

Florin BELC

**RANFORSAREA COMPLEXELOR
RUTIERE EXISTENTE**

CUPRINS

1. RANFORSAREA COMPLEXELOR RUTIERE	1
1.1. Metode de calcul	4
1.1.1. Ranforsarea cu straturi bituminoase	4
1.1.2. Ranforsarea cu beton de ciment	13
1.1.3. Calcul bazat pe deflexiuni sub sarcină dinamică	21
1.1.4. Calcul bazat pe deflexiuni sub sarcină statică	22
1.1.4.1. Metoda cu deflectometrul Benkelman	22
1.1.4.2. Metoda cu deflectograful Lacroix	31
1.1.4.3. Metodă de calcul al ranforsării	32
1.2. Soluții tehnice aplicate pentru ranforsare	34
1.2.1. Ranforsarea cu îmbrăcăminte în două straturi	35
1.2.2. Ranforsarea cu îmbrăcăminte și strat de bază	36
1.2.3. Ranforsarea cu îmbrăcăminte și strat de bază stabilizat .	37
Anexa 1: Clasa tehnică a drumurilor	39
Anexa 2: Coeficienți de echivalare	41
Anexa 3: Coeficienți de evoluție	43

1. RANFORSAREA COMPLEXELOR RUTIERE

Ranforsarea reprezintă ansamblul de lucrări pentru mărirea capacității portante a complexelor rutiere existente, în principal, prin executarea unor noi straturi rutiere și asanarea corpului drumului. Sub acțiunea traficului rutier, a condițiilor climaterice și a celor hidrogeologice, în timpul exploatării, complexele rutiere obolesc, se deteriorează și își diminuează treptat capacitatea portantă inițială.

Pe parcursul exploatării drumurilor, capacitatea portantă efectivă a complexelor rutiere este într-o continuă scădere, în timp ce capacitatea portantă necesară, corespunzătoare traficului efectiv, este într-o continuă creștere. La un anumit moment, capacitatea portantă inițială pentru care a fost calculat complexul rutier este depășită de capacitatea portantă necesară, iar complexul rutier cedează.

Factorii care influențează comportarea în exploatare a complexelor rutiere sunt următorii: modul de alcătuire a structurii rutiere, traficul rutier suportat (în special traficul greu și foarte greu), tipul terenului de fundare, modul de evacuare a apelor de suprafață și subterane, regimul hidrologic și climateric, modul de întreținere, calitatea materialelor rutiere utilizate etc. Fenomenul de cedare și de oboseală a structurii de rezistență se observă la nivelul suprafeței de rulare prin apariția de diverse defecțiuni în îmbrăcăminte (fisuri, crăpături, faianțări, cedări și degradări ale complexului rutier etc.).

În aceste condiții, lucrările de ranforsare sunt necesare și obligatorii la anumite intervale de timp pentru aducerea capacității portante efective la nivelul celei necesare, în conformitate cu traficul rutier actual și de perspectivă.

În conformitate cu reglementările românești în vigoare, ranforsarea structurilor rutiere cu îmbrăcăminți bituminoase se poate realiza în următoarele soluții:

- exclusiv cu straturi bituminoase. Dacă grosimea straturilor de ranforsare rezultată din calcule este mai mică de 13 cm, se realizează o îmbrăcăminte bituminoasă în două straturi, iar dacă această grosime rezultă mai mare, ranforsarea se face cu strat de bază și îmbrăcăminte bituminoasă în două straturi;

- cu straturi din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici și îmbrăcăminte bituminoasă. Grosimea minimă a stratului de bază stabilizat cu lianți puzzolanici este de 18...20 cm, funcție de clasa de trafic, iar a stratului stabilizat cu ciment de min. 12 cm. Peste stratul stabilizat se realizează de regulă o îmbrăcăminte bituminoasă în două straturi cu grosimea de min. 8 cm;

- cu o nouă îmbrăcăminte din beton de ciment. Grosimea minimă constructivă a dalei din beton pentru ranforsare trebuie să fie de 18 cm.

Grosimea minimă constructivă a straturilor bituminoase de ranforsare trebuie să fie de 9 cm, iar pe sectoarele de drum pentru care grosimea rezultată din calculul de ranforsare este mai mică decât această valoare se vor efectua alte lucrări de întreținere periodică. În cazul în care grosimea totală a straturilor bituminoase pentru ranforsare rezultă mai mare de 18 cm, iar din considerente tehnico-economice nu se justifică ranforsarea cu beton de ciment, se prevede soluția de refacere a structurii rutiere existente sau utilizarea unor tehnologii de reciclare la rece a unei părți a zestrei rutiere existente.

1.1. Metode de calcul

Metodele de calcul aplicate pe plan mondial pentru ranforsarea complexelor rutiere sunt de o largă diversitate. În țara noastră, calculul grosimii straturilor de ranforsare se poate efectua prin mai multe metode, care se pot alege pornind de la datele cunoscute despre complexul rutier existent. Sunt necesare date cât mai exacte despre factorii de trafic și climaterici, dar și despre condițiile hidrologice și calitatea materialelor care sunt considerate. Metodele de calcul pornesc fie de la o modelare analitică a complexului rutier, fie de la diverse tehnici de măsurare a capacității portante efective a complexului rutier care urmează să fie ranforsat.

1.1.1. Ranforsarea cu straturi bituminoase

Metoda analitică de calcul al grosimii straturilor rutiere se aplică în cazul structurilor rutiere suple și mixte, iar principiile de calcul sunt aceleași cu cele folosite în cazul dimensionării complexelor rutiere noi.

Pentru dimensionarea ranforsărilor la structuri rutiere suple și mixte este necesar să se efectueze în prealabil studii de teren pentru determinarea stării de degradare a îmbrăcămintei bituminoase, alcătuirii structurii rutiere existente, caracteristicilor geotehnice ale terenului de fundare și a regimului hidrologic al complexului rutier. De asemenea, se impune cunoașterea unor date care nu intră direct în calculul de ranforsare, cum sunt: anul modernizării drumului, anii de realizare a lucrărilor ulterioare de întreținere etc.

Aceste date, la care se alătură datele referitoare la trafic, stau la baza împărțirii drumului în sectoare omogene, pentru fiecare dintre acestea realizându-se un calcul de dimensionare independent.

Metoda analitică de dimensionare a ranforsărilor se bazează pe verificarea stării de solicitare a noii structuri rutiere sub acțiunea traficului de calcul, astfel încât să fie îndeplinite concomitent următoarele criterii (fig. 1.1):

- deformația specifică de întindere la baza straturilor bituminoase (ϵ_r) să fie mai mică sau cel mult egală cu cea admisibilă;
- deformația specifică de compresiune la nivelul patului drumului (ϵ_z) să fie mai mică sau cel mult egală cu cea admisibilă;
- tensiunea de întindere la baza stratului (straturilor) din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici (σ_r) să fie mai mică sau cel mult egală cu cea admisibilă.

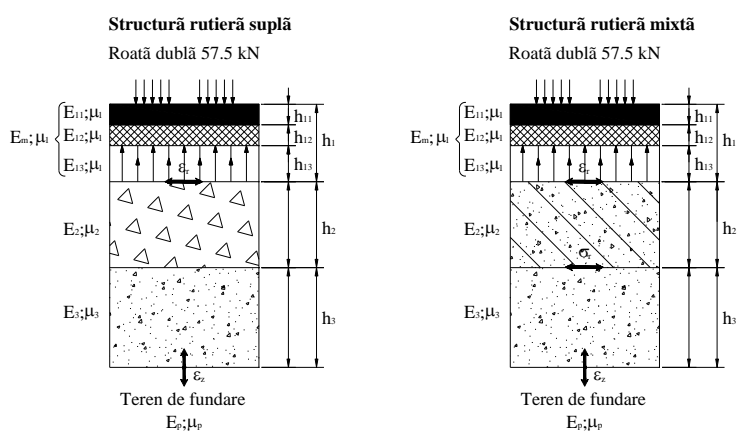


Fig. 1.1. Modele folosite la calculul ranforsărilor structurilor rutiere suple sau mixte.

Calculul propriu-zis presupune determinarea traficului de calcul, analiza complexului rutier ranforsat la solicitarea osiei standard și stabilirea comportării sub trafic a noii structuri rutiere.

Traficul de calcul, ca și în cazul metodei de dimensionare a complexelor rutiere noi, reprezintă numărul total de osii standard cu sarcina de 115 kN, care circulă pe banda de circulație cea mai solicitată, echivalent vehiculelor care vor circula pe drumul proiectat pe perioada de perspectivă. Osia standard are roți duble cu sarcina de 57,5 kN, presiunea de contact de 0,625 MPa și raza suprafeței circulare de contact pneu-îmbrăcăminte de 17,10 cm.

Perioada de perspectivă considerată de proiectant este de 10...15 ani, funcție de importanța drumului, starea lui tehnică și volumul traficului actual și de perspectivă.

Traficul de calcul (N_c), exprimat în milioane osii standard, se determină pe baza traficului mediu zilnic anual în postul de recensare aferent sectorului de drum proiectat, cu relația următoare:

$$N_c = 365 \cdot p_p \cdot c_{rt} \cdot 10^{-6} \cdot \sum_{k=1}^5 \left[n_{ki} \times \frac{p_{kR} + p_{kF}}{2} \times f_{ek} \right] \quad [\text{mil.osii standard}] \quad (1.1)$$

în care:

365 este numărul de zile calendaristice dintr-un an;

p_p – perioada de perspectivă, în ani;

c_{rt} – coeficientul de repartiție transversală, pe benzi de circulație, care are valoarea 0,50 (pentru drumuri cu una și două benzi de circulație), respectiv 0,45 (pentru drumuri cu trei sau mai multe benzi de circulație);

n_{ki} – intensitatea medie zilnică anuală (M.Z.A.) a vehiculelor din grupa k, conform rezultatelor ultimului recensământ general de circulație;

p_{kR} și p_{kF} – coeficientul de evoluție a vehiculelor din grupa k, corespunzător anului de dare în exploatare a drumului (anul R), respectiv anului final al duratei de exploatare (anul F), stabiliți prin interpolare, pe baza datelor furnizate de ultimul recensământ de circulație;

f_{ek} – coeficientul de echivalare a vehiculelor din categoria k în osii standard de 115 kN, conform coeficienților prevăzuți în țara noastră.

În cazul în care se dispune de valori ale M.Z.A., exprimate în osii standard de 115 kN, traficul de calcul se determină cu relația:

$$N_c = 365 \cdot p_p \cdot c_{rt} \cdot 10^{-6} \cdot \frac{n_{o.s.115R} + n_{o.s.115F}}{2} \quad [\text{mil.osii standard}] \quad (1.2)$$

în care:

365, p_p și c_{rt} au semnificațiile menționate anterior;

$n_{o.s.115R}$ – numărul de osii standard de 115 kN, corespunzător anului de dare în exploatare a drumului (anul R), stabilit prin interpolare din datele ultimului recensământ de circulație;

$n_{o.s.115F}$ – numărul de osii standard de 115 kN, corespunzător sfârșitului perioadei de perspectivă luată în considerare (anul F), stabilit prin interpolare din datele ultimului recensământ de circulație.

În cazul drumurilor pentru care recensământul de circulație s-a efectuat pe fiecare bandă de circulație, pentru determinarea traficului de calcul se vor lua în considerare rezultatele recensământului de pe banda de circulație cea mai solicitată, deci coeficientul de repartiție transversală va avea valoarea 1,00.

Dacă pentru sectorul de drum proiectat nu se dispune de date de trafic recensate (străzi, drumuri comunale sau vicinale etc.), pentru stabilirea traficului de calcul este necesar să se efectueze un studiu de trafic.

Analiza complexului rutier ranforsat la solicitarea osiei standard se efectuează pe sectoare omogene, pe baza caracteristicilor de deformabilitate ale materialelor din fiecare strat rutier, cu luarea în considerare a alcătuirii complexului rutier existent și a straturilor de ranforsare care se preconizează să se realizeze.

Alcătuirea complexului rutier existent se stabilește atât pe baza documentațiilor existente și a istoriei lucrărilor de întreținere (banca de date tehnice rutiere a administratorului drumului), cât și pe bază de sondaje realizate pe sectorul analizat. În vederea calculului, atât pentru straturile rutiere existente, cât și pentru cele prevăzute ca ranforsare, trebuie să se determine caracteristicile de deformabilitate.

Determinarea modului de elasticitate dinamic al terenului de fundare se efectuează funcție de tipul pământului, de tipul climateric al zonei geografice în care este amplasat sectorul analizat și de regimul hidrologic în care lucrează complexul rutier.

Repartiția tipurilor climaterice pe teritoriul României este dată în fig. 1.2.

