



Obiectiv: „Covor bituminos pe drum județean DJ 737 Campulung – Matau – Cocenesti - Boteni, km 0+000 – 9+000, L=9,00 km, loc. Campulung si Mioarele, jud. Argeș”
Beneficiar: Consiliul Județean Argeș – RAJD Argeș RA

BREVIAR DE CALCUL

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

- pentru structuri rutiere suple:
 - deformația specifică de întindere admisibilă la baza straturilor bituminoase;
 - deformația specifică de compresiune admisibilă la nivelul patului drumului;
- pentru structuri 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.

Metoda analitică de dimensionare se bazează pe stabilirea unei alcătuiți a structurii rutiere, în conformitate cu prevederile prescripțiilor tehnice în vigoare și verificarea stării de solicitare a acesteia, sub acțiunea traficului de calcul, astfel încât să îndeplinească criteriile de dimensionare menționate mai sus.

Pentru dimensionarea structurilor rutiere suple și semirigide este necesar să se efectueze în prealabil studii, în vederea obținerii următoarelor date:

- compoziția, 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 freatic).

2.1. ETAPE COMPONENTE.

Dimensionarea structurii rutiere comportă următoarele etape:

- stabilirea traficului de calcul;
- stabilirea capacității portante la nivelul patului drumului;



- alegerea unei alcătuirii a sistemului rutier;
- analiza structurii rutiere la solicitarea osiei standard;
- stabilirea comportării sub trafic a structurii rutiere.

2.1.1. Stabilirea traficului de calcul.

La dimensionarea structurilor 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/stradă.

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-cale: 0,171 m

Perioada de perspectivă se adoptă 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 (ANEXA I).

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

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

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

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



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

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

Valorile acestor coeficienți de evoluție vor fi reactualizate după fiecare recensământ general de circulație de către Compania Națională de Autostrăzi și Drumuri Naționale S.A..

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 acesteia pe tipuri de trafic: local, de origine, de destinație și de tranzit, prin examinarea surselor generatoare ale acestora.

La stabilirea traficului de calcul de perspectivă se vor avea în vedere atât compoziția traficului cât și 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.

Coeficienții de echivalare în osii standard de 115 kN a diferitelor tipuri de autovehicule, stabiliți pe baza rezultatelor ultimului recensământ general de circulație sunt prezentați în tabelul 2.1.

Tabel 2.1. Coeficienți medii de echivalare a vehiculelor fizice în osii standard 115 kN.

Tipul de structură rutieră	Grupa de vehicule :					
	Autocamioane și derivate cu 2 osii	Autocamioane și derivate cu 3 și 4 osii	Autovehicule articulate	Autobuze	Vehicule speciale	Autocamioane cu remorci
Suplă și semirigidă	0,4	0,6	0,8	0,6	0,3	0,8
Ranforsări S.R. suple și	0,3	0,8	0,9	0,6	0,2	0,7



semirigid e						
Rigidă	0,3	3,8	2,9	1,5	0,2	1,6

Traficul de calcul se exprimă în milioane osii standard de 115 kN (m.o.s.) și se stabilește pe baza structurii traficului mediu zilnic anual :

$$N_c = 365 \times 10^{-6} \times p_p \times c_{rt} \times \sum_{k=1}^5 \left(n_{k2005} \times \frac{p_{kR} + p_{kF}}{2} \times f_{ek} \right) , \text{ în (m.o.s.)} \quad (2.1)$$

în care:

365- numărul de zile calendaristice dintr-un an;

p_p - perioada de perspectivă în ani;

c_{rt} - coeficient de repartiție transversală, pe benzi de circulație și anume:

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

-pentru drumuri/străzi cu patru benzi de circulație $c_{rt}=0,45$;

n_{k2005} - intensitatea medie zilnică anuală a vehiculelor din grupa k, conform rezultatelor recesământului general de circulație (respectiv din 2005);

p_{kR} - coeficientul de evoluție al vehiculelor din grupa k, corespunzător anului de dare în exploatare , (anul R) stabilit prin interpolare (ANEXA II);

p_{kF} - coeficientul de evoluție al vehiculelor din grupa k, corespunzător sfârșitului perioadei de perspectivă luată în considerare (anul F) stabilit prin interpolare (ANEXA II);

f_{ek} - coeficientul de echivalare al vehiculelor din grupa k în osii standard de 115 kN conform tabelului 2.2.

În cazul în care se dispune de date privind intensitatea traficului mediu zilnic anual în o.s. 115 kN, actual și de perspectivă, traficul de calcul se stabilește cu relația:

$$N_c = 365 \times 10^{-6} \times p_p \times c_{rt} \times \frac{n_{o.s.115R} + n_{o.s.115F}}{2} , \text{ în (m.o.s.)} \quad (2.2)$$

în care:

365, p_p și 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 ranforsat (anul R), stabilit prin interpolare;



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

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 repartitie transversală este $c_{rt}=1$.

2.1.2. Stabilirea capacității portante la nivelul patului drumului.

Suportul structurii rutiere este constituit din terasamente alcătuite din pământuri de fundare, conform STAS 2914 și eventual dintr-un strat de formă, conform STAS 12253 și este caracterizat, în vederea dimensionării, prin caracteristicile de deformabilitate: modulul de elasticitate dinamic și coeficientul lui Poisson.

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.

Tipurile de pământ, conform STAS 1243, sunt prezentate în tabelul 2.2.

Tabel 2.2. Tipurile de pământ, conform STAS 1243-1988.

