

N O R M A T I V
PENTRU DIMENSIONAREA STRATURILOR DE BAZĂ DIN BETON DE CIMENT ALE STRUCTURILOR RUTIERE,
indicativ NP 111-04

CAPITOLUL I
PREVEDERI GENERALE

Secțiunea 1

Domeniu de aplicare

Art. 1. Prezentul normativ se referă la metoda de dimensionare a straturilor de bază din beton de ciment ale structurilor rutiere pentru drumuri și străzi.

Metoda de dimensionare este similară celor din țările europene, Ea este elaborată pe baza recomandărilor și cerințelor privind o metodă de dimensionare, unică în Europa, prevăzute în raportul final al acțiunii COST 333.

Art. 2. Prevederile prezentului normativ se aplica la:

- dimensionarea stratului de bază din beton de ciment al structurilor rutiere rigide pentru drumuri publice și străzi;
- dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare a structurilor rutiere rigide existente;
- calculul duratei de viață reziduală a structurilor rutiere rigide existente.

Art. 3. Structurile rutiere rigide cu strat de bază din beton de ciment sunt alcătuite, din:

- îmbrăcămintă bituminoasă în două sau mai multe straturi;
- strat de bază din beton de ciment;
- strat sau straturi de fundație.

Art. 4. Structurile rutiere rigide dimensionate conform prezentului normativ se verifică din punctul de vedere al rezistenței la acțiunea fenomenului de îngheț – dezgheț.

Secțiunea 2 Terminologie

Art. 5. Terminologia este conform prescripțiilor tehnice în vigoare, cu următoarele completări:

a) durată de viață reziduală (Dv):

- numărul de ani pentru care structura rutieră existentă poate prelua în continuare traficul de perspectivă.

b) perioadă de perspectiv:

- perioadă de timp, exprimată în ani, pentru care se stabilește traficul de calcul.

c) sector omogen:

- sector de drum caracterizat concomitent prin aceleași date privind traficul de calcul, tipul de pământ, tipul climateric al zonei în care este situat drumul și regimul hidrologic al complexului rutier. Sectorul omogen de drum este caracterizat prin aceeași alcătuire a structurii rutiere, rezultată prin calculul de dimensionare.

d) tensiune

- (1) noțiune prin care se definește starea de solicitare într-o structură rutieră supusă unei încărcări pe suprafața drumului. În contextul acestui normativ, tensiunea de întindere reprezintă componenta orizontală a tensorului stării de tensiune, calculată în coordonate axisimetrice, la baza stratului rutier alcătuit din beton de ciment. Structura rutieră este considerată un mediu multistrat elastic liniar, iar încărcarea este dată de sarcina statică a semiosiei standard (57,5 kN), care exercită o presiune verticală uniformă de 0,625 MPa pe o suprafață circulară cu raza de 0,171 m.
(2) În sistemul internațional de unități (m, MPa), tensiunea de întindere are unitatea MPa.

Secțiunea 3

Documente de referință

Art. 6. Documentele de referință sunt:

Ordinul M.T. nr. 43/1998	Norme privind încadrarea în categorii a drumurilor naționale.
Ordinul M.T. nr. 45/1998	Norme tehnice privind proiectarea, construirea și modernizarea drumurilor.
Ordinul M.T. nr. 46/1998	Norme tehnice privind stabilirea clasei tehnice a drumurilor.
SR 174-1:2002	Lucrări de drumuri. Îmbrăcămiși bituminoase cilindrate executate la cald. Condiții tehnice de calitate.
STAS 175-87	Lucrări de drumuri. Îmbrăcămiși bituminoase turnate executate la cald. Condiții tehnice generale de calitate.
SR 183-1:1995	Lucrări de drumuri. Îmbrăcămiși de beton de ciment executate în cofraje fixe. Condiții tehnice de calitate.
SR 183-2:1998	Lucrări de drumuri. Îmbrăcămiși de beton de ciment executate în cofraje glisante. Condiții tehnice de calitate.
SR 662: 2002	Lucrări de drumuri. Agregate naturale de balastieră.
SR 667:2000	Agregate naturale și piatră prelucrată pentru lucrări de drumuri. Condiții tehnice de calitate.
STAS 1243-88	Teren de fundare. Clasificarea și identificarea pământurilor.
STAS 1275-88	Încercări pe betoane. Încercări pe betonul întărit. Determinarea rezistențelor mecanice.
STAS 1709/1-90	Lucrări de drumuri. Acțiunea fenomenului de îngheț-dezghet la lucrări de drumuri. Adâncimea de îngheț în complexul rutier. Prescripții de calcul.
STAS 1709/2-90	Lucrări de drumuri. Acțiunea fenomenului de îngheț-dezghet la lucrări de drumuri. Prevenirea și remedierea degradărilor din îngheț-dezghet. Prescripții tehnice.
STAS 2900-89	Lucrări de drumuri. Lățimea drumurilor.
SR 4032/1-2002	Lucrări de drumuri. Terminologie.
STAS 6400-84	Lucrări de drumuri. Straturi de bază și de fundație. Condiții tehnice generale de calitate.
SR 7970:2001	Lucrări de drumuri. Straturi de bază din mixturi asfaltice cilindrate executate la cald, Condiții tehnice de calitate și prescripții generale de execuție.
STAS 10107/0-90	Construcții civile și industriale. Calculul și alcătuirea elementelor structurale din beton, beton armat și beton precomprimat.

STAS 10144/1-80	Profiluri transversale. Caracteristici ale arterelor de circulație din localitățile urbane și rurale. Prescripții de proiectare.
STAS 10473/1-87	Lucrari de drumuri. Straturi din agregate naturale sau pamanturi stabilizate cu ciment. Conditii tehnice generale de calitate.
STAS 12253-84	Lucrări de drumuri. Straturi de formă. Condiții tehnice generale de calitate.
AND 539-98	Instrucțiuni tehnice pentru realizarea mixturilor bituminoase stabilizate cu fibre de celuloză destinate executării îmbrăcăminților asfaltice.
AND 540-98	Normativ pentru evaluarea stării de degradare a îmbrăcăminții pentru drumuri cu structuri rutiere suple și semirigide.
AND 550-98	Normativ pentru dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare a sistemelor rutiere suple și semirigide (metoda analitică).
AND 559-99	Normativ privind aplicarea soluției antifisură din mortar asfaltic.
AND 560-99	Normativ privind aplicarea soluției antifisură din mixturi asfaltice cu volum ridicat de goluri.
AND 584-2002	Normativ pentru determinarea traficului de calcul pentru proiectarea drumurilor din punct de vedere al capacității portante și al capacității de circulație.
CD 31-2002	Normativul pentru determinarea prin deflectografie și deflectometrie a capacității portante a drumurilor cu sisteme rutiere suple și semirigide.
CD 155-2001	Instrucțiuni tehnice privind determinarea stării tehnice a drumurilor moderne.
NE 012-99	Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat.
NP 081-02	Normativ de dimensionare a structurilor rutiere rigide.
PD 177-76	Catalog de structuri tip pentru drumuri publice.
PD 177-2001	Normativ pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple și semirigide.
SR EN 206 – 1	Beton. Partea 1: Specificatie, performanta, productie si conformitate.
***	Structures types de chaussées neuves, Catalogue 1977, actualisation 1988. Édition 1993 . Ministere de l'équipement, du transport et du tourisme, France.
***	Conception et dimensionnement des structures de chaussés. Guide technique. LCPC, SETRA, France,1994.
COST 333	Development of New Bituminous Pavement Design Method. Final Report of Action. European Commission Directorate General Transport. Brussels-Luxemburg, 1997.

CAPITOLUL II PRINCIPII DE DIMENSIONARE

Secțiunea 1

Criterii de dimensionare

Art. 7. Dimensionarea structurii rutiere rigide se bazează pe criteriul tensiunii de întindere admisibile a betonului de ciment din stratul de bază.

Art. 8. Metoda de dimensionare se bazează pe stabilirea alcătuirii structurii rutiere rigide pentru lucrări noi de drumuri sau străzi sau pentru ranforsarea cu straturi bituminoase a structurilor rutiere rigide existente, în conformitate cu prevederile prescripțiilor tehnice în vigoare și verificarea stării de solicitare a acesteia, sub acțiunea traficului de calcul, astfel încât să îndeplinească criteriul de dimensionare menționat la art. 7.

Secțiunea 2

Date necesare

Art. 9. Pentru dimensionarea structurilor rutiere rigide pentru lucrări noi de drumuri sau străzi este necesar să se efectueze în prealabil studii, în vederea obținerii următoarelor date:

- a) compoziția și intensitatea traficului și evoluția în perspectivă a acestuia;
- b) caracteristicile geotehnice ale pământului de fundare;
- c) regimul hidrologic al complexului rutier (tipul profilului transversal, modul de asigurare a scurgerii apelor de suprafață, posibilitățile de drenare, nivelul apei freatice).

