

ROMANIA
MINISTERUL LUCRĂRILOR PUBLICE,
TRANSPORTURILOR ȘI LOCUINȚEI
ADMINISTRATIA NAȚIONALA A DRUMURILOR

B-dul Dinicu Golescu, 38, 77113 București, sector 1
Tel.: 0-040-1-212.62.01; Fax: 0-040-1-312.09.84

**ORDINUL
DIRECTORULUI GENERAL AL A.N.D.**

nr. 9
din 17 ianuarie 2001

În conformitate cu regulamentul de organizare și funcționare al Administrației Naționale a Drumurilor, stabilit prin Hotărarea de Guvern nr. 1275/1990, modificată și completată prin Hotărările de Guvern nr. 24/1994, 276/1994, 250/1997 și 612/1998, și în baza contractului de management nr. 4125/1994, închelat cu Ministerul Transporturilor, Dănilă Bucșa - manager al Administrației Naționale a Drumurilor - RA, emite următorul

ORDIN:

- Art. 1.** Se aproba „Normativul pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple și semirigide (metoda analitică)” indic. PD 177 - 2001
- Art. 2.** De la data emiterii prezentului ordin își începează aplicabilitatea prevederile Ordinului MT 332/23.02.1998 de aplicare a „Instrucțiunilor tehnice departamentale pentru dimensionarea sistemelor rutiere rigide și nerigide” indic. PD 177-76.
- Art. 3.** Aducerea la îndeplinire a prezentului Ordin revine DRDP 1-7 și CESTRIN.



ADMINISTRATIA NAȚIONALA A DRUMURILOR

NORMATIV

**PENTRU DIMENSIONAREA SISTEMELOR RUTIERE
SUPLE ȘI SEMIRIGIDE
(Metoda analitică)**

INDICATIV PD 177-2001

Elaborat de:
- SEARCH CORPORATION

VICEPРЕДИТЕ ТЕХНИК:
DIRECTOR DEPARTAMENT:
ШЕФ ПРОЕКТ:
VERIFICATOR:

Ing. Ștefan HĂRĂTĂU
Ing. David SUCIU
Dr.ing. Georgeta FODOR
Ing. Camelia CĂPITANU



CUPRINS

NORMATIV PENTRU DIMENSIONAREA SISTEMELOR RUTIERE SUPLE ȘI SEMIRIGIDE (Metoda analitică). INDICATIV AND

1. Prevederi generale	41
2. Principii de dimensionare	42
3. Stabilirea traficului de calcul	43
4. Stabilirea capacitatejii portante la nivelul patului drumului	46
5. Alegerea alcătuirii sistemului rutier	50
6. Analiza sistemului rutier la solicitarea osiei standard	59
7. Stabilirea comportăril sub trafic a sistemului rutier	65
8. Exemple de calcul	69
 Anexa 1. Referințe	 76
 Anexa 2.	
1. Coeficienți de evoluție a traficului rutier	77
2. Coeficienți de echivalare în osii standard	77
 Anexa 3. Programul pentru calculul tensiunilor și deformațiilor specifice în sistemele rutiere în România - CALDEROM 2000	
1. Generalități	78
2. Ipoteze de calcul	78
3. Mod de rezolvare a problemei mecanice	79
4. Datele de intrare	80
5. Utilizarea practică a programului CALDEROM 2000.....	81
6. Exemple de calcul	82

**NORMATIV PENTRU DIMENSIONAREA SISTEMELOR RUTIERE SUPLE ȘI SEMIRIGIDE
(Metoda analitică)**

INDICATIV
PD 177-2001

1. PREVEDERI GENERALE

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

Domeniul de aplicare

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

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

Pentru drumuri din clasele tehnice IV și V, aplicarea prezentului normativ este facultativă. În acest caz se adoptă structuri rutiere conform Catalogului de结构uri 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 și a unui sistem rutier cu îmbrăcăminte modernă (sistem rutier suplu sau semirigid);
- **fisurare reflectivă** - procesul de transmitere la suprafața părții carosabile a fisurilor de contractie hidraulică sau termică din straturile alcătuite din agregate naturale stabilizate cu liantii hidraulici sau puzzolanici. În cazul ranforsiilor drumurilor existente, acest proces se poate referi la trasmiterea la suprafață noii îmbrăcăminte bituminoase a fisurilor și/sau a crăpăturilor existente în vechea îmbrăcăminte rutieră;

Elaborat de:
SEARCH CORPORATION

Aprobat de:
MINISTERUL TRANSPORTURILOR
ADMINISTRATIA NATIONALA A DRUMURILOR,
cu avizul nr. 93/1088/18.12.2000

- **perioada de perspectivă** - perioada de timp, exprimată în ani, pentru care se stabilește traficul de calcul al sistemului rutier;
- **sector omogen** - sector de drum caracterizat concomitent prin aceleasi 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 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 aceeași solicitări ale traficului, dar pentru temperatura constantă, θ_{ech} ($^{\circ}C$);
- **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 înlocuiește capitolul III al Instrucțiunilor tehnice departamentale pentru dimensionarea sistemelor rutiere rigide și nerigide, indicativ PD177-76.

2. PRINCIPIII DE DIMENSIONARE

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

- pentru sisteme rutiere suple:
 - deformăția specifică de întindere admisibilă la baza straturilor bituminoase;
 - deformăția specifică de compresiune admisibilă la nivelul patului drumului;
- pentru sisteme rutiere semirigide:
 - deformăția specifică de întindere admisibilă la baza straturilor bituminoase;
 - tensiunea de întindere admisibilă la baza stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianji hidraulici sau puzzolanici;
 - deformăția 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 și 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 și semirigide este necesar să se efectueze în prealabil studii, în vederea obținerii următoarelor date:

- compozitia și intensitatea traficului și 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 freatică).

2.4. Dimensionarea sistemului rutier comportă următoarele etape:

- stabilirea traficului de calcul, conform capitolului 3;
- stabilirea capacitații 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.

3. STABILIREA TRAFICULUI DE CALCUL

3.1. La dimensionarea sistemelor rutiere suple și 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 stabilește în cadrul primei faze de proiectare, avându-se în vedere atât traficul actual cât și 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 și celorlalte categorii de drumuri din clasele tehnice I și II și de minimum 10 ani în cazul drumurilor din clasele tehnice III, IV și V.

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

3.4. Compoziția și intensitatea traficului.

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

3.4.2. La lucrările rutiere importante, cum sunt construcțiile de drumuri noi, de drumuri expres și de autostrăzi, amenajări de noduri rutiere etc., care impun cunoașterea curentilor de circulație pe ansamblul unei rețele de drumuri, datele din

recensământul de circulație vor fi completate, după necesități, prin anchete de circulație, efectuate și prelucrate în cadrul unui studiu de trafic prin care se va simula traficul atât pe drumurile noi cât și pe rețeaua existentă.

3.4.3. Pentru modernizările de drumuri existente se va lua în considerare posibilitatea de atragere a unei părți din traficul de pe drumurile existente în zonă, precum și de pe alte căi de comunicație, ca urmare a creării unor condiții mai avantajoase de circulație (scurtarea duratei de parcurs, reducerea cheltuiellilor de transport, creșterea confortului și siguranței circulației).

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

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

3.5. Evoluția în perspectivă a traficului rutier

3.5.1. Coeficientii minimali de evoluție, stabiliți pe baza ultimului recensământ general de circulație pentru perioada 1995...2015, pe grupe de vehicule sunt date în anexa 2. Valorile acestor coeficiente 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 de drumuri de clasă tehnică I, II și după caz III se impune stabilirea evoluției în perspectivă a traficului în cadrul unui studiu de trafic. Acest studiu necesită determinarea evoluției acestuia pe tipuri de trafic: local, de origine, de destinație și de tranzit, prin examinarea surselor generatoare ale acestora.

