

IMPACTUL TRAFICULUI GREU ASUPRA DETERIORĂRII INFRASTRUCTURII RUTIERE

Adrian SACHELARIE⁽¹⁾, Lidia GAIGINSCHI⁽¹⁾, Iulian AGAPE⁽¹⁾, Ionuț DUMBRAVĂ⁽²⁾

Universitatea Tehnică "Gh.Asachi" Iași⁽¹⁾, IGPR, Secția de Poliție Autostrăzi⁽²⁾

Abstract: Efectul distructiv al traficului greu asupra drumurilor este semnificativ în contextul stabilirii celor mai eficiente structuri rutiere pentru toate categoriile de drumuri. Agresivitatea traficului greu asupra structurilor rutiere se determină prin conversia traficului în osii echivalente, prin intermediul coeficienților de echivalare. Sarcinile maxime admise pentru diversele grupe de vehicule grele și tendința, relativ frecventă, de supraîncărcare a acestora, în scopul reducerii costurilor transportului rutier, scot în evidență importanța reprezentată de parametrul trafic la dimensionarea structurilor rutiere.

Cuvinte cheie: agresivitatea traficului rutier, structuri rutiere, vehicule grele, supraîncărcare

1. Introducere

Efectul distructiv al traficului greu asupra drumurilor este semnificativ în contextul stabilirii celor mai eficiente structuri rutiere pe toate categoriile de drumuri. Agresivitatea traficului greu asupra structurilor rutiere se determină prin convertirea traficului în osii standard echivalente.

2. Agresivitatea traficului rutier

Agresivitatea traficului [2, 6], depinde de următorii factori: spectrul de sarcini pe osii a traficului real; configurația osiilor (simple, duble, triple); tipul structurii rutiere (flexibil, semirigid, rigid).

Convertirea traficului real în osii standard echivalente se face cu ajutorul coeficienților de echivalare a vehiculelor fizice [4, 5]. Există trei abordări pentru luarea în calcul a efectelor traficului la proiectarea structurilor rutiere: trafic definit, vehicul etalon, și trafic/vehicul variabil.

Traficul definit: în cazul traficului fix, grosimea structurii rutiere este determinată de către o sarcină pe o roată simplă iar numărul de repetări ale sarcinii nu este considerat o variabilă. Dacă structura rutieră este supusă la acțiunea unor roți multiple, acestea trebuie convertite într-o sarcină echivalentă pe o singură osie (ESWL-Equivalent single-wheel load)

Vehiculul etalon: În cazul abordării cu vehicul etalon, grosimea structurii rutiere este determinată de numărul de repetări ale unui vehicul standard sau ale unei sarcini pe osie, care este de obicei sarcina pe osia simplă (osia standard). Dacă sarcina pe osie nu este cea standard sau constă în osii tandem sau tridem, ea trebuie convertită într-o sarcină pe o osie standard cu ajutorul unui factor de sarcină echivalentă pe osie (EALF-Equivalent axle load factor). Numărul de repetări sub acțiunea fiecărei sarcini pe osie, simplă sau multiplă trebuie să fie multiplicat cu EALF aferent pentru a obține efectul echivalent generat de o osie standard. O însumare a efectelor echivalente pe osie pe durata perioadei de proiectare are ca rezultat o sarcină rezultantă pe o singură osie (ESAL- Equivalent single-axle load) care este unicul parametru de trafic luat în calcul la proiectare.