Art. 10. (1) Pentru calculul duratei de viață reziduală a structurilor rutiere rigide existente și dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare a acestora, este necesar să se efectueze studii, în vederea obținerii următoarelor date:

- a) starea de degradare a îmbrăcămintei din beton de ciment;
- b) modul de alcătuire a straturilor rutiere și grosimile acestora;
- c) caracteristicile mecanice ale betonului de ciment;
- d) caracteristicile geotehnice ale pământului de fundare;
- e) regimul hidrologic al complexului rutier (tipul profilului transversal, modul de asigurare a scurgerii apelor de suprafață, posibilitățile de drenare, nivelul apei freatice).

(2) Perioadele de stocare a acestor date sunt următoarele:

- a) maximum 18 luni în cazul autostrăzilor, drumurilor expres și drumurilor europene;
- b) maximum 24 luni în cazul străzilor și al celorlalte categorii de drumuri.

Secțiunea 3

Etape principale de calcul

Art. 11. Etapele principale de calcul sunt:

- a) stabilirea traficului de calcul;
- b) stabilirea alcătuirii structurilor rutiere de calcul;
- c) analiza structurilor rutiere de calcul la solicitarea osiei standard;
- d) stabilirea comportării sub trafic a structurilor rutiere.

CAPITOLUL III

STABILIREA TRAFICULUI DE CALCUL

Secțiunea 1

Prevederi generale

Art. 12. La dimensionarea structurilor rutiere rigide se ia în considerare traficul de calcul corespunzător perioadei de perspectivă, exprimat în osii standard de 115 kN, echivalent vehiculelor care vor circula pe drum.

Art. 13.(1) Traficul de calcul pentru dimensionarea structurilor rutiere rigide sau a ranforsarilor din beton de ciment, pentru care perioada de perspectivă este în general $P_p = 30$ ani, se poate determina cu relația:

$$N_c = 365 \times 10^{-6} \times P_p \times c_{rt} \times MZA_{0S}$$

în care:

365 – numărul de zile într-un an;

P_p – perioada de perspectivă

c_{rt} – coeficient de repartitie transversala a traficului, pe banda de circulație cea mai solicitată;

MZA_{0S} – intensitatea medie zilnică anuală a traficului, exprimată în osii standard de 115 kN/24 ore, la mijlocul perioadei de perspectivă.

(2) În cazul dimensionării drumurilor de exploatare, echivalarea vehiculelor specifice în osii standard de 115 kN se face printr-un studiu de specialitate.

Secțiunea 2

Perioada de perspectivă

Art. 14. Perioada de perspectivă va fi indicată de beneficiarul lucrării. Ea se stabilește în cadrul primei faze de proiectare, avându-se în vedere atât traficul actual, cât și evoluția în perspectivă a acestuia.

Art. 15. Se recomandă adoptarea următoarelor valori ale perioadei de perspectivă:

- 30 ani pentru dimensionarea structurilor rutiere rigide cu strat de bază din beton de ciment;
- 10...15 ani pentru dimensionarea structurilor rutiere rigide ranforsate cu straturi bituminoase;
- 10 ani pentru determinarea duratei de viață reziduală a structurilor rutiere rigide existente.

Art. 16. Modificarea perioadei de perspectivă, în vederea corelării acesteia cu data dării în exploatare a drumului, implică recalcularea traficului de calcul și în consecință, redimensionarea structurii rutiere.

CAPITOLUL IV

STABILIREA ALCĂTUIRII STRUCTURILOR RUTIERE DE CALCUL

Secțiunea 1

Structura rutieră nouă

Art. 17. Alcătuirea structurilor rutiere rigide cu strat de bază din beton de ciment, a căror dimensionare face obiectul prezentului normativ, se stabilește conform art. 3.

Art. 18. (1) Grosimea îmbrăcămintei bituminoase se stabilește constructiv. Ea se realizează din două sau mai multe straturi bituminoase și anume, un strat de uzură cu grosimea de minim 4 cm și unul sau mai multe straturi de legătură cu grosime variabila, din beton asfaltic.

(2) Grosimea totală a straturilor bituminoase trebuie să fie de:

- minim 15 cm, atunci când nu este prevăzut strat antifisura, pentru drumuri din clasa tehnica I și strazi din categoria tehnica I;
- minim 12 cm, atunci când nu este prevăzut strat antifisura, pentru drumuri din clasele tehnice II...V și strazi din categoriile tehnice II...IV.

(3) Stratul de uzură poate fi executat pe un strat de legătură cu grosimea minimă de 5 cm și un strat de mixtură asfaltică executată la cald pentru straturi de bază.

(4) Pentru drumuri din clasa tehnică III .. V și pentru străzi din categoriile tehnice III și IV, stratul de uzură poate fi executat pe un strat din mixtură asfaltică cilindrată executată la cald pentru straturi de bază.

(5) În cazuri justificate economic, poate fi folosit pavajul ca îmbrăcămintă rutiera.

Art. 19. (1) Grosimea stratului de bază din beton de ciment se stabilește prin calcul de dimensionare.

(2) Ea trebuie să aibă o valoare minimă, în funcție de clasa de trafic și anume:

Grosimea minimă a stratului de bază din beton de ciment

Clasa de trafic	Trafic de calcul m.o.s.	Grosime minimă cm
FOARTE UȘOR	sub 0,20	18
UȘOR	0,20...0,70	18
MEDIU	0,70...3,00	18
GREU	3,00...12,00	18
FOARTE GREU	12,00...36,00	20
EXCEPȚIONAL	peste 36,00	20

Art. 20. Straturile de fundație pot avea următoarea alcătuire:

- un strat din balast sort 0 – 63, cu grosime minimă de 15 cm;
- un strat inferior din balast, cu grosime minimă de 10 cm și un strat superior din piatră spartă mare sort 63 – 80, sau din piatră spartă amestec optimal sort 0 – 40 sau 0 – 63, cu grosime minimă de 12 cm;
- un strat inferior din balast, cu grosime minimă de 10,0 cm și un strat superior din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici, cu grosime minimă de 12,0 cm.

Secțiunea 2

Structura rutieră existentă

Art. 21 (1) Modul de alcătuire a îmbrăcăminte bituminoase pentru ranforsarea structurii rutiere existente se stabilește conform art. 18 și rezulta dintr-un calcul de dimensionare, conform prezentului normativ.

(2) La alcătuirea îmbrăcăminte bituminoase se pot folosi și soluții antifisură. În acest caz, grosimea minimă a îmbrăcăminte bituminoase trebuie să îndeplinească condițiile prevăzute în prescripțiile tehnice în vigoare.

(3) În cazurile în care indicele de degradare al îmbrăcăminte existente, din beton de ciment este mai mare de 13 ($ID > 13$), stratul antifisura poate fi realizat din piatră spartă mare sort 63 – 80 sau din piatră spartă amestec optimal.

Art. 22. (1) Grosimea îmbrăcăminte din beton de ciment, care va constitui strat de bază sau în unele cazuri strat de fundație, în cazul structurii rutiere existente care urmează să fie ranforsată cu straturi bituminoase sau pentru stabilirea duratei de viață reziduală a structurii rutiere rigide existente, se stabilește atât pe baza documentațiilor existente, cât și pe bază de sondaje.

(2) Numărul necesar de sondaje se stabilește pe răspunderea investitorului și a proiectantului, în funcție de lungimea sectoarelor omogene de drum sau stradă, dar nu trebuie să fie mai mic de două sondaje pe km, (câte un sondaj pe fiecare sens de circulație). El trebuie consemnat într-un document.

(3) În cazul în care lungimea sectorului omogen de drum sau de stradă este mai mică de 1 km, numărul minim de sondaje este șase (câte trei sondaje pe fiecare sens de circulație).

(4) În cazul când există rezultate ale unor măsurări de deformabilitate, se recomandă ca sondajele să fie efectuate în zone caracterizate prin valori ale deflexiunii apropiate de deflexiunea

caracteristică corespunzătoare perioadei în care complexul rutier lucrează în condițiile hidrologice cele mai defavorabile. Deflexiunea caracteristică se determină cu ajutorul relației:

$$d_c = d_M + t_\alpha \times S \quad (0,001 \text{ mm})$$

în care: d_M = deflexiunea medie normală, corespunzătoare tehnicii de măsurare, în 0,001 mm;
 S = abaterea medie patratică, în 0,001 mm;
 t_α = coeficient care depinde de probabilitatea apariției, α , a unor valori ale deflexiunii, mai mari decât deflexiunea caracteristică, de numărul de valori ale deflexiunii (n) și de clasa tehnică a drumului.

(5) Îmbrăcămintea din beton de ciment este caracterizată prin grosimea caracteristică calculată pentru un risc de depășire de 15%, conform anexei 2.

Art. 23. (1) Modul de alcătuire a straturilor de fundație se stabilește de asemenea atât pe baza documentațiilor existente, cât și pe bază de sondaje, în conformitate cu prevederile art. 22.

(2) Straturile de fundație sunt caracterizate prin valoarea medie a grosimilor acestora.

CAPITOLUL V

ANALIZA STRUCTURILOR RUTIERE DE CALCUL

LA SOLICITAREA OSIEI STANDARD

Art. 24. (1) Analiza structurilor rutiere de calcul la solicitarea osiei standard comportă calculul tensiunii de întindere orizontale la partea inferioară a stratului de bază din beton de ciment.