Categoria pământului	Tipul de pământ	Clasificarea pământurilor conform STAS 1243	Indicele de plasticitate I_p %	Compoziția granulometrică :		
				Argilă %	Praf %	Nisip %
Necoezive	P ₁	Pietriș cu nisip	Sub 10	Cu sau fara fractiuni sub 0,5 mm		
	P ₂		10...20	Cu fracțiuni sub 0,5 mm		



Coezive	P ₃	Nisip prăfos, Nisip argilos,	0...20	0...30	0...50	35...100
	P ₄	Praf, praf nisipos, praf argilos, praf argilos nisipos	0...25	0...30	35...100	0...50
	P ₅	Argilă, argilă prăfoasă, argilă nisipoasă, argilă prăfoasă nisipoasă	Peste 15	30...100	0...70	0...70

Repartiția tipurilor climaterice pe teritoriul României este dată în figura 2.1.

Regimul hidrologic se diferențiază astfel:

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

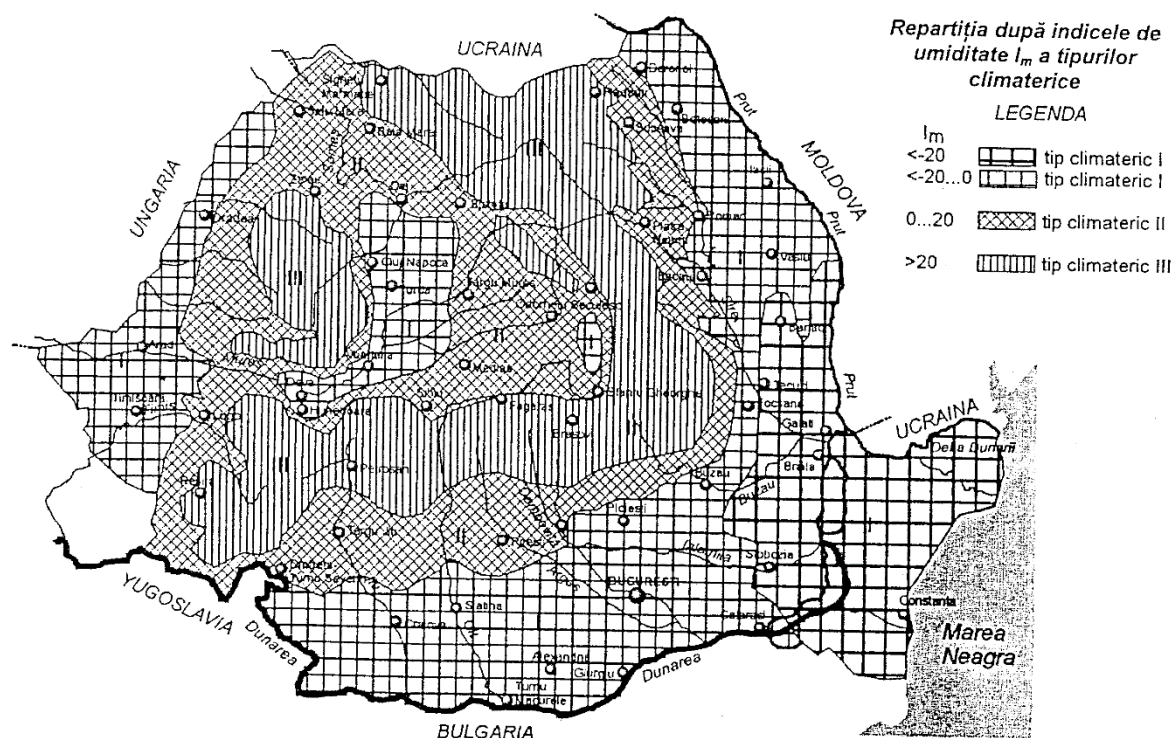


Fig. 2.1. Harta cu repartiția tipurilor climaterice pe teritoriul României.

Valorile de calcul ale modului de elasticitate dinamic și a coeficientului lui Poisson sunt prezentate în tabelul 2.3:

Tabel 2.3. Caracteristicile pământurilor

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



	2a		80		50	65
	2b					
Coeficientul lui Poisson, μ		0,27	0,30	0,30	0,35	0,42

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

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

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

Îmbunătățirea capacității portante la nivelul patului drumului se poate face prin prevederea unui strat de formă, conform STAS 12253.

Straturile de formă pot fi alcătuite din:

- materiale necoezive:
 - pământuri necoezive;
 - materiale granulare din pietruiri existente;
 - deșeuri de carieră;
 - zgură brută de furnal înalt;
- materiale coezive:
 - pământuri coezive tratate cu var;
 - pământuri stabilizate cu zgură granulată și var;
 - pământuri stabilizate cu ciment;
 - agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici.

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

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

$$E_{s.f.} = 0,20 h_{s.f.}^{0,45} \times E_p \quad (\text{MPa}) \quad (2.3)$$

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

- coeficientul lui Poisson are valoarea de 0,27.



- Pentru materialele coezive, conform tabelului 2.4:

Tabel 2.4. Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate pentru materialele coezive din stratul de formă

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

2.1.3. Alegerea alcătuirii structurii rutiere.

Structurile rutiere dimensionate cu această metodă se clasifică, funcție de alcătuire, în două tipuri:

- structuri rutiere suple;
- structuri rutiere semirigide.

Structurile rutiere suple, numite și nerigide, comportă o îmbrăcăminte bituminoasă pe straturi de bază și de fundație alcătuite în general din agregate naturale. Variantele de alcătuire, conform STAS 6400 sunt date în tabelul 2.5.

Structurile rutiere semirigide, numite și mixte, comportă o îmbrăcăminte bituminoasă și au în alcătuire cel puțin un strat din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Variantele de alcătuire a structurilor rutiere semirigide, conform STAS 6400, sunt date în tabelul 2.6.



Tipul de structură rutieră se stabilește în funcție de materialele preponderente în regiune și anume:

- agregate naturale de carieră, care au o pondere importantă în sistemele rutiere suple;
- agregatele naturale de balastieră, care au o pondere importantă în sistemele rutiere semirigide (ANEXA III și ANEXA IV).