Sarcina echivalentă pe osie simplă (ESWL) ESWL depinde de criteriul ales pentru a compara sarcina pe o osie cu sarcinile pe osii multiple. Un studiu teoretic asupra efectului diversilor factori asupra ESWL, presupunând că roțile simple și duble au aceeași presiune de contact. ESWL poate fi determinată pornind de la starea de tensiuni/deformații și deflexiunea calculate teoretic sau măsurate experimental. De asemenea, ea poate fi determinată pornind de la deflexiunea structurii rutiere și de la calitatea în exploatare

Criteriul tensiunii verticale egale. Pe baza analizei teoretice a tensiunii verticale într-un semi-spațiu elastic, se prezintă o metodă semiratională de determinare a ESWL, care poate fi folosită pentru a obține criteriile de proiectare pentru roți duble pornind de la criteriile pentru roți simple. Metoda presupune că ESWL variază în funcție de grosimea structurii rutiere. Pentru grosimi mai mici de jumătate din distanța dintre roțile duble, ESWL este egală cu jumătate din sarcina totală

ESWL poate fi determinată printr-o relație logaritmică liniară între grosimea structurii rutiere și încărcarea pe osie, astfel:

$$\log(ESWL) = \log P_d + \frac{0.301 \log(2z/d)}{\log(4S_d/d)} \quad (1)$$

Criteriul deflexiunii verticale egale. Structura rutieră este considerată un semi-spațiu omogen iar deflexiunile verticale la o adâncime egală cu grosimea structurii rutiere. O sarcină pe osie simplă, care are aceeași rază de contact ca și una dintre roțile duble și are ca rezultat o deflexiune maximă egală cu cea cauzată de roțile duble este ESWL.

Deflexiunile se obțin cu relațiile:

$$\text{-pentru roata simplă } w_s = \frac{q_s \cdot a}{E} \cdot F_s, \quad (3)$$

$$\text{-pentru roata dublă } w_d = \frac{q_d \cdot a}{E} \cdot F_d \quad (4)$$

Pentru a obține aceeași deflexiune este necesar

$$w_s = w_d \text{ sau } q_s \cdot F_s = q_d \cdot F_d, \quad (5)$$

unde:

w_s - deflexiunea sub acțiunea roții simple;

w_d - deflexiunea sub acțiunea roții duble;

q_s - presiunea de contact sub acțiunea roții simple;

q_d - presiunea de contact sub acțiunea roții duble;

E - modulul de elasticitate;

F_s - factorul deflexiunii verticale pentru roata simplă;

F_d - factorul deflexiunii verticale pentru roata dublă.

Pentru aceeași rază de contact, presiunea de contact este proporțională cu încărcarea pe roată:

$$ESWL = P_s = \frac{F_d}{F_s} \cdot P_d \quad (6)$$

Criteriul deformației la întindere din încovoiere. Având o structură rutieră caracterizată printr-un modul de elasticitate E_1 , grosimea h_1 , așezat pe un suport infinit caracterizat de un modul de elasticitate E_2 , deformația ε la baza stratului 1, sub acțiunea încărcării pe roata simplă este obținută cu relația:

$$\varepsilon = \frac{q_s}{E_1} \cdot F_e, \quad (7)$$

unde:

q_s - presiunea de contact a roții simple.

în cazul încărcării date de roata dublă

$$\varepsilon = \frac{C \cdot q_d}{E_1} \cdot F_e \quad (8)$$

unde:

C – factor de conversie

q_d - presiunea de contact a roții duble

Se poate deduce astfel că $q_s = C \cdot q_d$

Pentru aceeași valoare a razei de contact (se face ipoteza egalității razelor de contact ale roții simple și duble):

$$ESWL = P_s = C \cdot P_d \quad (9)$$

Criteriul bazat pe egalitatea presiunilor de contact. În cazul în care valorile razelor de contact diferă, dar presiunile de contact sunt egale, deflexiunea la interfață este dată de relațiile:

$$\text{-pentru roata simplă: } w_s = \frac{q \cdot a_s}{E_2} \cdot F_s, \quad (10)$$

$$\text{-pentru roata dublă: } w_d = \frac{q \cdot a_d}{E_2} \cdot F_d, \quad (11)$$

Din egalitatea deflexiunilor rezultă:

$$\frac{q \cdot a_s}{E_2} \cdot F_s = \frac{q \cdot a_d}{E_2} \cdot F_d, \quad (12)$$