Odată estimată prin ancheta de circulație origine-destinație (O/D) traficul general/altăstră către fiecare zonă de trafic din teritoriul de influență al drumului, prin procedee specifice de modelare matematică a traficului, se pun în evidență curentii de circulație (matricele de trafic O/D) și se afectează traficul pe rețeaua rutieră actuală și de viitor.

Înlocuind în modelul de trafic calat pentru situația actuală potențialele de trafic actual generat/altăstră de fiecare zonă cu cele de prognoză și 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 compozitia traficului cât și variația acestuia în timp explicitându-se în final valoările

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 componența traficului a autovehiculelor cu sarcină pe osie cuprinsă între 100 kN și 115 kN, ca urmare a creșterii limitelor 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 aprobată a Ordonanței Guvernului nr. 43/1997 privind regimul drumurilor.

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

3.6.1. Coeficientii de echivalare în osii standard de 115 kN stabiliți pe baza rezultatelor ultimului recensământ general de circulație sunt prezentati în tabelul 2 din anexa 2.

3.6.2. Valorile acestor coeficiente 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.) și se stabilește pe baza structurii traficului mediu zilnic anual în posturile de recenzare aferente sectorului de drum, cu relația:

$$N_c = 365 \times 10^{-6} \times p_p \times c_{rf} \times \sum_{k=1}^5 n_{ki} \times \frac{P_{kr} + P_{kf}}{2} \times f_{ek} \quad (\text{m.o.s.}) \quad (1)$$

în care:

N_c - traficul de calcul;

365 - numărul de zile calendaristice dintr-un an;

p_p - perioada de perspectivă, în ani;

c_{rf} - coeficientul de repartiție transversală, pe benzi de circulație și anume:

- pentru drumuri cu două și trei benzi de circulație $c_{rf} = 0,50$;

- pentru drumuri cu patru sau mai multe benzi de circulație $c_{rf} = 0,45$.

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

P_{kr} - coeficientul de evoluție al vehiculelor din grupa k, corespunzător anului de dare în exploatare a drumului, anul R, stabilit prin interpolare;

P_{kf} - coeficientul de evoluție al vehiculelor din grupa k, corespunzător sfârșitului perioadei de perspectivă luată în considerație (anul F), stabilit prin interpolare;

f_{ek} - coeficientul de echivalare al 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 și de perspectivă, traficul de calcul se stabilește cu relația:

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

în care:

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

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

$N_{os.115F}$ - numărul de osii standard de 115 kN, corespunzător sfârșitului perioadei de perspectivă 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 și în consecință, redimensionarea sistemului rutier.

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 și eventual dintr-un strat de formă, în conformitate cu prevederile STAS 12253 și este caracterizat în vederea dimensionării prin caracteristicile de deformabilitate: modulul de elasticitate dinamic și coeficientul lui Poisson.

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

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

Tabelul 1. Tipurile de pământ pe baza clasificării pământurilor

Categoriea pământului	Tipul de pământ	Clasificarea pământurilor conform STAS 1243	Indicele de plasticitate Ip%	Granulozitatea		
				Argilă %	Praf %	Nisip %
Necoezive	P ₁	Pietris cu nisip	sub 10	cu sau fără fractiuni sub 0,5 mm		
	P ₂		10...20	cu fractiuni 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

4.2.2. Repartitia tipurilor climaterice pe teritoriul țării este aratată în harta din figura 1.

4.2.3. Regimul hidrologic se diferențiază astfel:

- regim hidrologic 1, corespunzător condițiilor hidrologice FAVORABILE, conform STAS 1709/2;
- regim hidrologic 2, corespunzător condițiilor hidrologice MEDIOCRE și 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.

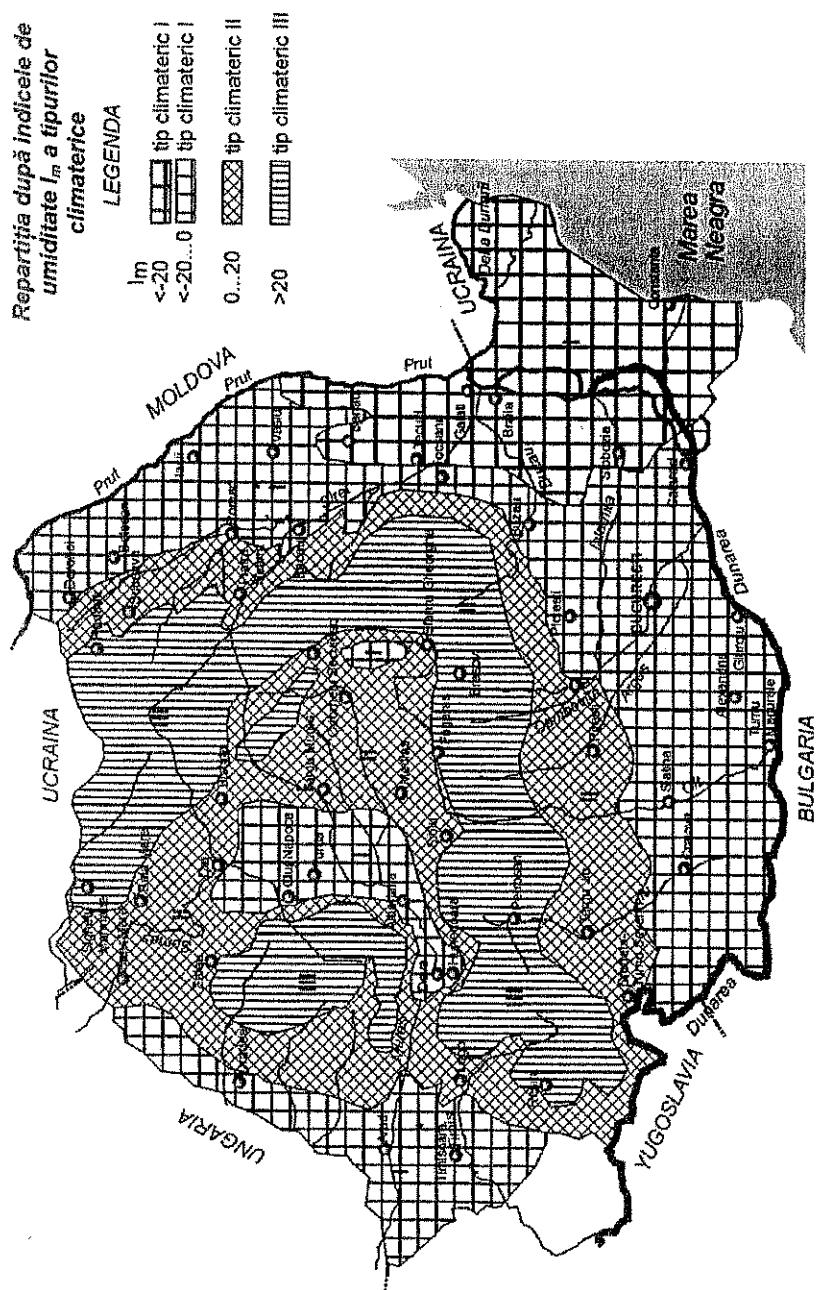


Fig. 1. Harta cu repartiția tipurilor climaterice pe teritoriul României

Tabelul 2. Valorile de calcul ale modului de elasticitate dinamic al pământului de fundare

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

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

Tabelul 3. Valorile de calcul ale coeficientului lui Poisson pentru pământuri

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

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

- deșeuri de carieră $E_p = 100 \text{ MPa}$ $\mu = 0,27$
- cenușă de termocentrală $E_p = 50 \text{ MPa}$ $\mu = 0,42$

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

4.4. Îmbunătățirea capacitatea 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 pietrulii existente;

- deșeuri de carieră;
- zgura brută de furnal înalt;
- materiale coeze:
 - pământuri coeze tratate cu var;
 - pământuri stabilizate cu zgură granulată și var;
 - pământuri stabilizate cu ciment;
 - aggregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici.

