NORMATIV pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple şi semirigide (Metoda analitică)

Indicativ PD 177 - 2001

Cuprins

1. Prevederi generale

1.1. Prezentul normativ se referă la metoda analitică de dimensionare a sistemelor rutiere suple şi semirigide.

Domeniu de aplicare

1.2. Prevederile normativului se aplică la dimensionarea sistemelor rutiere pentru:

- construcții de drumuri noi, drumuri expres, autostrăzi şi străzi;
- modernizări de drumuri pietruite existente;
- lucrări de reabilitare a drumurilor (lărgirea părții carosabile, benzi suplimentare de circulație, variante), la drumurile din clasele tehnice I II şi II.

Pentru drumuri din clasele tehnice IV şi V, aplicarea prezentului normativ este facultativă. În acest caz se adoptă structuri rutiere conform Catalogului de structuri tip pentru drumuri publice, elaborat de CESTRIN.

1.3. Sistemele rutiere dimensionate conform prezentului normativ se verifică din punctul de vedere al rezistenței la acțiunea fenomenului de îngheț - dezgheț, conform prevederilor STAS 1709 / 2.

1.4. Terminologie, conform STAS 4032/1, cu următoarele completări:

- **anul modernizării drumului** - anul în care se face amenajarea complexă a drumului prin executarea şi a unui sistem rutier cu îmbrăcăminte modernă (sistem rutier suplu sau semirigid);

- fisurare reflectivă - procesul de transmitere la suprafața părții carosabile a fisurilor de contracție hidraulică sau termică din straturile alcătuite din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. În cazul ranforsărilor drumurilor existente, acest proces se poate referi la transmiterea la suprafața noii îmbrăcăminți bituminoase a fisurilor şi/sau a crăpăturilor existente în vechea îmbrăcăminte rutieră;

- perioada de perspectivă - perioada de timp, exprimată în ani, pentru care se stabileşte traficul de calcul al sistemului rutier;

- sector omogen - sector de drum caracterizat concomitent

prin aceleaşi date privind traficul de calcul, tipul de pământ, tipul climateric al zonei în care este situat drumul şi regimul hidrologic al complexului rutier. Sectorul omogen de drum este caracterizat prin aceeaşi alcătuire a sistemului rutier;

- temperatura echivalentă a straturilor bituminoase-

temperatura pentru care suma degradărilor produse de solicitările traficului pe parcursul unui an, pentru o distribuție dată a temperaturilor, este egală cu degradările produse de aceleaşi solicitări ale traficului, dar pentru temperatura constantă, $\theta_{ech}\ (°C)$;

- trafic de calcul - numărul de osii standard cu sarcina de 115 kN, pe banda de circulație cea mai solicitată, echivalent vehiculelor care vor circula pe drum pe perioada de perspectivă.

1.5. Reglementările tehnice conexe sunt date în anexa 1.

1.6. Acest normativ înlocuieşte capitolul III al Instrucțiunilor tehnice departamentale pentru dimensionarea sistemelor rutiere rigide şi nerigide, indicativ PD 177 - 76.

[top]

2. Principii de dimensionare

2.1. Dimensionarea sistemelor rutiere suple şi semirigide se bazează pe îndeplinirea concomitentă a următoarelor criterii:

- pentru sisteme rutiere suple:

  - deformația specifică de întindere admisibilă la baza straturilor bituminoase;

  - deformația specifică de compresiune admisibilă la nivelul patului drumului;

- pentru sisteme rutiere semirigide:

  - deformația specifică de întindere admisibilă la baza straturilor bituminoase;

  - tensiunea de întindere admisibilă la baza stratului/ straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici;

  - deformația specifică de compresiune admisibilă la nivelul patului drumului.

2.2. Metoda analitică de dimensionare se bazează pe stabilirea unei alcătuiri a sistemului rutier, în conformitate cu prevederile prescripțiilor tehnice în vigoare şi verificarea stării de solicitare a acestuia, sub acțiunea traficului de calcul, astfel încât să îndeplinească criteriile de dimensionare menționate la punctul 2.1.

2.3. Pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple şi semirigide este necesar să se efectueze în prealabil studii, în vederea următoarelor date:

- compoziția şi intensitatea traficului şi evoluția în perspectivă a acestuia;

- caracteristicile geotehnice ale pământului de fundare;

- regimul hidrologic al complexului rutier (tipul profilului transversal, modul de asigurare a scurgerii apelor de suprafață, posibilitățile de drenare, nivelul apei freatice).

2.4. Dimensionarea sistemului rutier comportă următoarele etape:

- stabilirea traficului de calcul, conform capitolului 3;
- stabilirea capacității portante la nivelul patului drumului, conform capitolului 4;
- alegerea unei alcătuiri a sistemului rutier, conform capitolului 5;
- analiza sistemului rutier la solicitarea osiei standard, conform capitolului 6;
- stabilirea comportării sub trafic a sistemului rutier, conform capitolului 7.

[top]

3. Stabilirea traficului de calcul

3.1. La dimensionarea sistemelor rutiere suple şi semirigide 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.

3.2. Osia standard de 115 kN (o.s. 115) prezintă următoarele caracteristici:

- sarcina pe roțile duble: 57,5 kN

- presiunea de contact: 0, 625 MPa

- raza suprafeței circulare echivalente suprafeței de contact pneu-drum 0,171 m

3.3 Perioada de perspectivă

3.3.1. Perioada de perspectivă va fi indicată de beneficiarul lucrării. Ea se stabileşte în cadrul primei faze de proiectare, avându-se în vedere atât traficul actual cât şi evoluția în perspectivă a acestuia.

3.3.2. Se recomandă adoptarea unei perioade de perspectivă de minimum 15 ani în cazul construcțiilor de autostrăzi, de drumuri expres, de drumuri europene şi celorlalte categorii de drumuri din clasele tehnice I şi II şi de minimum 10 ani în cazul drumurilor din clasele III, IV şi V.

3.3.3. În cazul dimensionării sistemelor rutiere de pe benzile de lărgire a părții carosabile a drumurilor existente, la lucrări de reabilitare a acestora, perioada de perspectivă va fi aceeaşi ca cea care se ia în considerare la dimensionarea straturilor de ranforsare ale sistemului rutier existent.

3.4. Compoziția şi intensitatea traficului.

3.4.1. Compoziția şi intensitatea traficului corespunzătoare unui post de recensământ se aplică pe sectorul de drum aferent acelui post conform sectorizării rețelei făcută cu ocazia ultimului recensământ general al circulației.

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

3.4.3. 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 şi de pe alte căi de comunicație, ca urmare a creării unor condiții mai avantajoase de circulație (scurtarea duratei de parcurs, reducerea cheltuielilor de transport, creşterea confortului şi siguranței circulației).

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

3.4.4. În cazul străzilor şi în cel al drumurilor județene, comunale şi vicinale, în situația în care pe tronsonul de drum supus modernizării nu a funcționat nici un post de recenzare sau se anticipează redistribuiri de trafic, este recomandabil să se efectueze un studiu de trafic pentru stabilirea intensității medii zilnice anuale actuale şi de perspectivă a traficului şi a compoziției acestuia.

3.5. Evoluția în perspectivă a traficului rutier

3.5.1. Coeficienții minimali de evoluție, stabiliți pe baza ultimului recensământ general de circulație pentru perioada 1995...2015, pe grupe de vehicule sunt dați în anexa 2. Valorile acestor coeficienți de evoluție vor fi reactualizate după fiecare recensământ general de circulație de către Administrația Națională a Drumurilor (AND).

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

Odată estimat prin ancheta de circulație origine-destinație (O/D) traficul generat/atras către fiecare zonă de trafic din teritoriul de influență al drumului prin procedee specifice de modelare matematică a traficului se pun în evidență curenții de circulație (matricele de trafic O/D) şi se afectează traficul pe rețeaua rutieră actuală şi de viitor.

Înlocuind în modelul de trafic calat pentru situația actuală potențialele de trafic actual generat/atras de fiecare zonă cu cele de prognoză şi modelând rețeaua rutieră de perspectivă prin introducerea tronsoanelor de drumuri noi se vor obține valorile fluxurilor de trafic de perspectivă prin proceduri specifice de afectare a traficului pe rețea.

La stabilirea traficului de calcul de perspectivă se vor avea în vedere atât compoziția traficului cât şi variația acestuia în timp explicitându-se în final valorile de trafic pe categorii de vehicule la nivelul traficului mediu zilnic anual (MZA) pentru diferite orizonturi de timp.