(2). Se recomandă utilizarea unui program de calcul bazat pe următoarele ipoteze de calcul:

- Structura rutieră este solicitată de o sarcină circulară cu presiune verticală uniformă, reprezentând greutatea semiosiei standard cu roți gemene, transmisă pe o suprafață circulară echivalentă suprafeței de contact pneu – drum;

- Caracteristicile sarcinii sunt:

- a) sarcină pe roțile gemene – 57,5 kN;

- b) presiunea de contact – 0,625 Mpa;

- c) raza suprafeței de contact: 17,1 cm.

- Între straturile rutiere există aderență;

- Punctele de calcul al tensiunilor și deformațiilor specifice sunt situate într-un profil vertical, în centrul sarcinii, la limita între straturi;

- Calculul tensiunilor și al deformațiilor specifice se efectuează în următoarele puncte:

- a) la partea inferioară a straturilor bituminoase;

- b) la partea inferioară a stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici;

- c) la partea inferioară a structurii rutiere (la nivelul patului drumului).

(3) Calculul se efectuează în punctul cu următoarele coordonate axisimetrice:

$$r = 0 \text{ (cm)} \quad z = h_{m,a} + h_{BC}$$

în care:

$h_{m,a}$ - grosimea totală a straturilor din mixtură asfaltică, în cm;

h_{BC} - grosimea stratului din beton de ciment, în cm.

Art. 25. Structura rutieră este caracterizată prin grosimea fiecărui strat rutier și prin caracteristicile de deformabilitate ale materialelor din straturile rutiere și ale pământului de fundare (modulul de elasticitate dinamic, E , în MPa și coeficientul lui Poisson, μ).

Art. 26. Grosimile straturilor rutiere se stabilesc conform capitolului IV.

Secțiunea 1

Pământ de fundare

Art. 27. Caracteristicile de deformabilitate ale pământului de fundare se stabilesc în funcție de tipul de pământ, tipul climateric al zonei în care este situat drumul și regimul hidrologic al complexului rutier.

(1) Tipurile de pământ, sunt prezentate în tabelul 1.

(2) Tipul climateric al zonei este arătat în figura 1.

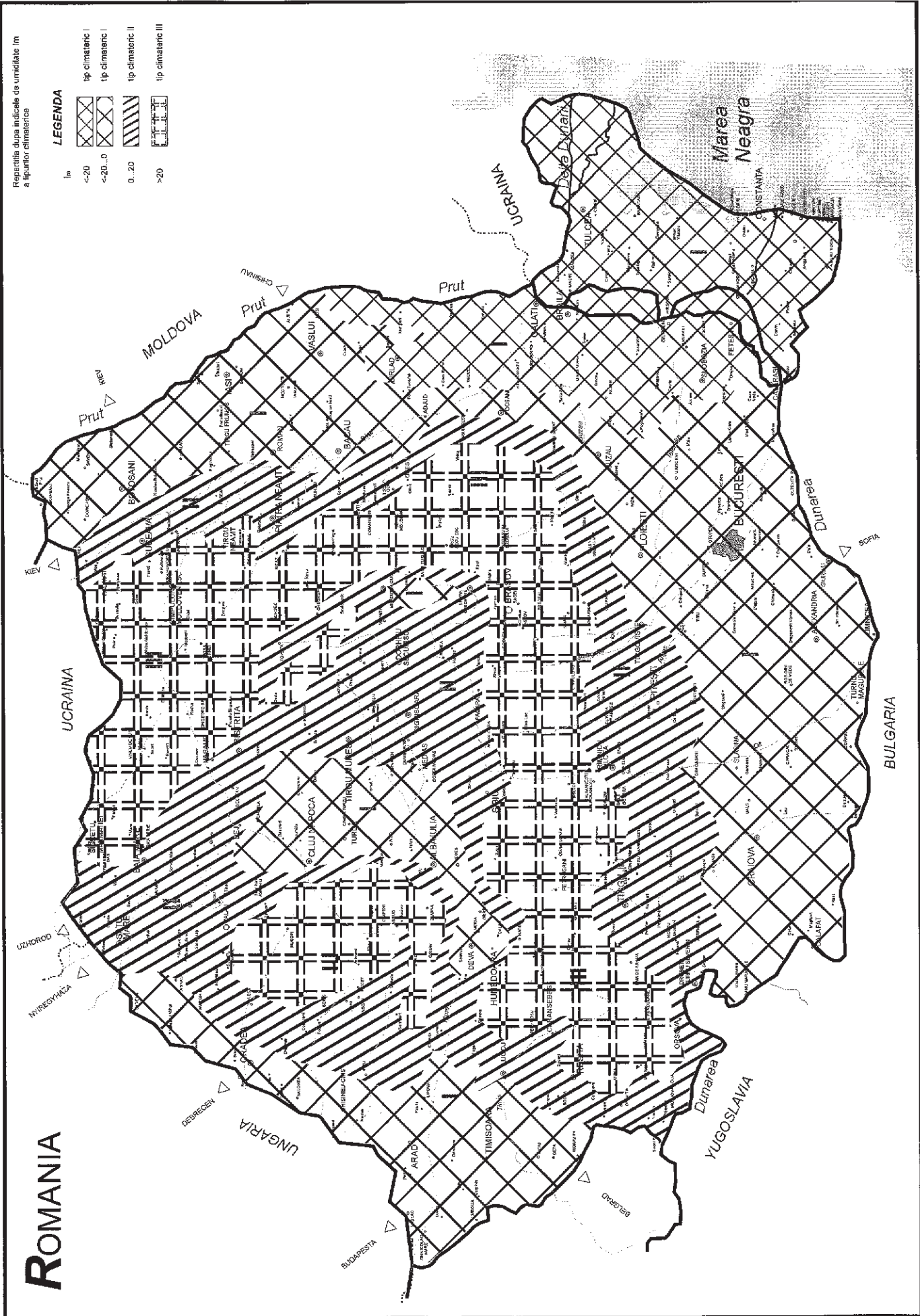
(3) Regimul hidrologic se diferențiază astfel:

- regimul hidrologic 1, corespunzător condițiilor hidrologice FAVORABILE;
- regimul hidrologic 2, corespunzător condițiilor hidrologice MEDIOCRE și FAVORABILE, notat cu:
 - a: pentru sectoare de drum situate în rambleu cu înălțimea minimă de 1,00 m;
 - b: pentru sectoare de drum situate în rambleu cu înălțimea sub 1 m, la nivelul terenului, în profil mixt sau debleu.

Tipurile de pământ pe baza clasificării pământurilor

Tabelul 1

Categoria pământului	Tipul de pământ	Clasificarea pământurilor conform STAS 1243	Indicele de plasticitate I_p %	Compoziția granulometrică		
				Argilă %	Praf %	Nisip %
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



Valorile de calcul ale modului de elasticitate dinamic pentru tipurile de pământ, în funcție de tipul climateric al zonei și de regimul hidrologic al complexului rutier sunt prezentate în tabelul 2.

Valorile de calcul ale modului de elasticitate dinamic
al pământului de fundare

Tabelul 2

Tipul climateric	Regimul hidrologic	Tipul pământului					
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	
				E _p , MPa			
I	1	100	90	70	80	80	
	2a			65		70	75
	2b				80		
II	1		80	65	80	70	80
	2a						70
	2b				70		
III	1	90	60	55	80	80	
	2a					50	65
	2b						

Valoarea de calcul a coeficientului lui Poisson se stabilește în funcție de tipul pământului, conform tabelului 3.

Valorile de calcul ale coeficientului lui Poisson pentru pământur

Tabelul 3

Tipul de pământ	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
Coeficientul lui Poisson, μ	0,27	0,30	0,30	0,35	0,42

Art. 28. (1) Capacitatea portantă la nivelul patului drumului poate fi îmbunătățită prin prevederea unui strat de formă.

(2) Modul de alcătuire al stratului de formă se stabilește pe bază de calcule tehnico-economice, în funcție de materialele disponibile în zona drumului și de rolul preponderent pe care stratul de formă trebuie să-l joace, atât în perioada de execuție a drumului, cât și în cea de exploatare a acestuia.

(3) Caracteristicile de deformabilitate ale materialelor din stratul de formă sunt în funcție de tipul acestora și anume:

- pentru materialele necoezive:
 - valoarea de calcul a modului de elasticitate dinamic este în funcție de cea a materialelor din stratul suport (E_p) și se calculează cu următoarea relație:

$$E_{s.f.} = 0,20 h_{s.f.}^{0,45} E_p \quad \text{MPa}$$
 în care $h_{s.f.}$ este grosimea stratului de formă, în mm.
 - coeficientul lui Poisson are valoarea 0,27.
- pentru materiale coezive, în conformitate cu tabelul 4.

(4) Pentru folosirea rațională a agregatelor naturale din stratul de fundație, se recomandă să se asigure la nivelul patului drumului o capacitate portantă minimă, caracterizată prin valoarea modului de elasticitate echivalent al sistemului bi-strat strat de formă – pământ de fundare de minimum 80 MPa. Pentru stabilirea grosimii stratului de formă necesară realizării acestei capacități portante se recomandă folosirea prescripțiilor tehnice indicativ PD 177.

Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate
pentru materialele coezive din stratul de formă

Tabelul 4

Denumirea materialului	Modulul de elasticitate dinamic, Es.f., MPa	Coefficientul lui Poisson μ
Pământuri coezive tratate cu var:		
- tip P ₃ și P ₄	150	0,35
- tip P ₅	250	0,35
Pământuri coezive stabilizate cu zgură granulată și var	200	0,30
Pământuri stabilizate cu ciment	300	0,27
Agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici:		
- zgură granulată	400	0,27
- cenușă de termocentrală	500	0,27
- tuf vulcanic	400	0,27

Secțiunea 2

Materiale din straturi de fundație

Art. 29. Valoarea de calcul a modulului de elasticitate dinamic al balastului (E_b) se stabilește cu relația:

$$E_b = 0,20 h_b^{0,45} E_p \quad \text{MPa}$$

în care:

h_b - grosimea stratului de balast, în mm;

E_p - modulul de elasticitate dinamic al pământului de fundare, în MPa, conform art. 27 sau al materialului din stratul de formă, în MPa, conform art. 28.

Art. 30. Valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic și ale coeficientului lui Poisson pentru materialele din straturile de fundație se stabilesc conform tabelului 5.

Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate pentru materialele
din straturile de fundație

Tabelul 5

Denumirea materialului	E, MPa	μ
Agregate naturale stabilizate cu ciment în straturi rutiere noi,	1000	0,25
Agregate naturale stabilizate cu ciment în straturi rutiere existente	600	0,27
Piatră spartă mare, amestec optimal	500	0,27
Piatră spartă mare, sort 63-91	400	0,27
Piatră spartă cilindrată din drumurile existente	400*	0,27
Pavaje	350	0,27
Bolovani	200	0,27

- Notă: În cazul în care piatra spartă cilindrată constituie un strat inferior de fundație, modulul de elasticitate dinamic se stabilește conform art. 29.

Secțiunea 3 Beton de ciment pentru strat de bază

Art. 31. (1) Caracteristicile de deformabilitate ale betonului de ciment din stratul de bază pentru lucrări noi de drumuri și străzi sunt în funcție de clasa betonului de ciment rutier sau de clasa de rezistență a betonului. Ele se stabilesc cu ajutorul tabelului 6.

(2) Pentru alegerea clasei betonului de ciment se recomandă următoarele:

- (a) pentru drumuri și străzi, la care structura rutieră se execută într-o etapă, se recomandă beton de ciment cu clasa de rezistență C16/20, C12/15;
- (b) pentru străzi la care structura rutieră este prevăzută să se realizeze în două etape, în prima etapă stratul din beton de ciment fiind un strat de rulare, se recomandă adoptarea unui beton de ciment rutier clasa BcR 4,0 sau BcR3,5, sau beton de ciment clasa C 16/20 sau C 12/15, în funcție de capacitatea portantă a fundației.

Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate ale betonului de ciment

Tabelul 6

Clasa betonului de ciment rutier	Clasa de rezistență a betonului de ciment pentru structuri ce se execută într-o singură etapă	E, MPa	μ
BcR 4,0		30.000	0,15
BcR 3,5		27.000	
	C 16/20	18.000	
	C 12/15	15.000	

Secțiunea 4

Beton de ciment din structura rutieră rigidă existentă

Art. 32. (1) Caracteristicile de deformabilitate ale betonului de ciment din structura rutieră rigidă existentă pentru determinarea duratei de viață reziduale a acesteia și pentru dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare ale acesteia se stabilesc în funcție de rezistența la întindere prin despicare a betonului de ciment, cu ajutorul tabelului 7.

(2) Rezistența la întindere prin despicare se determină pe carote cilindrice recoltate din dalele din beton de ciment, conform art. 22. Se recomandă determinarea rezistenței la întindere prin despicare pe minimum 4 carote. Rezistența la întindere prin despicare caracteristică ($R_{B \text{ car.}}$) se obține prin calculul statistic al valorilor rezistenței la întindere prin despicare, pentru un risc de depășire de 15 %. Această valoare se utilizează pentru stabilirea indicativului betonului de ciment existent, definit astfel încât rezistența la întindere prin despicare caracteristică să aibă cel puțin valoarea din tabelul 7. Calculul statistic al rezistenței la întindere prin despicare se efectuează conform Anexei 2.

Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate ale betonului de ciment existent

Tabelul 7

Indicativ	$R_{B\text{ car.}}$, MPa	E, MPa	μ
Bce 6	3.50	35.000	0.15
Bce 5	3.15	30.000	
Bce 4	2.80	24.000	
Bce 3	2.50	20.000	
Bce 2	2.00	18.000	
Bce 1	1.50	15.000	

(3) În cazurile în care rezistența la întindere prin despicare caracteristică are valori sub 1, 50 MPa, structura rutieră se consideră semirigidă, stratul rutier din beton de ciment fisurat fiind asimilat cu un strat din agregate naturale stabilizate cu ciment. Dimensionarea structurii rutiere semirigide se efectuează utilizând metode ale practicii locale și internaționale curente.

Secțiunea 5

Mixtura asfaltică din îmbrăcămintea bituminoasă

Art. 33. (1) Valorile de calcul ale modului de elasticitate dinamic ale mixturilor asfaltice din straturile bituminoase noi sunt în funcție de tipul acestora și de tipul climateric al zonei unde sunt situate drumul sau strada și sunt date în tabelul 8.

Valorile de calcul ale modului de elasticitate dinamic ale mixturilor asfaltice

Tabelul 8

Tipul climateric	I și II	III
Tipul mixturii asfaltice	Modul de elasticitate dinamic, E, MPa	
Mixturi asfaltice preparate cu bitum tip D 80/100		
- strat de uzură	3600	4200
- strat de legătură	3000	3600
- strat de bază	5000	5600
Mixturi asfaltice cu bitum modificat		
- strat de uzură	4000	4500
- strat de legătură	3500	4000
Mixturi asfaltice stabilizate cu fibre		
- strat de uzură		
• tip MASF 16	3300	4000
• tip MASF 8	3000	3600

(2) În cazurile în care structura rutieră are mai mult de patru straturi, îmbrăcămintea bituminoasă va fi caracterizată prin:

- grosimea totală, în cm;
- modulul de elasticitate dinamic mediu ponderat (E_m) al mixturii asfaltice, care se calculează cu relația:

$$E_m = [\sum(E_i^{1/3} \times h_i) / \sum h_i]^3 \quad \text{MPa}$$

în care:

- E_i - modulul de elasticitate dinamic al mixturii asfaltice din stratul i , în MPa;
- h_i - grosimea stratului, în cm.

Art. 34. Valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic ale mixturilor asfaltice din straturile bituminoase existente sunt în funcție de indicele de degradare al îmbrăcămintei bituminoase și de tipul climateric și sunt date în tabelul 9.

Valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic ale mixturii asfaltice din straturile bituminoase existente

Tabelul 9

Tipul climateric	I și II	III
Indicele de degradare conform instrucțiunilor indicativ CD 155	Modul de elasticitate dinamic, E, MPa	
sub 7,5	3300	4700
7,5 – 13	3000	3800
peste 13	2500	3000

CAPITOLUL VI

STABILIREA COMPORTĂRII SUB TRAFIC A STRUCTURII RUTIERE

Secțiunea 1

Dimensionarea structurii rutiere rigide

Art. 35. Stabilirea comportării sub trafic a structurii rutiere rigide are drept scop următoarele:

- calcularea grosimii stratului de bază din beton de ciment pentru lucrări noi de drumuri și străzi, astfel încât să fie respectat criteriul de dimensionare, conform art.7;
- calcularea grosimii straturilor bituminoase de ranforsare a structurilor rutiere rigide existente, în vederea ranforsării acestora, astfel încât să fie respectat criteriul de dimensionare, conform art.7.

Art. 36. Criteriul tensiunii de întindere admisibile a betonului de ciment din stratul de bază este respectat dacă este îndeplinită inegalitatea următoare:

$$\sigma_r \leq \sigma_{r \text{ adm.}}$$

în care:

σ_r este tensiunea de întindere orizontală la partea inferioară a stratului de bază din beton de ciment, calculată conform capitolului V;

$\sigma_{r \text{ adm.}}$ - tensiunea de întindere admisibilă a betonului de ciment, calculată conform art. 37.

Art. 37. Tensiunea de întindere admisibilă a betonului de ciment se calculează cu relația:

$$\sigma_{r \text{ adm.}} = 0,45 k_s R_B N_c^b \quad \text{MPa}$$

în care:

k_s este coeficient care ține seama de eterogenitățile locale de portanță a stratului de fundație, a cărei valoare este conform art. 38;

R_B - rezistența la întindere prin despicare a betonului de ciment, stabilită conform art. 39;

N_c - traficul de calcul, stabilit conform capitolului III;

- b - exponent al expresiei legii de oboseală, în funcție de clasa betonului de ciment, conform art. 39.