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

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

- pentru materialele necoeze:

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

$$E_{s,f} = 0.20 \times h_{s,f}^{0.45} \times E_p \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

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

- coeficientul lui Poisson are valoarea 0,27.

- pentru materialele coeze, în conformitate cu tabelul 4.

4.4.4. Pentru folosirea ratională 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 formă necesară realizării acestei capacitați portante se stabilește cu ajutorul diagramei din figura 2 pentru straturile de formă din materiale necoeze și cu cea din figurile 3, 4, 5 și 6 pentru straturile de formă din materiale coeze, în funcție de modulul de elasticitate dinamic al materialului respectiv.

5. ALEGEREA ALCĂTUIRII SISTEMULUI RUTIER

5.1. Sistemele rutiere a căror dimensionare face obiectul acestui normativ se clasifică în funcție de alcătuire în două tipuri:

- sisteme rutiere suple;
- sisteme rutiere semirigide.

Tabelul 4. Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate pentru materialele coeze din stratul de formă

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

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

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

5.4. Variantele de alcătuire ale sistemelor rutiere suple și semirigide din tabelele 5 și 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 stabilește în funcție de materialele preponderente în reglune și anume:

- aggregatele naturale de carieră, care au o pondere importantă în sistemele rutiere suple;
- aggregatele naturale de balastieră, care au o pondere importantă în sistemele rutiere semirigide.

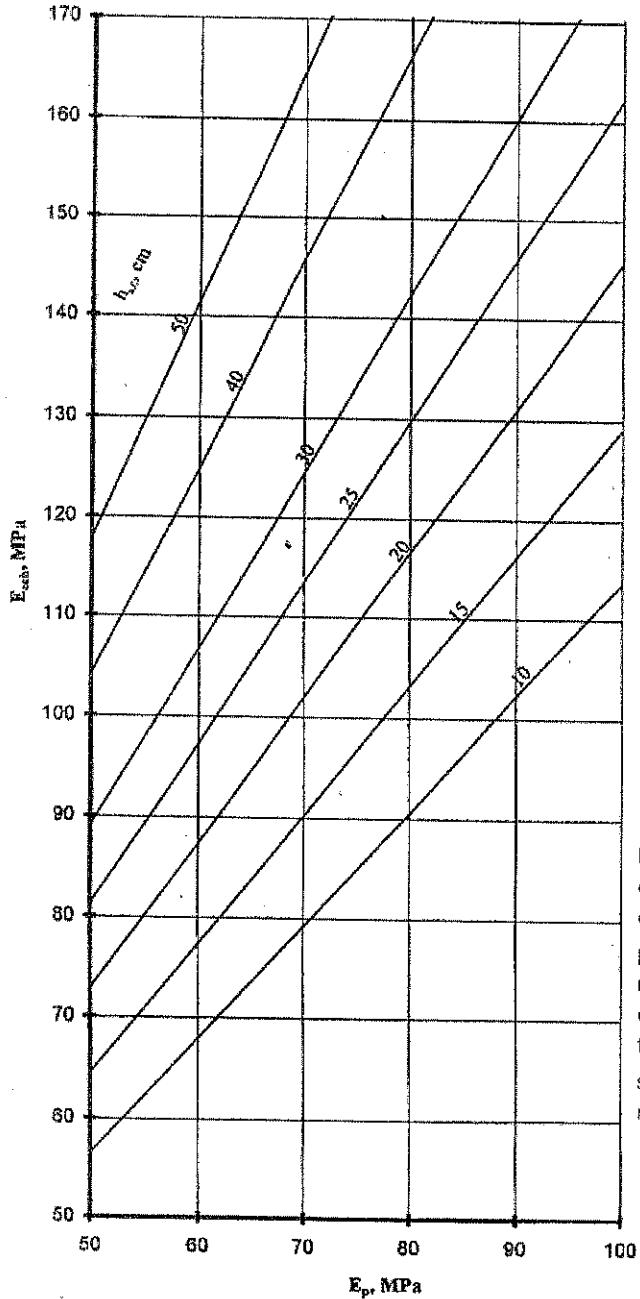


Fig. 2. Strat de forma din materiale necoezive

Diagrama de stabilire a modului de elasticitate dinamic echivalent (E_{ech}) la nivelul patului drumului în funcție de modulul de elasticitate dinamic al pământului de fundare (E_p) și de grosimea stratului de formă din materiale necoezive ($h_{s.f.}$)