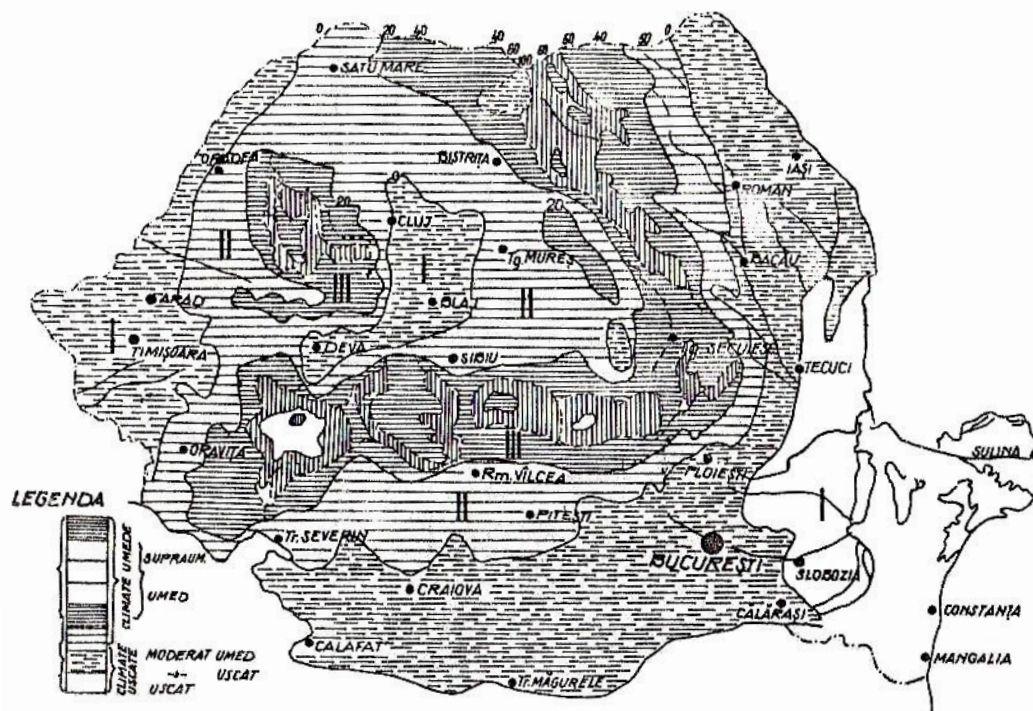


Fig. 1.2. Harta cu repartiția tipurilor climaterice pe teritoriul României.

Regimul hidrologic în care poate lucra complexul rutier se poate încadra în una din următoarele categorii:

- regimul hidrologic 1, corespunzător condițiilor hidrologice FAVORABILE;

- regimul hidrologic 2, corespunzător condițiilor hidrologice MEDIOCRE și DEFAVORABILE, care poate avea subgrupele: 2a, corespunzătoare pentru sectoare

de drum situate în rambleu, cu înălțimea minimă de 1,00 m și în rambleu cu înălțime sub 1,00 m și 2b specifică pentru sectoare de drum situate: la nivelul terenului, în profil mixt sau în debleu.

Clasificarea pământurilor se realizează funcție de granulozitate și indicele de plasticitate în cinci tipuri, conform datelor din tabelul 1.1.

Tabelul 1.1.

Categoria pământului	Tipul de pământ	Clasificarea pământurilor conform STAS 1243	Indicele de plasticitate (I_p), în %	Granulozitatea:		
				Argilă, în %	Praf, în %	Nisip, în %
Necoezive	P ₁	Pietriș cu nisip	Sub 10	Cu sau fără fracțiuni sub 0,5 mm		
	P ₂		10...20	Cu fracțiuni sub 0,5 mm		
Coezive	P ₃	Nisip prăfos Nisip argilos	0...20	0...30	0...50	35...100
	P ₄	Praf, praf nisipos, praf argilos, praf argilos nisipos	0...25	0...30	35...100	0...50
	P ₅	Argilă, argilă prăfoasă, argilă nisipoasă, argilă prăfoasă nisipoasă	Peste 15	30...100	0...70	0...70

În aceste condiții, valorile modului de elasticitate dinamic și ale coeficientului lui Poisson sunt prezentate în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2.

Tipul climateric	Regimul hidrologic	Tipul pământului:					
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	
		Modulul de elasticitate dinamic (E_p), în MPa:					
I	1	100	90	70	80	80	
	2a			65	80	75	
	2b				70	70	
II	1		80	65	80	80	
	2a				70	70	70
	2b					70	70
III	1	90	80	55	80		
	2a			60	50	65	
	2b				50	65	
Coeficientul lui Poisson, μ		0,27	0,30	0,30	0,35	0,42	

În cazul terasamentelor executate din deșeuri de carieră sau din cenușă de termocentrală se recomandă următoarele valori ale caracteristicilor de deformabilitate:

- deșeuri de carieră: $E_p = 100$ MPa și $\mu = 0,27$;
- cenușă de termocentrală: $E_p = 50$ MPa și $\mu = 0,42$.

Fără a se insista asupra situației în care există un strat de formă la partea superioară a terenului de fundare, se precizează faptul că modulul de elasticitate dinamic și coeficientul lui Poisson ai materialelor utilizate în acest strat se determină ca și pentru structurile rutiere noi.

Valoarea de calcul al modulului de elasticitate dinamic al balastului (E_b) din stratul inferior de fundație se determină cu următoarea relație:

$$E_b = 0,20 \cdot h_b^{0,45} \cdot E_p \quad [\text{MPa}] \quad (1.3)$$

în care:

h_b este grosimea stratului inferior de fundație din balast (nisip), în mm;

E_p – modulul de elasticitate dinamic al pământului, în MPa.

Coeficientul lui Poisson are valoarea de 0,27.

Valorile modulului de elasticitate dinamic și ale coeficientului lui Poisson folosite în calcule pentru materialele necoezive din straturile de bază și de fundație se stabilesc conform tabelului 1.3.

Tabelul 1.3.

Denumirea materialului	E, în MPa	μ
Macadam semipenetrat sau penetrat	1000	0,27
Macadam	600	0,27
Piatră spartă mare sort 63-80	400	0,25
Agregate naturale stabilizate cu ciment	600	0,25
Piatră spartă cilindrată	400*	0,27
Pavaje	350	0,27
Bolovani	200	0,27

*În cazul în care aceste materiale constituie un strat inferior de fundație, modulul de elasticitate dinamic se stabilește cu relația (1.3).

Pentru mixturile asfaltice din straturile bituminoase existente în calcule se utilizează valorile modulului de elasticitate dinamic date în tabelul 1.4, funcție de starea de degradare a îmbrăcămintei rutiere vechi. Valoarea coeficientului lui Poisson pentru aceste materiale este de 0,35.

Valorile de calcul ale modulilor de elasticitate dinamici ai materialelor din straturile rutiere existente și din terenul de fundare sunt valori minime,

corespunzătoare unei probabilități de 85 %. În vederea stabilirii valorilor acestor caracteristici, specifice sectorului de drum analizat, se recomandă determinarea lor pe baza rezultatelor măsurărilor cu deflectometrul cu sarcină dinamică, utilizând programe de calcul adecvate.

Tabelul 1.4.

Parametrul de degradare a îmbrăcămintei bituminoase, conform Indicativului CD 155	Indicele global de degradare, conform Normativului AND 540	Tip climateric:	
		I și II	III
		E, în MPa	
Sub 0,10	Peste 85	3 300	4 700
0,10...0,30	65...85	3 000	3 800
Peste 0,30	Sub 65	2 500	3 000

Pentru straturile de ranforsare se estimează grosimea acestora, astfel încât aceasta să corespundă condițiilor constructive și tehnologice specifice. Valoarea de calcul a coeficientului lui Poisson pentru straturile bituminoase noi este de 0,35, iar pentru straturile stabilizate noi de 0,25. Valorile de calcul ale modului de elasticitate dinamic pentru materialele din straturile pentru ranforsare sunt prezentate în tabelul 1.5.

Tabelul 1.5.

Material	Tip strat rutier	Rezistența la întindere (R_t), în MPa	Tip climateric:	
			I și II	III
			E, în MPa	
Mixturi asfaltice preparate cu bitum D 80/100	Uzură	-	3 600	4 200
	Legătură	-	3 000	3 600
	Bază	-	5 000	5 600
Mixturi asfaltice cu bitum modificat	Uzură	-	4 000	4 500
	Legătură	-	3 500	4 000
Betoane asfaltice stabilizate cu fibre, (B.A.S.F. 16)	Uzură	-	3 300	4 000
Betoane asfaltice stabilizate cu fibre, (B.A.S.F. 8)	Uzură	-	3 000	3 600
Agregate naturale stabilizate cu ciment	Bază	0,40	1 200	
	Fundație	0,35	1 000	
Agregate naturale stabilizate cu zgură granulată	Bază	0,35	1 200	
	Fundație	0,20	700	
Agregate naturale stabilizate cu cenușă de termocentrală	Bază	0,50	1 800	
	Fundație	0,30	1 100	
Agregate naturale stabilizate cu tuf vulcanic	Bază	0,55	1 200	
	Fundație	0,35	750	

În cazul în care mixtura asfaltică pusă în operă va fi diferită de cea prescrisă prin reglementările în vigoare, valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic se vor determina prin încercări de laborator specifice.

Analiza complexului rutier la acțiunea osiei standard se efectuează cu ajutorul programului de calcul CALDEROM 2000, care urmărește determinarea analitică, cu ajutorul modelului Burmister, a stării de tensiuni și de deformații în complexul rutier considerat ca un mediu multistrat (maximum cinci straturi). Fiecare strat este considerat un solid elastic liniar, omogen și izotrop, infinit în plan orizontal și cu grosime cunoscută în plan vertical, cu excepția terenului de fundare care este considerat semi-infinit în plan vertical.

Datele de intrare necesare calculului cu programul CALDEROM 2000 sunt grosimea fiecărui strat (exclusiv a terenului de fundare) și caracteristicile de deformabilitate ale fiecărui material care intră în alcătuirea complexului rutier.

Programul consideră că între straturile complexului rutier există aderență (straturi legate), iar punctele de calcul al stării de tensiune și de deformație se situează pe o verticală dusă prin centrul sarcinii, la niveluri solicitate de specialist. Aceste niveluri sunt interfețele dintre straturi de naturi diferite (originea fiind suprafața îmbrăcămintei proiectate), astfel încât să se poată determina deformațiile specifice și, după caz, tensiunile în punctele critice ale complexului rutier, și anume:

- deformația specifică orizontală de întindere la baza straturilor bituminoase noi (ϵ_r), în microdeformații;
- deformația specifică verticală de compresiune la nivelul patului drumului (ϵ_z), în microdeformații;
- tensiunea orizontală de întindere la baza stratului (straturilor) din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici (σ_r), în MPa.

Deoarece numărul maxim de straturi din complexul rutier calculat nu poate să fie mai mare de cinci, două sau mai multe straturi de aceeași natură se pot echivala în unul singur cu grosimea egală cu suma grosimilor straturilor care se echivalează și cu un modul de elasticitate dinamic mediu ponderat (E_m) al pachetului respectiv de straturi, a cărui valoare se calculează cu relația următoare:

$$E_m = \left[\frac{\sum \left(E_i^{\frac{1}{3}} \cdot h_i \right)}{\sum h_i} \right]^3 \quad [\text{MPa}] \quad (1.4)$$

În mod obișnuit, straturile bituminoase (cele existente și/sau cele noi) sunt caracterizate în metoda de calcul printr-un modul de elasticitate dinamic mediu ponderat.

Stabilirea comportării sub trafic a complexului rutier ranforsat urmărește calcularea grosimii straturilor de ranforsare (straturi bituminoase și eventual

straturi stabilizate) pentru care sunt respectate criteriile de dimensionare menționate anterior. Se urmărește verificarea tuturor criteriilor de dimensionare.

Criteriul deformației specifice de întindere admisibile la baza straturilor bituminoase este îndeplinit dacă rata de degradare prin oboseală (RDO) are o valoare mai mică sau cel mult egală cu cea admisibilă (RDO_{adm}), care are valori cuprinse între 0,80 (autostrăzi și drumuri expres) și 1,00 (drumuri județene, comunale și vicinale).

Rata de degradare prin oboseală (RDO) se calculează cu relația următoare:

$$RDO = \frac{N_c}{N_{adm}} \quad [-] \quad (1.5)$$

în care:

N_c este traficul de calcul în osii standard de 115 kN, în milioane osii standard;

N_{adm} – numărul admisibil de solicitări, în milioane osii standard, care poate fi preluat de straturile bituminoase, corespunzător stării de deformație la baza acestora.

Numărul de solicitări admisibil care poate să fie preluat de straturile bituminoase se stabilește cu ajutorul legilor de oboseală a mixturii asfaltice, în funcție de categoria drumului sau a străzii și de traficul de calcul, astfel:

- pentru autostrăzi și drumuri expres, drumuri naționale europene, drumuri și străzi cu un trafic de calcul mai mare de un milion osii standard de 115 kN:

$$N_{adm} = 4,27 \cdot 10^8 \cdot \epsilon_r^{-3,97} \quad [m.o.s] \quad (1.6)$$

- pentru drumuri și străzi cu trafic de calcul cel mult egal cu un milion osii standard de 115 kN:

$$N_{adm} = 24,5 \cdot 10^8 \cdot \epsilon_r^{-3,97} \quad [m.o.s] \quad (1.7)$$

În cazul în care RDO nu satisface condiția inițială, se repetă calculul cu creșterea grosimii straturilor bituminoase.

Criteriul deformației specifice verticale admisibile la nivelul terenului de fundare se consideră respectat dacă este îndeplinită condiția următoare:

$$\epsilon_z \leq \epsilon_{zadm} \quad [-] \quad (1.8)$$

în care:

ϵ_z este deformația specifică verticală de compresiune la nivelul terenului de fundare, în microdeformații, calculată cu programul de calcul CALDEROM 2000;

ϵ_{zadm} – deformația specifică verticală admisibilă la nivelul terenului de fundare, în microdeformații, calculată cu una din următoarele relații, funcție de importanța drumului proiectat:

- pentru autostrăzi și drumuri expres, drumuri naționale europene, drumuri și străzi cu trafic mai mare de un milion osii standard de 115 kN:

$$\varepsilon_{zadm} = 329 \cdot N_c^{-0.27} \quad [\text{microdef}] \quad (1.9)$$

- pentru drumuri și străzi cu trafic de calcul cel mult egal cu un milion de osii standard de 115 kN:

$$\varepsilon_{zadm} = 600 \cdot N_c^{-0.28} \quad [\text{microdef}] \quad (1.10)$$

Dacă relația 1.8 nu este îndeplinită, se repetă calculul cu sporirea grosimii stratului (straturilor) din agregate naturale stabilizate (dacă ranforsarea implică folosirea unor astfel de straturi), respectiv a grosimii straturilor bituminoase, dacă ranforsarea se face numai cu straturi din mixturi asfaltice.