Art. 38. Valoarea coeficientului k_s este în funcție de modulul de elasticitate dinamic al stratului de fundație, care constituie suportul stratului de bază din beton de ciment și se stabilește cu ajutorul tabelului 10.

Valorile coeficientului k_s

Tabelul 10

Portanța stratului inferior. E. MPa	sub 80	80...120	peste 120
k_s	1/1,2	1/1,1	1

Art. 39. Rezistența la întindere prin despicare (rezistența Braziliană), R_B , și exponentul expresiei legii de oboseală a betonului de ciment constituie parametrii de calcul ai tensiunii de întindere admisibile ai acestuia, care se stabilesc în modul următor:

- (1) Pentru lucrări noi de drumuri și străzi, în funcție de clasa betonului de ciment, conform tabelului 11.

Parametrii de calcul ai betonului de ciment

Tabelul 11

Clasa betonului de ciment rutier	Clasa de rezistență a betonului de ciment	R_B , MPa	b
BcR 4,0		2, 80	-1/15
BcR 3,5		2, 50	-1/15
	C 16/20	2, 00	-1/14
	C 12/15	1, 50	-1/14

- (2) Pentru dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare a structurilor rutiere rigide existente:

- valoarea de calcul a rezistenței la întindere prin despicare se stabilește cu relația:

$$R_B = 0,90 f_d R_{B \text{ med.}}$$

în care:

0, 90 reprezintă valoarea factorului de reducere a rezistenței mecanice a betonului de ciment, în funcție de procesul de degradare a drumului pe perioada de timp până la darea în exploatare a lucrării;

f_d - factor de reducere a rezistenței mecanice a betonului de ciment, în funcție de indicele de degradare al îmbrăcămintei rutiere, conform tabelului 12.

$R_{B \text{ med.}}$ - valoarea medie a rezistenței la întindere prin despicare, în MPa, calculată prin prelucrarea statistică a valorilor determinate pe carote cilindrice, conform art. 32,

Valorile factorului de reducere f_d

Tabelul 12

Indicele de degradare	f_d
sub 7,5	1
7,5 - 13	0,95
peste 13	0,90

- exponentul expresiei legii de oboseală a betonului de ciment, b , este în funcție de indicativul betonului de ciment existent, conform art.32 și se stabilește cu ajutorul tabelului 13.

Valoarea exponentului b

Tabelul 13

Indicativ	b
Bce 6	-1/16
Bce 5	-1/16
Bce 4	-1/15
Bce 3	-1/15
Bce 2	-1/14
Bce 1	-1/14

Art. 40. Dacă pentru modul de alcătuire al structurii rutiere de calcul nu este îndeplinit criteriul de dimensionare prevăzut la art. 36, se modifică cu 1...2 cm grosimea stratului de bază din beton de ciment pentru lucrări noi de drumuri sau de străzi sau a straturilor din mixtură asfaltică pentru ranforsarea structurilor rutiere existente și se refac calculele pentru stabilirea comportării sub trafic a acestei structuri rutiere de calcul.

Secțiunea 2

Calculul duratei de viață reziduală

Art. 41. Stabilirea comportării sub trafic a structurii rutiere rigide existente are drept scop stabilirea numărului de solicitări ale osiei standard, N_{adm} , pe care stratul din beton de ciment îl poate prelua în continuare.

Art. 42. (1) În cazul în care stratul din beton de ciment reprezintă stratul de rulare, valorile N_{adm} se calculează cu relațiile următoare, în funcție de valoarea lui b și anume:

- pentru $b = -1/16$ $\log N_{adm} = 16(\log R_B - \log \sigma_r) - 6,72346$
- pentru $b = -1/15$ $\log N_{adm} = 15(\log R_B - \log \sigma_r) - 6,30325$
- pentru $b = -1/14$ $\log N_{adm} = 14 (\log R_B - \log \sigma_r) - 5,88303$

în care:

b - exponentul expresiei legii de oboseală a betonului de ciment, conform art. 39, tabelul 13;

R_B - rezistența la întindere prin despicare, în MPa, a betonului de ciment, conform art.39 (2);

σ_r - tensiunea de întindere orizontală la partea inferioară a stratului din beton de ciment, în MPa, calculată conform capitolului V.

(2) În cazul în care stratul din beton de ciment este acoperit cu straturi bituminoase cu grosimea de max. 8 cm, valorile N_{adm} se calculează cu relațiile de la art. 42 (1).

(3) În cazul în care stratul de beton de ciment este acoperit cu straturi bituminoase cu grosimi mai mari de 8 cm, valorile N_{adm} se calculează cu relațiile următoare, în funcție de valoarea lui b și anume:

- pentru $b = -1/16$ $\log N_{adm.} = 16(\log R_B - \log \sigma_r) - 5,64192$
- pentru $b = -1/15$ $\log N_{adm.} = 15(\log R_B - \log \sigma_r) - 5,28666$
- pentru $b = -1/14$ $\log N_{adm.} = 14(\log R_B - \log \sigma_r) - 4,93866$

în care b , R_B și σ_r au semnificațiile de mai sus.

Art. 43. Durata de viață reziduală, D_v , se calculează cu relația:

$$D_v = N_{adm.} / N_c \text{ anual}$$

în care:

- $N_{adm.} = 10^{\log N_{adm.}}$
- N_c anual – traficul de calcul mediu anual, în milioane osii standard, stabilit prin împărțirea traficului de calcul, calculat conform capitolului III, la numărul de ani corespunzător perioadei de perspectivă, luate în considerare.

CAPITOLUL VII

PROBLEME SPECIFICE DIMENSIONĂRII STRUCTURII RUTIERE PENTRU STRĂZI

Art. 44. Structura rutieră rigidă pentru străzi, în unele cazuri justificate tehnic și economic, poate fi executată în două etape:

- Etapa 1, în care stratul din beton de ciment constituie și un strat de rulare, circulația vehiculelor desfășurându-se pe suprafața acestuia; se recomandă ca acesta să se execute după definitivarea lucrărilor subterane.
- Etapa 2, în care stratul de beton de ciment este acoperit cu straturi bituminoase, a căror grosime minimă este conform art. 18.

Art. 45. Comportarea sub trafic a structurii rutiere trebuie să îndeplinească următoarele condiții.

$$N_{c1} \leq N_{adm.1}$$

$$N_c \leq N_{adm.1} + N_{adm.2}$$

- în care:
- N_{c1} - traficul de calcul din perioada în care stratul din beton de ciment constituie stratul de rulare, în milioane osii standard;
 - N_c - traficul de calcul pentru perioada de perspectivă luate în considerare, conform art.15;
 - $N_{adm.1}$ - numărul de solicitări ale osiei standard pe care stratul din beton de ciment îl poate prelua în perioada de timp de la execuție până la acoperire cu straturi bituminoase și care se calculează conform art. 46;
 - $N_{adm.2}$ - numărul de solicitări ale osiei standard pe care stratul din beton de ciment îl poate prelua în perioada de timp de la acoperirea cu straturi bituminoase și până la sfârșitul perioadei de perspectivă și se calculează conform art. 47.

Art. 46. Numărul de solicitări ale osiei standard pe care stratul din beton de ciment îl poate prelua în perioada de timp de la execuție până la acoperire cu straturi bituminoase, $N_{adm.1}$, se calculează cu următoarele relații, în funcție de valoarea lui b :

- pentru $b = -1/15$ $\log N_{adm.1} = 15(\log R_B - \log \sigma_r) - 6,30325$
- pentru $b = -1/14$ $\log N_{adm.1} = 14 (\log R_B - \log \sigma_r) - 5,88303$

iar $N_{adm.1} = 10^{\log N_{adm.1}}$.

Art. 47. Numărul de solicitări ale osiei standard pe care stratul din beton de ciment îl poate prelua în perioada de timp de la acoperirea cu straturi bituminoase și până la sfârșitul perioadei de perspectivă, $N_{adm.2}$, se calculează cu următoarele relații, în funcție de valoarea lui b :

- pentru $b = -1/15$ $\log N_{adm.2} = 15(\log R_B - \log \sigma_r) - 5,28666$
- pentru $b = -1/14$ $\log N_{adm.2} = 14 (\log R_B - \log \sigma_r) - 4,93866$

iar $N_{adm.2} = 10^{\log N_{adm.2}}$.

Art. 48. Grosimea necesară a stratului de bază este cea pentru care sunt îndeplinite condițiile prevăzute la art.45.

CAPITOLUL VIII ELEMENTE GEOMETRICE

Art. 49. Grosimea stratului de bază din beton de ciment al structurilor rutiere pentru drumuri publice și străzi este cea rezultată prin dimensionare, conform prezentului normativ, cu abateri locale maxime admise de -10 mm și de $+20$ mm.

Art. 50. Lățimea stratului de bază din beton de ciment se stabilește conform prescripțiilor în vigoare cu abateri locale maxime admise de ± 15 mm.

Art. 51. Pantele în profil transversal și declivitățile în profil longitudinal ale suprafeței stratului de bază din beton de ciment sunt aceleași ca ale îmbrăcămintei bituminoase sub care se execută

Art. 52. Denivelările admisibile în profil longitudinal ale suprafeței stratului de bază din beton de ciment sub dreptarul de 3,00 m sunt de maximum 10 mm.

