.10
--	----	--------	-------

Tabel 10 – Deformația orizontală la baza straturilor de mixturi exprimată în microdeformații rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile cu o depășire de 10% și coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 10%

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Deformație orizontală la baza straturilor de mixturi (microdef)	Coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 10%
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule				
Remorcă cu două osii	99	simplă	85	1.05
Remorcă cu trei osii	88	simplă	80.1	1.05
Ansamblu de vehicule				
Osia simplă				
Osia simplă nemotoare	110	simplă	89.3	1.05
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	60.5	tandem	66.6	1.06
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	88	tandem	82.3	1.05
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	99	tandem	85.8	1.05
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	110	tandem	89.6	1.05
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mica sau egala cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	77	tridem	77.1	1.05
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egala cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	88	tridem	79.4	1.05
Osia simplă motoare a autovehiculelor				
Osia motoare a vehiculelor	121	simplă	93.1	1.04
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	63.25	tridem	68.3	1.06
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	88	tridem	82.3	1.05
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	104.5	tridem	88.1	1.05

Din calculul realizat, se observă o creștere a cu o valoare medie de 5% față de valorile rezultate din încărcarea maximă admisibilă pentru fiecare osie analizată.

Tabel 11 – Deformația orizontală la baza straturilor de mixturi exprimată în microdeformații rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile cu o depășire de 20% și coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei toale cu 20%

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Deformație orizontală la baza straturilor de mixturi (microdef)	Coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 20%
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule				
Remorcă cu două osii	99	simplă	88.5	1.09
Remorcă cu trei osii	88	simplă	83.7	1.10
Ansamblu de vehicule				
Osia simplă				
Osia simplă nemotoare	110	simplă	92.8	1.09
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	60.5	tandem	70.1	1.12
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	88	tandem	86.1	1.10
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	99	tandem	89.4	1.09
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	110	tandem	93.2	1.09
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mica sau egala cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	77	tridem	81	1.11
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egala cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	88	tridem	83	1.10
Osia simplă motoare a autovehiculelor				
Osia motoare a vehiculelor	121	simplă	96.6	1.08
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	63.25	tridem	72	1.12
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	88	tridem	56.1	0.72
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	104.5	tridem	91.7	1.09

Din calculul realizat, se observă o creștere a deformațiilor orizontale la baza straturilor de mixturi cu o valoare medie de 7% față de valorile rezultate din încărcarea maximă admisibilă pentru fiecare osie analizată.

Tabel 12 – Deformația orizontală la baza straturilor de mixturi exprimată în microdeformații rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile cu o depășire de 30% și coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 30%

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Deformație orizontală la baza straturilor de mixturi (microdef)	Coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 30%
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule				
Remorcă cu două osii	99	simplă	91.8	1.13
Remorcă cu trei osii	88	simplă	87	1.14
Ansamblu de vehicule				
Osia simplă				
Osia simplă nemotoare	110	simplă	96	1.12
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	60.5	tandem	73.5	1.17
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	88	tandem	89.6	1.15
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	99	tandem	92.8	1.13
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	110	tandem	96.4	1.12
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mica sau egala cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	77	tridem	84.4	1.15
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egala cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	88	tridem	86.2	1.14
Osia simplă motoare a autovehiculelor				
Osia motoare a vehiculelor	143	simplă	99.8	1.12
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	63.25	tridem	75.4	1.17
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	88	tridem	97.1	1.24
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	104.5	tridem	95.1	1.13

Din calculul realizat, se observă o creștere a deformațiilor orizontale la baza straturilor de mixturi cu o valoare medie de 15% față de valorile rezultate din încărcarea maximă admisibilă pentru fiecare osie analizată.

### 3.2. Compararea coeficienții de echivalare corespunzător principiului energetic încărcare x deplasare

Pentru acest calcul a fost luată în considerare energia potențială de deformare – pe măsură ce se produce deformarea structurii rutiere sub acțiunea încărcării pe osie, consumul de lucru mecanic duce la acumularea în structura rutieră a unei energii potențiale de deformare. Această cantitate de energie este eliberată atunci când se produce descărcarea structurii rutiere, ceea ce determină reversibilitatea deformației, atâta timp cât solicitarea nu depășește limita de comportare în mediu elastic a structurii rutiere.