Criteriul tensiunii de întindere admisibile la baza stratului (straturilor) din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici se aplică numai la ranforsările la care s-au folosit astfel de straturi și presupune respectarea următoarei condiții:

$$\sigma_r \leq \sigma_{r adm} \quad [-] \quad (1.11)$$

în care:

σ_r este tensiunea orizontală de întindere la baza stratului (straturilor) din agregate naturale stabilizate cu ciment sau lianți puzzolanici, rezultată din calculul cu programul CALDEROM 2000;

$\sigma_{r adm}$ – tensiunea de întindere admisibilă, în MPa, calculată cu relația următoare:

$$\sigma_{r adm} = R_t \cdot (0,60 - 0,056 \cdot \log N_c) \quad [\text{MPa}] \quad (1.12)$$

în care:

R_t este rezistența la întindere a agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în MPa, prezentată în tabelul 1.6;

N_c – traficul de calcul în milioane osii standard de 115 kN.

Rezistența la întindere a agregatelor stabilizate cu lianți hidraulici și puzzolanici (la 360 zile de la prepararea epruvetelor) are valorile prezentate în tabelul 1.6.

În cazul în care acest criteriu de dimensionare nu este îndeplinit, se reface calculul pentru o altă alcătuire a straturilor rutiere de ranforsare, cu recomandarea de îngroșare a stratului (straturilor) din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

1.1.2. Ranforsarea cu beton de ciment

Ranforsările cu beton de ciment ale structurilor rutiere suple sau mixte existente constau în realizarea de dale din beton cu rigiditatea foarte mare în raport cu cea a structurii rutiere inițiale. Astfel, presiunile verticale care apar sub dale la trecerea sarcinilor din trafic sunt repartizate pe o suprafață mare, deci sunt de valori

reduse, cu excepția zonelor situate în dreptul rosturilor sau a marginii dalelor unde presiunile verticale sunt mai mari.

Tabelul 1.6.

Tipul liantului și al stratului	R _t , în MPa
A. Agregate naturale stabilizate cu ciment pentru: - strat de bază - strat de fundație	0,40 0,35
B. Agregate naturale stabilizate cu zgură granulată pentru: - strat de bază - strat de fundație	0,35 0,20
C. Agregate naturale stabilizate cu cenușă de termocentrală pentru: - strat de bază - strat de fundație	0,50 0,30
D. Agregate naturale stabilizate cu tuf vulcanic pentru: - strat de bază - strat de fundație	0,55 0,35

Dimensionarea ranforsărilor cu beton de ciment la structuri rutiere suple și mixte se efectuează pe baza criteriului tensiunii admisibile la întindere din încovoiere a betonului de ciment rutier. Criteriul de dimensionare se exprimă prin relația următoare:

$$\sigma_i \leq \sigma_{adm} \quad [-] \quad (1.13)$$

în care:

σ_i este tensiunea de întindere din încovoiere a betonului de ciment din dală, datorită încărcării combinate (încărcări din trafic și din gradientul de temperatură);

σ_{adm} – tensiunea de întindere din încovoiere admisibilă a betonului de ciment rutier (dacă dala este realizată în două straturi atunci caracteristica se referă la stratul de rezistență).

Datele necesare privind caracteristicile geotehnice ale terenului de fundare, alcătuirea structurii rutiere existente, regimul hidrologic al complexului rutier și cele privind solicitarea din trafic se obțin în mod similar ca și la pct. 1.1.1, calculul efectuându-se pe sectoare omogene de drum.

Schema de calcul folosită pentru ranforsările cu beton de ciment este modelul cu element finit realizat prin procedeul multistrat, și alcătuit din: dală de beton de ciment și stratul echivalent straturilor rutiere reale existente. Ipotezele care se consideră sunt următoarele:

- coeficientul dinamic este 1,2, deci presiunea de calcul va fi $0,625 \times 1,2 = 0,75$ MPa;

- încărcarea din trafic este sarcina pe roata dublă a osiei standard de 115 kN, sporită cu coeficientul de impact și transmisă structurii printr-o amprentă dreptunghiulară de 25x37 cm, tangentă la marginea dalei și echivalentă cu amprenta eliptică reală;

- încărcarea din variații zilnice de temperatură este datorată gradientului zilnic de temperatură considerat constant și egal cu 0,67 din grosimea dalei pentru mijlocul și marginea dalei;

- dala reazemă uniform pe structura rutieră existentă;

- deplasările la contactul dintre dală și stratul echivalent straturilor reale existente sunt definite prin modulul de reacție la suprafața stratului de reazemare.

Calculul ranforsărilor cu beton de ciment la structuri rutiere suple și mixte se realizează pe baza succesiunii de operații descrise în continuare.

Determinarea traficului de calcul se efectuează în mod identic cu metoda precedentă (relația 1.1 sau 1.2). Perioada de perspectivă considerată în acest caz este de 30 ani, începând cu anul dării în exploatare a noii îmbrăcămînți rutiere.

Determinarea capacității portante a terenului de fundare presupune stabilirea modulului de reacție (coeficientului de pat) al terenului de fundare (K_o), ca și caracteristică de deformabilitate a acestui material. În acest scop se determină tipul pământului din terenul de fundare ca și în metoda precedentă și apoi modulul de reacție prin încercări "in situ" cu placa sau din tabelul 1.7. A doua soluție este recomandată pentru studii de prefezabilitate sau fezabilitate, drumuri locale, locuri de parcare, platforme etc.

Prezența unui eventual strat de formă la baza structurii rutiere existente implică considerarea grosimii acestuia în calculul grosimii echivalente a straturilor rutiere existente (relația 1.14).

Stabilirea alcătuirii structurii rutiere existente se realizează pe baza datelor existente la administratorul drumului (banca de date tehnice rutiere, dacă aceasta există) și/sau prin sondaje efectuate la fața locului.

Determinarea capacității portante a structurii rutiere existente constă în calcularea modulului de reacție la suprafața îmbrăcămînței (K). Acesta se determină funcție de modulul de reacție al terenului de fundare (K_o) și de grosimea echivalentă a straturilor existente (H_{ech}), determinată astfel:

$$H_{ech} = \sum_{i=1}^n h_i \cdot a_i \quad [cm] \quad (1.14)$$

în care:

n este numărul de straturi ale structurii rutiere existente;

h_i - grosimea echivalentă a stratului "i", în cm;

a_i - coeficientul de echivalare a stratului "i", determinat cu relația 1.15:

$$a_i = [E_i / 500]^{1/3} \quad [-] \quad (1.15)$$

în care:

E_i este modulul de elasticitate dinamic al materialului din stratul "i", determinat ca și în metoda precedentă (tabelul 1.4 și/sau 1.5, respectiv relația 1.3), în MPa;

500 - valoarea modulului de elasticitate dinamic al materialului etalon (piatră spartă), în MPa.

Valoarea acestor coeficienți de echivalare se poate determina și direct: 1,50 pentru mixturi asfaltice și balasturi stabilizate, 1,00 pentru piatră spartă și nisipuri stabilizate, 0,75 pentru balast și 0,50 pentru nisip.

Valoarea modulului de reacție la suprafața structurii rutiere existente (K) se obține astfel:

- pentru valori $K_o = 20 \dots 100 \text{ MN/m}^3$ și H_{ech} obținute cu relația 1.14, cu ajutorul diagramei din fig. 1.3 (extrapolată pentru intervalul $H_{ech} = 60 \dots 110 \text{ cm}$);

- pentru valori K_o mai mici de 20 MN/m^3 și valori ale grosimii totale efective a stratului de formă + strat de fundație + strat de bază pe baza abacelor din fig. 1.4 și 1.5.

Tabelul 1.7.

Tipul climateric	Regimul hidrologic	Tipul pământului:					
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	
		Modulul de reacție (K_o), în MN/m^3					
I	1	56	53	46	50	50	
	2a			44		46	48
	2b				46		
II	1		50		53	42	50
	2a			46			46
	2b						46
III	1	50	53	42	39	50	
	2a				37	44	
	2b						

Adoptarea clasei betonului de ciment rutier pentru ranforsare constă implicit și în determinarea caracteristicilor betonului de ciment compatibil cu importanța lucrării care urmează să se realizeze. În acest sens, se determină următoarele caracteristici:

- rezistența caracteristică la încovoiere ($R_{inc.150}^k$), care se stabilește funcție de clasa betonului, conform datelor din tabelul 1.8;

Tabelul 1.8.

Clasa betonului de ciment	B _c R 3,5	B _c R 4,0	B _c R 4,5	B _c R 5,0
Rezistența caracteristică la încovoiere ($R_{inc.150}^k$), în MPa	3,5	4,0	4,5	5,0

- modulul de elasticitate la solicitări de scurtă durată (pentru solicitări produse de trafic), $E = 30\ 000$ MPa;
- coeficientul lui Poisson: $\mu = 0,15$;
- densitatea aparentă a betonului de ciment $2\ 400$ kg/m³;
- modulul de elasticitate la solicitări de lungă durată (din variații de temperatură zilnice) este calculat cu relația: $0,5 \times 30\ 000 = 15\ 000$ MPa.

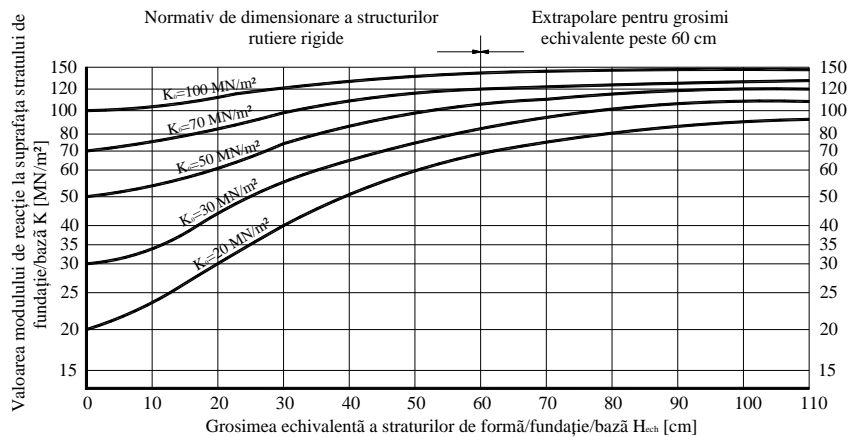


Fig. 1.3. Diagramă pentru calculul modului de reacție al structurii rutiere existente.

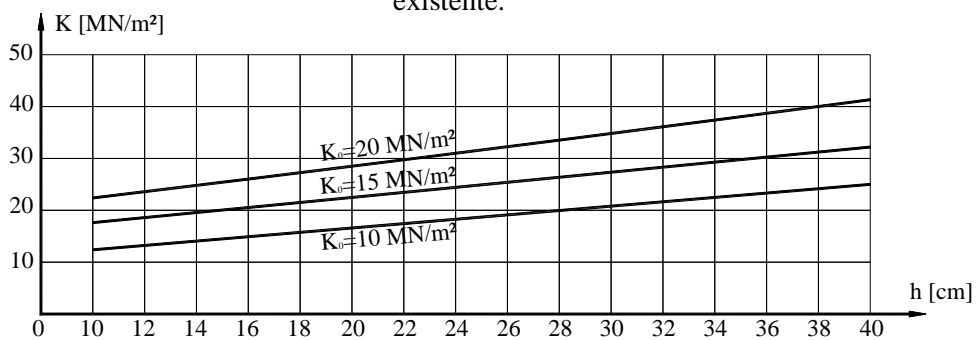


Fig. 1.4. Modulul de reacție la suprafața stratului de fundație sau de bază, în funcție de grosimea totală efectivă (h) a straturilor din materiale granulare.

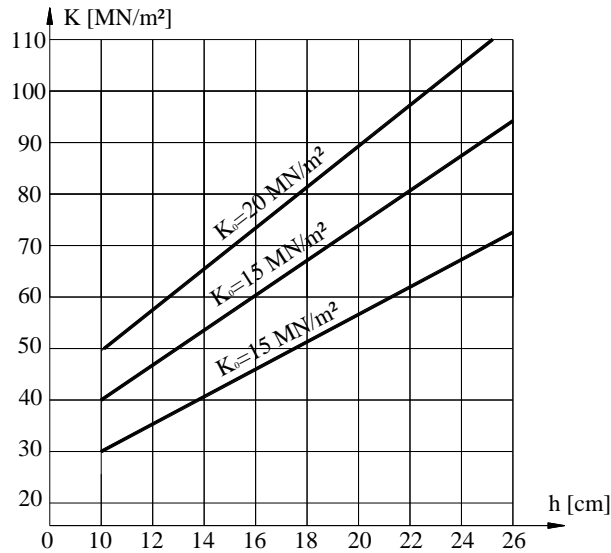


Fig. 1.5. Modulul de reacție la suprafața stratului de fundație sau de bază, în funcție de grosimea totală efectivă (h) a straturilor din materiale granulare stabilizate cu ciment sau lianți puzzolanici.

Determinarea tensiunii de întindere din încovoiere admisibilă a betonului de ciment rutier (σ_{adm}), utilizată în criteriul de dimensionare (relația 1.13), se efectuează cu relația următoare:

$$\sigma_{\text{adm}} = R_{\text{inc}}^k \alpha (0,70 - \gamma \log N_c) \quad [\text{MPa}] \quad (1.16)$$

în care:

R_{inc}^k este rezistența caracteristică la încovoiere a betonului de ciment la 28 zile, în MPa;

α - coeficient de creștere a rezistenței betonului în intervalul 28...90 zile, egal cu 1,1;

N_c - traficul de calcul, în milioane osii standard de 115 kN;

γ - coeficient egal cu 0,05, iar $(0,70 - \gamma \cdot \log N_c)$ este legea de oboseală.