Art. 53. Stratul de bază din beton de ciment se execută cu rosturi longitudinale și transversale.

- (1) Rosturile de dilatație se execută la distanțe de circa 100m.
- (2) Rosturile de contracție se execută la distanțe cuprinse între 4 m și 6 m perpendicular pe axa drumului, în linie continuă pe toată lățimea stratului de bază.
- (3) Rosturile de contact se realizează când se întrerupe turnarea betonului de ciment.

CAPITOLUL IX CONSIDERAȚII FINALE

Art. 54. La execuția stratului de bază din beton de ciment se recomanda a se tine seama de prevederile SR 183-1.

EXEMPLE DE CALCUL

Secțiunea 1

Exemplul 1

Dimensionarea stratului de bază din beton de ciment pentru o structură rutieră rigidă pentru o variantă a unui drum național din clasa tehnică II.

Datele problemei:

- (a) Se cere să se stabilească alcătuirea unei structuri rutiere rigide pe o variantă nouă a unui drum național principal din clasa tehnică II. Drumul este situat în zona climaterică II, într-o regiune în care sursele de agregate naturale de carieră sunt la distanțe relativ reduse față de traseul drumului.
- (b) Terasamentele rutiere sunt în rambleu, cu o înălțime de maximum 1,00 m. Pământul de fundare este alcătuit din prafuri și prafuri argiloase.
- (c) Caracteristicile traficului rutier sunt cele corespunzătoare postului de recensare situat pe drumul național, înainte de intrare în variantă. Astfel, recensământul general de circulație din anul 2000 a evidențiat următoarea compoziție a traficului:

380 autocamioane și derivate cu 2 osii

99 autocamioane și derivate cu 3 și 4 osii

194 autovehicule articulate

206 autobuze

75 remorci la autocamioane și tractoare

- (d) Perioada de perspectivă a drumului a fost stabilită de beneficiarul lucrării de 30 ani (2005 – 2035).

Stabilirea traficului de calcul

Se stabilește traficul de calcul, cu ajutorul datelor din tabelul 14.

Tabelul 14

Grupa de vehicule	$MZA_k / 2000 / 24$ ore	f_k	P_k	$MZA_k \times f_k \times P_k$
I	2	3	4	5
Autocamioane și derivate cu 2 osii	380	0.3	1.9	217
Autocamioane și derivate cu 3 și 4 osii	99	3.8	1.9	715
Autovehicule articulate	194	2.9	2.1	1181
Autobuze	206	1.5	1.7	525
Remorci la autocamioane și tractoare	75	0.2	2.2	33
Total vehicule	954			2671

NOTA:

- f_k este coeficientul mediu de echivalare a vehiculelor fizice în osii standard de 115 kN, a cărei valoare este conform tabelului 3, art. 14;
- P_k coeficientul de evoluție (valoarea medie probabilă) a traficului pentru mijlocul perioadei de perspectivă, respectiv anul 2020, conform anexei 1, tabelul 3.

Rezultă următorul trafic de calcul:

$$N_c = 365 \times 10^{-6} \times 30 \times 0,5 \times 2671 = 14,624 \text{ m.o.s, corespunzător clasei de trafic FOARTE GREU}$$

Stabilirea alcătuirii structurii rutiere

Se stabilește următoarea alcătuire a structurii rutiere de calcul, conform capitolului IV:

- îmbrăcămintea bituminoasă executată la cald, este prevăzută să fie alcătuită din
 - 4 cm strat de uzură
 - 8 cm strat de legătură
- strat de bază din beton de ciment, clasa C 16/20, cu următorii parametri de calcul și cu grosimea care va rezulta din calcule:
 - rezistența la întindere prin despicare, $R_B = 2,00 \text{ MPa}$;
 - exponentul legii de oboseală, $b = -1/14$;
- strat superior de fundație din piatră spartă, sort 63...80, cu grosime de 15 cm;
- strat inferior de fundație din balast, cu grosime de 25 cm.

- Analiza structurii rutiere de calcul (varianta 1) la solicitarea osiei standard

(1) Structura rutieră este caracterizată prin grosimea fiecărui strat rutier și prin caracteristicile de deformabilitate ale materialelor din straturile rutiere și ale pământului de fundare, conform tabelului 15.

Tabelul 15

Denumirea materialului din strat	Varianta 1	Varianta 2	E, MPa	μ
	h, cm			
Beton asfaltic pentru strat de uzură	4	4	3600	0,35
Beton asfaltic pentru strat de legătură	8	8	3000	0,35
Beton de ciment, C 16/20	22	24	18000	0,15
Piatră spartă mare, sort 63...80	15	15	400	0,27
Balast	25	25	168*	0,27
Pământ de fundare, P_4	∞	∞	70**	0,35

Notă:

* conform art. 29;

** conform art. 27(4), tabelul 2.

(2) Structura rutieră și pământul de fundare având 6 straturi, acestea se reduc la 5 straturi, prin luarea în considerare a îmbrăcămintei bituminoase cu grosimea de 12 cm și cu valoarea modulului de elasticitate mediu ponderat de 3197 MPa, care a fost calculată cu relația următoare, conform art. 33 (2):

$$E_m = [(4 \times 3600^{1/3} + 8 \times 3000^{1/3}) / 12]^3 = 3197 \text{ MPa}$$

(3) Pentru calculul tensiunii de întindere orizontală, σ_r , la baza stratului din beton de ciment se recomandă utilizarea normativului PD 177 – 2001.

Rezultă $\sigma_r = 0,764 \text{ MPa}$.

(4) Se calculează tensiunea de întindere admisibilă a betonului de ciment, conform art. 37, cu relația $\sigma_{r \text{ adm.}} = 0,45 k_s R_B N_c^b$

în care:

$k_s = 1$, portanța stratului de fundație din piatră spartă fiind mai mare de 120 MPa;

$R_B = 2,00 \text{ MPa}$;

$$N_c = 14,624 \text{ m.o.s.};$$

$$b = -1/14.$$

Rezultă $\sigma_{r \text{ adm.}} = 0,45 \times 1 \times 2,00 \times 14,624^{-1/15} = 0,743 \text{ MPa}$, o valoare mai mică decât tensiunea de întindere orizontală.

Se mărește la 24 cm grosimea stratului de bază din beton de ciment (structura rutieră de calcul, varianta 2).

- Analiza structurii rutiere de calcul (varianta 2) la solicitarea osiei standard

(1) Se calculează, tensiunea de întindere orizontală, σ_r , la baza stratului din beton de ciment. Rezultă $\sigma_r = 0,689 \text{ MPa}$, o valoare mai mică decât cea a rezistenței la întindere admisibile a betonului de ciment, deci grosimea necesară a stratului de bază din beton de ciment este între 22 cm și 24 cm.

- (2) Stabilirea grosimii necesare a stratului de bază din beton de ciment

- Se calculează logaritmul numărului de solicitări admisibil ale osiei standard pentru grosimile de 22 cm și de 24 cm ale stratului de bază din beton de ciment, cu următoarea relație prevăzută la art. 42(3) și anume, $\log N_{\text{adm.}} = 14(\log R_B - \log \sigma_r) - 4,93866$.

Rezultă pentru:

$$h_{BC} = 22 \text{ cm}, \log N_{\text{adm.}(22)} = 0,91245;$$

$$h_{BC} = 24 \text{ cm}, \log N_{\text{adm.}(24)} = 1,54069.$$

$$(\log N_{\text{adm.}(24)} - \log N_{\text{adm.}(22)}) / (24 - 22) = (1,54069 - 0,91245) / 2 = 0,31412.$$

- Grosimea necesară exactă a stratului de bază din beton de ciment se calculează cu relația

$$h_{BC} = (\log N_c - \log N_{\text{adm.}(22)}) / 0,31412 + 22, \text{ deci } h_{BC} = (\log 14,624 -$$

$$0,91245) / 0,31412 + 22 = 22,80 \text{ cm. Se rotunjește în plus la număr întreg, deci}$$

$h_{BC} = 23 \text{ cm}$. Această grosime a stratului de bază îndeplinește și condiția grosimii minime de 20 cm pentru clasa de trafic FOARTE GREU, corespunzător art.19 (2).

Secțiunea 2

Exemplul 2

Calculul duratei de viață reziduală a unei structuri rutiere cu îmbrăcămintă din beton de ciment.

Datele problemei:

- (a) Se cere să se calculeze durata de viață reziduală a unei structuri rutiere rigide cu îmbrăcămintă din beton de ciment, pe un drum național din clasa tehnică II. Drumul este situat în zona climaterică I.
- (b) Terasamentele rutiere sunt la nivelul terenului. Pământul de fundare este constituit din argile prăfoase.
- (c) Traficul de calcul pentru o perioadă de perspectivă de 10 ani este de 3, 650 m.o.s.
- (d) Indicele de degradare, are valoarea de 6,1.

Stabilirea alcătuirii structurii rutiere.

(1) Pentru îmbrăcămintea din beton de ciment au fost efectuate 5 sondaje, datele obținute fiind date în tabelul 16.