Alcătuirea structurii rutiere se stabilește luând în considerare următoarele:

- grosimile minime ale diferitelor straturi rutiere, conform tabelelor 2.5 și 2.6;
- grosimile maxime ale diferitelor straturi rutiere, ținând cont de anumite constrângeri specifice tehnologiilor de execuție;
- reducerea numărului de straturi, respectiv de interfețe, în scopul 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-dezghet, conform STAS 1709/2;
- asigurarea unei protecții suficiente față de manifestarea procesului de fisurare reflectivă.

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 funcție de lățimea și grosimea pietruirii, conform STAS 6400.

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

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 la dimensionarea structurii rutiere. Ea se scarifică și se reprofilează pe toată lățimea drumului.

2.1.4. Analiza structurii rutiere la solicitarea osiei standard.

Structura rutieră supusă analizei este caracterizată prin grosimea fiecărui strat rutier și prin caracteristicile de deformabilitate ale materialelor din straturile rutiere și ale



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

Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate ale materialelor din suportul structurii rutiere se stabilesc în modul următor:

- în cazul în care nu este prevăzut un strat de formă, caracteristicile de deformabilitate sunt cele corespunzătoare materialelor din terasamente;
- 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 2.4...2.10;
- valoarea de calcul al coeficientului lui Poisson este cea corespunzătoare materialelor din stratul superior al terasamentelor rutiere sau din stratul de formă;

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 funcție de cea a materialelor din stratul suport (E_p) și se calculează cu relația 2.3;
- coeficientul lui Poisson are valoarea 0,27.

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 2.7.

Valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic și ale coeficientului lui Poisson pentru agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici din straturile de fundație și de bază se stabilesc conform tabelului 2.8.

Valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice din stratul de bază și din straturile îmbrăcămintei bituminoase sunt funcție de tipul climateric al zonei în care se încadrează drumul, conform tabelului 2.9.

Tabelul 2.7. Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate pentru materialele necoezive din straturile de bază și de fundație.

Denumirea materialului	E , MPa	μ
Macadam semipenetrat sau penetrat	1000	0,27
Macadam	600	0,27



Piatră spartă mare sort 63-90	400	0,25
Piatră spartă, amestec optimal	500*	0,25
Blocaj din piatră brută	300	0,27
Balast, amestec optimal	300*	0,27
Bolovani	200	0,27

*În cazul în care aceste materiale constituie un strat inferior de fundație, modulul de elasticitate dinamic se stabilește cu relația (2.3).

În cazurile în care structura rutieră are mai mult de 4 straturi rutiere, 2 sau 3 straturi, 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:

$$E_m = \left[\frac{\sum \left(E_i^{\frac{1}{3}} \times h_i \right)}{\sum h_i} \right]^3, \text{ MPa} \quad (2.4)$$

unde :

E_i - modulul de elasticitate dinamic al mixturii asfaltice din stratul "i", în MPa;

h_i - grosimea stratului "i", în cm.

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



Tabelul 2.8. Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate pentru agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici și puzzolanici.

Denumirea materialului	Modulul de elasticitate dinamic (E), MPa	Coeficientul lui Poisson (μ)
Agregate naturale stabilizate cu ciment: <ul style="list-style-type: none"> - strat de bază - strat de fundație 	1200 1000	0,25
Agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici: <ul style="list-style-type: none"> • zgură granulată : <ul style="list-style-type: none"> - strat de bază - strat de fundație • cenușă de termocentrală : <ul style="list-style-type: none"> - strat de bază - strat de fundație • tuf vulcanic : <ul style="list-style-type: none"> - strat de bază - strat de fundație 	1200 700 1800 1100 1200 750	

Tabelul 2.9. Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate ale mixturilor asfaltice.

Tipul mixturii asfaltice	Tipul stratului	Tip climateric I și II	Tip climateric III	Coeficientul Poisson (μ)
		E, MPa		
Mixturi asfaltice (SR 174/1-97)	uzură	3600	4200	0,35
	legătură	3000	3600	
	bază	5000	5600	
Mixturi asfaltice cu bitum modificat (AND 549-99)	uzură	4000	4500	
	legătură	3500	4000	



Mixturi asfaltice stabilizate cu fibre (AND 539-99)				
- tip MASF 16	uzură	3300	4000	
- tip MASF 8		3000	3600	

Analiza structurii rutiere ranforsate la solicitarea osiei standard comportă calculul cu programul CALDEROM 2000.

În cazul structurilor rutiere suple se calculează următoarele:

- deformația specifică orizontală de întindere la baza straturilor bituminoase (ϵ_r), în microdeformații ;
- deformația specifică verticală de compresiune, la nivelul patului drumului (ϵ_7), în microdeformații.

În cazul structurilor rutiere semirigide se calculează următoarele:

- deformația specifică orizontală de întindere la baza straturilor bituminoase (ϵ_r), în microdeformații ;
- tensiunea orizontală de întindere (σ_r) la baza stratului/straturilor de agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în MPa;
- deformația specifică verticală de compresiune, la nivelul patului drumului (ϵ_7), în microdeformații.

Calculul se efectuează în următoarele puncte:

- pentru ϵ_r : $r = 0$ (cm); $z_1 = \sum_{i=1}^n h_{ima}$, (cm) (2.5)

unde :

h_{ima} - grosimea fiecărui strat bituminos, în cm;

- pentru σ_r : la baza straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici :

$$z_2 = z_1 + \sum_{i=1}^n h_{ibs} \quad (\text{cm}) \quad (2.6)$$

unde :

h_{ibs} - grosimea fiecărui strat din agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici în cm;



- pentru ε_z : $r = 0$ (cm); $z_2 = H$, (cm) (2.7)

unde :

H - grosimea totală a structurii rutiere, în cm;

2.1.5. Stabilirea comportării sub trafic a structurii rutiere.

Stabilirea comportării sub trafic a structurii rutiere după ranforsare are drept scop compararea valorilor deformațiilor specifice și tensiunilor calculate anterior cu cele admisibile, stabilite pe baza proprietăților de comportare ale materialelor.