Adoptarea ipotezei de dimensionare se efectuează funcție de clasa tehnică a drumului, astfel:

- ipoteza 1, corespunzătoare drumurilor de clasă tehnică I și II, presupune respectarea inegalității următoare:

$$\sigma_i = \sigma_t + 0,8 \cdot \sigma_{t\Delta t} \leq \sigma_{\text{adm}} \quad [-] \quad (1.17)$$

- ipoteza 2, corespunzătoare drumurilor de clasă tehnică III și IV, presupune respectarea inegalității următoare:

$$\sigma_i = \sigma_t + 0,8 \cdot 0,65 \cdot \sigma_{t\Delta t} \leq \sigma_{adm} \quad [-] \quad (1.18)$$

- ipoteza 3, corespunzătoare drumurilor de clasă tehnică V, presupune respectarea inegalității următoare:

$$\sigma_i = \sigma_t \leq \sigma_{adm} \quad [-] \quad (1.19)$$

în care:

σ_t este tensiunea de întindere din încovoiere datorată solicitării de calcul din trafic, în MPa;

$\sigma_{t\Delta t}$ - tensiunea de întindere din încovoiere datorată gradientului zilnic de temperatură, în MPa.

Determinarea grosimii dalei din beton de ciment (H) necesară ranforsării complexului rutier considerat se efectuează cu diagrame de dimensionare, prin interpolare liniară, pe baza valorii modului de reacție la suprafața structurii rutiere existente (K) și a tensiunii de întindere din încovoiere admisibile a betonului de ciment folosit (σ_{adm}). Diagramele de dimensionare pentru cele trei ipoteze de încărcare sunt prezentate în fig. 1.6; 1.7 și 1.8.

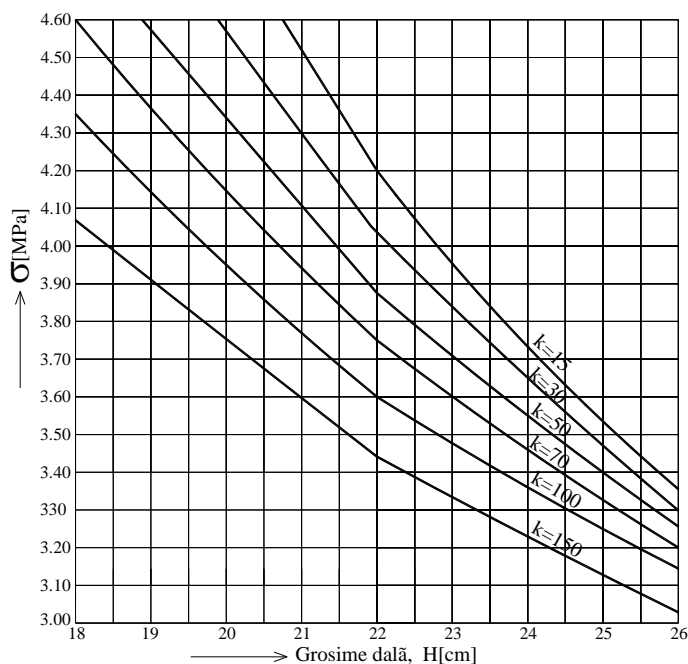


Fig. 1.6. Diagrama de dimensionare a dalelor din beton pentru ipoteza 1 de calcul.

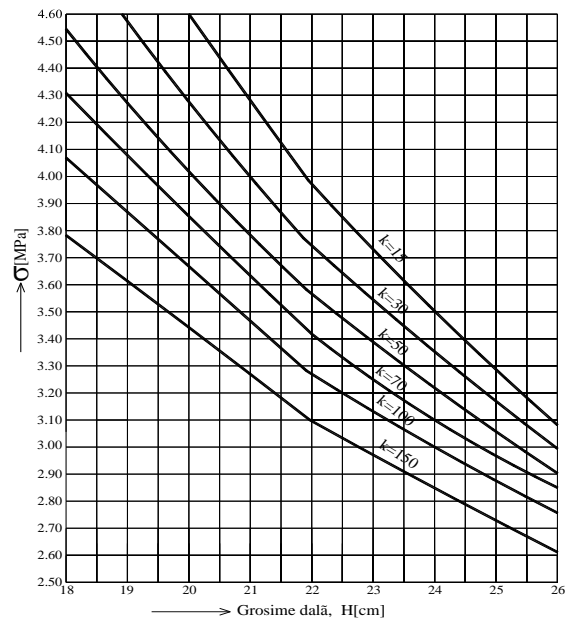


Fig. 1.7. Diagrama de dimensionare a dalelor din beton pentru ipoteza 2 de calcul.

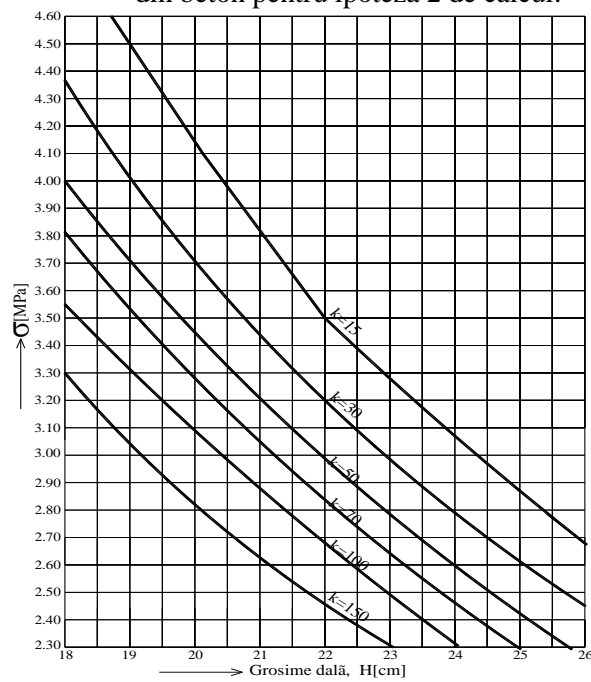


Fig. 1.8. Diagrama de dimensionare a dalelor din beton pentru ipoteza 3 de calcul.

Grosimea constructivă minimă a dalelor din beton de ciment utilizate pentru ranforsarea structurilor rutiere suple și mixte trebuie să fie de 18 cm, iar soluția tehnică rezultată din calculul de dimensionare se va analiza dacă se justifică din punct de vedere economic.

1.1.3. Calculul pe baza măsurătorilor de deflexiuni sub sarcină dinamică

În România există două tipuri de deflectometre cu sarcină dinamică (PHOENIX FWD și DYNATEST FED), care permit determinarea capacității portante a complexelor rutiere existente pe baza deflexiunilor măsurate.

Nu se va urmări prezentarea în detaliu a modului de calcul al capacității portante a structurilor rutiere existente, a determinării duratei de exploatare reziduală și a grosimii straturilor necesare ranforsării deoarece fiecare aparat cu sarcină dinamică dispune de o metodă proprie de măsurare și interpretare a deflexiunilor măsurate, precum și de un program de calcul specific. În plus, numărul acestor aparate este limitat la nivel național (trei în prezent), iar interpretarea datelor obținute se efectuează de echipe specializate în acest domeniu.

Programele de calcul permit folosirea directă a fișierelor de date culese de pe teren, precum și alegerea unui set de parametri (metodologici, structurali, de proiectare etc.) ce vor fi utilizați în calculele ulterioare.

Se remarcă faptul că prin analiza datelor colectate din teren, cunoscându-se grosimile straturilor și starea de degradare a îmbrăcămintei rutiere, se permite determinarea modulilor de elasticitate dinamici ai materialelor din fiecare strat rutier existent, inclusiv a terenului de fundare. Prin introducerea în plus a datelor de trafic, se permite determinarea capacității portante existente și a duratei de exploatare reziduală.

Metoda de interpretare a rezultatelor investigațiilor nedistructive, de evaluare și de dimensionare a straturilor de ranforsare se aplică în fiecare punct de testare.

Pentru a se realiza corespondența între calcule și condițiile din teren în momentul testării, rezultatele sunt corectate potrivit parametrilor standard de dimensionare. Pentru corecție sunt avute în vedere mai multe categorii de condiții climaterice și regimuri hidrologice. Modulul de elasticitate dinamic al straturilor bituminoase se corectează în raport cu temperatura de măsurare a deflexiunilor, iar modulii straturilor din materiale granulare se corectează funcție de condițiile de umiditate etc.

Durata de exploatare reziduală obținută în fiecare punct de testare se compară cu durata de exploatare impusă. Se stabilesc astfel sectoarele de drum care nu corespund condițiilor impuse și se creează pentru administratorul drumului un instrument obiectiv de apreciere directă a stării în care se găsește un anumit sector la un moment dat.

În final, calculul ranforsării ia în considerare tipul materialului, agresivitatea traficului și durata de exploatare impusă, iar grosimea minimă a straturilor bituminoase pentru ranforsare, din condiții constructive, trebuie să fie mai mare de 8 cm.

Prin aceste investigații de mare capacitate, administratorul drumului primește la momentul respectiv soluția tehnică pentru readucerea capacității portante a complexului rutier la nivelul solicitat de evoluția traficului rutier și îi permite acestuia identificarea sectoarelor care trebuie abordate în prima etapă.

1.1.4. Calculul pe baza măsurătorilor de deflexiuni sub sarcină statică

Aparatele cel mai des folosite pe plan mondial și în țara noastră pentru determinarea deflexiunilor sub sarcină statică sunt deflectometrul Benkelman și deflectograful Lacroix.

Deflectografia și deflectometria se utilizează pentru determinarea capacității portante a complexelor rutiere existente. Capacitatea portantă efectivă astfel determinată se utilizează pentru:

- determinarea stării tehnice a drumurilor publice (indicele de capacitate portantă);
- verificarea capacității portante a complexelor rutiere realizate pe drumuri noi, prin compararea cu deflexiunea admisibilă în funcție de clasa de trafic;
- dimensionarea straturilor de ranforsare a structurilor rutiere suplimentare pentru clase de trafic FOARTE UȘOR....GREU, respectiv pentru trafic FOARTE GREU se utilizează doar pentru evaluarea preliminară a necesităților de ranforsare;
- stabilirea soluțiilor de ranforsare, conform "Catalogului de soluții tip de ranforsare a structurilor rutiere suplimentare și mixte pentru sarcina de 115 kN pe osia simplă";
- controlul calității lucrărilor în timpul execuției, în cazul drumurilor noi, reabilitărilor sau ranforsărilor (de regulă cu pârghia Benkelman);
- stabilirea capacității portante a drumurilor nemodernizate (numai cu pârghia Benkelman).

Se prezintă succint în continuare metodele aplicate curent pentru determinarea deflexiunilor sub sarcină statică.

1.1.4.1. Metoda cu deflectometrul Benkelman

Determinarea deformabilității cu ajutorul deflectometrului cu pârghie Benkelman constituie o metodă nedistructivă de măsurare rapidă a deformațiilor elastice reversibile ale complexelor rutiere suplimentare și mixte.

Deflectometrul Benkelman se utilizează pentru determinarea capacității portante pe drumuri naționale secundare, drumuri județene și comunale.

Deflectometrul cu pârghie tip Benkelman are părțile componente precizate în fig. 1.9.

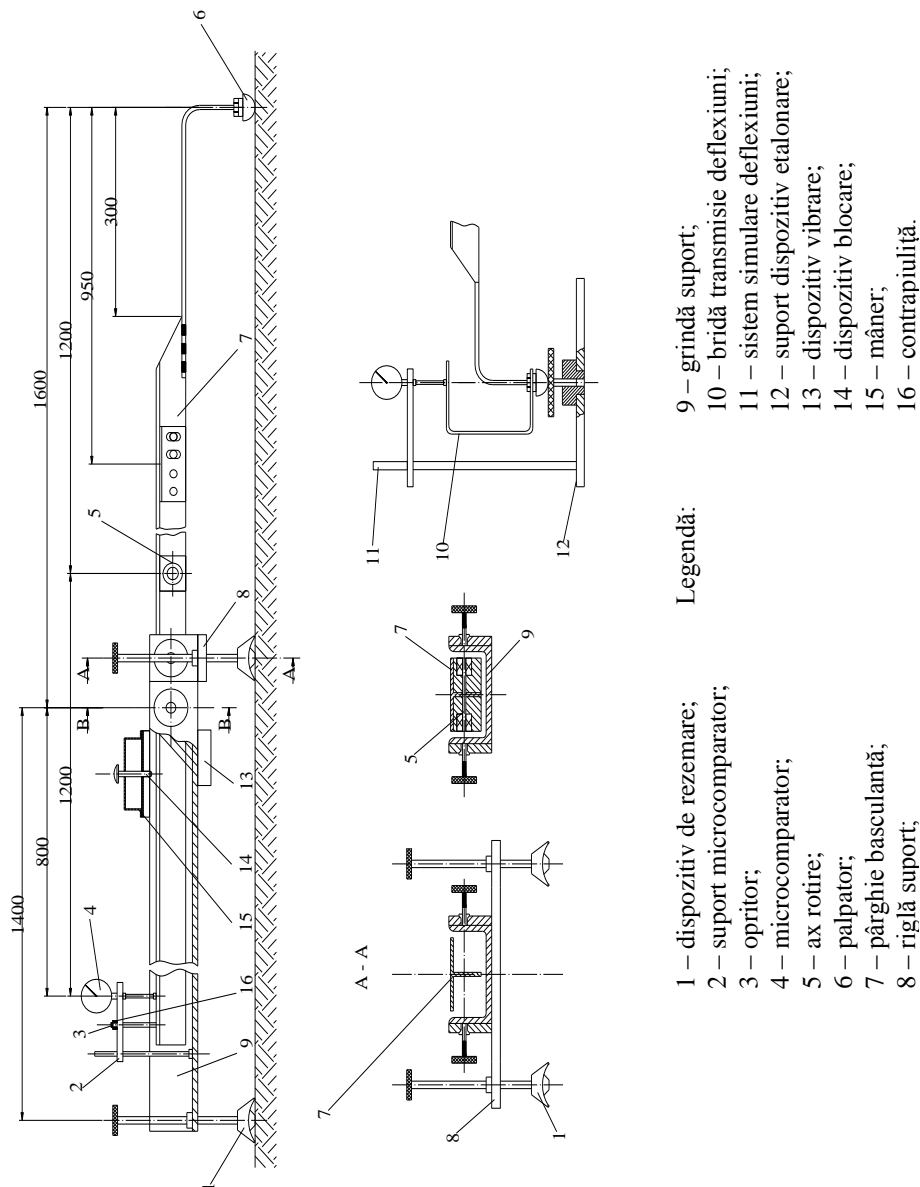


Fig. 1.9. Deflectometrul cu pârghie (Benkelman).