3.5.3. Studiile de trafic pentru drumurile europene supuse modernizării sau pe alte drumuri deschise traficului greu trebuie să ia în considerare prezența în compoziția traficului a autovehiculelor cu sarcina pe osie cuprinsă între 100 KN şi 115 KN, ca urmare a creşterii limitei maxime a tonajelor pe osia simplă de la 10,0 t la 11,0 t, în cazul autovehiculelor cu suspensie pneumatică care vor circula pe aceste drumuri, în conformitate cu prevederile Legii 82/1998 de aprobare a Ordonanței Guvernului nr. 43/1997 privind regimul drumurilor.

3.6. Coeficienții de echivalare în osii standard a diferitelor tipuri de autovehicule.

3.6.1. Coeficienții de echivalare în osii standard de 115 kN stabilit pe baza rezultatelor ultimului recensământ general de circulație sunt prezentați în tabelul 2 din anexa 2.

3.6.2. Valorile acestor coeficienți vor fi reactualizate de către AND după fiecare recensământ general de circulație sau ca urmare a studiilor de trafic efectuate.

3.7. Stabilirea traficului de calcul

3.7.1. Traficul de calcul se exprimă în milioane de osii standard de 115 kN (m.o.s.) şi se stabileşte pe baza structurii traficului mediu zilnic anual în posturile de recenzare aferente sectorului de drum, cu relația:

$$N_c = 365 \times 10^{-6} \times p_p \times c_{rt} \times \sum_{k=1}^{5} n_{ki} \times \frac{p_{kR} + p_{kF}}{2} \times f_{ek} \text{ (m.o.s.) (1)}$$

în care:

N_c - traficul de calcul;

365 - zile calendaristice dintr-un an;

P_p - perioada de perspective, în ani;

c_{rt} - coeficientul de repartiție transversală, pe benzi de circulație şi anume:

- - pentru drumuri cu două şi trei benzi de circulație c_{rt} = 0,50;
- - pentru drumuri cu patru sau mai multe benzi de circulație c_{rt} =0,45.

n_{kl}- intensitatea medie zilnica anuală a vehiculelor din grupa k, conform rezultatelor recensământului de circulație;

p_{kR}- coeficientul de evoluție al vehiculelor din grupa k, corespunză-tor anului de dare în exploatare a drumului, anul R, stabilit prin interpolare;

p_{kF}- coeficientul de evoluție al vehiculelor din grupa k, corespunzător sfârşitului perioadei de perspective luată în considerare (anul F), stabilită prin interpolare;

f_{ek}- coeficientul de echivalare a vehiculelor din grupa k în osii standard de 115 kN, conform anexei 2, tabelul 1;

3.7.2. În cazul în care se dispune de date privind intensitatea traficului mediu zilnic anual în osii standard de 115 kN, actual si de perspectivă, traficul de calcul se stabileşte cu relația:

$$N_c = 365 \times 10^{-6} \times p_p \times c_{rt} \times \frac{n_{o.s.115R} + n_{o.s.115F}}{2} \text{ (m.o.s.) (2)}$$

În care:

365, p_p şi c_{rt} au semnificațiile de mai sus;

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

$n_{o.s115F}$ - numărul de osii standard de 115 kN, corespunzător sfârşitului perioadei de perspective luată în considerare (anul F), stabilit prin interpolare.

3.7.3. În cazul drumurilor pe care recensământul de circulație s-a efectuat pe fiecare bandă de circulație, pentru stabilirea traficului de calcul se vor lua în considerare rezultatele recensământului de pe banda cea mai solicitată. În acest caz, coeficientul de repartiție transversală este $c_{rt} = 1$.

3.7.4. Modificarea perioadei de perspectivă, în vederea corelării acesteia cu data dării în exploatare a drumului, implică recalcularea traficului de calcul şi în consecință, redimensionarea sistemului rutier.

[top]

4. Stabilirea capacității portante la nivelul patului drumului

4.1. Suportul sistemului rutier este constituit din terasamente alcătuite din pământuri de fundare, în conformitate cu prevederile STAS 2914 şi eventual dintr-un strat de formă, în conformitate cu prevederile STAS 12253 şi este caracterizat în vederea dimensionării prin caracteristicile de deformabilitate: modulul de elasticitate dinamic şi coeficientului lui Poisson.

4.2. Caracteristicile de deformabilitate ale pământului de fundare se

se stabilesc în funcție de tipul pământului, de tipul climateric al zonei în care este situat drumul şi de regimul hidrologic al complexului rutier.

4.2.1. Tipurile de pământ, în conformitate cu STAS 1243, sunt prezentate în tabelul 1.

Tipurile de pământ pe baza clasificării pământurilor

Tabelul 1.

Categoria pământului	Tipul de pământ	Clasificarea pământurilor conform STAS 1243	Indicele de Plasticitate Ip %	Granulozitatea		
				Argilă %	Praf %	Nisip %
Necoezive	P_1	Pietriş 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	0…25	0…30	35…100	0…50

		nisipos				
	P_5	Argilă, argilă prăfoasă, argilă nisipoasă, argilă prăfoasă nisipoasă	Peste 15	30… 100	0…70	0…70

4.2.2. Repartiția tipurilor climaterice pe teritoriul țării este arătată în harta din figura 1.

4.2.3. Regimul hidrologic se diferențiază astfel:

- regimul hidrologic 1, corespunzător condițiilor hidrologice FAVORABILE, conform STAS 1709/2;

- regimul hidrologic 2, corespunzător condițiilor hidrologice MEDIOCRE şi DEFAVORABILE, conform STAS 1709/2, notat:

2a: pentru sectoare de drum situate în rambleu, cu înălțimea minimă de 1,00 m;

2b: pentru sectoare de drum situate:

- în rambleu cu înălțimea sub 1,00 m,

- la nivelul terenului,

- în profil mixt,

- debleu.

4.2.4. Valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic sunt prezentate în tabelul 2.

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

Tabelul 2

<table>
<tr><td rowspan="3">Tipul climateric</td><td rowspan="3">Regimul hidrologic</td><td colspan="5">Tipul pământului</td></tr>
<tr><td>P1</td><td>P2</td><td>P3</td><td>P4</td><td>P5</td></tr>
<tr><td colspan="5">Ep, Mpa</td></tr>
<tr><td rowspan="3">I</td><td>1</td><td rowspan="9">100</td><td rowspan="6">90</td><td>70</td><td rowspan="2">80</td><td>80</td></tr>
<tr><td>2a</td><td rowspan="2">65</td><td>75</td></tr>
<tr><td>2b</td><td>70</td><td>70</td></tr>
<tr><td rowspan="3">II</td><td>1</td><td rowspan="3">65</td><td rowspan="2">80</td><td>80</td></tr>
<tr><td>2a</td><td rowspan="2">70</td></tr>
<tr><td>2b</td><td>80</td><td>70</td></tr>
<tr><td rowspan="3">III</td><td>1</td><td>90</td><td rowspan="3">60</td><td>55</td><td>80</td></tr>
<tr><td>2a</td><td rowspan="2">80</td><td rowspan="2">50</td><td rowspan="2">65</td></tr>
<tr><td>2b</td></tr>
</table>

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

Valorile de calcul ale coeficientului lui Poisson pentru pământuri

Tabelul 3

Tipul de pământ	P1	P2	P3	P4	P5
Coeficientul lui Poisson	0,27	0,30	0,30	0,35	0,42

4.3. În cazul terasamentelor executate din deşeuri de carieră sau din cenuşă de termocentrală se recomandă următoarele valori ale caracteristicilor de deformabilitate:

- deşeuri de carieră E_p= 100 MPa μ = 0,27

- cenuşa de termocentrală E_p= 50 MPa μ = 0,42

Pe sectoarele de drum în exploatare pe care rambleurile au fost realizate din aceste materiale se recomandă stabilirea valorilor de calcul ale modulului de elasticitate dinamic pe baza rezultatelor măsurătorilor de deformabilitate cu deflectometre cu sarcină dinamică.

4.4 Îmbunătățirea capacității portante la nivelul patului drumului se poate face prin prevederea unui strat de formă, în conformitate cu prevederile STAS 12253.

4.4.1. Straturile de formă pot fi alcătuite din:

- materiale necoezive:

- pământuri necoezive;

- materiale granulare din pietruiri existente;

- deşeuri de carieră;

- zgură brută de furnal înalt;

- materiale coezive:

- pământuri coezive tratate cu var;

- pământuri stabilizate cu zgura granulate şi var;

- pământuri stabilizate cu ciment;

- agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici.