Deoarece:

$$a_s = \sqrt{\frac{P_s}{\pi \cdot q}} \quad \text{și} \quad a_d = \sqrt{\frac{P_d}{\pi \cdot q}}, \text{ rezultă:} \quad (13)$$

$$ESWL = P_s = \left(\frac{F_d}{F_s} \right)^2 \cdot P_d \quad (14)$$

Criteriul bazat pe raza de contact echivalentă. O relație obținută pentru dale de beton, prin metode de regresie, propune calculul încărcării pe roata simplă cu o rază echivalentă, care produce același răspuns cu al unei încărcări pe roata dublă (ESAR –Equivalent simple – axle radius)

Raza echivalentă de contact este dată de relația:

$$a_{eq} = a \left[1 + 0.241683 \left(\frac{S}{a} \right) \right], \quad (15)$$

unde:

a – raza de contact a fiecărei din cele două roți;

S – distanța dintre roți;

Coeficienții de echivalare a osiilor. Factorul de echivalare a încărcării este definit de o relație de tipul:

$$F = \frac{N_s}{N_x}, \quad (16)$$

unde:

N_s – numărul osiilor standard care produc degradarea structurii rutiere;

N_x – numărul osiilor cu încărcarea „x”, care produc aceeași degradare a structurii rutiere în ambele cazuri, pentru perioada de serviciu;

Pentru o abordare unitară la nivelul EU, a coeficienților de echivalare și a traficului de calcul, COST 333, [8] a propus conceptul că, traficul poate fi caracterizat de: AADT (Annual Average Daily Traffic) – Media zilnică anuală, vehicule/24 ore; AADT_{CV} (Annual Average Daily Commercial Traffic) - Media zilnică anuală a traficului greu, vehicule grele/24 ore (vehicul comercial a fost definit cel cu încărcarea de minim 35kN – autocamioanele, autobuzele, vehiculele articulate etc.).

Cel mai adesea este utilizată echivalarea AADT în AADT_{CV} iar AADT_{CV} este convertită în **ESAL (Equivalent Standard Axle Loads** - Încărcarea pe osia echivalentă), în condițiile în care, la nivelul țărilor europene sunt utilizate mai multe osii standard.

Traficul de calcul în osii standard este calculat cu o relație de tipul:

$$Total_ESAL = AADT_{cv} \cdot CF \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot 365 \cdot U \cdot DP \cdot GF \quad (17)$$

unde:

AADT_{CV} - media zilnică anuală a vehiculelor comerciale într-o secțiune a drumului;

CF - coeficient de conversie pentru AADT_{CV};

f₁ - coeficient de distribuție pe sensuri de mers;

f₂ - coeficient de distribuție pe benzi;

f₃ - coeficient de distribuție laterală pe o bandă;

U - coeficient în funcție de declivitate (coeficient folosit doar în două țări din Europa);

DP - perioada de proiectare (10... 40 ani; în general 20 ani); GF - coeficient de evoluție.

3. Deteriorarea șoselelor

Deteriorarea șoselelor [1], produsă de către traficul normal, poate fi apreciată empiric prin numărul ESAL (Equivalent Single Axle Load). Numărul ESAL [7] reprezintă de fapt o statistică cumulativă a încărcărilor provenite din trafic, care are o structura complexă.

Numărul ESAL cumulat se obține prin adunarea celor parțiale. Pentru șosele asfaltate, el poate fi exprimat astfel:

$$\Sigma ESAL_i = T_f \cdot T \cdot G \cdot D \cdot L \cdot 365 \cdot Y \quad (18)$$

unde:

ESAL_i este numărul ESAL stabilit pentru puntea de categoria *i* (echivalentul pentru puntea standard);

T este procentajul de camioane din traficul mediu zilnic;

D este factorul care ține cont de distribuția traficului funcție de direcție;

Y este perioada de timp (ani);

T_f este un factor care ține cont de tipul camionului (*truck factor*):

$$T_f = A \sum_{i=1}^m p_i F_i \quad (19)$$

unde:

p_i = procentajul repetării totale pentru puntea încărcată sau grupul *i*;

F_i = factorul de încărcare echivalentă a punții sau grupului *i*;

A = numărul mediu de punți pentru un camion.