La efectuarea măsurătorilor se utilizează un vehicul de măsurare cu osia din spate simplă și cu roți duble. Sarcina pe osia respectivă trebuie să fie de 65...115 kN, iar presiunea de umflare a pneurilor de 6,25...6,75 atm. Se recomandă utilizarea autocamioanelor de tipul R 6135; R8135 și R 10215, care să aibă sarcina pe osia din spate cât mai apropiată de 115 kN.

Măsurarea deformabilității unui sector de drum în studiu se face pe sectoare omogene. Un sector de drum se consideră omogen dacă de-a lungul lui se pot face aceleași observații referitoare la: anul dării în exploatare, tipul structurii rutiere, tipul profilului transversal, regimul de umezire al terasamentelor, regimul climateric, caracteristicile geotehnice ale terenului de fundare, starea tehnică.

Măsurătorile pe un sector omogen se realizează în profiluri transversale cât mai apropiate (max. 20,00 m) pentru a se obține o informație cât mai exactă asupra modului de variație a capacității portante în lungul drumului.

Pe fiecare sector omogen se efectuează măsurători pe două fire de măsurare situate la distanța de cca 1,00 m de marginea părții carosabile. Măsurătorile efectuate pe un fir de măsurare trebuie să fie echidistante, iar numărul punctelor de măsurare nu trebuie să fie mai mic de 20. Măsurătorile se pot realiza concomitent pe două direcții de măsurare (cu două aparate și două echipe de operatori), sub ambele roți duble ale autovehiculului.

Deflectometrul poate fi utilizat cu montarea pârghiei în două poziții și anume într-un raport 2:1 sau 1:1. Se recomandă ca instalarea pârghiei să fie făcută în poziția 2:1, poziția 1:1 fiind utilizată în cazul măsurătorilor efectuate pe complexe rutiere cu capacitate portantă foarte ridicată.

Înainte de efectuarea măsurătorilor, se procedează la etalonarea deflectometrului Benkelman cu ajutorul dispozitivului din fig. 1.9. Se urmărește stabilirea corelației între valoarea deplasării verticale a vârfului de contact (controlată prin al doilea microcomparator atașat dispozitivului de etalonare) și citirea deflexiunii pe microcomparatorul aparatului. Legea de corelație obținută se folosește la corectarea deflexiunilor măsurate pe teren.

Măsurarea deformației elastice reversibile se efectuează în modul următor:

- se assemblează deflectometrul Benkelman și se blochează;
- se aduce autocamionul cu una din roțile duble din spate deasupra punctului în care se realizează măsurarea;
- se introduce vârful de contact al deflectometrului între pneurile roților duble astfel ca acesta să fie plasat în centrul suprafeței de contact dintre pneuri (fig. 1.10). În cazul în care măsurătorile se efectuează pe balast, pietruiri sau macadam, vârful de contact se așază pe suprafața stratului prin intermediul unui palpator cilindric (aflat în dotarea aparatului);
- se aduce suportul aparatului în poziția orizontală, manevrând cele două șuruburi reglabile în sensul cerut de aducerea bulei de aer între repere;
- se aduce partea posterioară a pârghiei basculante în contact cu microcomparatorul și se pun indicatoarele acestuia la poziția zero. Se recomandă ca timpul total pentru staționarea autocamionului pe punctul de măsurare să fie de max. 30 s, timpul total admis pentru efectuarea primei citiri fiind de 60 s;
- se îndepărtează autocamionul de pe punctul de măsurare (fără șocuri) și se face citirea pe microcomparator în momentul în care axa roților duble se găsește

la 2,40 m ($C_{2,40}$) și apoi la 5,0 m ($C_{5,0}$), această citire efectuându-se la 60 s de la îndepărtarea autocamionului de pe punctul de măsurare.

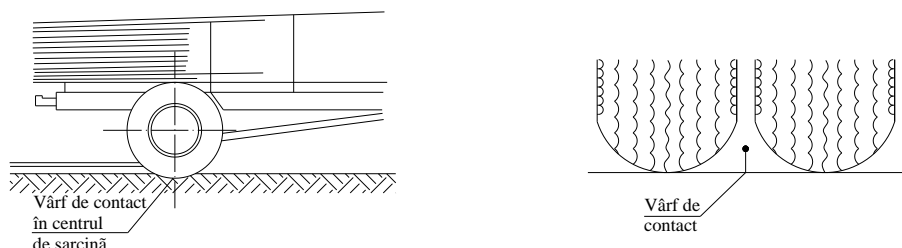


Fig. 1.1. Deflectometrul instalat pentru măsurătoare.

Datele obținute pentru fiecare punct de măsurare ($C_{2,4}$ și $C_{5,0}$ pentru fiecare profil transversal considerat) se trec în formulare tipizate, după care se efectuează interpretarea măsurătorilor, calculându-se următoarele date:

- valoarea deflexiunii la 2,4 m ($d_{2,4}$) calculată, funcție de citire ($C_{2,4}$), cu formula:

$$d_{2,4} = A + B \cdot C_{2,4} \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (1.20)$$

în care:

A este termenul liber al dreptei de regresare, determinată în urma etalonării aparatului;

B – panta dreptei de regresie determinată în urma etalonării aparatului;

- valoarea deflexiunii la 5,0 m ($d_{5,0}$) calculată, funcție de citirea $C_{5,0}$, cu formula:

$$d_{5,0} = A + B \cdot C_{5,0} \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (1.21)$$

în care A și B au semnificațiile de mai sus:

- valoarea deflexiunii corelată în funcție de linia de influență, cu relația:

$$d = 2 \cdot d_{5,0} - d_{2,4} \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (1.22)$$

- valoarea deflexiunii transformată în valoare corespunzătoare vehiculului etalon, cu relația:

$$d_i = 115 \cdot d / P \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (1.23)$$

în care:

d este valoarea deflexiunii corespunzătoare osiei din spate a vehiculului etalon (115 kN), în 1/100 mm;

P – sarcina pe osia din spate a vehiculului de măsurare, în kN.

De asemenea, în formularele tipizate se determină și valoarea d_i^2 care este necesară în calculele următoare.

Măsurătorile cu deflectometrul se efectuează în perioadele în care complexul rutier lucrează în condițiile hidrologice cele mai defavorabile și anume:

- primăvara, după dezgheț sau la cel mult 15 zile după perioada ploilor de primăvară (aprilie, mai);
- toamna, după cel puțin 10...15 zile de ploi care au condus la crearea condițiilor hidrologice defavorabile, dar înainte de îngheț.

Măsurătorile efectuate în alte perioade decât cele menționate anterior au numai un caracter informativ.

Confirmarea condițiilor hidrologice defavorabile se recomandă să se realizeze prin încercarea în laborator pe probe prelevate din terenul de fundare. Aprecierea condițiilor hidrologice defavorabile se realizează în funcție de umiditatea relativă exprimată prin raportul dintre umiditatea naturală și limita superioară de plasticitate a pământului analizat (w/w_L), ca medie a două probe. În acest sens se stabilește tipul pământului funcție de granulozitate și limitele de plasticitate (tabelul 1.1), după care umiditatea relativă obținută anterior se compară cu datele din tabelul 1.9.

Tabelul 1.9.

Tipul pământului	Umidități relative (w/w_L):					
	Tipul climateric:					
	I		II		III	
	Tipul profilului transversal:					
	Rambleu	La nivelul terenului sau debleu, profil mixt	Rambleu	La nivelul terenului sau debleu, profil mixt	Rambleu	La nivelul terenului sau debleu, profil mixt
P ₃	0,495	0,570	0,509	0,540	0,585	0,621
P ₄	0,436	0,510	0,482	0,527	0,585	0,625
P ₅	0,495	0,500	0,545	0,545	0,581	0,600

Dacă valoarea umidității relative este mai mare decât valoarea minimă din tabelul 1.9, atunci complexul rutier lucrează în cele mai defavorabile condiții hidrologice. În cazul profilurilor mixte, regimul hidrologic al terasamentului se determină în funcție de umiditatea relativă a terenului de fundare din săpătură.

Regimul hidrologic al sectoarelor de drum cu teren de fundare de tip P₁ sau P₂ va fi același cu cel al sectoarelor de drum imediat alăturate cu teren de fundare de tip P₃; P₄ și P₅.

Indiferent de perioada în care se vor face măsurătorile pe îmbrăcăminti bituminoase, temperatura mixturii asfaltice din îmbrăcăminte nu trebuie să fie sub 5 °C și nu trebuie să depășească 30 °C.

În continuare, rezultatele obținute se prelucrează statistic calculându-se următoarele caracteristici:

- valoarea deflexiunii medii cu relația:

$$d_{BM} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad [1/100 \text{ m }] \quad (1.24)$$

în care:

d_{BM} este media aritmetică a deflexiunilor Benkelman, în 1/100 mm;
 d_i – valorile individuale ale deflexiunilor determinate cu relația 1.23;
 n – numărul valorilor individuale luate în calcul;
 - abaterea medie pătratică a șirului de valori cu relația:

$$S_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - n \cdot d_{BM}^2}{n}} \quad [1/100 \text{ m }] \quad (1.25)$$

în care:

S_B este abaterea medie pătratică, în 1/100 mm;
 d_{BM} , d_i și n au aceleași semnificații menționate anterior;
 - coeficientul de variație (C_v) cu relația:

$$C_v = \frac{S_B}{d_{BM}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.26)$$

- valoarea deflexiunii medii normale, care este cea corespunzătoare temperaturii mixturii asfaltice de 20 °C necesară pentru drumuri cu îmbrăcămînți bituminoase, se calculează astfel:

$$d_{BM20} = d_{BM} + c \cdot (20-t) \quad [1/100 \text{ mm }] \quad (1.27)$$

în care:

d_{BM20} este deflexiunea medie normală, în 1/100 mm;
 d_{BM} – deflexiunea medie corespunzătoare temperaturii medii în timpul măsurătorii, în 1/100 mm;
 $c = 1$ – coeficient de variație a deflexiunii pentru variația cu 1 °C a temperaturii medii;
 t – temperatura medie a straturilor bituminoase în timpul măsurării, în °C, iar pentru structuri rutiere mixte este:

$$d_{BM20} = c(t) \cdot d_{BM} \quad [1/100 \text{ mm }] \quad (1.28)$$

în care:

d_{BM20} și d_{BM} au semnificațiile din relația anterioară;
 $c(t) = 1,2 - 0,01 \cdot t$ și este un factor de transformare a deflexiunii medii corespunzătoare temperaturii t în deflexiune medie normală, stabilit în funcție de temperatura medie în perioada măsurării;

- se determină abaterea medie pătratică normală (S_{B20}), cu relația:

$$S_{B20} = C_v \cdot d_{BM20} \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (1.29)$$

în care:

C_v și d_{BM20} au semnificațiile sus-menționate.

În cazul în care măsurătorile au fost efectuate în alte perioade decât cele în care complexul rutier lucrează în cele mai defavorabile condiții, rezultatele obținute anterior se transformă în valori corespunzătoare condițiilor hidrologice cele mai defavorabile cu următoarele relații:

$$d'_{BM20} = C_1 \cdot d_{BM20} \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (1.30)$$

$$S'_{B20} = d'_{BM20} \cdot C_v \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (1.31)$$

în care:

d'_{BM20} este deflexiunea medie normală corespunzătoare condițiilor hidrologice cele mai defavorabile, în 1/100 mm;

C_1 – coeficient mediu ponderat de corecție, în funcție de tipul structurii rutiere, zone climatice și tipul profilului transversal, conform tabelului 1.10;

S'_{B20} – abaterea medie pătratică corespunzătoare condițiilor hidrologice cele mai defavorabile, în 1/100 mm;

d_{BM20} – deflexiunea medie normală corespunzătoare perioadei de măsurare, în 1/100 mm;

C_v – coeficientul de variație calculat anterior.

Tabelul 1.10.

Tipul structurii rutiere	Tipul climateric:					
	I		II		III	
	Tipul profilului transversal:					
	Rambleu	La nivelul terenului sau debleu, profil mixt	Rambleu	La nivelul terenului sau debleu, profil mixt	Rambleu	La nivelul terenului sau debleu, profil mixt
Suplă	1,00	1,10	1,30	1,50	1,50	1,60
Mixtă	1,10	1,20	1,10	1,20	1,10	1,20

Valoarea deflexiunii caracteristice se determină cu relația următoare:

$$d_{CB} = d_{BM20} + t_\alpha \cdot S_{B20} \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (1.32)$$

în care:

d_{CB} este valoarea deflexiunii caracteristice Benkelman, în 1/100 mm;

d_{BM20} (d'_{BM20}) – valoarea deflexiunii medii normale corespunzătoare perioadei când complexul rutier lucrează în cele mai defavorabile condiții hidrologice, în 1/100 mm;

S_{B20} (S'_{B20}) – abaterea medie pătratică corespunzătoare condițiilor hidrologice defavorabile, în 1/100 mm;

t_α – coeficient care depinde de probabilitatea apariției unor valori de deflexiuni mai mari decât deflexiunea caracteristică, de numărul de valori ale deflexiunii (n) și de clasa tehnică a drumului, conform tabelului 1.11.