Tabelul 16

Nr. sondaj	Poziția km	h_{BC} , cm	R_B , MPa
1	1 + 464	16, 8	4, 5
2	1 + 656	18, 9	4, 3
3	1 + 958	17, 2	4, 4
4	2 + 134	17, 8	4, 5
5	2 + 450	18, 5	4, 9

Notă:

h_{BC} - grosimea îmbrăcămintei din beton de ciment a fost măsurată pe carotele cilindrice recoltate;
 R_B - rezistența la întindere prin despicare a fost determinată pe carotele cilindrice recoltate.

(a) Prelucrarea statistică a valorilor grosimii îmbrăcămintei din beton de ciment și a rezistenței la întindere prin despicare a condus la următoarele:

- grosimea caracteristică a îmbrăcămintei din beton de ciment a fost calculată conform anexei 2, cu relația:

$$h_{BC \text{ car.}} = h_{BC \text{ med.}} - t_{\alpha} \times s, \text{ în care:}$$

$h_{BC \text{ med.}}$ reprezintă grosimea medie a îmbrăcămintei din beton de ciment cu valoarea 17, 84 cm.

t_{α} - coeficient dedus din repartiția Student, în funcție de numărul de date și pentru un risc de depășire de 15%, a cărei valoare se scoate din anexa 2 cu valoarea de 1, 237;

s - abaterea medie pătratică a șirului de date, stabilit conform anexei 2. Ea se calculează cu relația

$$s = \sqrt{\sum h_{BCi}^2 - nh_{BC \text{ med.}}^2} / \sqrt{n}, \text{ în care:}$$

h_{BCi} - valorile individuale ale grosimii;

$h_{BC \text{ med.}}$ - valoarea medie a grosimii;

n - numărul de valori individuale ale grosimii,

de unde, $s = \sqrt{1594,38 - 1591,33} / \sqrt{5} = 0,781$.

Rezultă:

$$h_{BC \text{ car.}} = 17,84 - 1,237 \times 0,781 = 16,87, \text{ rotunjit } 17 \text{ cm.}$$

- rezistența la întindere prin despicare medie, $R_{B \text{ med.}} = 4,52 \text{ MPa}$, iar valoarea de calcul a rezistenței la întindere prin despicare $R_B = 0,90 \times 4,52 \times 1 = 4,07 \text{ MPa}$, în care 1 reprezintă valoarea factorului de reducere a rezistenței mecanice în funcție de indicele de degradare al îmbrăcămintei rutiere, conform tabelului 12;
- rezistența la întindere prin despicare caracteristică a fost calculată conform anexei 2, cu aceleași relații de mai sus și anume:

$$R_{B \text{ car.}} = R_{B \text{ med.}} - t_{\alpha} \times s, \text{ în care:}$$

t_{α} - coeficient dedus din repartiția Student cu valoarea de 1, 237;

s - abaterea medie pătratică a șirului de date calculată cu relația:

$$s = \sqrt{\sum R_{Bi}^2 - nR_{B \text{ med.}}^2} / \sqrt{n}, \text{ în care:}$$

R_{Bi} - valorile individuale ale rezistenței la întindere prin despicare;

$R_{B \text{ med.}}$ - valoarea medie a rezistenței la întindere prin despicare;

n - numărul de valori individuale ale rezistenței la întindere prin despicare,

de unde, $s = \sqrt{102,360 - 102,152^2 / 5} = 0,204$.

Rezultă:

$$R_{B \text{ car.}} = 4,52 - 1,237 \times 0,204 = 4,27 \text{ MPa.}$$

Conform tabelului 7, indicativul betonului de ciment existent este Bce 6, iar caracteristicile de deformabilitate ale acestuia sunt:

$$E = 35.000 \text{ MPa;}$$

$$\mu = 0,15$$

iar, conform tabelului 13, $b = -1/16$.

(2) Conform documentației de execuție, straturile de fundație sunt alcătuite din balast, cu grosime medie de 30 cm.

Analiza structurii rutiere de calcul la solicitarea osiei standard.

(1) Structura rutieră rigidă este caracterizată prin grosimea fiecărui strat rutier și prin caracteristicile de deformabilitate ale materialelor din straturile rutiere și ale pământului de fundare, conform tabelului 17.

Tabelul 17

Denumirea materialului din strat	h. cm	E. MPa	μ
Beton de ciment, Bce 6	17	35.000	0,15
Balast	30	182*	0,27
Pământ de fundare	∞	70**	0,42

Notă:

* conform art. 29;

** conform art. 27(4), tabelul 2.

(2) Se calculează, tensiunea de întindere orizontală, σ_r , la baza stratului din beton de ciment. Rezultă $\sigma_r = 2,06 \text{ MPa}$.

(1) Se calculează numărul de solicitări pe care îl poate prelua în continuare structura rutieră existentă cu relația următoare, conform art. 42:

$$\log N_{adm.} = 16(\log R_B - \log \sigma_r) - 6, 72346$$

$$\log N_{adm.} = 16(\log 4, 07 - \log 2, 06) - 6, 72346 = -1, 99182$$

iar, $N_{adm.} = 0, 010$ m.o.s.

(2) Durata de viață reziduală este, conform art. 43:

$$D_v = N_{adm.} / N_{anual} \quad \text{în care:}$$

- $N_{adm.} = 0, 010$ m.o.s., conform (1);
- $N_{c \text{ anual}}$ – traficul de calcul mediu anual, în milioane osii standard, calculat prin împărțirea traficului de calcul, $N_c = 3, 650$ m.o.s. la 10 ani, numărul de ani luat în considerare în stabilirea acestuia. Rezultă $N_{c \text{ anual}} = 0, 365$ m.o.s.

Deci, $D_v = 0, 010 / 0, 365 = 0, 03$ ani.

Rezultă deci că durata de viață reziduală este mai mică de 1 an, deci este necesară ranforsarea structurii rutiere.

Secțiunea 3

Exemplul 3

Calculul grosimii necesare a straturilor bituminoase de ranforsare a unei structurii rutiere rigide existente.

Datele problemei:

Se cere să se calculeze grosimea necesară a straturilor bituminoase de ranforsare a structurii rutiere rigide existente din exemplul 2

Analiza structurii rutiere de calcul la solicitarea osiei standard

(1) Structura rutieră este caracterizată prin grosimile straturilor bituminoase de ranforsare și cele ale fiecărui strat rutier al structurii rutiere existente și prin caracteristicile de deformabilitate ale materialelor din straturile rutiere și ale pământului de fundare, conform tabelului 18:

Tabelul 18

Denumirea materialului din strat	h, cm	E, MPa	μ
Beton asfaltic pentru strat de uzură	4	3600	0, 35
Beton asfaltic pentru strat de legătură	8	3000	0, 35
Beton de ciment. Bce 6	17	35. 000	0, 15
Balast	30	182*	0, 27
Pământ de fundare	∞	70**	0, 42

. Notă: * conform art. 29;

** conform art. 27(4). tabelul 2.

(2) Se calculează, tensiunea de întindere orizontală, σ_r , la baza stratului din beton de ciment.

Rezultă $\sigma_r = 1,410$ MPa.

(3) Se calculează tensiunea de întindere admisibilă a betonului de ciment, conform art. 37, cu relația $\sigma_{r \text{ adm.}} = 0, 45 k_s R_B N_c^b$ în care:

$k_s = 1$, portanța stratului de fundație din piatră spartă fiind mai mare de 120 MPa;

$R_B = 4, 07$ MPa;

$N_c = 3, 65$ m.o.s.;

$b = -1/16$.

Rezultă $\sigma_{r,adm.} = 0,45 \times 1 \times 4,07 \times 3,65^{-1/16} = 1,689$ MPa, o valoare mai mare decât tensiunea de întindere orizontală. Din punctul de vedere al criteriului de dimensionare, grosimea îmbrăcămintei bituminoase poate fi micșorată, dar grosimea de 12 cm constituie o grosime minimă pentru un drum din clasa tehnică II, conform art 18 (1).

Soluția de ranforsare este deci, **4 cm strat de uzură din beton asfaltic și 8 cm strat de legătură din beton asfaltic deschis.**

Secțiunea 4

Exemplul 4

Dimensionarea stratului de bază din beton de ciment pentru o structură rutieră rigidă a unei străzi, prevăzută să fie executată în două etape.

Datele problemei:

- (a) Se cere să se stabilească alcătuirea unei structuri rutiere rigide pentru o stradă din categoria tehnică IV, a cărei execuție urmează să fie efectuată în două etape, în prima etapă, circulația traficului generat de șantierul de construcție de locuințe urmând să se desfășoare pe stratul din beton de ciment.

Strada este situată în zona climaterică II.

- (b) Regimul hidrologic este 1, corespunzător condițiilor hidrologice FAVORABILE. Pământul de fundare este alcătuit din prafuri argiloase.
- (c) Traficul de calcul pentru o perioadă de perspectivă de 30 ani este de 8,65 m.o.s. Pe durata de doi ani, cât se estimează că vor dura lucrările de construcție, se estimează un trafic mediu zilnic echivalent de 20 osii standard pe o bandă de circulație.