4.4.2. Modul de alcătuire a stratului de formă se stabileşte pe bază de calcule tehnico-economice, în funcție de materialele care alcătuiesc terasamentele, de materialele disponibile în zona drumului şi de funcțiile stratului de formă, atât în perioada de execuție a drumului, cât şi în cea de exploatare a acestuia.

4.4.3. Caracteristicile de deformabilitatea ale materialelor din stratul de formă sunt în funcție de tipul acestora, şi anume:

- pentru materialele necoezive:

- valoarea de calcul a modulului de elasticitate dinamic ($E_{s.f.}$) este în funcție de cea a materialelor din stratul suport (E_p) şi se calculează cu următoarea relație:

$$E_{s.f.} = 0,20 \times h_{s.f.}^{0,45} \times E_p \text{ (Mpa) (3)}$$

în care $h_{s.f.}$ este grosimea stratului de formă, în mm;

- coeficientul lui Poisson are valoarea 0,27.

- pentru materialele coezive, în conformitate cu tabelul 4.

4.4.4. Pentru folosirea rațională a agregatelor naturale în straturile de fundație se recomandă să se asigure la nivelul patului drumului o capacitate portantă minimă, caracterizată prin valoarea modulului de elasticitate dinamic echivalent al sistemului bistrat (strat de formă – pământ de fundare) de min. 80 MPa. Grosimea stratului de forma necesară realizării acestei capacități portante se stabileşte cu ajutorul diagramei din figura 2 pentru straturile de formă din materiale necoezive şi cu cea din figurile 3, 4, 5, şi 6 pentru straturile de forma din materiale coezive, în funcție de modulul de elasticitate dinamic al materialului respectiv.

[top]

5. Alegerea alcătuirii sistemului rutier

5.1. Sistemele rutiere a căror dimensionare face obiectul acestui normative se clasifica in funcție de alcătuire in doua tipuri:

- sisteme rutiere suple;

- sisteme rutiere semirigide.

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

Tabelul 4

Denumirea materialului	Modulul de elasticitate dinamic $E_{s.f.}$, MPa	Coeficientul lui Poisson μ
Pământuri coezive tratate cu var: - tip P_3 şi P_4 - tip P_5	150 250	0,35 0,35
Pământuri coezive stabilizate cu zgură granulat şi var	200	0,30
Pământuri stabilizate cu ciment	300	0,27
Agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici: - zgură granulată - cenuşă de termocentrală - tuf vulcanic	400 500 400	0,27 0,27 0,27

5.2. Sistemele rutiere suple, numite şi nerigide, comportă o îmbrăcăminte bituminoasă pe straturi de bază şi de fundație alcătuite în general din agregate naturale. Variantele de alcătuire, în conformitate cu prevederile STAS 6400 sunt date în tabelul 5.

5.3. Sistemele rutiere semirigide, numite şi mixte, comportă o îmbrăcăminte bituminoasă şi au în alcătuire cel puțin un strat din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Variantele de alcătuire a sistemelor rutiere semirigide, in conformitate cu prevederile STAS 6400, sunt date in tabelul 6.

5.4. Variantele de alcătuire ale sistemelor rutiere suple şi semirigide din tabelele 5 si 6 sunt în funcție de clasa tehnică a drumului, definită în conformitate cu prevederile Ordinului M.T. nr. 46/27 ianuarie 1998 pentru aprobarea Normelor tehnice privind stabilirea clasei tehnice a drumurilor publice.

5.5. Încadrarea drumurilor în clase tehnice se face în conformitate cu prevederile normelor precizate la pct. 5.4.

5.6. Tipul de sistem rutier se stabileşte în funcție de materialele preponderente în regiune şi anume:

- agregatele naturale de carieră, care au o pondere importantă în sistemele rutiere suple;

- agregatele naturale de balastiera, care au o pondere importantă în sistemele rutiere semirigide.

5.7. Alcătuirea sistemului rutier şi anume, variația pe grosimea acestuia a tipurilor de straturi rutiere şi a grosimilor acestora se stabileşte luând in considerare următoarele:

- grosimile minime constructive ale diferitelor straturi rutiere, conform prevederilor tabelelor 5 si 6;

- grosimile maxime ale diferitelor straturi rutiere, ținând cont de anumite constrângeri specifice tehnologiilor de execuție;

- reducerea numărului de straturi, respectiv de interfețe, în scopul micşorării riscului apariției unor defecțiuni privind aderenta între straturi;

- stabilirea alcătuirii stratului de formă astfel încât, grosimea acestuia să poată fi luată în considerare în dimensionarea structurii rutiere la acțiunea fenomenului de îngheț – dezgheț, în conformitate cu prevederile STAS 1709/2;

- asigurarea unei protecții suficiente față de manifestarea procesului de fisurare reflectiva.

5.8. În cazul modernizării unor drumuri existente, atunci când traseul drumului modernizat coincide cu cel al drumului existent, luarea în considerare a materialelor granulare din pietruirea existentă în alcătuirea complexului rutier se face în funcție de lățimea şi grosimea pietruirii, conform prevederilor STAS 6400.

5.8.1. Pietruirea poate constitui un substrat de fundație sau un strat de fundație, numai dacă îndeplineşte condițiile tehnice prevăzute în STAS 6400.

5.8.2. În cazul în care pietruirea nu este pe toată lățimea patului drumului, iar grosimea ei este mai mică de 10 cm, nu se ia în considerare în dimensionarea sistemului rutier. Ea se scarifică şi se reprofilează pe toata lățimea patului drumului.

5.8.3. În cazul în care pietruirea are o lățime egală cu cea a patului drumului, iar grosimea ei este de minimum 10 cm, ea poate alcătui stratul de formă sau stratul inferior de fundație, care va fi luat în considerare în dimensionarea sistemului rutier.

5.8.4. În cazul în care pietruirea nu este pe toată lățimea patului drumului, dar grosimea ei este mai mare de 10 cm, se sacrifică şi se reprofilează, iar grosimea ei după compactare va fi luată în considerare în dimensionarea sistemului rutier.

5.9. Se recomandă adoptarea unei structuri rutiere tip, conform Catalogului de structuri rutiere tip pentru drumuri publice, elaborat de CESTRIN.

[top]

6. Analiza sistemului rutier la solicitarea osiei standard

6.1. Sistemul rutier supus analizei este caracterizat prin grosimea fiecărui strat rutier şi prin caracteristicile de deformabilitate ale materialelor din straturile rutiere şi ale pământului de fundare (modulul de elasticitate dinamic, E, în MPa şi coeficientul lui Poisson, μ).

6.2. Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate ale materialelor din suportul rutier se stabilesc în modul următor:

6.2.1. În cazul în care nu este prevăzut un strat de formă, caracteristicile de deformabilitate sunt cele corespunzătoare materialelor din terasamente, în conformitate cu prevederile cap. 4.

6.2.2. În cazul în care este prevăzut un strat de formă, se stabileşte modulul de elasticitate dinamic echivalent al sistemului bistrat (strat de formă - materiale din terasamente), în funcție de tipul stratului de formă, de grosimea acestuia şi de valoarea modulului de elasticitate dinamic al pământului de fundare, cu ajutorul figurilor 2, 3, 4, 5, 6.

6.2.3. Valoarea de calcul al coeficientului lui Poisson este cea corespunzătoare materialelor din stratul superior al terasamentelor rutiere sau din stratul de formă.

6.3. Caracteristicile de deformabilitate ale balastului sau ale materialelor din pietruirea existentă se stabilesc în modul următor:

- valoarea de calcul a modulului de elasticitate dinamic este în funcție de cea a materialelor din stratul suport (E_p) şi se calculează cu relația (3);

- coeficientul lui Poisson are valoarea 0,27;

6.4. Valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic şi ale coeficientului lui Poisson pentru materialele necoezive din straturile de bază şi de fundație se stabilesc conform tabelului 7.

6.5. Valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic şi ale coeficientului lui Poisson pentru agregatele naturale stabilizate cu lianți hidraulici şi puzzolanici din straturile de fundație şi de bază se stabilesc conform tabelului 8.

6.6. Valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice din stratul de bază şi din straturile îmbrăcămintei bituminoase sunt în funcție de tipul climateric al zonei în care se încadrează drumul, conform tabelului 9.

6.7. În cazul în care compoziția mixturii asfaltice dintr-un strat va fi diferită de cea din prescripțiile tehnice legale în vigoare, conform tabelului 9, valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic vor fi stabilite cu echipamentul complex pentru testarea în regim dinamic a mixturilor asfaltice, conform instrucțiunilor tehnice privind determinarea modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice indicativ AND 542.