G = este factorul de creștere a traficului:

$$G = \frac{(1 + g)^n - 1}{g} \quad (20)$$

unde

g = viteza de creștere anuală a traficului;

n = perioada de timp analizată (ani).

L este un factor de distribuție a traficului pe banda, care ține cont de numărul de benzi al șoselei (*tab. 1*).

Tabelul 1

Numărul de benzi	Factorul L
2	1
3	0,7
4 sau mai multe	0,6

S-a constatat experimental că *deteriorarea șoselelor este proporțională cu puterea a patra a forței care încarcă puntea*. În figura 1 se prezintă factorul de deteriorare a șoselei funcție de forța care încarcă puntea (simplă sau dublă), pentru cazul în care se consideră o punte standard de 80 kN. Deteriorarea șoselelor funcție de încărcarea pe punte poate fi aproximată prin relația empirică:

$$D \approx \left(\frac{F}{F_{std}} \right)^4 \quad (21)$$

unde F este forța care încarcă puntea [kN], iar F_{std} kN reprezintă încărcarea punții standard.

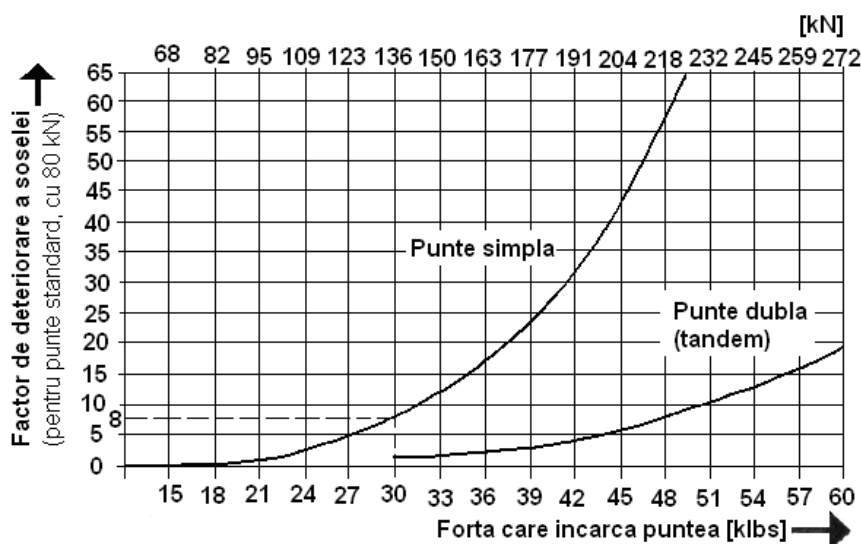


Fig.1. Deteriorarea șoselei este proporțională cu forța care încarcă puntea la puterea a 4-a (șosea de beton de 229 mm grosime)

Din figura 1 se remarcă următoarele:

- Deteriorarea produsă de către o punte simplă, încărcată cu 136 kN este echivalentă cu deteriorarea produsă de către 8 punți standard, fiecare încărcată cu 80 kN), care rulează pe aceeași suprafață;
- O punte simplă, încărcată cu 133,3 kN, deteriorează șoseaua de 67 de ori mai mult decât în cazul în care ar fi încărcată cu 44,4 kN, deoarece $7,9/0,118 \approx 67$;
- O punte simplă, încărcată cu 136 kN, deteriorează șoseaua de peste 11 ori mai mult fata de o punte tandem, încărcată cu aceeași forță ($7,9/0,703 \approx 11,24$).

Practic, *deteriorarea șoselelor este produsă exclusiv de către autovehicule medii și grele*, cum ar fi autobuze și camioane, figura 2 și 3. Contribuția autovehiculelor ușoare la deteriorarea șoselei este practic nesemnificativă.