Valoarea deflexiunii este dată de programul ALIZE – LCPC, în mm/100.

Pentru stabilirea efectului creșterii încărcării pe osie, se face raportul între energia potențială de deformare pentru încărcarea pe osie cu

$$f_{ek.o.i}^z = E_{o.s.115} / E_{o.i}$$

în care:

$f_{ek.o.i}^z$  este coeficientul de echivalare a acțiunii osiei "i" în osii standard;

$E_{o.s.115}$  este energia potențială produsă de solicitarea sarcinii semiosiei standard;

$E_{o.i}$  este energia potențială produsă de solicitarea sarcinii semiosiei "i";

Energia potențială este produsul dintre masa osiei și valoarea deflexiunii.

$$E_{o.i} = m_{o.i} \times d_{o.i}$$

în care:

$E_{o.i}$  este energia potențială produsă de solicitarea sarcinii semiosiei "i";

$m_{o.i}$  încărcarea pe semiosia "i" (masa semiosiei);

$d_{o.i}$  este valoarea deflexiunii produsă de solicitarea sarcinii semiosiei "i";

Deoarece masa semiosiei este cea care crește cu 10%, 20% și 30%, pentru stabilirea coeficienților de echivalare a efectului creșterii încărcării se va face raportul dintre deflexiunile produse de sarcinile semiosiei.

#### 3.2.1. Calcule pentru structura rutieră suplă

Pe baza încărcărilor stabilite în tabelul 1, au fost realizate calcule în programul ALIZE-LCPC pentru structura rutieră suplă cu trei straturi de mixturi.

Tabel 13 – Structura rutieră considerată pentru calcule

Nr. crt.	Denumire strat	Grosime [cm]	Modul de elasticitate dinamic [MPa]	Coeficientul lui Poisson
1	strat de uzură	4	3300	0.35
2	binder	6	3000	0.35
3	strat de bază	8	5000	0.35
4	strat superior de fundație din piatră spartă	25	500	0.27
5	strat inferior de fundație din balast	30	182*	0.27
6	Teren de fundare – pământ P5	semifinit	70	0.42

\* – modulul de elasticitate dinamic a fost calculat conform punctului 6.3. din normativul PD177-2001.  $E_{bal}=0.20 \times h_{bal}^{0.45} \times E_p=0.20 \times 300^{0.45} \times 70=182$  MPa



Tabel 14 – Valoarea deflexiunii rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Valoarea deflexiunii mm/100
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule			
Remorcă cu două osii	90	simplă	35
Remorcă cu trei osii	80	simplă	31.5
Ansamblu de vehicule			
Osia simplă			
Osia simplă nemotoare	100	simplă	38.5
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:			
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	55	tandem	33
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	80	tandem	45.2
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	90	tandem	47
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	100	tandem	49.9
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:			
mai mica sau egala cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	70	tridem	51.7
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egala cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	80	tridem	48.4
Osia simplă motoare a autovehiculelor			
Osia motoare a vehiculelor	110	simplă	42
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:			
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	57.5	tandem	34.5
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	80	tandem	45.2
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	95	tandem	49.5

Tabel 15 – Valoarea deflexiunii rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile cu o depășire de 10%, precum și calculul coeficienților de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 10%

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Valoarea deflexiunii mm/100	Coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 10%
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule				
Remorcă cu două osii	99	simplă	38.2	1.09
Remorcă cu trei osii	88	simplă	34.3	1.09
Ansamblu de vehicule				

Osia simplă				
Osia simplă nemotoare	110	simplă	42	1.09
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	60.5	tandem	36.2	1.10
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	88	tandem	49.4	1.09
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	99	tandem	51.4	1.09
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	110	tandem	54.5	1.09
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mica sau egala cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	77	tridem	56.6	1.09
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egala cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	88	tridem	53	1.10
Osia simplă motoare a autovehiculelor				
Osia motoare a vehiculelor	121	simplă	45.8	1.09
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	63.25	tandem	37.7	1.09
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	88	tandem	49.4	1.09
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	104.5	tandem	54.1	1.09

Din calculul realizat, se observă o creștere a deflexiunii cu o valoare medie de 9% față de valorile rezultate din încărcarea maximă admisibilă pentru fiecare osie analizată.