Variante de alcătuire a sistemului rutier simplu

Tabelul 5

Straturi de fundație		Strat de bază		Îmbrăcăminte bituminoasă					
Mod de alcătuire	Grosimi minime constructive, cm	Mod de alcătuire	Grosimi minime constructive, cm	Clasa tehnica a drumului					Grosimi minime constructive, cm
				I	II	III	IV	V	
Balast	15	Macadam	8	-	-	-	da	da	
		Mixtură asfaltică	5	-	-	-	da	da	
Un strat inferior din balast sau din pământ stabilizat mecanic şi un strat	10 cm pentru stratul inferior 10 cm pentru	-	-	-	-	-	-	da	
		Macadam	8	-	-	-	da	da	
		Macadam semipenetrat	8	-	da	da	da	-	

superior din balast amestec optimal	stratul superior	sau penetrat cu bitum							
Un strat inferior din balast şi un strat superior din piatră spartă mare, sort 63-90 sau piatră spartă amestec opțional	10 cm pentru stratul inferior 12 cm pentru stratul superior	-	-	-	-	-	da	da	4 cm la covor 8 cm în două straturi
		Macadam	8	-	-	-	da	da	
		Macadam semipenetrat sau penetrat cu bitum	8	-	da	da	da	-	
		Mixtură asfaltică	5	da	da	da	da	-	
Un strat inferior din balast, un strat mijlociu din blocaj de piatră brută şi un strat de egalizare din piatră spartă	10 cm pentru stratul inferior 21 cm pentru stratul mijlociu (inclusiv 5 cm nisip) 6 cm pentru stratul de egalizare	-	-	-	-	da	-	-	
		Macadam	8	-	da	da	-	-	
		Mixtură asfaltică	5	-	da	da	-	-	

Variante de alcătuire a sistemului rutier semirigid

Tabelul 6

Straturi de fundație		Strat de bază		Îmbrăcăminte bituminoasă					
Mod de alcătuire	Grosimi minime constructive, cm	Mod de alcătuire	Grosimi minime constructive, cm	Clasa tehnică a drumului					Grosimi minime constructive, cm
				I	II	III	IV	V	
Balast	15	Agregate naturale stabili-zate cu lianți hidraulici sau puzzolanici	12	-	-	da	da	da	8* pentru clasele IV şi V, 10* pentru clasa III
Un strat inferior din balast şi un strat superior din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici	10 pentru stratul inferior 12 pentru stratul superior	Mixtură asfaltică	5	da	da	da	da	da	8* pentru clasele III, IV, V 10 pentru clasele I şi II
		Piatră spartă împănată cu split bitumat	9	-	-	da	da	da	8*
		Agregate naturale stabili-zate cu lianți hidraulici sau puzzolanici	12	da	da	da	da	-	8* pentru clasa IV 10* pentru clasa III 13* pentru clasele I şi II

Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate pentru materialele necoezive din straturile de bază şi de fundație

Tabelul 7

	Modul de elasticitate dinamic (E)	Coeficientul

Denumirea materialului	MPa	lui Poisson (μ)
Macadam semipenetrat sau penetrat	1000	0,27
Macadam	600	0,27
Piatră spartă mare sort 63-90	400	0,27
Piatră spartă, amestec optimal	500*	0,27
Blocaj de piatră brută	300	0,27
Balast, amestec optimal	300*	0,27
Bolovani	200	0,27

*Notă: În cazurile în care aceste materiale alcătuiesc un strat inferior de fundație, modulul de elasticitate dinamic se stabileşte conform punctului 6.3

Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate pentru agregatele naturale stabilizate cu lianți hidraulici si puzzolanici

Tabelul 8

Denumirea materialului	Modul de elasticitate dinamic (E) MPa	Coeficientul lui Poisson (μ)
Agregate naturale stabilizate cu ciment		
- pentru strat de bază	1200	0,25
- pentru strat de fundație	1000	0,25
Agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici		
○ zgură granulată:		
- pentru strat de bază		
- pentru strat de fundație		
○ cenuşă de termocentrală	1200	0,25
- pentru strat de bază	700	0,25
- pentru strat de fundație	1800	0,25
○ tuf vulcanic	1100	0,25
- pentru strat de bază	1200	0,25

- pentru strat de fundație	750	0,25

6.8. În cazurile în care sistemul rutier are mai mult de patru straturi rutiere, două sau trei straturi rutiere, alcătuite din acelaşi tip de materiale (mixtură asfaltică, piatră sparta sau balast) acestea vor fi caracterizate prin:

- grosimea totala a pachetului de straturi, in cm;

- modulul de elasticitate dinamic mediu ponderat (Em) al pachetului respectiv de straturi rutiere, care se calculează cu relația:

$$E_m = \left[\sum\left(E_i^{1/3} \times h_i\right)/\sum h_i\right]^3 \text{ (MPa) (4)}$$

în care:

E_i- modulul de elasticitate dinamic al materialului din stratul i, în MPa;

h_i - grosimea stratului i, în cm.

Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate ale mixturilor asfaltice

Tabelul 9

Tipul mixturii asfaltice	Tipul stratului	Tip climateric I şi II	Tip climateric III	Coeficientul lui Poisson (μ)
		Modul de elasticitate dinamic (E), MPa		
Mixturi asfaltice preparate cu bitum tip D80/100, SR 174/1	uzură	3600	4200	0,35
	legătură	3000	3600	
	bază	5000	5600	
Mixturi asfaltice cu bitum modificat, ind. AND 539	uzură	4000	4500	
	legătură	3500	4000	
Mixturi asfaltice stabilizate cu fibre, ind AND 539; - tip MASF 16,	Uzură	3300	4000	
- tip MASF 8		3000	3600	

În mod obişnuit, straturile bituminoase sunt caracterizate prin modulul de elasticitate dinamic mediu ponderat.

6.9. Analiza sistemului rutier la solicitarea osiei standard comportă calculul deformațiilor specifice şi tensiunilor în punctele critice ale complexului rutier, caracterizate printr-o stare de solicitare maximă.

6.9.1. În cazul sistemelor rutiere suple se calculează următoarele:

- deformația specifică orizontală de întindere (ε_r) la baza straturilor bituminoase, în microdeformații;

- deformația specifică verticală de compresiune (ε_z) la nivelul patului drumului în microdeformații.

6.9.2. În cazul sistemelor rutiere semirigide se calculează următoarele:

- deformația specifică orizontală de întindere (ε_r) la baza straturilor bituminoase, în microdeformații;

- tensiunea orizontală de întindere (σ_r) la baza stratului/ straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici;

- deformația specifică verticală de compresiune (ε_z) la nivelul patului drumului, în microdeformații.

6.9.3. Calculele se efectuează cu programul CALDEROM 2000, al cărui suport fizic se găseşte pe dischetă, parte integrantă din normativ. Modul de utilizare a programului de calcul CALDEROM 2000 este dat în anexa 3.

6.9.4. Calculele se efectuează în următoarele puncte:

- pentru ε_r : la baza straturilor bituminoase $z_1 = \sum_{i=1}^{n} h_{i.m.a.}$ (cm)

în care:

z_1 - adâncimea de la suprafața îmbrăcămintei unde se determină deformația, în cm;

$h_{i.m.a}$ - grosimea fiecărui strat bituminos, în cm;

- pentru σ_r : stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici $z_2 = z_1 + \sum_{i=1}^{n} h_{i.b.s.}$ (cm) la baza straturilor din agregate naturale

în care:

$h_{i.b.s}$- grosimea fiecărui strat din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, in cm;

- pentru ε_z : la nivelul patului drumului z_3=H (cm)

în care:

H - grosimea totală a sistemului rutier, în cm.

[top]

7. Stabilirea comportării sub trafic a sistemului rutier

7.1. Stabilirea comportării sub trafic a sistemului rutier are drept scop compararea valorilor deformațiilor specifice şi tensiunilor calculate conform capitolului 6, cu cele admisibile, stabilite pe baza proprietăților de comportare ale materialelor.

7.2. Se consideră că un sistem rutier poate prelua solicitările traficului, corespunzătoare perioadei de perspectivă luată în considerare,

dacă sunt respectate concomitent, toate criteriile de dimensionare prevăzute la punctul 2.1.

7.3. Criteriul deformației specifice de întindere admisibile la baza straturilor bituminoase este respectat dacă rata de degradare prin oboseală (RDO) are o valoare mai mică sau egală cu RDO admisibil.