Fig. 2. Automacarale având greutatea proprie/ nr. de punți: 1100 kN/10 punți (a); 1110 kN/9 punți (b); 1450kN/11 punți (c); 1650kN/12 punți (d)



Fig. 3. Determinarea cu senzori WIM [10] (cântărire în mișcare) a încărcării pe punțile unei automacarale: deteriorarea șoselei este $D=(451,78/82)^4=921,41$, conform ecuației (21)

3. Prelucrări date trafic, utilizând senzori pentru cântărirea în mișcare


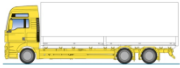





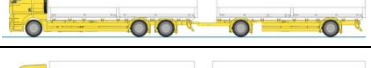
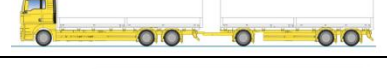






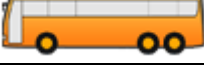
Ținând cont de faptul că deteriorarea drumurilor este provocată în principal de traficul greu de marfă (efectul distructiv al autoturismelor și autoutilitarelor ușoare-max. 3,5 T este neglijabil) se poate spune că, DIRECTIVA 96/53/CE de stabilire, pentru anumite vehicule rutiere care circulă în interiorul Comunității, a dimensiunilor maxime autorizate în traficul național și internațional și a greutății maxime autorizate în traficul internațional, este principalul document care reglementează cotele de gabarit și încărcarea pe punți a vehiculelor comerciale grele. Fiecare stat membru, poate avea reglementari individuale, în funcție de categorii drumurilor (de obicei drumuri naționale și județene) dar, valorile înscrise în acestea nu pot să le depășească pe cele din directivă.

Posibilități de depășire a greutăților admisibile la vehiculele comerciale, datorate unui proces de încărcare deficitar: Depășirea greutății maxime autorizate; Depășirea greutății maxime autorizate pe una din punțile vehiculului (fără a se depăși greutatea maximă autorizată a vehiculului); Depășirea greutății maxime

autorizate, pentru categoria de drum pe care circulă vehiculul, pe cel puțin una din punți; Combinații ale variantelor antemenționate.

Categoriile de vehicule luate în calcul sunt prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2

Clasificare	Descriere	
A2	(A) cu 2 osii	
A3	(A) cu 3 osii	
A4	(A) cu 4 osii	
A2R1	(A) cu 2 osii și (R) cu o osie	
A2R2	(A) cu 2 osii și (R) cu 2 osii- configurații diferite	
A2R3	(A) cu 2 osii și (R) cu 3 osii- configurații diferite	
A3R2	(A) cu 3 osii și (R) cu 2 osii- configurații diferite	
A3R3	(A) cu 3 osii și (R) cu 3 osii- configurații diferite	
A2 S1	(At) cu 2 osii și (S) cu o osie	
A2S2	(At) cu 2 osii și (S) cu 2 osii	
A2S3	(At) cu 2 osii și (S) cu 3 osii	
A3S1	(At) cu 3 osii și (S) cu o osie	
A3S2	(At) cu 3 osii și (S) cu 2 osii	
A3S3	(At) cu 3 osii și (S) cu 3 osii	
B2	Autobuz cu 2 osii	
B3	Autobuz cu 3 osii	

Unde s-a notat: (A)-camion și autoutilitare; (R)-remorcă; (S)-semiremorca; (At)-autotractor, (B)-autobuz

În tabelele 3 și 4 sunt sintetizate rezultatele măsurătorilor efectuate pe un drum național într-o săptămână cu trafic mediu, unde G1 este greutatea totală (t); GAi- greutăți pe osia i(t); m-; M-;PD%-procent depășiri sarcina maximă autorizată pe axă. Trebuie de menționat, că pe întreaga perioadă a măsurătorilor automate a greutății vehiculelor, operatorii care au secondat înregistrările automate au înregistrat tipurile de vehicule, nr. de axe, structura vehiculelor și specificul încărcăturii.