Tabelul 1.11.

Numărul de valori ale deflexiunii, n	Clasa tehnică:	
	V, IV	I, II, III
	2,5 %	1,5 %
≤ 20	2,09	2,34
> 20	1,96	2,20

Pentru interpretarea rezultatelor obținute, valoarea deflexiunii caracteristice Benkelman (d_{CB}) se transformă în valoarea deflexiunii caracteristice Lacroix (d_{CL}) cu următoarea relație:

$$d_{CL} = 0,75 \cdot d_{CB} \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (1.33)$$

În situația în care se urmărește determinarea capacității portante pe drumuri nemodernizate, cu îmbrăcămînți provizorii (macadam sau pietruire), deflexiunea caracteristică (d_C) se calculează cu relația următoare:

$$d_C = d_M + t_\alpha \cdot S \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (1.34)$$

în care:

d_M este deflexiunea medie, în 1/100 mm;

S – abaterea medie pătratică, în 1/100 mm;

t_α – are aceeași semnificație ca și în situația precedentă.

Valorile indicatorilor statistici d_M și S sunt corespunzătoare capacității portante minime a complexului rutier (pentru cele mai defavorabile condiții hidrologice). În această situație relațiile de calcul anterioare rămân valabile, dar nu se efectuează corecția de temperatură a deflexiunilor măsurate.

Deflexiunea caracteristică determinată cu relația 1.34 se utilizează pentru stabilirea calificativului din punct de vedere al capacității portante minime a sectorului de drum nemodernizat, conform tabelului 1.12.

De asemenea, rezultatele măsurătorilor efectuate cu pârghia Benkelman se pot utiliza pentru controlul calității execuției lucrărilor de drumuri. În acest caz, valorile deflexiunii corespunzătoare vehiculului etalon (d) și ale coeficientului de variație (C_v) se interpretează în felul următor:

- interpretarea se realizează pe sectoare omogene de maximum 500 m;
- la nivelul terenului de fundare, când nu este prevăzut strat de formă, sau la nivelul inferior al stratului de formă, se consideră realizată capacitatea portantă

necesară dacă deflexiunea are valori mai mari decât cea admisibilă (tabelul 1.13) în cel mult 10 % din numărul punctelor de măsurare;

Tabelul 1.12.

Calificativul din punct de vedere al capacității portante minime	Valorile deflexiunii caracteristice d_c , în 0,01 mm:		
	Pentru pietruiri din balast sau piatră spartă	Pentru macadam sau blocaj	Pentru macadam penetrat sau protejat cu tratamente bituminoase de suprafață pe balast sau blocaj
Sector cu capacitate portantă suficientă	Sub 250	Sub 200	Sub 150
Sector cu capacitate portantă mediocră	250...300	200...250	150...200
Sector cu capacitate portantă insuficientă	Peste 300	Peste 250	Peste 200

Tabelul 1.13.

Tipul de pământ conform STAS 1243	Valoarea admisibilă a deflexiunii d_{adm} , în 0,01 mm
Nisip prăfos, nisip argilos	350
Praf nisipos, praf argilos-nisipos, praf argilos, praf	400
Argilă nisipoasă, argilă prăfoasă, argilă prăfoasă-nisipoasă, argilă	450

- la nivelul superior al stratului de formă, valoarea deflexiunii admisibile este de $200 \cdot 1/100$ mm;

- uniformitatea execuției se consideră satisfăcătoare dacă valoarea coeficientului de variație este de maximum 40 %;

- la nivelul superior al stratului de fundație din balast, valoarea admisibilă a deflexiunii este, funcție de grosimea stratului de fundație din balast și de modul de alcătuire a stratului superior al terasamentelor, cea prezentată în tabelul 1.14;

- la nivelul superior al stratului de fundație sau de bază din materiale granulare se consideră că uniformitatea execuției este corespunzătoare dacă valoarea coeficientului de variație este de maximum 35 %.

Tabelul 1.14.

Grosimea stratului de fundație din balast h, în cm	Stratul superior al terasamentelor alcătuit din:			
	Strat de formă conform STAS 12253	Tipul pământului conform STAS 1243		
		Nisip prăfos, nisip argilos	Praf nisipos, praf argilos, praf	Argilă, argilă nisipoasă, argilă prăfoasă
	d _{adm} , în 0,01 mm:			
10	185	323	371	411
15	163	284	327	366
20	144	252	290	325
25	129	226	261	292
30	118	206	238	266
35	109	190	219	245
40	101	176	204	227
45	95	165	190	213
50	89	156	179	201

NOTĂ: Balastul din stratul de fundație trebuie să îndeplinească condițiile de admisibilitate din SR 662 și STAS 6400.

Prelucrarea rezultatelor obținute în urma măsurătorilor cu pârghia Benkelman se poate efectua fie manual, fie cu ajutorul unor programe de calcul tabelar (de exemplu în EXCEL).

1.1.4.2. Metoda cu deflectograful Lacroix

Deflectograful Lacroix se utilizează pentru determinarea capacității portante pe toate categoriile de drumuri publice cu complexe rutiere suple sau mixte.

Metoda are la bază aceleași principii ca și metoda deflectometrului cu pârghie. Deflectograful Lacroix se compune dintr-un echipament de măsurare (partea mecanică) montat pe un autocamion și un echipament electronic de comandă, achiziție și prelucrare a datelor.

Grinda de măsurare sub formă de T alunecă pe suprafața părții carosabile printr-o mișcare discontinuă, datorită unei legături directe la roți (fig. 1.11). Ea se folosește ca plan de referință pentru măsurători de deflexiune și este realizată din profile metalice.

Măsurătorile se fac pe sectoare omogene de drum sub osia simplă din spate cu sarcina de 115 kN a autocamionului.

Măsurarea deflexiunilor totale (elastice și plastice) se face automat în profiluri transversale situate la 3,40 m unul de altul, înregistrându-se în același profil două măsurători, corespunzătoare celor două perechi de roți. În timpul măsurătorilor camionul se deplasează cu o viteză de 2...3 km/h.

Ca și în cazul deflectometrului Benkelman, înainte de începerea măsurătorilor se efectuează o calibrare a deflectografului, operație prin care se urmărește stabilirea corelației dintre valoarea deplasării pe verticală a brațului de măsurare a deflexiunii și semnalul înregistrat de programul de calcul.

Operația de calibrare se efectuează separat pe fiecare braț de măsurare, iar starea de funcționare a microcomparatorului dispozitivului se va verifica periodic.

Înregistrarea deflexiunilor pe cele două fire de măsurare se efectuează automat prin intermediul unui program de calcul specific.

Rezultatele măsurătorilor sunt stocate în fișiere tip, care pot fi vizualizate și/sau prelucrate cu programul de calcul al deflectografului.

Pentru prelucrarea rezultatelor măsurătorilor se pot folosi orice programe care dispun de o paletă largă de funcții statistice și interpretări grafice.

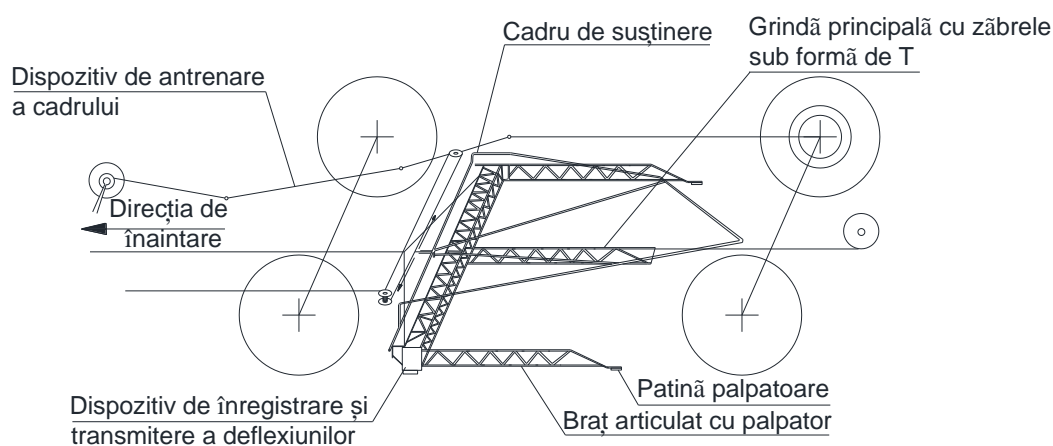


Fig. 1.11. Deflectograful Lacroix.

Deflexiunea caracteristică Lacroix (d_{CL}) se utilizează în metoda de dimensionare a ranforsărilor bazate pe măsurători de deflexiune.

1.1.4.3. Metodă de calcul al ranforsării

Pe baza măsurătorilor de deflexiuni realizate cu cele două tipuri de aparate, în România există o metodă de dimensionare a straturilor bituminoase de ranforsare a structurilor rutiere suple și mixte care se poate aplica cu destulă ușurință de către orice proiectant. Metoda implică o verificare a comportării la oboseală a straturilor bituminoase proiectate prin metoda analitică descrisă la pct. 1.1.1, verificare obligatorie în cazul drumurilor de clasă tehnică I...III și facultativă pentru drumuri de clasă tehnică IV și V.

Aplicarea prezentei metodologii de dimensionare a straturilor bituminoase se poate efectua pe toate drumurile publice cu structuri rutiere suple sau mixte, exclusiv cele europene, cu condiția cunoașterii modului de alcătuire a structurii

rutiere și a stării de degradare a îmbrăcămintei bituminoase existente. De asemenea, folosirea metodei de calcul la structurile rutiere mixte este limitată de modul de comportare a stratului (straturilor) din agregate naturale stabilizate cu ciment sau lianți puzzolanici, fiind permisă numai în cazul în care acesta are o comportare asemănătoare cu a unui strat din materiale granulare (deflexiuni mai mari de $50 \cdot 1/100$ mm).

Dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare se bazează pe criteriul deflexiunii admisibile la suprafața complexului rutier ranforsat, astfel încât acesta să prezinte o stare tehnică corespunzătoare pe o durată de perspectivă de 10 ani.

Metoda de dimensionare a straturilor bituminoase de ranforsare bazată pe determinarea capacității portante a complexului rutier existent presupune parcurgerea etapelor de calcul care vor fi descrise succint în continuare.

Împărțirea drumului în sectoare omogene se efectuează prin prelucrarea statistico-matematică a deflexiunilor măsurate, fie prin calcul automat (programul SECTOM, prezentat în instrucțiunile tehnice în vigoare), fie manual pe baza acelorași instrucțiuni. Porțiunile de drum sau punctele singulare caracterizate printr-o deformabilitate mult mai mare decât deformabilitatea medie a zonei omogene indică fie anomalii locale de drenaj, fie defecțiuni locale ale complexului rutier și trebuie să fie tratate prin studii suplimentare pentru stabilirea cauzelor care le produc și a procedurilor tehnice corecte de remediere.

Calculul deflexiunii caracteristice (d_{cl}) pentru fiecare sector omogen se realizează prin prelucrarea deflexiunilor măsurate pe benzi de circulație. Deflexiunea caracteristică utilizată în metoda de dimensionare este cea corespunzătoare tehnicii de măsurare cu deflectograful Lacroix. În cazul măsurătorilor cu deflectograful Benkelman, deflexiunea caracteristică obținută trebuie transformată în deflexiune caracteristică Lacroix.

Determinarea traficului de calcul (N_c) constă în stabilirea numărului total de osii standard de 115 kN care solicită complexul rutier pe banda de circulație cea mai solicitată pe întreaga durată de perspectivă (10 ani). Traficul de calcul se determină pornind de la datele ultimului recensământ de circulație, pe baza relațiilor precizate anterior.

Valoarea deflexiunii admisibile (d_{adm}) este funcție de volumul traficului de calcul și este dată în tabelul 1.15.

Calculul grosimii straturilor bituminoase pentru ranforsare (h) se efectuează pentru fiecare sector omogen și bandă de circulație, cu ajutorul relației următoare:

$$h = k \cdot \log \frac{d_{cl}}{d_{adm}} \quad [\text{cm}] \quad (1.35)$$

în care:

d_{cl} este deflexiunea caracteristică Lacroix, în $1/100$ mm;

d_{adm} – deflexiunea admisibilă, determinată funcție de volumul traficului din tabelul 1.15, în 1/100 mm;

k – coeficient care este funcție de clasa de trafic a drumului care se ranfursează, în cm (tabelul 1.15).

Tabelul 1.15.

Clasa de trafic	N_c , mil. osii standard pe banda de circulație cea mai solicitată	k , în cm	d_{adm} , în 1/100 mm
Foarte ușor	Sub 0,03	40	75
Ușor	0,03...0,10	40	70
Mediu	0,10...0,30	50	65
Greu	0,30...1,00	60	60
Foarte greu	1,00...3,00	70	45
Excepțional	Peste 3,00	90	40

Pentru un sector omogen, grosimea straturilor bituminoase pentru ranforsare este dată de valoarea maximă a grosimii calculată cu relația 1.35 pentru fiecare bandă de circulație.

În cazul în care grosimea straturilor de ranforsare rezultată prin calcule are valori mari, se impune efectuarea unor investigații suplimentare și, după caz, a unor studii speciale pentru eliminarea cauzelor care conduc la o capacitate portantă redusă a complexului rutier.