Se consideră că o structură rutieră poate prelua solicitările traficului, corespunzătoare perioadei de perspectivă luată în considerare, dacă sunt respectate concomitent, toate criteriile de dimensionare prevăzute la punctul 4.

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.

Ea se calculează cu relația :

$$RDO = N_c / N_{adm} \quad (2.8)$$

unde :

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

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

a) autostrăzi și drumuri expres;

drumuri naționale europene;

drumuri și străzi cu trafic de calcul mai mare de 1 m.o.s. (1×10^6 o.s. 115 kN);

$$N_{adm} = 4,27 \times 10^8 \times \varepsilon_r^{-3,97} \quad (\text{m.o.s.}) \quad (2.9)$$

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

$$N_{adm} = 24,5 \times 10^8 \times \varepsilon_r^{-3,97} \quad (\text{m.o.s.}) \quad (2.10)$$

Numărul de solicitări admisibil al osiei standard de 115 kN poate să fie stabilit și cu ajutorul diagramei din figura 2.2.

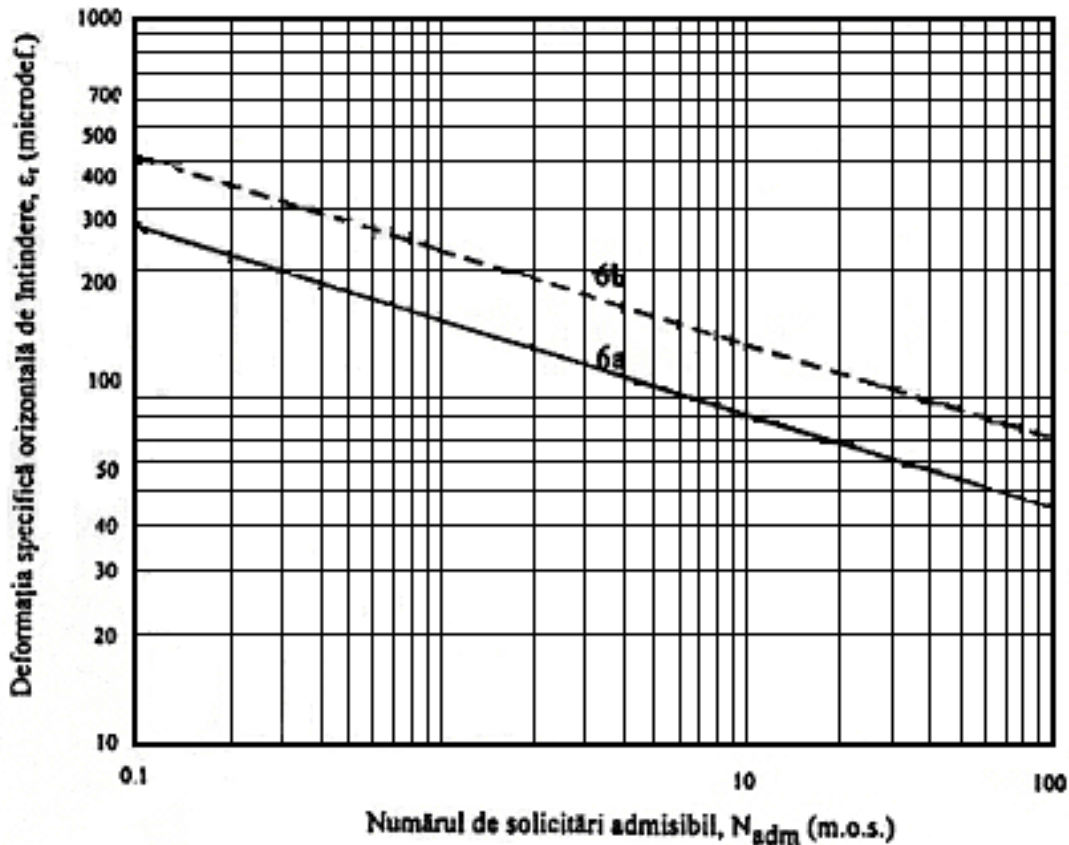


Fig. 2.2. Diagrama de stabilire a numărului de solicitări admisibil în funcție de deformația specifică radială de întindere la baza straturilor bituminoase.

Grosimea necesară a straturilor bituminoase de ranforsare este cea pentru care se respectă condiția :

$$RDO < RDO_{adm} \quad (2.11)$$

în care RDO admisibil are următoarele valori:

- max. 0,80 pentru autostrăzi și drumuri expres;
- max. 0,85 pentru drumuri naționale europene;
- max. 0,90 pentru drumuri naționale principale și străzi;
- max. 0,95 pentru drumuri naționale secundare;
- max. 1,00 pentru drumuri județene, comunale și vicinale.



În cazul în care condiția (2.11) nu este satisfăcută se repetă calculul ratei de degradare prin oboseală pentru o grosime mai mare a straturilor bituminoase, grosimea necesară rezultând prin interpolare.

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

$$\varepsilon_z \leq \varepsilon_{zadm} \quad (2.12)$$

unde :

ε_z - deformația specifică verticală de compresiune la nivelul pământului de fundare, în microdeformații, calculată cu programul CALDEROM; (etapa II).

ε_{zadm} - deformația specifică verticală admisibilă se calculează cu următoarele relații:

a)

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

$$\varepsilon_{zadm} = 329 N_c^{-0,27} \text{ (microdef)} \quad (2.13)$$

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

$$\varepsilon_{zadm} = 600 N_c^{-0,28} \text{ (microdef)} \quad (2.14)$$

Deformația specifică verticală admisibilă se poate stabili și cu ajutorul diagramei din figura 2.3.

Dacă condiția (2.12) nu este îndeplinită, se repetă calculul deformației specifice verticale, pentru o grosime mai mare a stratului de fundație din balast până la grosimea de 30 cm, iar dacă nici în aceste condiții structura rutieră nu respectă această condiție, se majorează și grosimea straturilor bituminoase.