Tabelul 3

Parametru		A2	A3	A4	A2R1	A2R2	A2R3	A3R2	A3R3
G1	media	4,62	15,74	21,47	9,41	23,21	25,62	28,50	29,96
	maxima	30	50	50	55	60	60	60	60
	%PD	8,16	11	23,2	7,92	15,94	10,79	14,82	23,47
GA1	media	2,03	4,73	4,72	2,87	5,27	5,6	5,49	5,25
	maxima	15	15	15	15	15	15	15	14,2
	%PD	0,81	1,39	2,78	5,2	4,03	2,18	2,18	2,78
GA2	media	2,59	5,91	4,64	3,87	8,12	7,16	7,25	6,24
	maxima	20	20	20	20	20	20	20	17,8
	%PD	1,15	17	1,82	7,69	26,74	12,16	25,01	18,35
GA3	media		5,1	6,02	2,75	4,93	4,68	4,94	5,52
	maxima		20	20	20	20	18	19,4	16,6
	%PD		10,8	24,4	7,81	12,07	3,25	4,77	14,4
GA4	media			6,09		4,89	4,07	5,54	4,72
	maxima			20		20	20	20	20
	%PD			25,3		0,46	1,94	7,57	6,77
GA5	media						4,11	5,28	4,13
	maxima						20	20	14,6
	%PD						2,21	6,57	3,96

Tabelul 4

Parametru		A2S1	A2S2	A2S3	A3S1	A3S2	A3S3	B1	B2
G1	media	9,13	17,8	25,84	19,77	23,87	29,46	12,32	17,50
	maxima	49,9	55	60	59,9	60	60	35	40
	%PD	1,32	3,67	10,49	6,86	3,73	17,33	10,34	7,08
GA1	media	3,01	4,91	5,27	4,83	4,9	4,9	4,52	5,38
	maxima	15	15	15	15	15	15	15	15
	%PD	0,64	0,69	0,85	3,41	0,75	0,83	1,24	4,22
GA2	media	3,46	5,42	6,81	5,26	5,35	5,01	7,81	7,72
	maxima	20	20	20	20	20	17	20	20
	%PD	2,42	5,81	9,56	12,31	7,3	6,28	14,99	12,48
GA3	media	2,67	3,71	4,51	4,7	4,23	4,82		4,34
	maxima	20	20	18,2	18,8	20	19		20
	%PD	2,46	3,68	10,58	8,32	2,37	4,36		3,27
GA4	media		3,77	4,62	4,99	4,66	4,83		
	maxima		20	20	20	18,99	16,1		
	%PD		2,45	12,03	10,65	4,81	18,83		
GA5	media			4,63		4,73	4,91		
	maxima			20		20	15,7		
	%PD			12,12		5,61	19,7		
GA6	media						4,99		
	maxima						20		
	%PD						20,28		

Rezultatele măsurătorilor efectuate sunt sintetizate în graficele prezentate în figurile 4 și 5.