7.3.1. Rata de degradare prin oboseală se calculează cu relația:

$$RDO = \frac{N_c}{N_{adm}}$$

în care:

N_c - traficul de calcul în milioane osii standard de 115 kN, (m.o.s.)

N_{adm} - numărul de solicitări admisibil, în m.o.s., care poate fi preluat de straturile bituminoase, corespunzător stării de deformație la baza acestora.

7.3.2. Numărul de solicitări admisibil, care poate fi preluat de straturile bituminoase, se stabileşte cu ajutorul legilor de oboseală a mixturii asfaltice, în funcție de categoria drumului sau a străzii, stabilită în conformitate cu prevederile Normelor privind încadrarea în categorii a drumurilor de interes național aprobate prin Ordinul M.T. nr. 43/1998 şi de traficul de calcul şi anume, cu relațiile:

a. pentru autostrăzi, drumuri expres, drumuri europene, drumuri şi străzi cu trafic de calcul mai mare de 1 m.o.s. ($1x10^6$ o.s. 115):

$$N_{adm.} = 4,27 \times 10^8 \times \varepsilon_r^{-3,97} \text{ (m.o.s.)}$$

b. pentru drumuri şi străzi cu trafic de calcul cel mult egal cu 1 m.o.s. ($1x10^6$ o.s. 115):

$$N_{adm.} = 24,5 \times 10^8 \times \varepsilon_r^{-3,97} \text{ (m.o.s.)}$$

7.3.3. Numărul de solicitări admisibil al osiei standard de 115 kN poate să fie stabilit şi cu ajutorul diagramei din fig. 7, unde dreptele (6a) şi (6b) sunt expresia relațiilor de mai sus.

7.3.4. Grosimea necesară a straturilor bituminoase este cea pentru care se respectă condiția:

$$RDO \leq RDO \text{ admisibil} \quad (7)$$

în care RDO admisibil are următoarele valori:

- max. 0,80 pentru autostrăzi şi drumuri expres;

- max. 0,85 pentru drumuri europene;

- max. 0,90 pentru drumuri naționale principale şi străzi;

- max. 0,95 pentru drumuri naționale secundare;

- max. 1,00 pentru drumuri județene şi comunale.

Încadrarea în categorii a drumurilor se face în conformitate cu Normele privind încadrarea în categorii a drumurilor de interes național, aprobate prin ordinul M.T. nr.43/1998.

7.3.5. În cazul în care condiția de la pct.7.3.4. nu este satisfăcută, se repetă calculul ratei de degradare prin oboseală pentru o grosime mai mare a straturilor bituminoase. În general se variază grosimea stratului de baza din mixtura asfaltică (recomandabil din 2 în 2 cm), până ce este respectată condiția de la pct.7.3.4. Grosimea necesară a straturilor bituminoase se obține prin interpolare, între ultimele două valori consecutive.

7.4. Criteriul tensiunii de întindere admisibilă la baza stratului/ straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este respectat, daca este îndeplinită condiția:

$$\sigma_r = \sigma_{radm} \quad (8)$$

în care:

σ_r - tensiunea orizontală de întindere la baza stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în MPa, calculată conform pct. 6.9.;

$\sigma_{radm.}$ - tensiunea de întindere admisibilă, în MPa, calculată conform pct. 7.4.1.

7.4.1. Tensiunea de întindere admisibilă se calculează cu relația:

$$\sigma_{radm.} = R_t\,(0{,}60 - 0{,}056 \times \log N_c) \quad (9)$$

în care:

R_t - rezistența la întindere a agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în MPa, conform pct. 7.4.2.;

N_c - traficul de calcul, in milioane de osii standard de 115 kN.

7.4.2. Rezistența la întindere a agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici şi puzzolanici este în funcție de tipul stratului şi de cel al liantului, conform tabelului 10. Ea este corespunzătoare vârstei de 360 de zile a materialului stabilizat.

Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate ale mixturilor asfaltice

Tabelul 10

Tipul liantului si al stratului	R_t MPa
Ciment:	
- strat de bază	0,40
- strat de fundație	0,35
Zgura granulată:	
- strat de bază	0,35
- strat de fundație	0,20
Cenuşă de termocentrală:	

- strat de bază - strat de fundație	0,50 0,30
Tuf vulcanic: - strat de bază - strat de fundație	 0,55 0,35

7.4.3. În cazul în care sistemul rutier nu satisface acest criteriu, se reface calculul pentru o altă alcătuire a sistemului rutier. Se recomandă îngroşarea stratului din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici şi puzzolanici.

7.5. Criteriul deformației specifice verticale admisibile la nivelul pământului de fundare este respectat, dacă este îndeplinita condiția:

$$\varepsilon_z \leq \varepsilon_{zadm}.$$

în care:

ε_z - deformația specifică verticală de compresiune la nivelul pământului de fundare, în microdeformații, calculată conform pct. 6.9;

ε_{zadm} - deformația specifică verticală admisibilă la nivelul pământului de fundare, în microdeformații, calculată conform pct. 7.5.1.

7.5.1. Deformația specifica admisibilă se calculează cu următoarele relații:

a. pentru autostrăzi, drumuri expres, drumuri europene şi drumuri si străzi cu trafic de calcul mai mare de 1 m.o.s. (1x106 o.s. 115);

$$\varepsilon_{zadm.} = 329 N_C^{-0,27} \text{ (microdef.) (11a)}$$

b. pentru drumuri si străzi cu trafic de calcul cel mult egal cu 1 m.o.s. (1x106 o.s. 115);

$$\varepsilon_{zadm.} = 600 N_C^{-0,28} \text{ (microdef.) (11b)}$$

7.5.2. Deformația specifică verticală admisibilă se poate stabili şi cu ajutorul diagramei din fig. 8 unde dreptele 11a şi 11b sunt expresia relațiilor de mai sus.

7.5.3. În cazul în care condiția de la pct. 7.5. nu este îndeplinită, se modifică alcătuirea sistemului rutier. Se recomandă îngroşarea stratului de fundație din balast până la grosimea de 30 cm, iar dacă nici în aceste condiții sistemul rutier nu respectă această condiție, se majorează şi grosimea straturilor bituminoase.

[top]

8. Exemple de calcul

8.1. Exemplul 1. Dimensionarea unui sistem rutier suplu pentru o variantă nouă a unui drum european.

8.1.1. Datele problemei:

Se cere să se stabilească alcătuirea sistemului rutier pe o varianta nouă a unui drum european.

Drumul este situat într-o regiune de tip climateric II, în care sursele de agregate naturale de cariera sunt la distante relativ reduse față de traseul drumului.

Terasamentele rutiere sunt în rambleu, cu o înălțime de maximum 1,00 m. Pământul de fundare este alcătuit din prafuri şi prafuri argiloase, în conformitate cu STAS 1243.

Caracteristicile traficului rutier sunt cele corespunzătoare postului de recenzare situat pe drumul european, înainte de intrare în variantă. Astfel, recensământul general de circulație din anul 1995 a evidențiat următoarea compoziție zilnică a traficului:

350 autocamioane şi derivate cu 2 osii

80 autocamioane şi derivate cu 3 osii

312 autocamioane şi derivate cu peste 3 osii

66 autobuze

94 remorci.

Perioada de perspectivă a drumului a fost stabilită de beneficiarul lucrării de 15 ani (2000 - 2015).

8.1.2. Stabilirea traficului de calcul.

Se stabileşte traficul de calcul, conform cap. 3, cu ajutorul datelor din tabelul 11.

Tabelul 11

Grupa de vehicule					f_{ek}	Produsul col.1 x col.4 x col.5 o.s. 115
0	1	2	3	4	5	6
Autocamioane şi derivate cu 2 osii	350	1,2	2,6	1,9	0,30	200
Autocamioane şi derivate cu 3 osii	80	1,0	1,4	1,2	0,44	42
Autocamioane şi derivate cu peste 3 osii	312	1,2	2,5	1,85	1,61	929
Autobuze	66	1,3	3,1	2,2	0,64	93
Remorci	94	1,2	3,0	2,1	0,06	12
Total o.s. 115						1276

Rezultă următorul trafic de calcul, conform relației (1):

$N_c = 365 \times 10^{-6} \times 15 \times 0,5 \times 1276 = 3,49$ m.o.s.

8.1.3. Stabilirea capacității portante la nivelul patului drumului.

Pământul de fundare, alcătuit din prafuri şi prafuri argiloase se încadrează în tipul P4, conform tabelului 1.