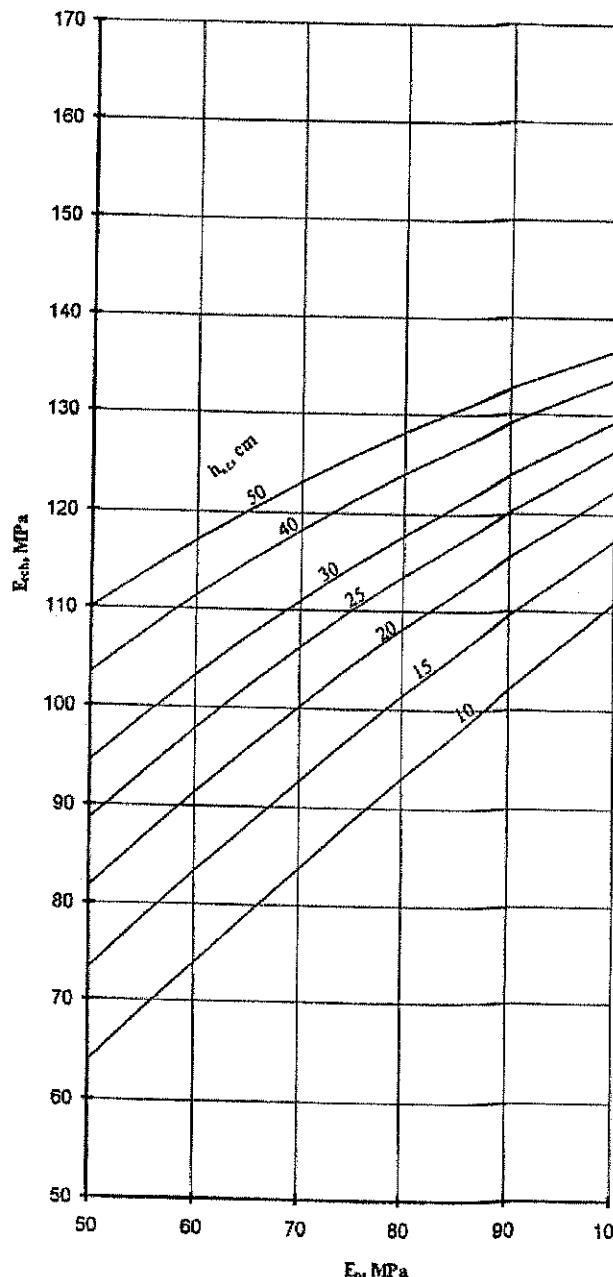


Fig. 3a. Strat de forma din pământuri coeze tip P₃ și P₄ tratate cu var

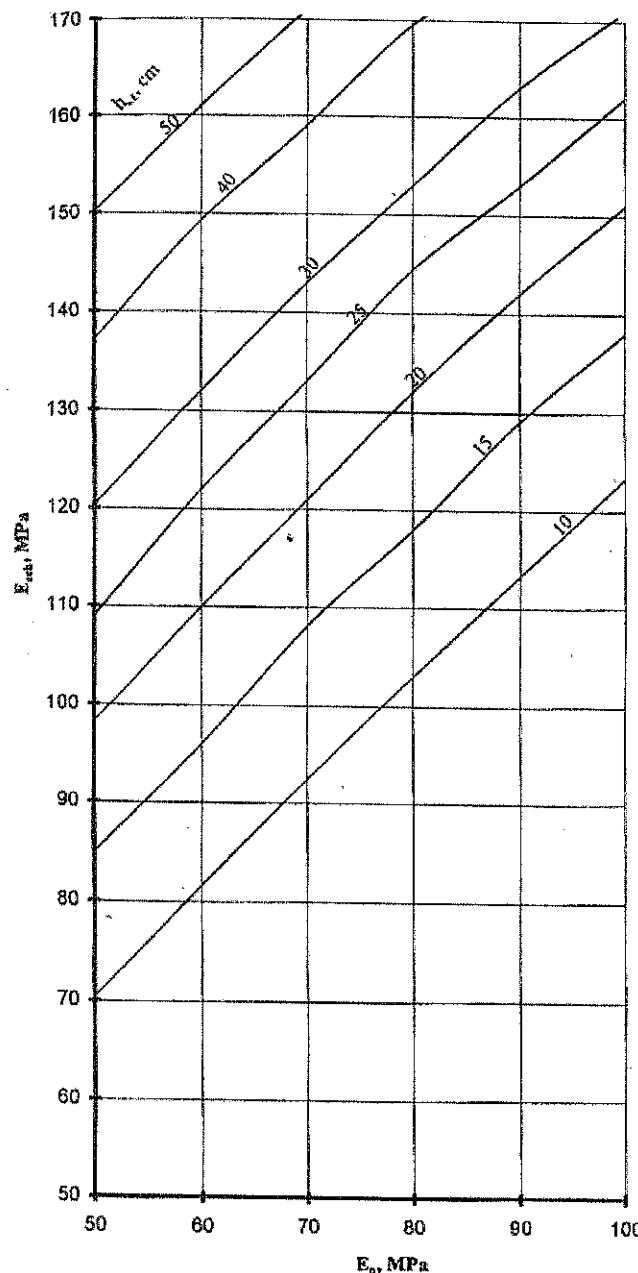


Diagrama de stabilire a modului de elasticitate dinamic echivalent (E_{ech}) la nivelul patului drumului în funcție de modulul de elasticitate dinamic al pământului de fundare (E_p) și de grosimea stratului de formă din pământuri coeze tip P₅ tratate cu var ($h_{s.f.}$)

Fig. 3b. Strat de formă din pământuri coeze tip P₅ tratate cu var

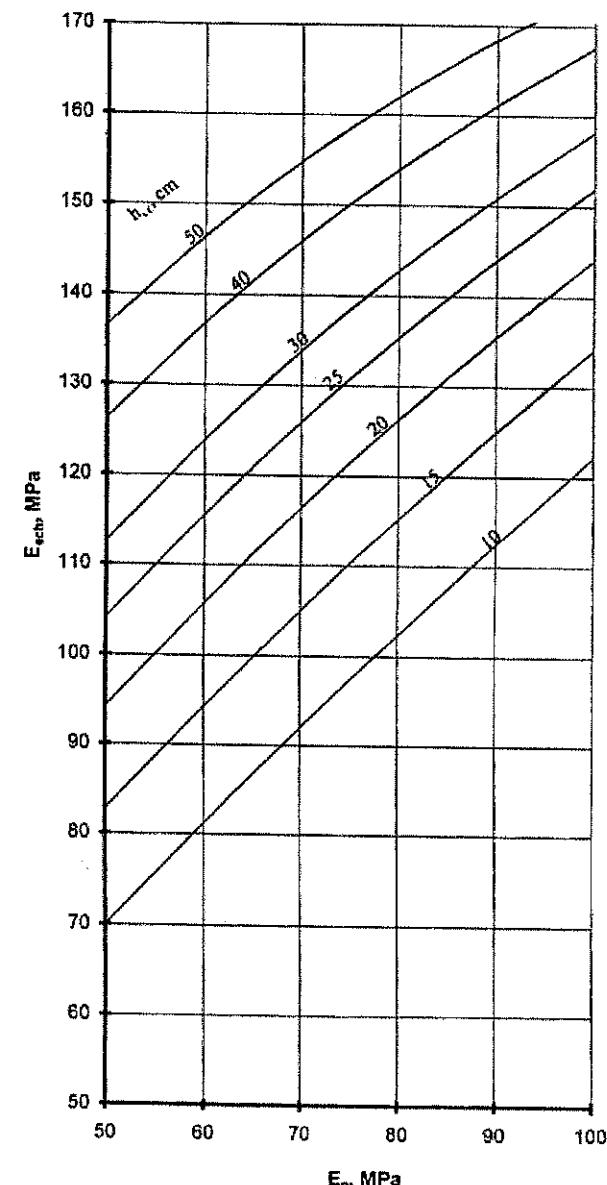


Fig. 4. Strat de formă din pământuri coeze stabilizate cu zgură granulată și var

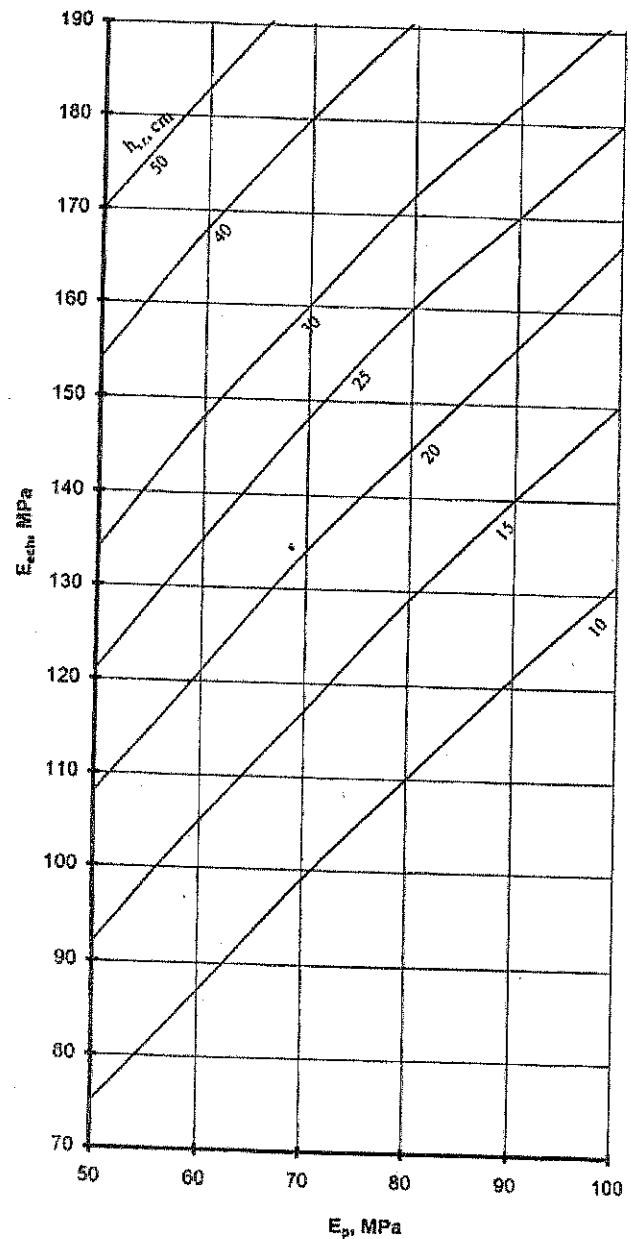


Diagrama de stabilire a modului de elasticitate dinamic echivalent (E_{ech}) la nivelul patului drumului în funcție de modulul de elasticitate dinamic al pământului de fundare (E_p) și de grosimea stratului de formă din pământuri stabilizate cu ciment (h_{sf})