Tabel 16 – Valoarea deflexiunii rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile cu o depășire de 20%, precum și calculul coeficienților de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 20%

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Valoarea deflexiunii mm/100	Coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 20%
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule				
Remorcă cu două osii	108	simplă	41.3	1.18
Remorcă cu trei osii	96	simplă	37.1	1.18
Ansamblu de vehicule				
Osia simplă				
Osia simplă nemotoare	120	simplă	45.5	1.18
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	66	tandem	39.2	1.19
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	96	tandem	53.5	1.18
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	108	tandem	55.8	1.19

mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	120	tandem	59.1	1.18
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mica sau egală cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	84	tridem	61.5	1.19
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egală cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	96	tridem	57.5	1.19
Osia simplă motoare a autovehiculelor				
Osia motoare a vehiculelor	132	simplă	49.6	1.18
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	69	tandem	40.9	1.19
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	96	tandem	53.5	1.18
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	114	tandem	58.7	1.19

Din calculul realizat, se observă o creștere a deflexiunii cu o valoare medie de 19% față de valorile rezultate din încărcarea maximă admisibilă pentru fiecare osie analizată.

Tabel 17 – Valoarea deflexiunii rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile cu o depășire de 30%, precum și calculul coeficienților de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 30%

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Valoarea deflexiunii mm/100	Coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 30%
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule				
Remorcă cu două osii	117	simplă	44.5	1.27
Remorcă cu trei osii	104	simplă	40	1.27
Ansamblu de vehicule				
Osia simplă				
Osia simplă nemotoare	130	simplă	48.9	1.27
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	71.5	tandem	42.3	1.28
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	104	tandem	57.7	1.28
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	117	tandem	60.1	1.28
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	130	tandem	63.7	1.28
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mica sau egală cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	91	tridem	66.3	1.28
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egală cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	104	tridem	62.1	1.28
Osia simplă motoare a autovehiculelor				
Osia motoare a vehiculelor	143	simplă	53.4	1.27
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor				

Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	74.75	tridem	44.1	1.28
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	104	tridem	67.8	1.50
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	123.5	tridem	63.3	1.28

Din calculul realizat, se observă o creștere a deflexiunii cu o valoare medie de 29% față de valorile rezultate din încărcarea maximă admisibilă pentru fiecare osie analizată.

### 3.2.2. Calcule pentru structura rutieră semirigidă

Pe baza încărcărilor stabilite în tabelul 1, au fost realizate calcule în programul ALIZE-LCPC pentru structura rutieră suplă cu trei straturi de mixturi.

Tabel 18 – Structura rutieră considerată pentru calcule

Nr. crt.	Denumire strat	Grosime [cm]	Modul de elasticitate dinamic [MPa]	Coeficientul lui Poisson
1	strat de uzură	4	3300	0.35
2	Binder	6	3000	0.35
3	strat de bază	8	5000	0.35
4	strat superior de fundație din balast stabilizat cu lianți hidraulici	20	1000	0.25
5	strat inferior de fundație din balast	30	182*	0.27
6	Teren de fundare – pământ P5	semifinit	70	0.42

\* – modulul de elasticitate dinamic a fost calculat conform punctului 6.3. din normativul PD177-2001.  $E_{bal} = 0.20 \times h_{bal}^{0.45} \times E_p = 0.20 \times 300^{0.45} \times 70 = 182$  MPa

Tabel 19 – Valoarea deflexiunii rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Valoarea deflexiunii mm/100
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule			
Remorcă cu două osii	90	simplă	33.1
Remorcă cu trei osii	80	simplă	29.8
Ansamblu de vehicule			
Osia simplă			
Osia simplă nemotoare	100	simplă	36.4
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor			
Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:			
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	55	tandem	32
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	80	tandem	43.7
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	90	tandem	45.3
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	100	tandem	47.9
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor			
Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:			

mai mica sau egala cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	70	tridem	50.6
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egala cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	80	tridem	47.3
Osia simplă motoare a autovehiculelor			
Osia motoare a vehiculelor	110	simplă	39.7
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:			
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	57.5	tandem	33.4
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	80	tandem	43.7
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	95	tandem	47.7