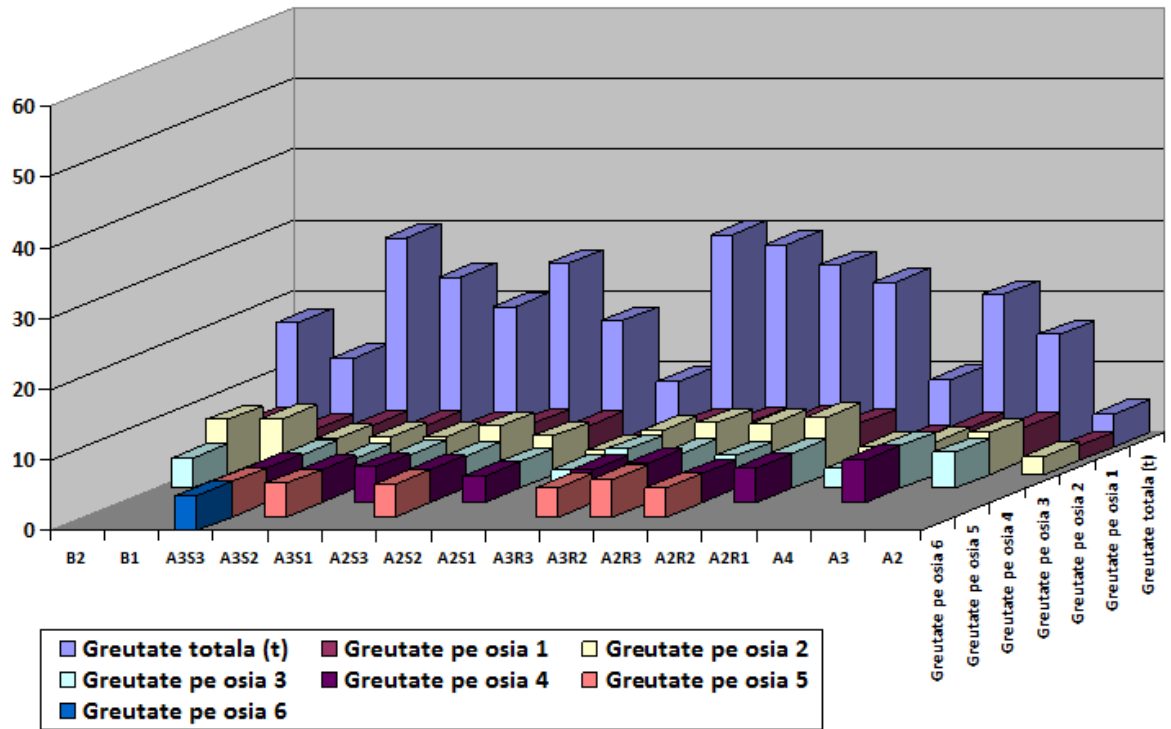


Figura 4 Încărcarea medie totală și pe axe (tone)