Fig. 5. Strat de formă din pământuri stabilizate cu ciment

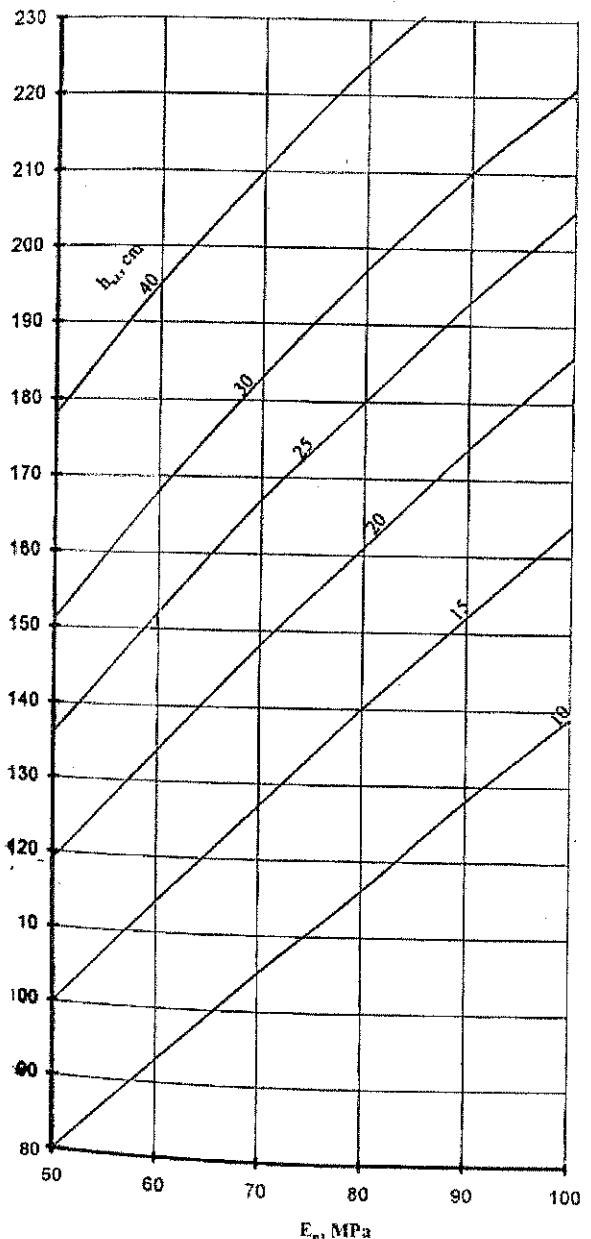


Fig. 6a. Strat de formă din agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici - zgură granulată și tuf vulcanic

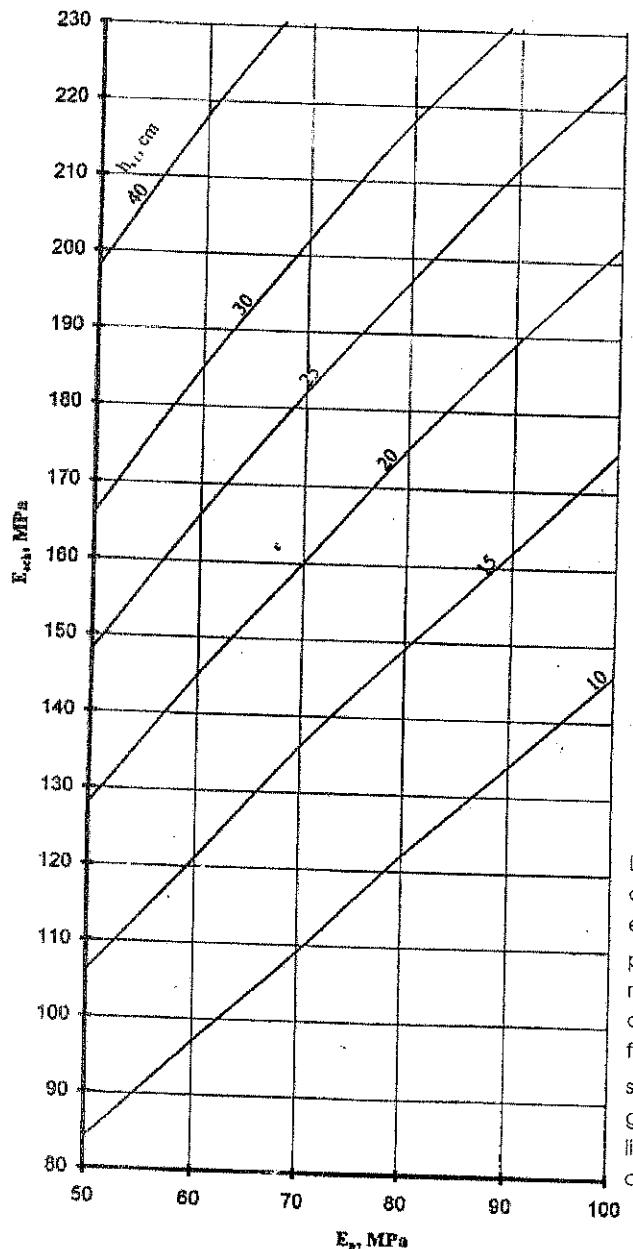


Fig. 6b. Strat de formă din agregate naturale stabilizate cu liant puzzolanic - cenușă de centrală termoelectrică

5.7 Alcătuirea sistemului rutier și anume, variația pe grosimea acestuia a tipurilor de straturi rutiere și a grosimilor acestora se stabilește luând în considerare următoarele:

- grosimile minime constructive ale diferitelor straturi rutiere, conform prevederilor tabelelor 5 și 6;
- grosimile maxime ale diferitelor straturi rutiere, înănd cont de anumite constrângeri specifice tehnologiilor de execuție;
- reducerea numărului de straturi, respectiv de interfețe, în scopul micșorării riscului apariției unor defecțiuni privind aderența 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 reflectivă.

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 și grosimea pietruirii, conform prevederilor STAS 6400.

5.8.1. Pietruirea poate constitui un substrat de fundație sau un strat de fundație, numai dacă îndeplinește 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 luă în considerare în dimensionarea sistemului rutier. Ea se scarifică și se reprofilează pe toată 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 și 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.

6. ANALIZA SISTEMULUI RUTIER LA SOLICITAREA OSIEI STANDARD

6.1. Sistemul rutier supus analizei este caracterizat prin grosimea fiecărui strat rutier și prin caracteristicile de deformabilitate ale materialelor din straturile rutiere

Tabelul 5. Variante de alcătuire a sistemului rutier suplu

Straturi de fundație	Grosimi minime constructive, cm	Strat de bază		Grosimi minime constructive, cm	Casa tehnică a drumului					Îmbrăcăminte bituminocă construcțive, cm
		Mod de alcătuire	Grosimii minime constructive, cm		I	II	III	IV	V	
Balast	15	Macadam	8	-	-	-	-	-	-	da
Un strat inferior din balast sau din pământ stabilizat mecanic și un strat superior din balast amestec optim al	10 cm pentru stratul inferior 10 cm pentru stratul superior	Mixturuă asfaltică	5	-	-	-	-	-	-	da
Un strat inferior din balast și un strat superior din piatră spartă mare, sort 63-90 sau piatră spartă amestec optim al	10 cm pentru stratul inferior 12 cm pentru stratul superior	Macadam semipenetrat sau penetrat cu bitum	8	-	-	-	-	-	-	da
Un strat inferior din balast, un strat mijlociu din blocuri de piatră brută și un strat de egalizare din piatră spartă	10 cm pentru stratul inferior 21 cm pentru stratul mijlociu inclusiv 5 cm risip 6 cm pentru stratul de egalizare	Mixturuă asfaltică	5	-	-	-	-	-	-	da



Tabelul 6. Variante de alcătuire a sistemului rutier semirigid

Straturi de fundație	Grosimi minime constructive, cm	Strat de bază		Grosimi minime constructive, cm	Casa tehnică a drumului					Îmbrăcăminte bituminocă construcțive, cm
		Mod de alcătuire	Grosimii minime constructive, cm		I	II	III	IV	V	
Balast	15	Aggregate naturale stabilizate cu liantii hidraulici sau puzolaniici	12	-	-	da	da	da	da	8* pentru clasele III, IV și V
Un strat inferior din balast și un strat superior din aggregate naturale stabilizate cu liantii hidraulici sau puzolaniici	10 pentru stratul inferior 12 pentru stratul superior	Mixturuă asfaltică Piatră spartă împănată cu split bitumat Aggregate naturale stabilizate cu liantii hidraulici sau puzolaniici	5 9 12	da	da	da	da	da	da	8* pentru clasele I și II 10 pentru clasele I și II 8* pentru clasa IV 10* pentru clasa V 13* pentru clasa VI

Notă: * cu riscul manifestării fisurăril reflective

și ale pământului de fundare (modulul de elasticitate dinamic, E, în MPa și coeficientul lui Poisson, μ).