Sectorul de drum fiind situat în rambleu, cu o înălțime de maximum 1,00 m, regimul hidrologic este 2a, conform pct. 4.2.3.

Corespunzător tipului climateric II şi regimului hidrologic 2a, valoarea de calcul a modulului de elasticitate dinamic al pământului de fundare este 80 MPa, conform tabelului 2, iar valoarea de calcul a coeficientului lui Poisson este 0,35, conform tabelului 3.

8.1.4. Alegerea alcătuirii sistemului rutier.

Dat fiind existența în regiune a surselor de agregate naturale de carieră se alege un sistem rutier suplu, cu strat de baza din mixtură asfaltică şi strat superior de fundație din piatră spartă, amestec optimal. Grosimile straturilor rutiere şi valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic şi ale coeficientului lui Poisson sunt date în tabelul 12.

Tabelul 12

Denumirea materialului din strat	Varianta I	Varianta II	E, MPa	μ
	h, cm			
Beton asfaltic pentru strat de uzură	4	4	3600*	0,35*
Beton asfaltic pentru strat de legătură	4	4	3000*	0,35*
Mixtură asfaltică pentru strat de bază	12	14	5000	0,35*
Piatră spartă amestec optimal	22	22	500**	0,27**
Balast	30	30	208***	0,27***
Pământ de fundare	∞	∞	80	0,35

Notă: * conform pct. 6.6.

** conform pct. 6.4.

*** conform pct. 6.3.

Sistemul rutier şi pământul de fundare reprezentând 6 straturi, se reduc la 5 straturi, prin luarea în considerare a îmbrăcămintei bituminoase cu grosimea de 8 cm, cu o valoare a modulului de elasticitate dinamic mediu ponderat de 3300 MPa.

8.1.5. Analiza sistemului rutier la solicitarea osiei standard.

Se calculează următoarele componente ale deformației:

- ε_r , în microdeformații, la baza straturilor bituminoase;

- ε_z , în microdeformații, la nivelul patului drumului.

Rezultatele sunt date în tabelul 13.

Tabelul 13

VARIANTA	1	2
ε_r microdef.	113	103
ε_z microdef.	230	210
N_{adm} m.o.s.	3,02	4,36

RDO	1,16	0,80

8.1.6. Stabilirea comportării sub trafic a drumului rutier.

Se calculează cu relația (6a) numărul de solicitări admisibil care poate fi preluat de straturile bituminoase în cele două variante privind grosimea stratului de bază din mixtura asfaltică şi valorile RDO. Astfel, conform tabelului 13, varianta de alcătuire cu 14 cm strat de bază conduce la RDO = 0,80, deci este îndeplinită condiția de la pct. 7.3.4. În cazul în care se adoptă o grosime a stratului de bază de 13 cm, se obține prin interpolare N_{adm}= 3,61 m.o.s., şi RDO = 0,97, deci aceasta grosime nu verifică condiția RDO = max. 0,85.

Se calculează cu relația (11a) deformația specifică verticală admisibilă la nivelul patului drumului. Se compară valoarea obținută de 235 microdef. cu valoarea calculată de 210 microdef. şi se constată că este îndeplinită condiția

Se analizează şi varianta de alcătuire a sistemului rutier, micşorând la 25 cm grosimea stratului de fundație din balast, parametrii de calcul fiind dați în tabelul 14.

Tabelul 14

Denumirea Materialului din strat	Varianta I h, cm	E, MPa	μ
Beton asfaltic pentru strat de uzură	4	3600*	0,35*
Beton asfaltic pentru strat de legătură	4	3000*	0,35*
Mixtură asfaltică pentru strat de bază	14	5000	0,35*
Piatră spartă amestec optimal	22	500**	0,27**
Balast	25	208***	0,27***
Pământ de fundare	∞	80	0,35

Notă: * conform pct. 6.6.

**conform pct. 6.4.

***conform pct. 6.3.

Valorile calculate ale deformațiilor specifice sunt date în tabelul 15

Tabelul 15

VARIANTA	1
ε_r microdef.	104
ε_z microdef.	232
N_{adm} m.o.s.	4,20
RDO	0,83

Din examinarea acestui tabel rezultă că grosimea stratului de fundație din balast poate fi redusă la 25 cm, fiind respectate ambele criterii de dimensionare.

Rezultă următoarea alcătuire a sistemului rutier:

8 cm îmbrăcăminte bituminoasă;

14 cm strat de bază din mixtură asfaltică;

22 cm strat superior de fundație din piatră spartă, amestec optimal;

25 cm strat inferior de fundație din balast.

8.2. Exemplul 2. Dimensionare unui sistem rutier semirigid pe banda de lărgire a părții carosabile.

8.2.1. Datele problemei.

Se cere să se stabilească alcătuirea sistemului rutier pe benzile de lărgire a părții carosabile a unui drum național principal, în cadrul acțiunii de reabilitare a acestuia.

Drumul este situat într-o regiune de tip climateric II, în care sursele de agregate naturale de balastieră sunt la distanțe relativ reduse de traseul drumului.

Terasamentele rutiere sunt la nivelul terenului şi în debleu. Pământul de fundare este alcătuit din argile prăfoase, în conformitate cu STAS 1243.

Caracteristicile traficului rutier sunt cele corespunzătoare postului de recenzare situat pe sectorul respectiv de drum. Astfel, recensământul general de circulație din anul 1995 a evidențiat următoarea compoziție zilnică a traficului:

689 autocamioane şi derivate cu 2 osii

207 autocamioane şi derivate cu 3 osii

139 autocamioane şi derivate cu peste 3 osii

80 autobuze

111 remorci

Perioada de perspectivă a drumului a fost stabilită de beneficiarul lucrării de 15 ani (2002 - 2017).

8.2.2. Stabilirea traficului de calcul

Se stabileşte traficul de calcul, conform cap. 3, cu ajutorul datelor din tabelul 16.

Tabelul 16

Grupa de vehicule					f_{ek}	Produsul col.1 x col.4 x col.5 o.s. 115
0	1	2	3	4	5	6
Autocamioane si derivate cu 2 osii	689	1,32	2,84	2,08	0,30	430
Autocamioane si derivate cu 3 osii	207	1,04	1,48	1,26	0,44	115
Autocamioane si derivate	139	1,36	2,70	2,03	1,02	288

cu peste 3 osii						
Autobuze	80	1,50	3,38	2,44	0,64	125
Remorci	111	1,40	3,28	2,34	0,06	16
Total o.s. 115						974

Notă: * obținuți prin extrapolare din anexa 2, tabelul 1.

Rezultă următorul trafic de calcul, conform relației (1):

$$N_c = 365 \times 10^{-6} \times 15 \times 0,5 \times 974 = 2,67 \text{ m.o.s.}$$

8.2.3. Stabilirea capacității portante la nivelul patului drumului.

Pământul de fundare, alcătuit din argile prăfoase, se încadrează, conform tabelului 1, în tipul P5.

Sectorul de drum având terasamentele la nivelul terenului şi în debleu, este caracterizat printr-un regim hidrologic 2b, conform pct. 4.2.3.

Corespunzător tipului climateric II şi regimului hidrologic 2b, valoarea de calcul al modulului de elasticitate dinamic al pământului de fundare este 70 MPa, conform tabelului 2, iar valoarea de calcul a coeficientului lui Poisson este 0,42, conform tabelului 3.

Necesitatea execuției în casete a sistemului rutier impune adoptarea unei grosimi cât mai reduse a acestuia. Pe acest considerent, se adoptă soluția de tratare cu var a pământului, pe o grosime de 20 cm, care constituie stratul de formă, caracterizat în conformitate cu tabelul 4 prin valoarea de calcul a modulului de elasticitate dinamic $E_{s.f}$= 250 MPa şi a coeficientului lui Poisson, μ = 0,35.

Se stabileşte modulul de elasticitate dinamic echivalent al sistemului strat de formă - pământ din terasamente, care în conformitate cu figura 3 este 122 MPa. Se adoptă valoarea coeficientului lui Poisson corespunzătoare pământului tratat cu var şi anume, 0,35.

8.2.4. Alegerea alcătuirii sistemului rutier.

Dat fiind existența în regiune a surselor de agregate naturale de balastiera, se alege un sistem rutier semirigid, cu strat de bază din mixtura asfaltică şi strat superior de fundație din agregate naturale stabilizate cu ciment. Grosimile straturilor rutiere şi valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic şi ale coeficientului lui Poisson sunt date în tabelul 17.