Tabel 20 – Valoarea deflexiunii rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile cu o depășire de 10%, precum și calculul coeficienților de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 10%

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Valoarea deflexiunii mm/100	Coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 10%
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule				
Remorcă cu două osii	99	simplă	36.1	1.09
Remorcă cu trei osii	88	simplă	32.4	1.09
Ansamblu de vehicule				
Osia simplă				
Osia simplă nemotoare	110	simplă	39.7	1.09
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	60.5	tandem	35	1.09
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	88	tandem	47.7	1.09
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	99	tandem	49.6	1.09
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	110	tandem	52.4	1.09
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mica sau egala cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	77	tridem	55.3	1.09
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egala cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	88	tridem	52	1.10
Osia simplă motoare a autovehiculelor				
Osia motoare a vehiculelor	121	simplă	43.4	1.09
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	63.25	tandem	36.4	1.09

Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	88	tandem	47.7	1.09
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	104.5	tandem	52.1	1.09

Din calculul realizat, se observă o creștere a deflexiunii cu o valoare medie de 9% față de valorile rezultate din încărcarea maximă admisibilă pentru fiecare osie analizată.

Tabel 21 – Valoarea deflexiunii rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile cu o depășire de 20%, precum și calculul coeficienților de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 20%

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Valoarea deflexiunii mm/100	Coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 20%
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule				
Remorcă cu două osii	108	simplă	39.1	1.18
Remorcă cu trei osii	96	simplă	35.1	1.18
Ansamblu de vehicule				
Osia simplă				
Osia simplă nemotoare	120	simplă	43.0	1.18
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	66	tandem	37.9	1.18
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	96	tandem	51.8	1.19
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	108	tandem	53.8	1.19
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	120	tandem	56.8	1.19
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mică sau egală cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	84	tridem	60.2	1.19
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egală cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	96	tridem	56.7	1.20
Osia simplă motoare a autovehiculelor				
Osia motoare a vehiculelor	132	simplă	47.0	1.18
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	69	tandem	39.6	1.19
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	96	tandem	51.8	1.19
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	114	tandem	56.6	1.19

Din calculul realizat, se observă o creștere a deflexiunii cu o valoare medie de 19% față de valorile rezultate din încărcarea maximă admisibilă pentru fiecare osie analizată.

Tabel 22 – Valoarea deflexiunii rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile cu o depășire de 30%, precum și calculul coeficienților de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 30%

Caracteristici osii	Încărcare pe osie kN	Tipul osiei	Valoarea deflexiunii mm/100	Coeficienți de echivalare al efectului unei creșterii a masei totale cu 30%
Vehicule care fac parte dintr-un ansamblu de vehicule				
Remorcă cu două osii	117	simplă	42.1	1.27
Remorcă cu trei osii	104	simplă	37.8	1.27
Ansamblu de vehicule				
Osia simplă				
Osia simplă nemotoare	130	simplă	46.3	1.27
Osia dublă (tandem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente, dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	71.5	tandem	40.9	1.28
mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	104	tandem	55.8	1.28
mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	117	tandem	58	1.28
mai mare sau egală cu 1,8 m ( $1,8 \leq d$ )	130	tandem	61.2	1.28
Osia triplă (tridem) a remorcilor și semiremorcilor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
mai mică sau egală cu 1,3 m ( $d \leq 1,3$ )	91	tridem	64.9	1.28
mai mare de 1,3 m dar mai mică sau egală cu 1,4 m ( $1,3 < d \leq 1,4$ )	104	tridem	61.4	1.30
Osia simplă motoare a autovehiculelor				
Osia motoare a vehiculelor	143	simplă	50.5	1.27
Osia dublă (tandem) a autovehiculelor Suma maselor pe osiile componente dacă distanța (d) dintre ele este de:				
Mai mică de 1,0 m ( $d < 1,0$ )	74.75	tridem	42.6	1.28
Mai mare sau egală cu 1,0 m dar mai mică de 1,3 m ( $1,0 \leq d < 1,3$ )	104	tridem	65.6	1.50
Mai mare sau egală cu 1,3 m dar mai mică de 1,8 m ( $1,3 \leq d < 1,8$ )	123.5	tridem	61	1.28

Din calculul realizat, se observă o creștere a deflexiunii cu o valoare medie de 29% față de valorile rezultate din încărcarea maximă admisibilă pentru fiecare osie analizată.