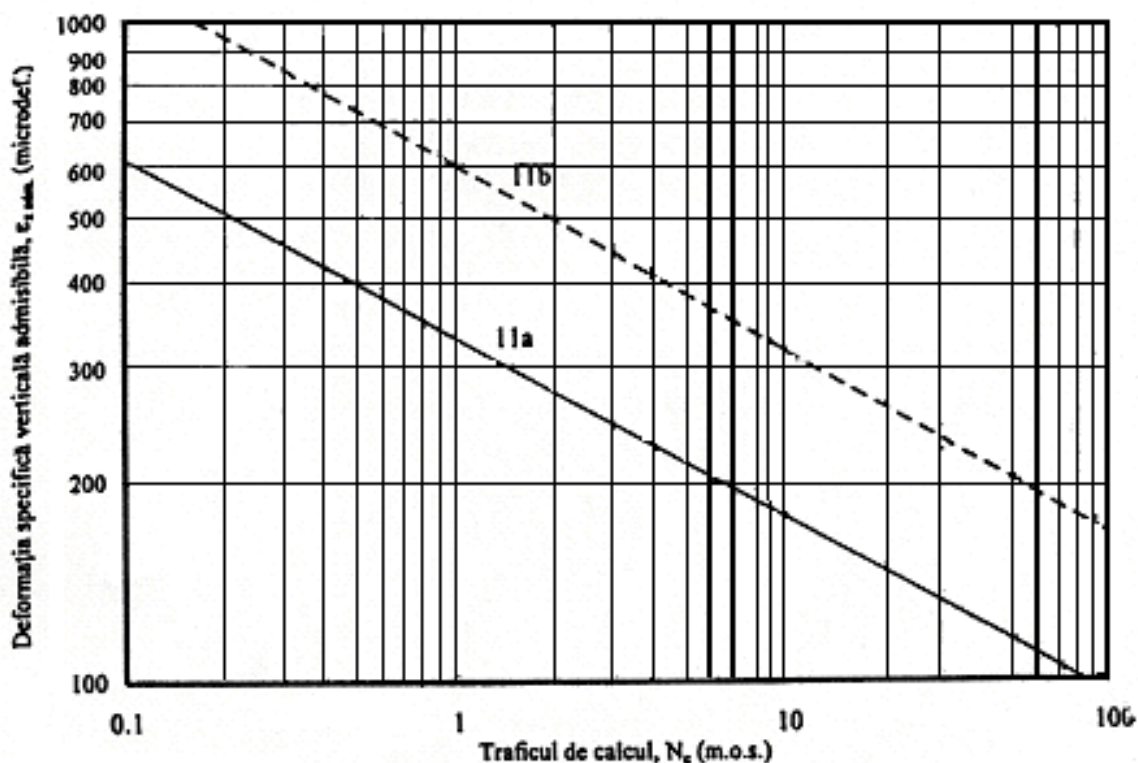


Fig. 2.3. Diagrama de stabilire a deformației specifice verticale admisibile la nivelul pământului de fundare în funcție de traficul de calcul.

Criteriul tensiunii de întindere admisibilă la baza stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici este respectat, dacă este îndeplinită condiția:

$$\sigma_r \leq \sigma_{r adm} \quad (2.15)$$

unde:

σ_r - tensiunea orizontală de întindere la baza stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici, în MPa;

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

Tensiunea de întindere admisibilă se calculează cu relația:

$$\sigma_{r adm} = R_t (0,60 - 0,056 \times \log N_c) \quad (2.16)$$

unde:

R_t - rezistența la întindere a agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în MPa, prezentată în tabelul 2.10;

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



Tabelul 2.10. Rezistența la întindere a agregatelor stabilizate cu lianți hidraulici și puzzolanici (la 360 zile de la confecționare).

Tipul liantului și al stratului	R _t , MPa
A. Ciment:	
- strat de bază	0,40
- strat de fundație	0,35
B. Lianți puzzolanici	
• 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

În cazul în care structura rutieră nu satisface acest criteriu, se reface calculul pentru o grosime mai mare a stratului stabilizat.

2.1.6. VERIFICAREA STRUCTURILOR RUTIERE LA ACȚIUNEA ÎNGHEȚ-DEZGHEȚULUI

2.1.6.1. Generalități.

Degradările produse de îngheț-dezgheț reprezintă defecțiuni ale complexului rutier datorate:

- fenomenului de umflare neuniformă provocată de acumularea apei și transformarea acesteia în lentile sau fibre de gheață în pământuri sensibile la îngheț, situate până la adâncimea de pătrundere a înghețului;
- diminuarea capacității portante a pământului de fundație în timpul dezghețului, determinată de sporirea umidității prin topirea lentilelor și fibrelor de gheață;



Aceste degradări se produc când există simultan următoarele condiții:

- pământ de fundație sensibil la îngheț;
- temperaturi negative pe o durată îndelungată, care să permită migrarea și acumularea apei în pământul de fundație;
- posibilitatea de alimentare cu apă a frontului de îngheț în pământ (condiții hidrogeologice mediocre și defavorabile).

Circulația autovehiculelor grele, pe drum, în perioada de dezgheț, accentuează producerea degradărilor.

Datorită îngheț-dezghețului se produc următoarele degradări:

1. în cazul **structurilor rutiere nerigide** în perioada de:
 - a) **îngheț:** umflături neregulate (burdușiri) însoțite eventual de fisuri și crăpături ale îmbrăcăminților bituminoase și ale pavajelor din piatră spartă naturală;
 - b) **dezgheț:** fisuri, crăpături, faianțări, fâgașe și deformații locale;
2. în cazul **structurilor rutiere rigide** în perioada de:
 - a) **îngheț:** denivelări ale dalelor în dreptul rosturilor și lărgirea acestora;
 - b) **dezgheț:** fisuri, crăpături și distrugerii ale dalelor.