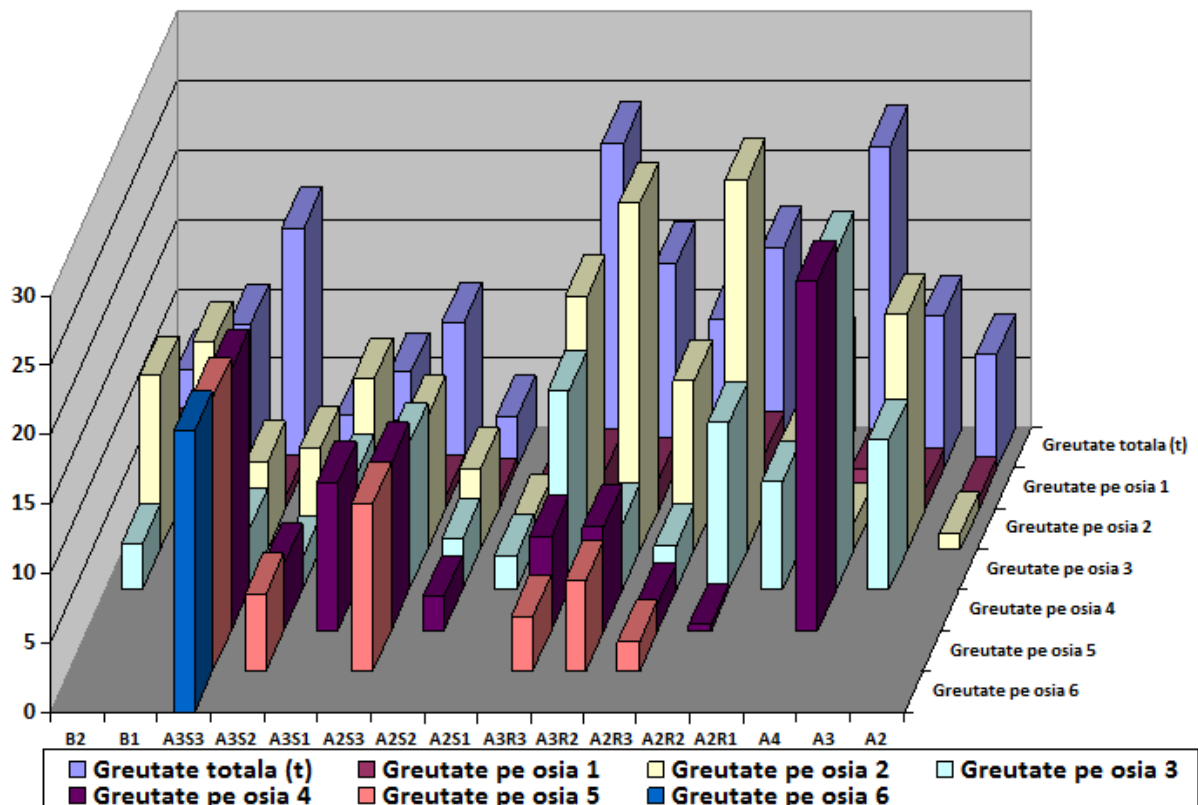


Figura 5 Procent depășiri la sarcina maximă autorizată

4. Concluzii

Raportat la numărul total de vehicule înregistrate și cântărite, media arată o distribuție relativ uniformă a vehiculelor fără încărcătură raportat la cele încărcate, media fiind de cca 19,63 t. Depășiri semnificative ale masei maxime autorizate, atât cantitativ (20 % la sarcina maximă admisă) cât și calitativ (23,47% din vehiculele contorizate) le întâlnim în special la camioanele cu 3 punți cuplate cu remorci cu 3 punți (categoria A3R3), acest lucru este explicat de faptul că aceste vehicule sunt destinate transportului de material lemnos unele din ele fiind echipate și cu macara. O altă categorie aparte de vehicule la care s-au înregistrat depășiri importante o reprezintă camioanele cu 4 punți (categoria A4), care chiar dacă nu depășesc sarcina maximă autorizată decât cu 38% acestea reprezintă cca. 23,2% din totalul vehiculelor contorizate. Acest lucru se explică prin faptul că aceste vehicule sunt în majoritate destinate transportului de produse de carieră sau balastieră, sau destinate transportului de material lemnos. Următoarea categorie de vehicule la care s-au determinat depășiri ale greutateii maxime admisibile o reprezintă autotrenurile indiferent de categorie, (supraîncărcare de 31...50%) cele mai numeroase fiind autotrenurile cu 6 punți (categoria A3S3), 17,33%.

La categoria camioane (A2, A3) suprasarcina maxim măsurată a fost cuprinsă între 92 și 66%. Statistic, s-a determinat că încărcarea maximă autorizată pe axă, a fost întâlnită pe axa motoare (axa 2) având depășiri de 47...73%, la cca. 6, 37% din totalul vehiculelor contorizate.

Bibliografie

1. Mannering, F, L, Kilareski, P, W, Washburn, S, S - *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis*, Third Edition - John Wiley & Sons, Inc, 2005.
2. Nicolau, M, Molan, I, Raducanu, J - *Dinamica de evoluție a transportului rutier și estimarea agresivității acestuia asupra drumurilor publice interurbane*. Al XH-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, București, 2006.
4. Perret, J - *Deformations des couches bitumineuses au passage d'une charge de trafic*. Thèse no. 2786/2003. Ecole Polytechnique de Lausanne.
5. Porot, L, Achimastos, L - *Pavements design methods*. ERR, RGRA.2-2003.
6. Stelea, L, Nicolau, M, Fodor, G - *Agresivitatea traficului greu asupra structurilor rutiere* - al-XI-lea Congres de drumuri și poduri, Timișoara, 2002.
7. Zarojanu, H - *Echivalarea vehiculelor fizice în vehicule etalon (OS-115kN) pe baza criteriilor de dimensionare* - Drumuri și poduri nr. 56, 2000.
8. *** [COST 333](#) - *Development of New Bituminous Pavement Design Method*.
9. *** *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen* RStO 01/2001.
- 10.*** *Weight in Motion of Axles and Vehicles for Europe (Wave)*. General Report, LCPC, 2001.