6.2. Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate ale materialelor din suportul sistemului 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 stabilește modulul de elasticitate dinamic echivalent al sistemului bistrat (strat de formă - materiale din terasamente), în funcție de tipul stratului de formă, de grosimea acestuia și de valoarea modulului de elasticitate dinamic al pământului de fundare, cu ajutorul figurilor 2...6.

6.2.3. Valoarea de calcul a 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 pietriuirea 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) și se calculează cu relația (3);
- coeficientul lui Poisson are valoarea 0,27;

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

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

6.6. Valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice din stratul de bază și 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 compozitia 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.

Tabelul 7. Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate pentru materialele necoezive din straturile de bază și de fundație

Denumirea materialului	Modul de elasticitate dinamic (E) MPa	Coefficientul 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 optim	500*	0,27
Blocaj de piatră brută	300	0,27
Balast, amestec optim	300*	0,27
Bolovan	200	0,27

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

Tabelul 8. Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate pentru agregatele naturale stabilizate cu lianti hidraulici și puzzolanici

Denumirea materialului	Modul de elasticitate dinamic (E) MPa	Coefficientul 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 lianti puzzolanici		
• zgură granulată:		
- pentru strat de bază	1200	0,25
- pentru strat de fundație	700	0,25
• cenușă de termocentrală		
- pentru strat de bază	1800	0,25
- pentru strat de fundație	1100	0,25
• tuf vulcanic		
- 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 același tip de materiale (mixtură asfaltică, piatră spartă sau balast) acestea vor fi caracterizate prin:

- grosimea totală a pachetului de straturi, în cm;
- modulul de elasticitate dinamic mediu ponderat (E_m) al pachetului respectiv de straturi rutiere, care se calculează cu relația:

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

în care:

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

Tabelul 9. Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate ale mixturilor asfaltice

Tipul mixturi asfaltice	Tipul stratului	Tip climateric I și II		Tip climateric III Modul de elasticitate dinamic (E), MPa	Coeficientul lui Poisson (μ)
		Modul de elasticitate dinamic (E), MPa	Coeficientul lui Poisson (μ)		
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, - tip MASF 8.	uzură	3300 3000	4000 3600		

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

6.9. Analiza sistemului rutier la solicitarea osiei standard comportă calculul deformărilor specifice și 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:

- deformată specifică orizontală de întindere (ϵ_1) la baza straturilor bituminoase, în microdeformări;
- deformată specifică verticală de compresiune (ϵ_2) la nivelul patului drumului, în microdeformări.

6.9.2. În cazul sistemelor rutiere semirigide se calculează următoarele:

- deformată specifică orizontală de întindere (ϵ_1) la baza straturilor bituminoase, în microdeformări;
- tensiunea orizontală de întindere (σ_1) la baza stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianti hidraulici sau puzzolanici;
- deformată specifică verticală de compresiune (ϵ_2) la nivelul patului drumului, în microdeformări.

6.9.3. Calculele se efectuează cu programul CALDEROM 2000, al carui suport fizic se găseste 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_1 : la baza straturilor bituminoase

$$z_1 = \sum_{i=1}^n h_{i.m.a.} \quad (\text{cm})$$

în care:

z_1 - adâncimea de la suprafață îmbracamintei unde se determină deformăția, în cm;

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

- pentru σ_1 : la baza straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianti hidraulici sau puzzolanici

$$z_2 = z_1 + \sum_{i=1}^n h_{i.b.s.} \quad (\text{cm})$$

în care:

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

- pentru ϵ_2 : la nivelul patului drumului

$$z_3 = H \quad (\text{cm})$$

în care:

H - grosimea totală a sistemului rutier, în cm.

7. STABILIREA COMPORTĂRII SUB TRAFIC A SISTEMULUI RUTIER

7.1. Stabilirea comportării sub trafic a sistemului rutier are drept scop compararea valorilor deformărilor specifice și 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 deformării 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 deformare la baza acestora.

7.3.2. Numărul de solicitări admisibil, care poate fi preluat de straturile bituminoase, se stabilește 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 și de traficul de calcul și anume, cu relațiile:

- a. pentru autostrăzi, drumuri expres, drumuri europene, drumuri și străzi cu trafic de calcul mai mare de 1 m.o.s (1×10^6 o.s.115);

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

- b. pentru drumuri și străzi cu trafic de calcul cel mult egal cu 1 m.o.s. (1×10^6 o.s.115);

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

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

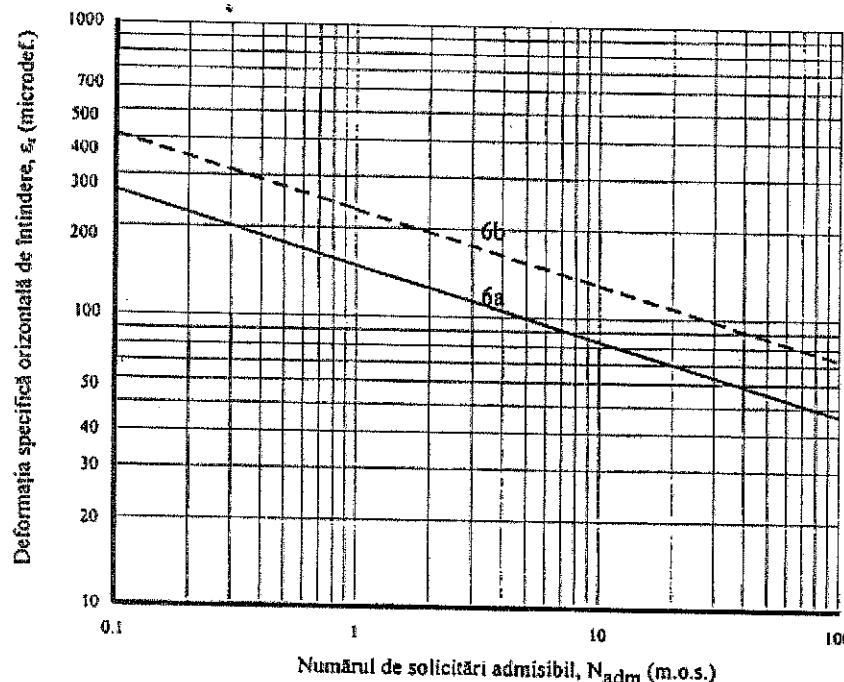


Fig. 7. Diagrama de stabilire a numărului de solicitări admisibil în funcție de deformăția specifică orizontală de întindere la baza straturilor bituminoase

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 urmatoarele valori:

- max. 0,80 pentru autostrăzi și drumuri expres;
- max. 0,85 pentru drumuri europene;
- max. 0,90 pentru drumuri naționale principale și străzi;
- max. 0,95 pentru drumuri naționale secundare;
- max. 1,00 pentru drumuri județene și 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 bază 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 liantii hidraulici sau puzzolanici este respectat, dacă este îndeplinită condiția:

$$\sigma_r = \sigma_{r adm.} \quad (8)$$

în care:

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

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

7.4.1. Tensiunea de întindere admisibilă se calculează cu relația:

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

în care:

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

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

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

Tabelul 10. Rezistența la întindere a agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici și puzzolanici

Tipul liantului și al stratului	R _f , MPa
Ciment:	
- strat de bază	0,40
- strat de fundație	0,35
Zgură granulată:	
- strat de bază	0,35
- strat de fundație	0,20
Cenușă de termocentrală:	
- strat de bază	0,50
- strat de fundație	0,30
Tuf vulcanic:	
- strat de bază	0,55
- strat de fundație	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 îngroșarea stratului din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici și puzzolanici.