Stabilirea traficului de calcul

Pentru prima etapă, $N_{c1} = 14600$ o.s., deci 0,015 m.o.s.

Traficul de calcul pentru perioada de perspectivă de 30 ani, $N_c = 8,65$ m.o.s, este corespunzător clasei de trafic GREU, conform art. 19.

Stabilirea alcătuirii structurii rutiere

Se stabilește următoarea alcătuire a structurii rutiere de calcul, conform capitolului IV:

- îmbrăcăminte bituminoasă executată la cald, cu grosime de 12 cm armata cu geotextil, conform art. 18 (1) alcătuită din:
 - 4 cm strat de uzură
 - 8 cm strat de legătură
- strat de bază din beton de ciment, în două variante:
 - varianta 1: beton de ciment clasa C 16/20, cu următorii parametri de calcul:
 - rezistența la întindere prin despicare, $R_B = 2,00$ MPa;
 - exponentul legii de oboseală, $b = -1/15$;
 - grosimea 22 cm;

- varianta 2: beton de ciment rutier, clasa BcR 4,0, cu următorii parametri de calcul:
 - rezistența la întindere prin despicare, $R_B = 2,80$ MPa;
 - exponentul legii de oboseală, $b = -1/15$;
 - grosimea 22 cm.
- strat de fundație din balast, cu grosime de 25 cm.

Analiza structurii rutiere de calcul la solicitarea osiei standard pentru etapa 1

- (1) Structura rutieră este caracterizată prin grosimile straturilor rutiere și prin caracteristicile de deformabilitate ale materialelor din straturile rutiere și ale pământului de fundare, conform tabelului 19.

Tabelul 19

Denumirea materialului din strat	Varianta 1			Varianta 2		
	h, cm	E, MPa	μ	h, cm	E, MPa	μ
Beton de ciment	22	20000	0,15	22	30000	0,15
Balast	25	192*	0,27	25	192*	0,27
Pământ de fundare, P_4	∞	80**	0,35	∞	80**	0,35

. Notă:

* conform art. 29;

** conform art. 27(4), tabelul 2.

- (2) Se calculează , tensiunea de întindere orizontală, σ_r , la baza stratului din beton de ciment.

Rezultă pentru varianta 1, $\sigma_{r1} = 1,24$ MPa, iar pentru varianta 2, $\sigma_{r2} = 1,34$ MPa.

- (3) Se calculează numărul de solicitări pe care îl poate prelua stratul din beton de ciment în perioada de timp de la execuție până la acoperirea cu straturi bituminoase pentru ambele variante conform art. 46 și anume, $\log N_{adm.} = 15 (\log R_B - \log \sigma_{r1}) - 6$, 30325.

Rezultă:

- pentru varianta 1, $\log N_{adm.var.1} = 15 (\log 2,00 - \log 1,24) - 6$, 30325 = -3,18913
iar, $N_{adm.var.1} = 0,00065$ m.o.s., mult mai mic decât traficul de calcul, $N_{c1} = 0,015$ m.o.s.
- pentru varianta 2, $\log N_{adm.var.2} = 15 (\log 2,80 - \log 1,34) - 6$, 30325 = -1,50245
iar, $N_{adm.var.2} = 0,031$ m.o.s., mai mare decât traficul de calcul, $N_{c1} = 0,015$ m.o.s.

În consecință, se reține drept soluție varianta 2 de alcătuire.

Analiza structurii rutiere de calcul la solicitarea osiei standard pentru etapa 2

- (1) Structura rutieră este caracterizată prin grosimile straturilor rutiere și prin caracteristicile de deformabilitate ale materialelor din straturile rutiere și ale pământului de fundare, conform tabelului 20.

Tabelul 20

Denumirea materialului din strat	h, cm	E, MPa	μ
Beton asfaltic pentru strat de uzură	4	3600	0,35
Beton asfaltic pentru strat de legătură	8	3000	0,35
Beton de ciment. BcR 4.0	22	30 000	0,15
Balast	25	192*	0,27
Pământ de fundare	∞	80**	0,35

. Notă: * conform art. 29;

** conform art. 27(4), tabelul 2.

- (2) Se calculează , tensiunea de întindere orizontală, σ_r , la baza stratului din beton de ciment.

Rezultă $\sigma_r = 0,95$ MPa.

(3) Se calculează numărul de solicitări pe care îl poate prelua stratul din beton de ciment în perioada de timp de la acoperirea cu straturi bituminoase până la sfârșitul perioadei de perspectivă, conform art. 47:

$$\log N_{adm.2} = 15 (\log R_B - \log \sigma_r) - 5,28666$$

$$\log N_{adm.2} = 15 (\log 2,80 - \log 0,95) - 5,28666 = 1,75486$$

$$\text{iar, } N_{adm.2} = 56,87 \text{ m.o.s.}$$

Rezultă structura rutieră alcătuită din:

4 cm strat de uzură bituminos

8 cm strat de legătură bituminos

22 cm strat de bază din beton de ciment

25 cm strat de fundație din balast

care prezintă o comportare sub trafic care îndeplinește condițiile conform art. 45

$$N_{c1} \leq N_{adm.1} \text{ și anume, } 0,015 \text{ m.o.s} \leq 0,031 \text{ m.o.s.}$$

$$N_c \leq N_{adm.1} + N_{adm.2} \text{ și anume, } 8,65 \text{ m.o.s.} \leq 0,031 \text{ m.o.s} + 56,87 \text{ m.o.s.}$$

ANEXA Nr. 2

la normativ

STABILIREA GROSIMII CARACTERISTICE ȘI A REZISTENȚEI LA ÎNTINDERE PRIN DESPICARE CARACTERISTICE

Grosimea caracteristică a îmbrăcămintei din beton de ciment existente se utilizează în dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare a structurilor rutiere existente, conform art. 22 (4).

Rezistența la întindere prin despicare caracteristică se utilizează pentru stabilirea indicativului unui beton de ciment existent dintr-un strat rutier, conform art. 32 (1).

Aceste caracteristici ale îmbrăcămintei din beton de ciment se obțin prin calculul statistic al minimum patru valori ale grosimii, măsurate pe carote sau al minimum patru valori ale rezistenței la întindere prin despicare determinate pe carote.

Grosimea caracteristică sau rezistența la întindere prin despicare caracteristică se calculează cu relația:

$$x_{car.} = x_{med.} - t_{\alpha} \times s, \quad \text{în care:}$$

$x_{med.}$ este valoarea medie a grosimii sau a rezistenței la întindere prin despicare, calculată cu relația:

$$x_{med.} = \sum_{i=1}^n x_i / n$$

în care x_i reprezintă valorile individuale ce alcătuiesc șirul de date, iar n , numărul de date;

t_{α} - coeficient dedus din repartitia Student, în funcție de numărul de date și pentru un risc de depășire de 15%, a cărei valoare se scoate din tabelul 1;

s - abaterea medie pătratică a șirului de date, calculată cu relația

$$s = \sqrt{\sum x_i^2 - nx_{med.}^2} / \sqrt{n}$$

, în care x_i , $x_{med.}$ și n , au semnificațiile de mai sus.

Exemplu de calcul

(1) Se cere să se calculeze rezistența la întindere prin despicare caracteristică pentru un beton de ciment, pentru care au fost determinate pe carote cilindrice următoarele valori ale rezistenței la întindere prin despicare: 3,6 MPa, 3,2 MPa, 2,9 MPa, 3,4 MPa, 3,3 MPa, 3,0 MPa și 4,0 MPa.

Se întocmește tabelul de lucru de mai jos.

n	R_B , Mpa	R_B^2 , MPa
1	3,6	12,96
2	3,2	10,24
3	2,9	8,41
4	3,4	11,56
5	3,3	10,89
6	3,0	9,00
7	4,0	16,00
Σ	23,4	79,06

(2) Se calculează rezistența la întindere prin despicare medie:

$$R_B = 23,4 / 7 = 3,34 \text{ MPa}$$

(3) Se calculează rezistența la întindere prin despicare caracteristică cu relația :

$$R_{B \text{ car.}} = 3,34 - 1,173 \times 0,37 = 2,91 \text{ MPa} \quad \text{în care:}$$

t_{α} - coeficient dedus din repartiția Student cu valoarea 1,173 pentru 7 valori individuale ale rezistenței la întindere prin despicare, conform tabelului 1;

s - abaterea medie pătratică a șirului de date, calculată cu relația

$$s = \sqrt{79,06 - 7 \times 3,34^2} / \sqrt{7} = \sqrt{0,9708} / \sqrt{7} = 0,37 \text{ MPa}$$

Conform tabelului 7, indicativul betonului de ciment este Bce 4.

Tabelul 1

n	t_{α}
2	2,228
3	1,474
4	1,308
5	1,237
6	1,199
7	1,173
8	1,155
9	1,143
10	1,133
11	1,126
12	1,120
13	1,114
14	1,110
15	1,108
16	1,104
17	1,101
18	1,098
19	1,096

20	1,095
21	1,093
22	1,091

Tabelul 1 - continuare

n	t_{α}
23	1,090
24	1,089
25	1,088
26	1,086
27	1,086
28	1,085
29	1,084
30	1,082
40	1,077
50	1,073