#### 4. CONCLUZII

Prin aplicarea celor două metode în cazul ambelor structuri rutiere analizate (structura suplă și structura rutieră semirigidă) se poate stabili efectul creșterii încărcării maxime pe osie asupra straturilor de mixturi cu ajutorul primei metode și efectul asupra structurii rutiere cu ajutorul celei de-a doua metodă.

Tabel 23 – Centralizator al efectului creșterii încărcării pe osie asupra straturilor de mixturi

Tipul structurii rutiere analizată	Valoare medie de echivalare (raport deformație)	Valoare medie de echivalare (raport deformație)	Valoare medie de echivalare (raport deformație)
------------------------------------	---	---	---

	orizontală) pentru depășirea încărcării pe osie cu 10%	orizontală) pentru depășirea încărcării pe osie cu 20%	orizontală) pentru depășirea încărcării pe osie cu 30%
structura suplă	6%	11%	16%
structura rutieră semirigidă	5%	7%	15%

Se poate observa că în cazul creșterii încărcării maxime pe osie, efectul asupra straturilor de mixturi este aproximativ similar pentru structurile rutiere analizate (structura suplă și structura rutieră semirigidă). Efectul este puțin mai redus în cazul structurii rutiere semirigidă datorită prezenței stratului de agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici ca strat superior de fundație.

Tabel 24 – Centralizator al efectului creșterii încărcării pe osie asupra structurii rutiere

Tipul structurii rutiere analizată	Valoare medie de echivalare (raport deflexiuni) pentru depășirea încărcării pe osie cu 10%	Valoare medie de echivalare (raport deflexiuni) pentru depășirea încărcării pe osie cu 20%	Valoare medie de echivalare (raport deflexiuni) pentru depășirea încărcării pe osie cu 30%
structura suplă	9%	19%	29%
structura rutieră semirigidă	9%	19%	29%

Se poate observa că în cazul creșterii încărcării maxime pe osie, efectul asupra structurii rutiere este similar pentru structuri rutiere analizate (structura suplă și structura rutieră semirigidă).

Pentru exemplificare efectului creșterii încărcărilor vă prezentăm un calcul pentru un drum nou cu structură rutieră semirigidă dimensionată pentru o perioadă de perspectivă de 15 ani.

Tabel 25 – Structura rutieră considerată pentru calcule

Nr. crt.	Denumire strat	Grosime [cm]	Modul de elasticitate dinamic [MPa]	Coeficientul lui Poisson
1	strat de uzură	4	3300	0.35
2	Binder	6	3000	0.35
3	strat de bază	8	5000	0.35
4	strat superior de fundație din balast stabilizat cu lianți hidraulici	20	1000	0.25
5	strat inferior de fundație din balast	30	182*	0.27
6	Teren de fundare – pământ P5	semifinit	70	0.42

\* – modulul de elasticitate dinamic a fost calculat conform punctului 6.3. din normativul PD177-2001.  $E_{bal}=0.20 \times h_{bal}^{0.45} \times E_p=0.20 \times 300^{0.45} \times 70=182$  MPa

Tabel 14 – Valoarea deflexiunii rezultată în urma aplicării încărcărilor maxime admisibile

Tabel 26 – Stabilirea traficului de calcul



Clasa vehicule conform AND584	Vehicule anul 2025	Coefficienți de echivalare pentru structuri rutiere semirigide, conform AND584 suple și semirigide	MZA k 2025	Vehicule anul 2040	Coefficienți de echivalare pentru structuri rutiere semirigide, conform AND584 suple și semirigide	MZA k 2040
Autocamioane si derivate cu 2 osii	545	0.1	55	1635	0.1	164
Autocamioane si derivate cu 3 si 4 osii	65	0.7	46	350	0.7	245
Autobuze	32	0.6	19	56	0.6	34
Tren rutier	48	1	48	65	1	65
Autovehicule articulate	2135	0.9	1150	3155	0.9	2840
$N_c = 365 \times 10^{-6} \times 20 \times 0.45 \times 0.5 \times \Sigma(\text{MZA k 2025} + \text{MZA k 2045})$					7.660 m.o.s.	