Verificarea structurii rutiere la acțiunea îngheț-dezghețului constă în determinarea gradului de asigurare (k) la pătrunderea înghețului în complexul rutier.

Calculul de verificare a rezistenței structurii rutiere la acțiunea îngheț-dezghețului se efectuează în cazurile precizate în tabelul 2.11 (tabelul 3 din STAS 1709/2-90) în funcție de:

- gradul de sensibilitate la îngheț a pământului (determinat pe baza criteriului granulometric – tabel 2.12- sau prin încercări- conform STAS 1709/3-90 și STAS 730-89) prezentat în tabelul 2.13;

Tabel 2.11. Cazurile în care se efectuează verificarea rezistenței la acțiunea îngheț-dezghețului a structurilor rutiere.

Gradul de sensibilitate al pământurilor	Condiții hidrogeologice	
	Favorabile	Mediocre și Defavorabile
	Poziția adâncimii de îngheț în complexul rutier Z_{cr} (situat în rambleu sau debleu) față de grosimea structurii rutiere H_{st} și de nivelul apei freatice N_{af}	



	a) $Z_{cr} < H_{st}$ $N_{af} > H_{st}$	b) $Z_{cr} > H_{st}$ $N_{af} > Z_{cr}$	c) $Z_{cr} > H_{st}$ $N_{af} < Z_{cr}$	d) $Z_{cr} < H_{st}$ $N_{af} > H_{st}$	e) $Z_{cr} > H_{st}$ $N_{af} > Z_{cr}$	f) $Z_{cr} > H_{st}$ $N_{af} < Z_{cr}$	g) * $Z_{cr} > H_{st}$ $N_{af} > Z_{cr}$ $N_{af} < h_{st}$
	Verificarea rezistenței la acțiunea îngheț-dezghețului						
Insensibile	Nu			Nu			
Sensibile	Nu			Nu	Da	Da	Da
Foarte sensibile	Nu	Nu	Da	Nu	Da	Da	Da

* Cazul complexului rutier numai în debleu.

Tabel 2.12. Gradul de sensibilitate la îngheț a pământurilor (criteriul granulometric).

Nr. crt.	Gradul de sensibilitate	Denumirea pământului	Tipul pământului	Granulozitate	
				Diametrul particulelor mm	Procente din masa totală a probei, %
1	Insensibile	Pietriș cu nisip	P ₁	Sub 0,002 Sub 0,02 Sub 0,1	Sub 6 Sub 10 Sub 20
2	Sensibile	Pietriș cu nisip	P ₂	Sub 0,002	1-6
		Nisip, nisip prăfos	P ₃	Sub 0,02 Sub 0,1	10-20 20-40
		Argilă grasă	P ₅	Conf.STAS 1243-88	
3	Foarte sensibile	Nisip prăfos, nisip argilos	P ₃	Sub 0,002 Sub 0,02 Sub 0,1	Peste 6 Peste 20 Peste 40
		Praf, praf nisipos, praf nisipos argilos, praf argilos	P ₄		
		Argilă nisipoasă, argilă prăfoasă, argilă prăfoasă nisipoasă, argilă	P ₅		

Tabel 2.13. Sensibilitatea la îngheț a pământurilor.



Gradul de sensibilitate la îngheț a pământurilor	Coeficientul de umflare la îngheț, C_u , %	Indicele de consistență a pământului, I_c
Insensibile	Sub 2	Peste 0,75
Sensibile	2-8	0,50-0,75
Foarte sensibile	peste 8	sub 0,50

Observație: în cazul în care cei doi parametri conduc la grade de sensibilitate la îngheț diferite, se adoptă sensibilitatea la îngheț cea mai mare.

- condițiile hidrogeologice ale complexului rutier, conform punctului 2.1.2 ;
- poziția adâncimii de îngheț în complexul rutier față de grosimea structurii rutiere și de nivelul stratului de apă freatică.

La drumurile noi sau în cazul modernizării celor existente, calculul de verificare a rezistenței la îngheț-dezgheț se va efectua după dimensionarea structurii rutiere.

2.1.6.2. Succesiunea operațiilor de calcul.

Succesiunea operațiilor de calcul la verificare este următoarea:

1) Se calculează adâncimea de îngheț în complexul rutier Z_{cr} (nivelul cel mai coborât de la suprafața drumului la care apa interstițiară se transformă în gheață) care se consideră egală cu adâncimea de îngheț în pământul din terasament Z , în condiții de porozitate și umiditate specifice acestuia, la care se adaugă un spor al adâncimii de îngheț ΔZ (determinat de capacitatea de transmitere a căldurii de către straturile structurii rutiere) conform relațiilor:

$$Z_{cr} = Z + \Delta Z, \text{ în cm.} \quad (2.17)$$

$$\Delta Z = H_{st} - H_e, \text{ în cm.} \quad (2.18)$$

în care:

H_{st} – grosimea structurii rutiere alcătuite din straturi de materiale rezistente la îngheț, în cm;

H_e – grosimea echivalentă de calcul la îngheț a structurii rutiere, în cm, se stabilește cu relația:

$$H_e = \sum_{i=1}^n h_i c_i, \text{ în cm} \quad (2.19)$$

unde: h_1 – grosimea stratului rutier luat în calcul, în cm;



c_t – coeficient de echivalare a capacității de transmitere a căldurii
 specifice fiecărui material din alcătuirea structurii rutiere luate în
 calcul, conform tabelului 2.14 (tabel 3 din STAS 1709/1-90);

n – numărul de straturi din materiale rezistente la îngheț-dezgheț.

Tabel 2.14. Valorile coeficientului de echivalare a capacității de transmitere a căldurii pentru diferite materiale.