Tabelul 17

Denumirea materialului din strat	Varianta I	Varianta II	E, MPa	μ
	h, cm			
Beton asfaltic pentru strat de uzură	4	4	3600*	0,35*
Beton asfaltic pentru strat de legatură	4	4	3000*	0,35*
Mixtura asfaltică pentru strat de bază	5	6	5000	0,35*
Agregate naturale stabilizate cu ciment	20	20	1000**	0,25**
Balast	25	25	293***	0,27***
Materiale strat suport	∞	∞	122	0,35

Notă: * conform pct. 6.6.

** conform pct. 6.4.

***conform pct. 6.3.

Sistemul rutier şi pământul de fundare reprezentând 6 straturi, se reduc la 5 straturi, prin luarea în considerare a îmbrăcămintei bituminoase cu grosimea de 8 cm, cu o valoare a modulului de elasticitate dinamic mediu ponderat de 3300 MPa.

8.2.5. Analiza sistemului rutier la solicitarea osiei standard.

Se calculează următoarele componente ale deformației specifice şi ale tensiunii:

- ε_r , în microdeformații, la baza straturilor bituminoase;

- σ_r , în Mpa, la baza stratului din agregate naturale stabilizate cu ciment;

- ε_z , în microdeformații, la nivelul patului drumului.

Rezultatele sunt date in tabelul 18.

Tabelul 18

VARIANTA	1	2
ε_r microdef.	91,9	91,6
σ_r MPa	0,146	0,139
ε_z microdef.	257	246
N_{adm} m.o.s.	6,86	6,95
RDO	0,39	0,38

8.2.6. Stabilirea comportării sub trafic a sistemului rutier.

Se calculează cu relația (6a) numărul de solicitări admisibil care poate fi preluat de straturile bituminoase în cele două variante privind grosimea stratului de bază din mixtura asfaltică şi valorile RDO. Astfel, conform tabelului 18, ambele variante de alcătuire conduc la valori ale ratei de degradare prin oboseală mai mici de 0,90, deci este îndeplinită condiția de la pct. 7.3.4.

Se calculează cu relația (9), tensiunea de întindere admisibilă a agregatelor naturale stabilizate cu ciment şi anume:

$$\sigma_{r\,adm} = 0,35\ (0,60 - 0,056 \log 2,67) = 0,202 \text{ MPa}$$

Din examinarea valorilor calculate ale tensiunii orizontale de întindere la baza stratului stabilizat, se constată că ambele variante de alcătuire ale sistemului rutier semirigid respectă criteriul de dimensionare prevăzut la acest nivel.

Se calculează cu relația (11a) deformația specifică verticală

admisibilă la nivelul patului drumului şi anume:

$$\varepsilon_{z\,adm.} = 329 x 2,67^{-0,27} = 252 \text{microdef}$$

Se compară această valoare cu cele calculate, din tabelul 18. Astfel, se constată că numai pentru a doua variantă a sistemului rutier, cu 6 cm strat de bază din mixtura asfaltică, este îndeplinită condiția $\varepsilon_Z \leq \varepsilon_{Zadm}$.

Grosimea totală a straturilor bituminoase de 14 cm va încetini procesul de transmitere la suprafață a fisurilor de contracție din stratul stabilizat cu ciment.

Rezulta următoarea alcătuire a sistemului rutier:

8 cm îmbrăcăminte bituminoasă;

6 cm strat de bază din mixtura asfaltică;

20 cm strat superior de fundație din agregate naturale stabilizate cu ciment;

25 cm strat inferior de fundație din balast.

[top]

ANEXA 1

REFERINȚE

Ordinul M.T. nr.43/1998 Norme privind încadrarea în categorii a drumurilor de interes național.

Ordinul M.T. nr.45/1998 Norme tehnice privind proiectarea, construirea şi modernizarea drumurilor.

Ordinul M.T. nr.46/1998 Norme tehnice privind stabilirea clasei tehnice a drumurilor publice.

SR 174-1: 97 Lucrări de drumuri. Îmbrăcăminți bituminoase cilindrate executate la cald. Condiții tehnice de calitate.

STAS 1243 - 88 Teren de fundare. Clasificarea şi identificarea pământurilor.

STAS 1709/1 - 90 Acțiunea fenomenului de îngheț - dezgheț la lucrări de drumuri. Adâncimea de îngheț în complexul rutier. Prescripții de calcul.

STAS 1709/2 - 90 Acțiunea fenomenului de îngheț - dezgheț la lucrări de drumuri. Prevenirea si remedierea degradărilor din îngheț - dezgheț. Prescripții tehnice.

STAS 2914 - 84 Lucrări de drumuri. Terasamente. Condiții tehnice generale de calitate.

STAS 4032/1 - 90 Lucrări de drumuri. Terminologie.

STAS 6400 - 84 Lucrări de drumuri. Straturi de bază şi de fundație. Condiții tehnice generale de calitate.

STAS 7970 - 2000 Lucrări de drumuri. Straturi de bază din mixturi bituminoase cilindrate executate la cald. Condiții 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 asfaltice stabilizate cu fibre de celuloză, destinația executării îmbrăcăminților bituminoase rutiere.

AND 542 - 98 Instrucțiuni tehnice privind determinarea modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice.

AND 549 - 99 Normativ privind îmbrăcămințile bituminoase cilindrate la cald realizate cu bitum modificat cu polimeri.

[top]

ANEXA 2

1. Coeficienți de evoluție a traficului rutier

Coeficienții de evoluție a traficului rutier, pe grupe de autovehicule, pentru perioada 1995 - 2015 sunt dați în tabelul 1.

Coeficienți minimali de evoluție a traficului rutier

Tabelul 1

Anul	Grupe de vehicule				
	Autocamioane cu 2 osii	Autocamioane cu 3 osii	Autocamioane cu peste 3 osii	Autobuze	Remorci
1995	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2000	1,2	1,0	1,2	1,3	1,2
2005	1,5	1,1	1,6	1,8	1,7
2010	2,0	1,2	2,0	2,4	2,3
2015	2,6	1,4	2,5	3,1	3,0

2. Coeficienți de echivalare în osii standard

Coeficienții de echivalare în osii standard de 115 kN sunt dați in tabelul 2.

Coeficienții de echivalare în osii standard de 115 kN

Tabelul 2

Grupa de vehicule	Vehicul reprezentativ		Coeficienți de echivalare în osii standard de 115kN
	Tip	Sarcini pe osie	
Autocamioane şi derivate cu 2 osii	R8135	45kN+80kN	0,30
Autocamioane şi derivate cu 3 osii	R19215	62kN+2x80kN	0,44
Autocamioane şi derivate cu peste 3 osii	10ATM2	62kN+100kN+2x80kN	1,02
	19ATM2*	62kN+2x80kN+100kN+100kN	1,61
Autobuze	R111RD	50kN+100kN	0,64
Remorci	2R5A	48kN+48kN	0,06

* Vehicul reprezentativ pentru echivalarea traficului pe drumurile internaționale (E).

Nota: Valorile din tabelele 1 şi 2 sunt obținute pe baza recensământului general de circulație din anul 1995. Ele vor fi reactualizate după fiecare recensământ de circulație.

[top]

ANEXA 3

Programul pentru calculul tensiunilor şi deformaţiilor specifice în sistemele rutiere în România-Calderom 2000

1. Generalităţi

1.1. Programul CALDEROM 2000 şi suportul fizic al acestuia, care se găseşte pe dischetă, fac parte integranta din Normativul pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple şi semirigide.

1.2. Acest program se utilizează la calculul tensiunilor şi al deformaţiilor specifice în sistemele rutiere, sub solicitarea statică a semiosiei standard de 57,5 kN.

1.3. Programul se bazează pe rezolvare analitică, cu ajutorul modelului Burmister, a stării de tensiune şi de deformaţie sub sarcină a sistemului rutier.

1.4. Pentru sisteme rutiere suple pentru calculul deformaţiilor

specifice poate fi utilizat şi programul CALDEROM.

2. Ipoteze de calcul

2.1. Sistemul rutier este solicitat de o sarcină circulară cu presiunea verticală uniformă, reprezentând greutatea semiosiei standard cu roţi gemene, transmisă pe o suprafaţă circulară echivalentă suprafeţei de contact pneu – drum.

Caracteristicile sarcinii şi anume:

- sarcina pe roţile gemene: 57,5 kN;

- presiunea de contact: 0,625 MPa;

- raza suprafeţei de contact: 17,1 cm,

constituie date primare constante, ale programului CALDEROM 2000.