7.5. Criteriul deformației specifice verticale admisibile la nivelul pământului de fundare este respectat, dacă este îndeplinită 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 specifică verticală admisibilă se calculează cu următoarele relații:

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

$$\varepsilon_{zadm} = 329 N_c^{-0.27} \quad (\text{microdef.}) \quad (11a)$$

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

$$\varepsilon_{zadm} = 600 N_c^{-0.28} \quad (\text{microdef.}) \quad (11b)$$

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

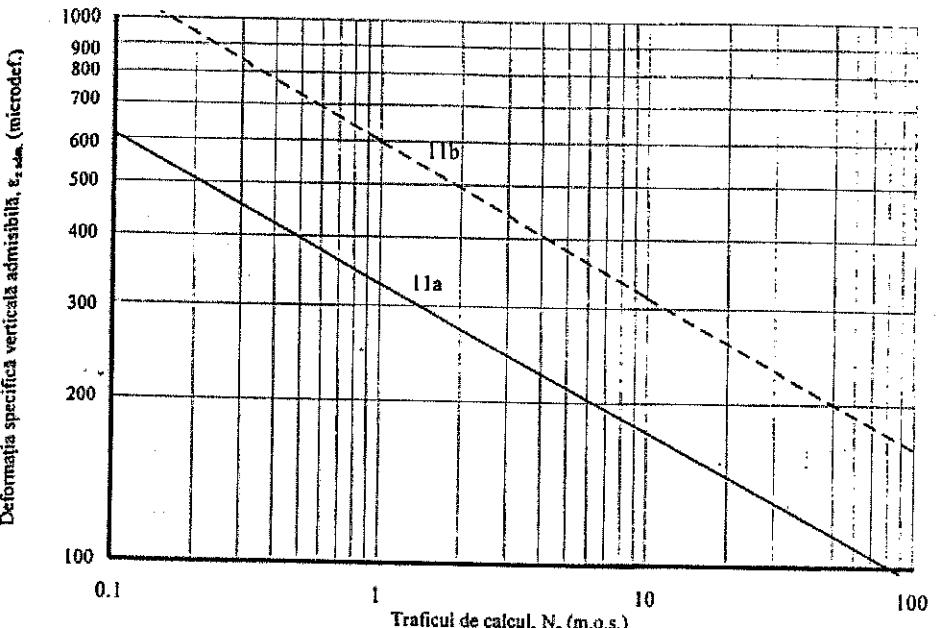


Fig. 8 Diagrama de stabilire a deformației specifice verticale admisibile la nivelul pământului de fundare în funcție de traficul de calcul

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

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 variantă nouă a unui drum european.

Drumul este situat într-o regiune de tip climateric II, în care sursele de agregate naturale de carieră sunt la distanțe 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 și prafuri argiloase, în conformitate cu STAS 1243.

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

- 350 autocamioane și derivate cu 2 osii
- 80 autocamioane și derivate cu 3 osii
- 312 autocamioane și 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).

8.7.2. Stabilirea traficului de calcul

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

Tabelul 11

Grupa de vehicule	n_{k95}	P_{k99}	P_{k99}	$P_{k99} + P_{k99}$	f_{ek}	Produsul col. 1 x col. 4 x col. 5 os. 115
0	1	2	3	4	5	6
Autocamioane și derivate cu 2 osii	350	1,2	2,6	1,9	0,30	200
Autocamioane și derivate cu 3 osii	80	1,0	1,4	1,2	0,44	42
Autocamioane și 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):

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

8.7.3. Stabilirea capacitații portante la nivelul patului drumului.

Pământul de fundare, alcătuit din prafuri și 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 și regimului hidrologic 2a, valoarea de calcul a modului 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.

8.7.4. 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 bază din mixtură asfaltică și strat superior de fundație din piatră spartă, amestec optimal. Grosimile straturilor rutiere și va-

lorile de calcul ale modulu lui de elasticitate dinamic și ale coeficientului lui Poisson sunt date în tabelul 12.

Tabelul 12

Denumirea materialului din strat	Varianța I	Varianța 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*
Mixtura 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

Nota: * conform pct. 6.6

** conform pct. 6.4

*** conform pct. 6.3

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

8.7.5. Analiza sistemului rutier la solicitarea osiei standard

Se calculează următoarele componente ale deformației:

- ϵ_f , 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_f microdef.	113	103
ϵ_z microdef.	230	210
$N_{adm.}$ m.o.s.	3,02	4,36
RDO	1,16	0,80

8.7.6. 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 și 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., și RDO = 0,97, deci această grosime nu verifică condiția RDO = max.0,85.

Se calculează cu relația (11a) deformăția specifică verticală admisibilă la nivelul patului drumului. Se compară valoarea obținută de 235 microdef. cu valoarea calculată de 210 microdef. și se constată că este îndeplinită condiția $\epsilon_z \leq \epsilon_{z\text{ adm.}}$.

Se analizează și varianta de alcătuire a sistemului rutier, micsorând la 25 cm grosimea stratului de fundație din balast, parametrii de calcul fiind date 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

Nota: * conform pct. 6.6

** conform pct. 6.4

*** conform pct. 6.3

Valorile calculate ale deformărilor specifice sunt date în tabelul 15.

Tabelul 15

VARIANTA	1
ϵ_f 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 îmbrăcămintă 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. Dimensionarea 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 climatic II, în care sursele de agregate naturale de balastieră sunt la distanțe relativ reduse de traseul drumului.

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

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

689 autotamioane și derive cu 2 osii

207 autotamioane și derive cu 3 osii

139 autotamioane și derive 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 stabilește traficul de calcul, conform cap.3, cu ajutorul datelor din tabelul 16.

Tabelul 16

Grupa de vehicole	n _{k95}	p _{k02} *	p _{k17} *	(p _{k02} +p _{k17})x0,5	f _{ek}	Produsul col. 1 x col. 4 x col. 5 os. 115	
						1	6
Autotamioane și derive cu 2 osii	689	1,32	2,84	2,08	0,30	430	
Autotamioane și derive cu 3 osii	207	1,04	1,48	1,26	0,44	115	
Autotamioane și derive cu peste 3 osii	139	1,36	2,70	2,03	1,02	288	
Autobuze	80	1,50	3,38	2,44	0,64	125	
Remorci	111	1,40	3,28	2,34	0,06	16	
Total os. 115							974

Nota: * 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 capacitatei 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 și în debleu, este caracterizat printr-un regim hidrologic 2b, conform pct. 4.2.3.

Corespunzător tipului climatic II și regimului hidrologic 2b, valoarea de calcul a 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.

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 și 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 și 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 și anume:

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

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 $\epsilon_z \leq \epsilon_{z adm.}$.

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

Rezultă următoarea alcătuire a sistemului rutier:

8 cm îmbrăcămințe 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.