1.2. Soluții tehnice aplicate pentru ranforsare

Funcție de rezultatele obținute prin una din metodele de dimensionare a ranforsării, specialistul stabilește soluția tehnică concretă de realizare, cu luarea în considerare a condițiilor locale (materiale și tehnologii disponibile, condiții de solicitare din trafic și climatice, elemente geometrice etc.) și a grosimii totale a straturilor de ranforsare rezultată din calcule.

O atenție deosebită se va acorda măsurilor necesare pentru prevenirea degradărilor ce pot fi provocate complexului rutier de îngheț-dezghet, fiind obligatorie verificarea noii structuri rutiere la acțiunea acestui fenomen.

Soluțiile clasice de ranforsare constau fie în aplicarea unei noi îmbrăcăminți bituminoase în două straturi, fie în aplicarea unei noi îmbrăcăminți bituminoase în două straturi pe un strat de bază (strat din anrobate bituminoase sau din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici). De asemenea, se poate considera soluția ranforsării complexelor rutiere existente cu o nouă îmbrăcămintă din beton de ciment.

1.2.1. Ranforsarea cu îmbrăcăminți în două straturi

Această soluție constă în aplicarea unei îmbrăcăminți bituminoase noi direct pe îmbrăcămintea bituminoasă existentă, fără interpunerea unui strat de bază. Se aplică în cazul complexelor rutiere care nu și-au pierdut capacitatea portantă, dar nu mai fac față traficului de perspectivă.

Grosimea minimă constructivă a straturilor bituminoase pentru ranforsare este de 9 cm, situație în care se realizează o nouă îmbrăcăminți în două straturi (strat de legătură de min. 5 cm grosime și strat de uzură de min. 4 cm grosime). Aplicarea unei îmbrăcăminți bituminoase în două straturi se poate efectua pentru grosimi totale ale straturilor de ranforsare rezultate prin calcule de 9...13 cm.

Soluția se aplică pe o îmbrăcăminți bituminoasă existentă care prezintă fenomene de îmbătrânire a liantului bituminos, cu suprafețe poroase ori șlefuite sau cu fisuri și crăpături pe diferite direcții, acestea ocupând suprafețe importante. Panta transversală a îmbrăcăminței vechi poate avea o înclinare identică cu a celei noi sau mai mare. Îmbrăcămintea bituminoasă pentru ranforsare se realizează pe întreaga lățime a părții carosabile și a benzilor de încadrare, iar panta ei transversală trebuie să fie de 2,5 %.

Încadrarea îmbrăcăminței bituminoase noi se realizează prin benzi de încadrare dispuse în afara părții carosabile, în interiorul acostamentelor, cu lățimea de 0,25...0,75 m funcție de clasa tehnică a sectorului de drum respectiv. De exemplu, în fig. 1.12 se prezintă un profil transversal tip pentru ranforsarea unui complex rutier cu o îmbrăcăminți bituminoasă în două straturi și cu benzi de încadrare noi.

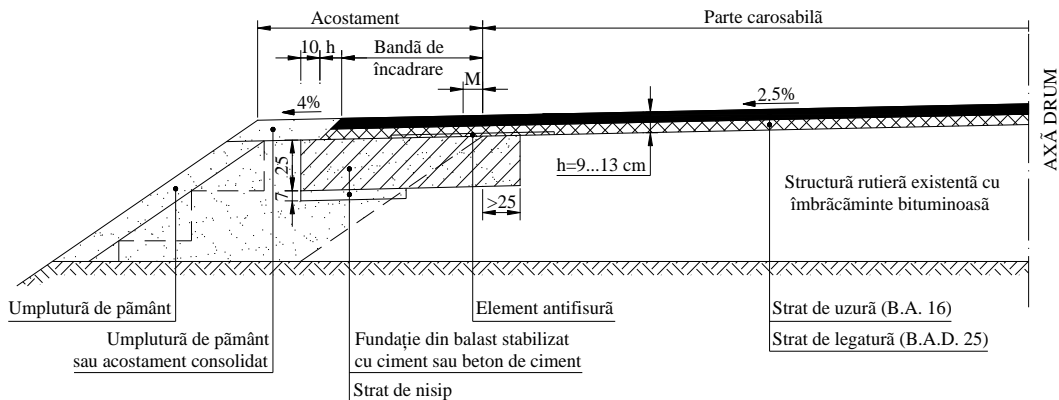


Fig. 1.12. Ranforsare prin realizarea unei îmbrăcăminți bituminoase.

Dacă drumul nu are benzi de încadrare, acestea trebuie construite odată cu ranforsarea complexului rutier, cu dispunerea unui element de evitare a transmiterii rostului longitudinal care se formează la interfața dintre cele două structuri rutiere prin straturile bituminoase superioare.

Capacitatea portantă a structurii rutiere care se proiectează pentru executarea benzilor de încadrare trebuie să fie egală cu a structurii rutiere de pe partea carosabilă. În general, realizarea structurii rutiere din lărgiri presupune realizarea unui strat inferior de fundație din balast (nisip) și a unui strat superior de fundație din balast stabilizat cu ciment.

Dacă partea carosabilă este încadrată cu borduri prefabricate sau din piatră naturală fasonată, se recomandă demolarea acestora și construirea unor benzi de încadrare în condițiile menționate anterior.

Existența unei structurii rutiere fără borduri și alte elemente grosiere în partea superioară a grosimii sale implică o mai ușoară folosire a tehnologiilor de reciclare pentru realizarea lucrărilor de reparații (periodice sau capitale), la terminarea duratei de exploatare prognozate.

1.2.2. Ranforsarea cu îmbrăcăminte și strat de bază

Acest sistem de ranforsare se aplică în cazul complexelor rutiere a căror capacitate portantă nu satisface cerințele traficului actual și de perspectivă și la care din calculul de dimensionare au rezultat grosimi ale straturilor bituminoase de ranforsare de 14...18 cm. În aceste situații, îmbrăcămintea bituminoasă în două straturi va fi așezată pe un strat de bază de min. 5 cm (fig. 1.13). Pentru grosimi ale straturilor bituminoase de ranforsare mai mari de 18 cm, proiectantul trebuie să efectueze studii tehnico-economice prin care să aleagă soluția de ranforsare dintre o refacere a structurii rutiere existente și o ranforsare cu beton de ciment.

Stratul de bază se realizează de regulă din anrobate bituminoase, dar poate fi executat și din macadamuri bituminoase (macadam penetrat sau macadam semipenetrat).

În fig. 1.13, se prezintă un exemplu de profil transversal tip pentru cazul ranforsării unui complex rutier cu strat de bază din anrobate bituminoase și îmbrăcăminte bituminoasă.

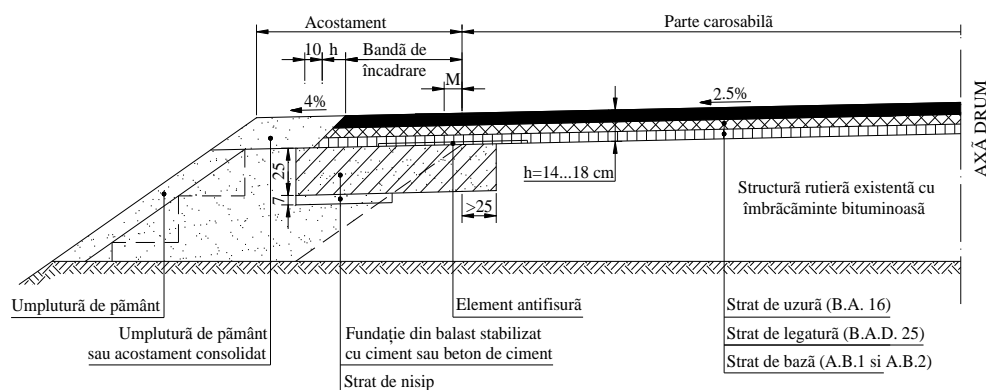


Fig. 1.13. Ranforsare cu strat de bază și îmbrăcăminte bituminoasă.

Benzile de încadrare care mărginesc îmbrăcămintea sunt obligatorii pentru clasele tehnice II...IV, iar în exemplul sus-menționat se consideră că îmbrăcămintea existentă este încadrată prin borduri, care se înlătură odată cu realizarea ranforsării.

Aplicarea stratului de bază se efectuează după realizarea lucrărilor specifice de pregătire a suprafeței de rulare a complexului rutier existent.

Se recomandă utilizarea straturilor de bază din anrobate bituminoase, care permit corectarea în condiții bune a profilurilor longitudinal și transversal ale drumului existent.

1.2.3. Ranforsarea cu strat de bază stabilizat

Ranforsarea complexelor rutiere cu îmbrăcămiți bituminoase și straturi de bază din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este o soluție tehnică avantajoasă prin care se folosesc eficient agregatele naturale locale. Stratul de bază stabilizat trebuie să aibă o grosime de min. 12 cm în cazul stabilizării cu ciment, respectiv de min. 18 cm (pentru trafic foarte ușor, ușor și mediu) și de min. 20 cm pentru trafic greu, în cazul stabilizării cu lianți puzzolanici. Stratul de bază stabilizat cu lianți puzzolanici se poate folosi numai pentru ranforsarea drumurilor al căror trafic de calcul este mai mic de un milion osii standard de 115 kN și implică, de regulă, acoperirea cu straturi bituminoase cu grosimea de min. 9 cm.

Folosirea stratului de bază din agregate naturale stabilizate cu ciment presupune acoperirea lui cu straturi bituminoase cu grosimea de min. 9 cm pentru clasele tehnice IV și V, de min. 10 cm pentru clasa tehnică III, respectiv de min. 15 cm pentru clasele tehnice I și II.

Aplicarea unei astfel de soluții tehnice de ranforsare se recomandă în cazul complexelor rutiere existente cu capacitate portantă insuficientă pentru suportarea traficului actual și cu multiple degradări care scot în evidență capacitatea portantă redusă.

Încadrarea pentru astfel de soluții tehnice de ranforsare se efectuează, ca și în cazurile precedente, prin benzi de încadrare care trebuie să aibă o capacitate portantă identică cu a părții carosabile, straturile de ranforsare realizându-se cu aceeași grosime, cu aceeași pantă transversală și în același timp, atât pe partea carosabilă cât și pe benzile de încadrare.

Un exemplu de profil transversal tip pentru cazul ranforsării unui complex rutier cu strat de bază din agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici sau hidraulici și îmbrăcăminte bituminoasă, în cazul unei îmbrăcămiți bituminoase existente fără borduri și fără benzi de încadrare, este prezentat în fig. 1.14.

Utilizarea lianților puzzolanici la realizarea straturilor rutiere din agregate naturale stabilizate prezintă importante avantaje tehnico-economice, atât legate de înlocuirea totală sau parțială a cimentului folosit pentru realizarea stabilizării agregatelor naturale, cât și referitoare la înlocuirea stratului de bază din anrobate bituminoase.

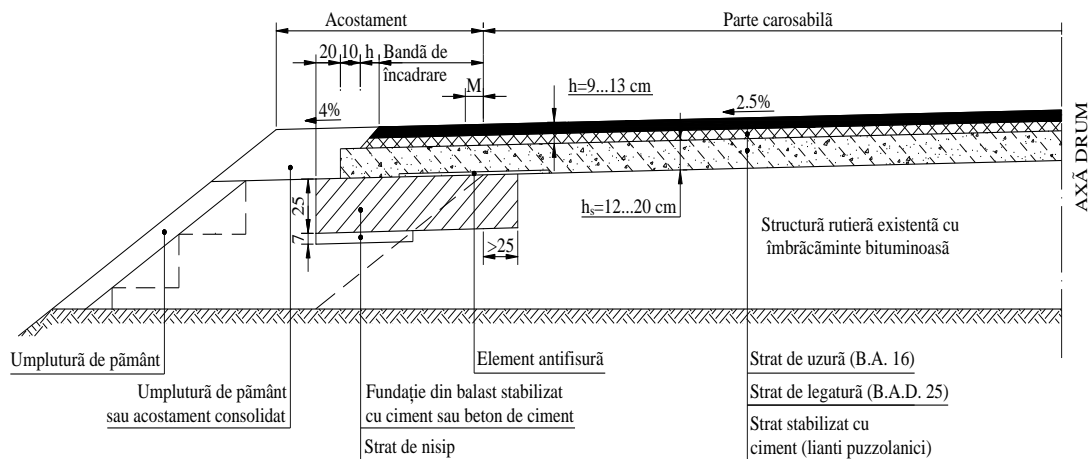


Fig. 1.14. Ranforsare prin aplicarea unei îmbrăcămîni bituminoase pe un strat de bază din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici.

Aceste avantaje rezultă în urma reducerii consumului de ciment la stabilizări, liant mai scump decât lianții puzzolanici, a creării unor straturi rutiere cu rigiditate ridicată și a utilizării preponderente a agregatelor naturale locale, a măririi productivității prin eliberarea fabricilor de preparare a mixturilor asfaltice de sarcina producerii materialelor pentru stratul de bază, a reducerii costului lucrărilor etc.

ANEXA 1

CLASA TEHNICĂ A DRUMURILOR

Clasa tehnică este independentă de încadrarea drumului în categoriile funcționale și administrative. Clasa tehnică servește la clasificarea rețelei de drumuri publice actuale în vederea planificării și proiectării lucrărilor de modernizare și ranforsare, precum și a construcțiilor noi.

Intensitatea traficului de perspectivă se calculează pentru o perioadă de perspectivă de 15 ani de la execuția lucrării, pe baza datelor de trafic obținute la ultimul recensământ general de circulație și, după caz, cu anchete de tip origine-destinație. La aceste date se aplică coeficienții de evoluție a traficului de perspectivă, pe categorii de vehicule, stabiliți prin interpretarea statistică a datelor specifice de dezvoltare socio-economică a țării și/sau a zonei traversate de drum.