2.2. Sistemul rutier este considerat un mediu multistrat (maximum cinci straturi), în care fiecare strat rutier este considerat un solid elastic liniar, izotrop şi omogen, infinit în plan orizontal şi cu grosime finite, cu excepţia pământului de fundare, considerat semiinfinit.

2.3. Între straturile rutiere există aderenţă.

2.4. Punctele de calcul ale tensiunilor şi deformaţiilor specifice sunt situate într-un profil vertical în centrul sarcinii, la limita între straturi.

2.5. Calculul tensiunilor şi al deformaţiilor specifice se efectuează

în conformitate cu prevederile cap. 6 din normative, în următoarele puncte:

- la partea inferioară a straturilor bituminoase;

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

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

3. Modul de rezolvare a problemei mecanice

3.1 Problema mecanică constă din verificarea echilibrului sub o sarcină exterioară a unui solid elastic liniar izotrop.

3.2. Ecuațiile de echilibru şi relațiile existente între tensiunile şi deformațiile specifice, conform mecanicii mediilor continue, într-un profil axisimetric, au următoarele expresii:

$$\nabla^2(r,z) = 0$$

în care Δ este operatorul bi-armonic, cu următoarea expresie:

$$\nabla^2 = \left(\frac{\delta^2}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \times \frac{\delta}{r} + \frac{\Delta^2}{\delta z}\right)^2$$

3.3. Modelarea structurii după Burmister într-un mediu alcătuit din straturi elastice liniare izotrope conduce la rezolvarea pentru fiecare din acestea, a ecuațiilor:

$$\nabla^2(r,z) = 0$$

3.4. În coordonate aximetrice se obțin pentru sarcina de calcul următoarele rezultate:

- tensiunile: $\sigma_r(r,z), \sigma_\theta(r,z), \sigma_z(r,z)$ şi $\tau_{rz}(r,z)$, conform figurii 1;

- deplasările orizontale u (r,z,) şi verticale v (r,z);

- deformațiile specifice corespunzătoare.

Componentele tensorului de tensiune σ şi de deformație specifică ε în rθ şi θz sunt nule şi deci nu se calculează

3.5. Ipoteza elasticității liniare a modelului permite de a suprapune într-un reper axisimetric efectele diferitelor solicitări, în termeni de:

- tensiune: σ_r, σ_z

- deformație specifică: $\varepsilon_r, \varepsilon_z$.

4. Datele de intrare

4.1. Numărul straturilor reprezintă straturile sistemului rutier plus pământul de fundare.

4.2. Caracteristicile straturilor bituminoase care alcătuiesc îmbrăcămintea, eventual şi stratul de bază din mixtura asfaltică, considerate stratul 1 sunt:

- grosimea totală estimată (minim 8 cm), în cm;

- modulul de elasticitate dinamic mediu ponderat, în MPa, calculate conform pct. 6.8. din normativ;

- coeficientul lui Poisson.

4.3. Caracteristicile fiecărui strat rutier existent – straturile 2…4 - sunt:

- grosimea, în cm;

- modulul de elasticitate dinamic, în cm;

- coeficientul lui Poisson.

4.4. Caracteristicile de deformabilitate ale terenului (pământului) de fundare sau ale sistemului strat de formă teren de fundare - stratul 5 - sunt:

- modulul de elasticitate dinamic, în MPa;

- coeficientul lui Poisson.

Valorile acestor caracteristici sunt conform cap. 4 şi 6 din normativ.

Se menționează că în cazul în care sistemul rutier are mai mult de 4 straturi (inclusiv pământul de fundare), două sau trei straturi rutiere, alcătuite din materiale granulate, pot fi caracterizate prin:

- grosimea totală a acestora, în cm;

- modulul de elasticitate dinamic mediu ponderat, calculat cu relația:

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

în care:

E_i - modulul de elasticitate dinamic al materialului din stratul i, în MPa;

h_i - grosimea stratului i, în cm.

4.5. Adâncimile de calcul ale tensiunilor şi deformațiilor specifice sunt:

- la baza straturilor bituminoase, în cm;

- la baza stratului/straturilor din agregate naturale stabi-

lizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în cm;

- la nivelul patului drumului, în cm.

4.6. Un exemplu de date de intrare este dat în cap.6 din anexa.

5. Utilizarea practică a programului Calderom 2000

5.1. Conținutul dischetei

Discheta conține următoarele fişiere:

- un fişier executabil: **calderom2000.exe**;

- un fişier necesar rulării programului; **dosxmsf.exe**;

- un fişier cu date de ieşire: **rezultat.dat.**

5.2. Instalarea oprogramului

Se creează un director numit CALDEROM 2000, în care se copiază fişierele de la pct. 5.1.

5.3. Rularea programului

5.3.1. Se lansează în execuție fişierul executabil: calderom 2000.exe.

5.3.2. Datele de intrare se introduc în mod interactiv, conform pct. 4.

5.3.3. După rularea corecta a fişierului calderom2000.exe., se generează fişierul de date de ieşire rezultat.dat, care poate fi tipărit.

5.3.4. Fişierul de date de ieşire rezultat.dat conține următoarele date, conform exemplului din cap. 6 din anexa:

- denumirea drumului;

- sectorul omogen investigat;

- recapitularea datelor primare privind caracteristicile sarcinii;

- recapitularea datelor de intrare privind caracteristicile straturilor rutiere;

- rezultatele calculelor efectuate şi anume:

R - distanța punctului de calcul față de profilul longitudinal, care este în toate cazurile egal cu 0 cm, conform ipotezei de calcul;

Z - adâncimea, în cm, a punctelor de calcul;

ATENȚIE: În cazul sistemelor rutiere suple, fără strat din agregate naturale stabilizate cu ciment, adâncimea de calcul la baza acestui strat este 0.

ATENȚIE: Semnul - înseamnă că punctul de calcul este la baza stratului; semnul + înseamnă că punctul de calcul este la partea superioara a stratului de dedesubt.

DEFORMAȚIA ORIZONTALĂ, în microdeformații;

ATENȚIE: În calculele de dimensionare este utilizată deformația specifică orizontală de întindere calculată la baza straturilor bituminoase. În exemplul din cap.6 din anexă, pentru Z = -16,00 cm, DEFORMAȚIA ORIZONTALĂ DE ÎNTINDERE este .142E+03, ceea ce înseamnă $\varepsilon_r = 142$ microdeformații.

TENSIUNEA SPECIFICĂ ORIZONTALĂ, în MPa;

ATENȚIE: În calculele de dimensionare este utilizată tensiunea specifică orizontală de întindere calculată la baza stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. În exemplul de cap.6 din anexă, pentru Z = -36,00 cm, TENSIUNEA SPECIFICĂ ORIZONTALĂ este .793E-01, ceea ce înseamnă $\varepsilon_r = 0.079$ MPa.

DEFORMAȚIA SPECIFICĂ VERTICALĂ, în microdeformații;

ATENȚIE: În calculele de dimensionare este utilizată deformația specifică verticală calculată la nivelul patului drumului. În exemplul din cap.6 din anexa, pentru Z = 71,00 cm, DEFORMAȚIA SPECIFICĂ VERTICALĂ este .231+03, ceea ce înseamnă $\varepsilon_r = 231$ microdeformații.

6. Exemplu de calcul

DRUM: DN 55

Sector omogen: km 20+500 – 22+800

Parametrii problemei sunt:

Sarcina……..57,50 kN

Presiunea pneului……0.625 MPa

Raza cercului……...17.11 cm

Stratul 1: Modulul 3300. MPa, Coeficientul Poisson .350, Grosimea 8.00 cm

Stratul 2: Modulul 3000. MPa, Coeficientul Poisson .350, Grosimea 8.00 cm

Stratul 3: Modulul 600. MPa, Coeficientul Poisson .270, Grosimea 20.00 cm

Stratul 4: Modulul 250. MPa, Coeficientul Poisson .270, Grosimea 35.00 cm

Stratul 5: Modulul 100. MPa, Coeficientul Poisson .300 şi e semifinit

REZULTATE:

R	Z	σ_r	ε_r	ε_z
cm	cm	MPa	microdef	microdef
.0	-16.00	.519E+00	.142E+03	-.204E+03
.0	16.00	.242E-01	.142E+03	-.437E+03
.0	- 36.00	.793E-01	.130E+03	-.197E+03
.0	36.00	.168E-01	.130E+03	-.337E+03
.0	-71.00	.216E-01	.861E+02	-.131E+03
.0	71.00	.322E-02	.861E+02	-.231E+03