Urmare a introducerii în programul de calcul Calderom 2000 a datelor, a rezultat că deformația orizontală la baza straturilor de mixturi este 83.8 microdef.

$$N_{adm} = 4.27 \times 10^8 \times \epsilon_r^{-3.97} = 4.27 \times 10^8 \times 83.8^{-3.97} = 9.888 \text{ m.o.s.}$$

$$RDO = N_c / N_{adm} = 7.660 / 9.888 = 0.775 < 0.80$$

Din calculele de mai sus, rezultă că rata de degradare la oboseală se verifică.

Vom face un calcul în ipoteza în care pe perioada de perspectivă, 10% din autocamioane si derivate cu 2 osii depășesc masa maximă autorizată cu 20%, 5% din autocamioane si derivate cu 3 si 4 osii depășesc masa maximă autorizată cu 10% și 2% autovehicule articulate depășesc masa maximă autorizată cu 30%.

Tabel 27 – Stabilirea traficului de calcul

Clasa vehicule conform AND584	Vehicule anul 2025	Vehicule anul 2025	Coeficienți de echivalare pentru structuri rutiere semirigide	MZA k 2025	Vehicule anul 2040	Coeficienți de echivalare pentru structuri rutiere semirigide, conform AND584 sule și semirigide	MZA k 2040
Autocamioane si derivate cu 2 osii	cu masa maximă autorizată	545.00	0.10	54.50	1635.00	0.10	163.50
	cu 20% depășire masa maximă autorizată	54.50	0.20	11.14	163.50	0.20	33.41
Autocamioane si derivate cu 3 si 4 osii	cu masa maximă autorizată	65.00	0.70	46.00	350.00	0.70	245.00
	cu 10% depășire masa maximă autorizată	3.25	0.78	2.55	17.50	0.78	13.71
Autobuze	cu masa maximă autorizată	32.00	0.60	19.00	56.00	0.60	33.60
Tren rutier	cu masa maximă autorizată	48.00	1.00	48.00	65.00	1.00	65.00
Autovehicule articulate	cu masa maximă autorizată	2135.00	0.90	1150.00	3155.00	0.90	2839.50
	cu 30% depășire masa maximă autorizată	42.70	1.23	52.47	63.10	1.23	77.53
Nc= 365 x 10 <sup>-6</sup> x 20 x 0.45 x 0.5 x Σ(MZA k 2025 + MZA k 2045)						7.974	m.o.s.

Structura rutieră rămâne neschimbată și rata de degradare la oboseală devine:

$$RDO = N_c / N_{adm} = 7.974 / 9.888 = 0.806 > 0.80$$

Structura rutieră ce a fost stabilită pentru a corespunde criteriul de degradare la oboseală, va avea degradări din oboseală la nivelul straturilor de mixturi, datorită depășirii

încărcărilor maxime admise. Practic, pentru a satisface criteriul de degradare la oboseală va rezulta o perioadă de perspectivă mai scurtă.

În concluzie, nerespectarea încărcării maxime admisă pe osie, conduce la degradarea structurii rutiere chiar dacă se realizează lucrări de întreținere, deoarece se depășește valoarea traficului de calcul estimată pentru perioada de perspectivă pentru un tronson de drum.

Efectul creșterii încărcării pe osie are aceeași influență și pentru stratul superior de fundație din ballast stabilizat, strat ce poate fisura în momentul în care solicitările depășesc rezistența la întindere a acestuia.

Efectul creșterii încărcării pe osie este mult mai sever vara, în condiții de temperaturi ridicate, când este favorizată apariția făgașelor.

Este recomandat să se facă verificări prin intermediul contorilor automați de cântărire, precum și prin intermediul spațiilor de cântărire prin sondaj, pentru a preveni depășirea încărcării maxime admise pe osie.

## **REFERINȚE**

Anexa nr. 2 la Ordonanța Guvernului nr 43/1997

Normativ pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple și semirigide indicativ PD 177  
2001