Nr. crt.	Materialul din stratul rutier	Coeficient de echivalare C_t
1	Beton de ciment	0,45
2	Beton asfaltic pentru strat uzură	0,50
3	Beton asfaltic pentru strat de legătură	0,60
4	Pavaje din piatră naturală, pavaje normale, pavaje abnorme și calupuri	0,55
5	Asfalt turnat	0,50
6	Mixtură asfaltică pentru strat de bază	0,50
7	Macadam	0,75
8	Piatră spartă	0,75
9	Piatră spartă – amestec optimal	0,70
10	Agregate naturale stabilizate cu ciment	0,65
11	Agregate naturale stabilizate cu zgură granulată	1,10
12	Agregate naturale stabilizate cu cenușă de termocentrală	1,05
13	Agregate naturale stabilizate cu tuf vulcanic	0,65
14	Balast – amestec optimal	0,70
15	Balast (cu max 50% fracțiuni 0-7,1 mm)	0,80
16	Balast nisipos (fracțiuni 0-7,1 mm peste 50%)	0,90
17	Nisip	1,00
18	Pământuri insensibile la îngheț	1,00
19	Împietruiri și deșeuri de carieră cu un conținut de max. 3% fracțiuni sub 0,02 mm.	0,90
20	Zgură brută de furnal	0,90

Numărul curbei din figura 2.11 se alege din tabelul 2.15 (tabel 1 din STAS 1709/2-90) în funcție de:

- tipul climateric în care este situat drumul conform hărții de zonare a teritoriului României- figura 2.1 ;
- tipul pământului din terasament : $P_2 - P_5$ (Tabelul 2.2);
- condițiile hidrogeologice ale complexului rutier stabilite în capitolul 2.1.2.

Valorile indicelui de îngheț se determină în funcție de tipul structurii rutiere și de clasa de trafic de dimensionare, pe baza izoliniilor din hărțile de zonare a teritoriului României (figurile 3,4 și 5 din STAS 1709/1-90) pentru zona geografică în care s-a amplasat drumul, astfel:

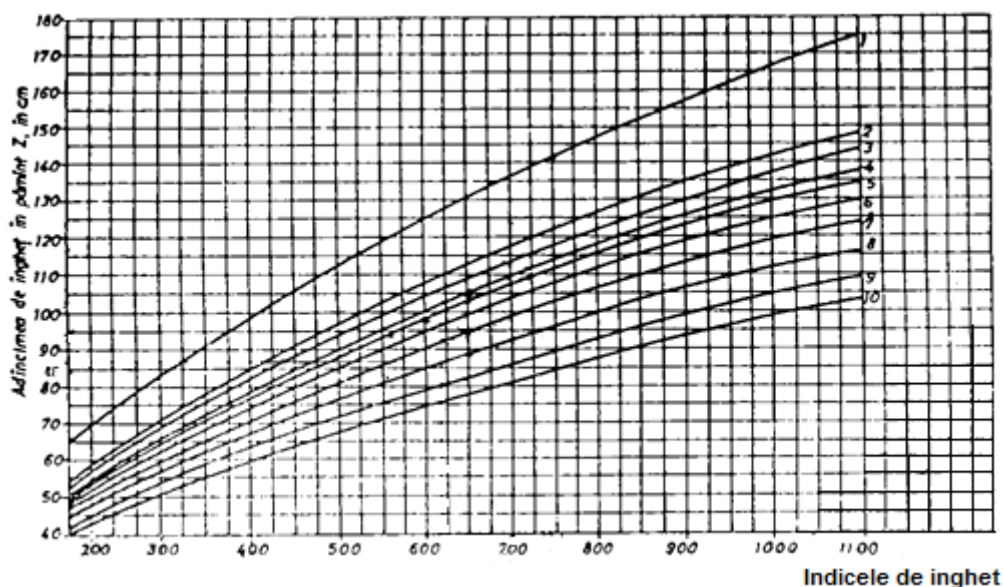


Fig. 2.11. Diagrama pentru stabilirea adâncimii de îngheț.

Tabel 2.15. Determinarea numărului curbei pentru calculul adâncimii de îngheț.

	Condiții hidrologice	Tipul de pământ :			
		P_2	P_3	P_4	P_5



Tip climatic		Pietriș cu nisip	Nisip, nisip prăfos	Nisip argilos	Praf, praf nisipos, praf argilos, praf nisipos argilos	Argilă prăfoasă, argilă nisipoasă, argilă prăfoasă nisipoasă	Argilă	Argilă grasă
		Numărul curbei din diagrama din fig. 2.10						
I	Favorabile	1	2	3	4	6	7	9
	Mediocre defavorabile	1	2	3	4	7	8	10
II	Favorabile	1	2	3	4	6	7	9
	Mediocre defavorabile	1	2	3	5	7	8	10
III	Favorabile	1	3	4	5	6	7	9
	Mediocre defavorabile	1	3	4	6	7	8	10

- valoarea maximă a indicelui de îngheț într-o perioadă de 30 ani - I_{\max}^{30} - la **drumurile cu structuri rutiere rigide**, indiferent de clasa de trafic conform ANEXEI X (fig. 3 din STAS 1709/1-90);
- media aritmetică a valorilor indicelui de îngheț din cele mai aspre trei ierni dintr-o perioadă de 30 ani - $I_{med}^{3/30}$ - la **drumurile cu structuri rutiere nerigide, pentru clasele de trafic greu și foarte greu**, conform ANEXEI XI (fig. 4 din STAS 1709/2-90);
- media aritmetică a valorilor indicelui de îngheț din cele mai aspre cinci ierni dintr-o perioadă de 30 ani - $I_{med}^{5/30}$ - la drumurile cu structuri rutiere nerigide, pentru clasele de **trafic mediu, ușor și foarte ușor**, conform ANEXEI XII (fig. 5 din STAS 1709/2-90).

**2) Se determină gradul de asigurare la pătrunderea înghețului în complexul**

rutier cu relația:

$$K = \frac{H_e}{Z_{cr}} \quad (2.20)$$

O structură rutieră este rezistentă la îngheț-dezgheț dacă gradul de asigurare - K - la pătrunderea înghețului în complexul rutier are o valoare inferioară celei din tabelul 2.16 (tabel 4 din STAS 1709/2-90).