Clasa tehnică este dată de intensitatea traficului corespunzătoare coloanelor 2...5 din tabelul 1.16. În cazul în care rezultă clase tehnice diferite, încadrarea drumului se face pe baza unei analize aprofundate, ținându-se seama de intensitatea orară de calcul în vehicule etalon (coloana 4).

Vehiculul etalon de calcul al intensității traficului este autoturismul. Echivalarea numărului de vehicule fizice în vehicule etalon (autoturisme) se face prin multiplicarea numărului de vehicule fizice de perspectivă din fiecare categorie cu un anumit coeficient de echivalare (vezi anexa 2), corespunzător după normele în vigoare categoriei respective.

Tabelul 1.16.

Clasa tehnică a drumului public	Densitatea intensității traficului	Caracteristicile traficului				Tipul drumului recomandat
		Intensitatea medie zilnică anuală		Intensitatea orară de calcul		
		Exprimată în număr de vehicule				
		Etalon (autoturisme)	Efective (fizice)	Etalon (autoturisme)	Efective (fizice)	
0	1	2	3	4	5	6
I	Foarte intens	>21.000	>16.000	>3.000	>2.200	Autostrăzi
II	Intens	11.001...21.000	8.001...16.000	1.401...3.000	1.000...2.200	Drum cu 4 benzi
III	Mediu	4.501...11.000	3.501...8.000	550...1.400	400...1.000	Drum cu 2 benzi
IV	Redus	1.000...4.500	750...3.500	100...550	75...400	
V	F.redus	<1.000	<750	<100	<75	

În cazul dimensionării structurilor rutiere de pe benzile de lărgire a părții carosabile a drumurilor existente, la lucrări de reabilitare a acestora, perioada de perspectivă va fi aceeași ca cea care se ia în considerare la dimensionarea straturilor de ranforsare ale structurii rutiere existente.

Componența și intensitatea traficului corespunzătoare unui post de recensământ se aplică pe sectorul de drum aferent aceluși post conform sectorizării rețelei făcută cu ocazia ultimului recensământ general al circulației.

La lucrările rutiere importante, cum sunt construcțiile de drumuri noi, care impun cunoașterea curenților de circulație pe ansamblul unei rețele de drumuri, datele din recensământul de circulație vor fi completate, după necesități, prin anchete de circulație, efectuate și prelucrate în cadrul unui studiu de trafic prin care se va simula traficul atât pe drumurile noi cât și pe rețeaua existentă.

Pentru modernizări de drumuri existente se va lua în considerare posibilitatea de atragere a unei părți din traficul de pe drumurile existente în zonă, precum și de pe alte căi de comunicație, ca urmare creării unor condiții mai avantajoase de circulație.

Aceste redistribuiri ale circulației sunt rezultate dintr-un studiu de trafic pentru rețeaua/sectoarele de drumuri din zona respectivă.

În cazul străzilor și a drumurilor județene, comunale și vicinale, în situația în care pe tronsonul de drum supus modernizării nu a funcționat niciun post de recensare sau se apreciază redistribuiri de trafic, este recomandabil să se efectueze un studiu de trafic pentru stabilirea intensității medii zilnice anuale (MZA) actuale și de perspectivă a traficului și a componenței acestuia.

Valorile coeficienților de evoluție vor fi reactualizate după fiecare recensământ general de circulație de către Compania Națională de Autostrăzi și Drumuri Naționale din România (C.N.A.D.N.R.).

La proiectarea lucrărilor importante de drumuri de clasă tehnică I, II și după caz III, se impune stabilirea evoluției în perspectivă a traficului în cadrul unui studiu de trafic. Acest studiu necesită determinarea acestuia pe tipuri de trafic: local, de origine, de destinație și de tranzit, prin examinarea surselor generatoare ale acestora.

ANEXA 2
COEFICIENȚI DE ECHIVALARE ÎN AUTOTURISME

Coeficienții care permit echivalarea diferitelor categorii de vehicule fizice în autoturisme (vehicul etalon pentru determinarea clasei tehnice a unui drum public), pentru regiune de șes, sunt prezentați în tabelul 1.17 (Indicativ 584-2002).

Tabelul 1.17.

Nr. crt.	Categorie vehicule	Coeficient de echivalare
1	Biciclete, motorete, scutere, motociclete	0,5
2	Autoturisme, microbuze, autocamionete cu sau fără remorcă	1,0
3	Autocamioane și derivate cu 2...4 osii	2,5
4	Autovehicule articulate	3,5
5	Autobuze	2,5
6	Tractoare și vehicule speciale	2,0
7	Remorci la autocamioane și tractoare	1,3
8	Vehicule cu tracțiune animală	3,0

Coeficienții care permit echivalarea vehicule de transport marfă și autobuze în autoturisme, pentru regiune de deal și de munte, sunt prezentați în tabelul 1.18 (Indicativ 584-2002).

Tabelul 1.18

Categoría de vehicule	Relief de deal		Relief de munte	
	Drumuri cu două benzi	Drumuri cu mai mult de două benzi	Drumuri cu două benzi	Drumuri cu mai mult de două benzi
Vehicule de transport marfă	5,0	3,0	12,0	6,0
Autobuze	2,9	3,0	6,5	6,0

NOTĂ. Pentru grupele 1; 2 și 8 (tabelul 1.17) coeficienții de echivalare rămân neschimbați pentru regiuni de deal și de munte.

Grupa 7, remorci, nu se echivalează, acestea fiind incluse în coeficientul de echivalare pentru vehicule de transport marfă.

Coeficienții care permit echivalarea vehiculelor fizice în osii standard de 115 kN sunt prezentați în tabelul 1.19.

Tabelul 1.19.

Grupa de vehicule	Vehicul reprezentativ		Coeficienți de echivalare în osii standard de 115 kN
	Tip	Sarcini pe osie	
Autocamioane și derivate cu 2 osii	R 8135	45 kN + 80 kN	0,30
Autocamioane și derivate cu 3 osii	R 19215	62 kN + 2 x 80 kN	0,44
Autocamioane și derivate cu peste 3 osii	10 ATM 2 19 TM 2*	62 kN + 100 kN + 2 x 80 kN	1,02
		62 kN+2 x 80 kN+100 kN+100 kN	1,61
Autobuze	R 111 RD	50 kN + 100 kN	0,64
Remorci	2R5A	48 kN + 487 kN	0,06

* Vehicul reprezentativ pentru echivalarea traficului pe drumurile naționale europene

Tabelul 1.20. Coeficienții de evoluție a traficului pentru perioada 2010...2035. Coeficienții medii (varianta probabilă).
Rețeaua de drumuri naționale europene

Anul	Biciclete, motociclete	Autoturisme, microbuze, autocamionete	Microbuze	Autocamioane	Autocamioane sau derivate cu 2 osii	Autocamioane sau derivate cu 3 osii	Autovehicule articulate	Autobuze	Tractoare cu/fără remorcă, veh. speciale	Autocamioane cu remorci (Tren rutier)	Vehicule cu tracțiune animală	Total vehicule
2010	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2015	0,89	1,28	1,25	1,25	1,26	1,18	1,18	1,21	1,15	1,15	0,35	1,24
2020	0,79	1,56	1,46	1,52	1,45	1,32	1,45	1,43	1,31	1,49	0,13	1,48
2025	0,70	1,89	1,78	1,89	1,68	1,48	1,72	1,69	1,50	1,70	0,04	1,78
2030	0,62	2,31	2,01	2,32	1,93	1,66	2,04	2,00	1,70	1,93	0,02	2,15
2035	0,55	2,80	2,33	2,83	2,23	1,86	2,42	2,36	1,94	2,20	0,01	2,58

Tabelul 1.21. Coeficienții de evoluție a traficului pentru perioada 2010...2035. Coeficienții medii (varianta probabilă).
Rețeaua de drumuri naționale

Anul	Biciclete, motociclete	Autoturisme, microbuze, autocamionete	Microbuze	Autocamioane	Autocamioane sau derivate cu 2 osii	Autocamioane sau derivate cu 3 osii	Autovehicule articulate	Autobuze	Tractoare cu/fără remorcă, veh. speciale	Autocamioane cu remorci (Tren rutier)	Vehicule cu tracțiune animală	Total vehicule
2010	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2015	0,92	1,28	1,25	1,25	1,23	1,16	1,16	1,16	1,14	1,14	0,44	1,23
2020	0,84	1,55	1,45	1,52	1,40	1,29	1,32	1,20	1,27	1,27	0,19	1,46
2025	0,78	1,89	1,70	1,89	1,60	1,43	1,49	1,42	1,42	1,43	0,09	1,75
2030	0,71	2,30	1,98	2,32	1,62	1,59	1,69	1,68	1,59	1,61	0,04	2,10
2035	0,66	2,78	2,29	2,84	1,81	1,77	1,91	1,98	1,79	1,81	0,02	2,52

**Tabelul 1.22. Coeficienții de evoluție a traficului pentru perioada 2010...2030. Coeficienții medii (varianta probabilă).
Rețeaua de drumuri naționale principale**

Anul	Biciclete, motociclete	Autoturisme, microbuze, autocamionete	Microbuze	Autocamioane	Autocamioane sau derivate cu 2 osii	Autocamioane sau derivate cu 3 osii	Autovehicule articulate	Autobuze	Tractoare cu/fără remorcă, veh. speciale	Autocamioane cu remorci (Tren rutier)	Vehicle cu tracțiune animală	Total vehicule
2010	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2015	0,99	1,28	1,25	1,27	1,23	1,16	1,16	1,23	1,15	1,13	0,33	1,23
2020	0,98	1,56	1,52	1,48	1,40	1,30	1,31	1,48	1,28	1,26	0,27	1,47
2025	0,98	1,90	1,90	1,73	1,59	1,45	1,48	1,77	1,43	1,41	0,22	1,76
2030	0,98	2,31	2,33	2,03	1,81	1,62	1,68	2,12	1,59	1,57	0,17	2,11
2035	0,97	2,81	2,86	2,36	2,06	1,80	1,90	2,54	1,78	1,75	0,14	2,52

**Tabelul 1.23. Coeficienții de evoluție a traficului pentru perioada 2010...2035. Coeficienții medii (varianta probabilă).
Rețeaua de drumuri naționale secundare**

Anul	Biciclete, motociclete	Autoturisme, microbuze, autocamionete	Microbuze	Autocamioane	Autocamioane sau derivate cu 2 osii	Autocamioane sau derivate cu 3 osii	Autovehicule articulate	Autobuze	Tractoare cu/fără remorcă, veh. speciale	Autocamioane cu remorci (Tren rutier)	Vehicle cu tracțiune animală	Total vehicule
2010	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2015	0,82	1,29	1,26	1,27	1,18	1,14	1,14	1,21	1,15	1,11	0,60	1,22
2020	0,67	1,58	1,48	1,56	1,31	1,25	1,26	1,42	1,28	1,22	0,36	1,44
2025	0,55	1,95	1,75	1,97	1,45	1,37	1,40	1,67	1,43	1,35	0,22	1,71
2030	0,45	2,39	2,75	2,45	1,61	1,49	1,56	1,97	1,59	1,48	0,13	2,03
2035	0,37	2,94	2,06	3,06	1,79	1,63	1,73	2,32	1,77	1,63	0,08	2,40

Tabelul 1.24. Coeficienții de evoluție a traficului pentru perioada 2010...2035. Coeficienții medii (varianta probabilă).
Rețeaua de drumuri județene

Anul	Biciclete, motociclete	Autoturisme, microbuze, autocamionete	Microbuze	Autocamioane	Autocamioane sau derivate cu 2 osii	Autocamioane sau derivate cu 3 osii	Autovehicule articulate	Autobuze	Tractoare cu/fără remorcă, veh. speciale	Autocamioane cu remorci (Tren rutier)	Veicule cu tracțiune animală	Total vehicule
2010	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2015	0,87	1,23	1,21	1,22	1,20	1,19	1,14	1,19	1,14	1,10	0,62	1,19
2020	0,75	1,45	1,38	1,44	1,34	1,36	1,26	1,39	1,26	1,20	0,39	1,36
2025	0,65	1,72	1,57	1,74	1,51	1,54	1,40	1,61	1,39	1,31	0,24	1,58
2030	0,57	2,03	1,82	2,08	1,69	1,74	1,56	1,88	1,53	1,43	0,15	1,83
2035	0,50	2,40	2,08	2,47	1,89	1,97	1,73	2,19	1,69	1,55	0,09	2,11

Tabelul 1.25. Coeficienții de evoluție a traficului pentru perioada 2010...2035. Coeficienții medii (varianta probabilă).
Rețeaua de drumuri comunale

Anul	Biciclete, motociclete	Autoturisme, microbuze, autocamionete	Microbuze	Autocamioane	Autocamioane sau derivate cu 2 osii	Autocamioane sau derivate cu 3 osii	Autovehicule articulate	Autobuze	Tractoare cu/fără remorcă, veh. speciale	Autocamioane cu remorci (Tren rutier)	Veicule cu tracțiune animală	Total vehicule
2010	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2015	0,83	1,21	1,19	1,19	1,25	1,17	1,20	1,15	1,13	1,12	0,68	1,17
2020	0,69	1,41	1,34	1,39	1,43	1,32	1,39	1,31	1,24	1,24	0,46	1,33
2025	0,57	1,64	1,52	1,65	1,64	1,48	1,61	1,49	1,36	1,37	0,31	1,52
2030	0,47	1,91	1,72	1,94	1,89	1,65	1,87	1,69	1,50	1,51	0,21	1,74
2035	0,39	2,23	1,93	2,28	2,16	1,85	2,17	1,93	1,65	1,67	0,15	1,98