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 modulu de elasticitate dinamic, $E_{s,f} = 250 \text{ MPa}$ și a coeficientului lui Poisson, $\mu = 0,35$.

Se stabilește 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 și anume, 0,35.

8.2.4. Alegerea alcătuirii sistemului rutier

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

Tabelul 17

Denumirea materialului din strat	Varianța I		Varianța II	
	h, cm		E, MPa	μ
Beton asfaltic pentru strat de uzură	4	4	3600*	0,35*
Beton asfaltic pentru strat de legătură	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 și pământul de fundare reprezentând 6 straturi, se reduc la 5 straturi, prin luarea în considerare a îmbrăcămînții bituminoase cu grosimea de 8 cm, cu o valoare a modulu 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 și 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 în tabelul 18.

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 și 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. Teren de fundare. Clasificarea și identificarea pământurilor.
STAS 1243-88	Acțiunea fenomenului de îngheț - dezgheț la lucrări de drumuri. Adâncimea de îngheț în complexul rutier. Prescripții de calcul.
STAS 1709/1-90	Acțiunea fenomenului de îngheț - dezgheț la lucrări de drumuri. Prevenirea și remedierea degradărilor din îngheț - dezgheț. Prescripții tehnice.
STAS 1709/2-90	Lucrări de drumuri. Terasamente. Condiții tehnice generale de calitate
STAS 2914 - 84	Lucrări de drumuri. Terminologie
STAS 4032 /1 - 90	Lucrări de drumuri. Straturi de bază și de fundație. Condiții tehnice generale de calitate
STAS 6400 - 84	Lucrări de drumuri. Straturi de bază din mixturi bituminoase cilindrate executate la cald. Condiții tehnice generale de calitate.
STAS 7970-2000	Lucrări de drumuri. Straturi de formă. Condiții tehnice generale de calitate
STAS 12253 - 84	Instrucțiuni tehnice pentru realizarea mixturilor asfaltice stabilizate cu fibre de celuloză, destinația execuției îmbrăcăminților bituminoase rutiere
AND 539 - 98	Instrucțiuni tehnice privind determinarea modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice
AND 542 - 98	Normativ privind îmbrăcămintile bituminoase cilindrate la cald realizate cu bitum modificat cu polimeri
AND 549 - 99	

ANEXA 2

1. Coeficienți de evoluție a traficului rutier

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

Tabelul 1. Coeficienții minimali de evoluție a traficului rutier

Anul	Grupa 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 date în tabelul 2.

Tabelul 2. Coeficienții de echivalare în osii standard de 115 kN

Grupa de vehicule	Vehicul reprezentativ		Coeficienți de echivalare în osii standard de 115 kN
	Tip	Sarcini pe osie	
Autocamioane și derivate cu 2 osii	R8135	45kN + 80kN	0,30
Autocamioane și derivate cu 3 osii	R19215	62kN + 2 x 80kN	0,44
Autocamioane și derivate cu peste 3 osii	10ATM2	62kN + 100kN + 2 x 80kN	1,02
	19ATM2*	62kN + 2 x 80kN + 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)

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

PROGRAMUL PENTRU CALCULUL TENSIUNILOR ȘI DEFORMAȚIILOR SPECIFICE ÎN SISTEMELE RUTIERE ÎN ROMÂNIA - CALDEROM 2000

1. GENERALITĂȚI

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

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

1.3. Programul se bazează pe rezolvarea analitică, cu ajutorul modelului Burmister, a stării de tensiune și de deformație sub sarcină a sistemului rutier.

1.4. Pentru sisteme rutiere suple pentru calculul deformațiilor specifice poate fi utilizat și 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 roți gemene, transmisă pe o suprafață circulară echivalentă suprafetei de contact pneu - drum.

Caracteristicile sarcinii și anume:

- sarcina pe roțile gemene: 57,5 kN;
- presiunea de contact: 0,625 MPa;
- raza suprafeței 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 și omogen, infinit în plan orizontal și cu grosime finită, cu excepția pământului de fundare, considerat semiinfinit.

2.3. Între straturile rutiere există aderență.

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

2.5. Calculul tensiunilor și al deformațiilor specifice se efectuează în conformitate cu prevederile cap. 6 din normativ, în următoarele puncte:

- la partea inferioară a straturilor bituminoase;
- la partea inferioară a stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianji 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 și relațiile existente între tensiunile și deformațiile specifice, conform mecanicilor 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 axisimetrice se obțin pentru sarcina de calcul următoarele rezultate:

- tensiunile: $\sigma_r(r,z)$, $\sigma_\theta(r,z)$, $\sigma_z(r,z)$ și $\tau_{rz}(r,z)$, conform figurii 1;
- deplasările orizontale $u(r,z)$ și verticale $v(r,z)$;
- deformațiile specifice corespunzătoare.

Componentele tensorului de tensiune σ și de deformație specifică ϵ în $r=0$ și $z=0$ sunt nule și 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: ϵ_r , ϵ_z

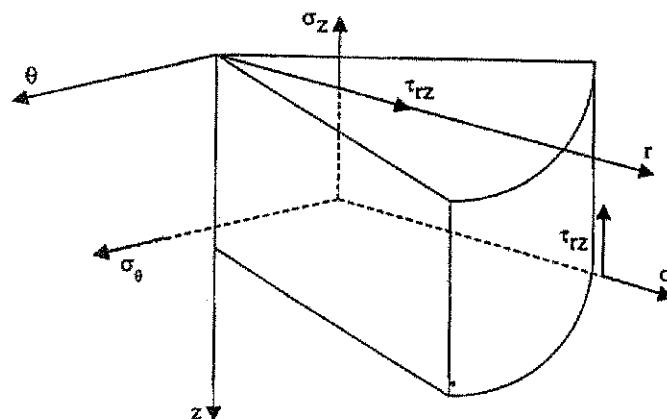


Fig. 1. Rezultatele în reper axisimetric ale tensiunilor

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 și stratul de bază din mixtură asfaltică, considerate stratul 1, sunt:

- grosimea totală estimată (minim 8 cm), în cm;
- modulul de elasticitate dinamic mediu ponderat, în MPa, calculat 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 și 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 granulare, pot fi caracterizate prin:

- grosimea totală a acestora, în cm;

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

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

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 și deformațiilor specifice sunt:

- la baza straturilor bituminoase, în cm;
- la baza stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate 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 fișiere:

- un fișier executabil: calderom2000.exe;
- un fișier necesar rulării programului: dosxmsf.exe;
- un fișier cu date de ieșire: rezultat.dat.

5.2. Instalarea programului

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

5.3. Rularea programului

5.3.1. Se lansează în execuție fișierul executabil: calderom2000.exe.

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

5.3.3. După rularea corectă a fișierului calderom2000.exe, se generează fișierul de date de ieșire rezultat.dat, care poate fi tipărit.

5.3.4. Fișierul de date de ieșire rezultat.dat conține următoarele date, conform exemplului din cap.6 din anexă:

- denumirea drumului;
- sectorul omogen investigat;
- recapitularea datelor primare privind caracteristicile sarcinii;
- recapitularea datelor de intrare privind caracteristicile straturilor rutiere;
- rezultatele calculelor efectuate și 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 superioară a stratului de dedesubt.

DEFORMAȚIA ORIZONTALĂ, în microdeformatii;

ATENȚIE: În calculele de dimensionare este utilizată deformarea 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 $\epsilon_r = 142$ microdeformatii.

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 lanții hidraulici sau puzzolanici. În exemplul din cap.6 din anexă, pentru $Z = -36,00$ cm, TENSIUNEA SPECIFICĂ ORIZONTALĂ este $.793E - 01$, ceea ce înseamnă $\epsilon_r = 0.079$ MPa.

DEFORMAȚIA SPECIFICĂ VERTICALĂ, în microdeformatii;

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

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 și 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