Când gradul de asigurare - K - la pătrunderea înghețului în complexul rutier are o valoare inferioară celei din tabelul 2.16 se adoptă măsuri pentru prevenirea și remedierea degradărilor din îngheț-dezgheț.

În cazurile în care nu se poate acționa eficient asupra condițiilor hidrologice ale complexului rutier, drumul încadrându-se în condiții hidrologice favorabile (tabel 2.11 cazurile e, f și g) se pot lua măsuri pentru realizarea gradului de asigurare la pătrunderea înghețului și anume :

- a) îngroșarea stratului inferior de fundație din balast sau prevederea unui substrat de fundație anticapilar ce poate îndeplini și funcția de strat drenant, a cărui grosime, h, se calculează cu relația:

$$h = \frac{K Z_{cr} - H_e}{C_t - (1 - C_t)K} , \text{ în cm} \quad (2.21)$$

în care: K - gradul de asigurare la pătrunderea înghețului în complexul rutier, are valorile prevăzute în tabelul 2.16 ;

C_t – coeficient de echivalare a capacității de transmitere a căldurii (balast sau nisip) a cărui valori sunt prezentate în tabelul 2.14 ;

Z_{cr} și H_e – au semnificațiile prezentate mai sus.

- b) prevederea la partea superioară a terasamentelor a unui strat de formă alcătuit din materiale rezistente la îngheț-dezgheț, a cărui grosime se calculează cu relația 2.21 ;
- c) prevederea la partea inferioară a sistemului rutier a unui strat termoizolant. Grosimea stratului termoizolant se calculează cu relația de mai jos în care s-a luat pentru C_t valoarea 0,90 (balast nisipos sau zgură brută de furnal):

$$h_{ii} = \frac{0,75(K Z_{cr} - H_e)}{0,90 - 0,1K} , \text{ în cm} \quad (2.22)$$

unde: Z, Z_{cr} și H_e - au semnificațiile de mai sus;



0,75 – reprezintă valoarea de echivalare pentru stratul termoizolant
a unui strat de 1 cm de balast.

1. Stabilirea traficului de calcul.

În urma calculului realizat cu ajutorul ultimului recensământ de trafic furnizat de către beneficiar, a reieșit următorul trafic de calcul:

$N_c = 0,15$ m.o.s. (milioane osii standard).

2. Stabilirea capacității portante la nivelul patului drumului.

Tipul pământului P4, tipul climateric II și regimul hidrologic 2b ne sugerează o capacitate portantă a pământului de **$E_p = 70$ MPa.**

3. Alegerea alcatuirii sistemului rutier.

- BAPC 16 RUL 50/70, în grosime de 4 cm;
- BAPDC 22,4 LEG 50/70, în grosime de 6 cm;
- Balast stabilizat cu lianți hidraulici, în grosime de 20 cm, cf. STAS 10473-1-87;
- Balast, în grosime de 30 cm;
- Strat de formă din balast, în grosime de 20 de cm.

4. Analiza structurii rutiere la solicitarea osiei standard O.S. 115 kN

DRUM: DJ 737

Sector omogen: Campulung-Matau-Cocenesti

Parametrii problemei sunt

	Sarcina.....	57.50	kN
	Presiunea pneului	0.625	MPa
	Raza cercului	17.11	cm
Stratul 1: Modulul	3231. MPa,	Coeficientul Poisson	.350, Grosimea
10.00 cm			
Stratul 2: Modulul	1200. MPa,	Coeficientul Poisson	.250, Grosimea
20.00 cm			
Stratul 3: Modulul	65. MPa,	Coeficientul Poisson	.270, Grosimea
30.00 cm			
Stratul 4: Modulul	70. MPa,	Coeficientul Poisson	.420 și e semifinit

R E Z U L T A T E: EFORT DEFORMATIE DEFORMATIE



R cm	Z cm	RADIAL MPa	RADIALA microdef	VERTICALA microdef
.0	-10.00	.146E+00	.753E+02	-.163E+03
.0	10.00	-.211E-01	.753E+02	-.345E+03
.0	-30.00	.403E+00	.262E+03	-.209E+03
.0	30.00	.503E-02	.262E+03	-.802E+03
.0	-60.00	.242E-02	.124E+03	-.379E+03
.0	60.00	-.183E-02	.124E+03	-.310E+03

5. Stabilirea comportarii sub trafic a structurii rutiere

$$RDO = N_c / N_{adm}$$

$$N_c = 0,15$$

$$N_{adm} = 86,75$$

$$RDO_{adm} = \max 1$$

$$RDO = 0,002$$

$$RDO < RDO_{adm}$$

$$E_z = 310$$

$$E_{z adm} = 1020,58$$

$$E_z < E_{z adm}$$

$$\sigma_r = 0,403$$

$$\sigma_{r adm} = 0,458$$

$$\sigma_r < \sigma_{r adm}$$

Structura rutiera satisface toate cerintele

6. Stabilirea comportarii sub trafic a structurii rutiere

$$Z_{cr} = Z + \Delta Z$$

$$\Delta Z = H_{st} - H_e$$

$$H_{st} = 60 \text{ cm}$$

$$H_e = 39.6 \text{ cm}$$

$$\Delta Z = 20.4 \text{ cm}$$

$$Z = 90 \text{ cm}$$

$$Z_{cr} = 110.4 \text{ cm}$$

Se alege din tabel curba 6 si din diagrama rezulta un indice de inghet de 550.



$$K_{adm} = 0.45$$

$$K = H_e / Z_{cr} = 39.6 / 110.4 = 0.36$$

$K < K_{adm}$ – **Structura este rezistentă la acțiunea de îngheț-dezghet.**

Întocmit,

Ing. Gălușcă Cosmin