

# **CONTRIBUȚII LA STUDIUL UNOR FACTORI DE INFLUENȚĂ ASUPRA STĂRII TEHNICE A DRUMURILOR DIN ZONA BANATULUI**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea "Politehnica" din Timișoara  
în domeniul INGINERIE CIVILĂ  
de către

**Ing. Ciprian Costescu**

Conducător științific: prof.dr.ing. Virgil Haida  
Referenți științifici: prof.dr.ing. Mihai Dicu  
prof.dr.ing. Gheorghe Gugiuman  
prof.dr.ing. Florin Belc

Ziua susținerii tezei: 25.06.2010

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Automatică          | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie              | 8. Inginerie Industrială                    |
| 3. Energetică          | 9. Inginerie Mecanică                       |
| 4. Ingineria Chimică   | 10. Știința Calculatoarelor                 |
| 5. Inginerie Civilă    | 11. Știința și Ingineria Materialelor       |
| 6. Inginerie Electrică |   |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2010

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul desfășurării activității mele în cadrul Departamentului de Căi de Comunicație Terestre, Fundații și Cadastru al Facultății de Construcții din cadrul Universității „Politehnica” din Timișoara.

Cu deosebit respect, doresc să-i mulțumesc și să-mi exprim recunoștința față de conducătorul științific al lucrării, domnul prof. dr. ing. Virgil HAIDA, care m-a îndrumat și încurajat cu înaltă competență pe tot parcursul întregii activități de cercetare, și care, cu al său sprijin continuu, în special în momentele dificile, a făcut posibilă finalizarea tezei de doctorat.

Adresez mulțumiri colegilor din cadrul Departamentului, care prin sprijinul, încurajările, sfaturile competente și recomandările lor cu privire la conținutul tezei de doctorat, au constituit un factor esențial care m-a ajutat în activitatea desfășurată. Totodată, adresez mulțumiri distinșilor membri ai comisiilor în fața cărora am susținut examenele și referatele din perioada de pregătire, pentru sugestiile și sfaturile competente primite din partea dânilor.

Mulțumesc membrilor comisiei de doctorat, domnului prof. dr. ing. Gheorghe LUCACI în calitate de președinte, domnilor prof. dr. ing. Gheorghe GUGIUMAN și prof. dr. ing. Mihai DICU în calitate de referenți, iar domnului prof. dr. ing. Florin BELC pe de o parte în calitate de referent și, pe de altă parte pentru sprijinul tehnic și moral pe care l-a constituit pe toată perioada elaborării tezei de doctorat. Membrilor comisiei, le mulțumesc pentru răbdarea și amabilitatea de care au dat dovadă în analizarea tezei de doctorat și pentru încrederea lor în vederea susținerii publice a acesteia.

Nu în ultimul rând, vreau să mulțumesc membrilor familiei mele, părinților și surorii, care au fost alături de mine și m-au susținut și încurajat pe întreaga perioadă în care mi-am desfășurat activitatea de pregătire și de elaborare a tezei de doctorat și, în special soției mele pentru sprijinul, răbdarea și înțelegerea de care a dat dovadă în tot acest timp.

Timișoara, iunie 2010

Ciprian COSTESCU

**Costescu, Ciprian**

**Contribuții la studiul unor factori de influență asupra stării tehnice a drumurilor din zona Banatului**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 5, Nr. 55, Editura Politehnica, 2010, 240 pagini, 136 figuri, 61 tabele.

ISSN: 1842-881X

ISBN: 978-606-554-111-5

Cuvinte cheie:

stare tehnică, complex rutier, capacitate portantă, teren de fundare, modelare matematică, ranforsare, tensiune specifică, deformație specifică, deflexiune

Rezumat:

Teza de doctorat își propune să analizeze unii factori de influență asupra stării tehnice a drumurilor, și să particularizeze influența acestora pentru zona Banatului. În acest sens, lucrarea de față caută să evidențieze unele caracteristici specifice ale zonei Banatului, precum și influența acestora asupra comportării în exploatare a complexelor rutiere, implicit asupra stării tehnice a drumurilor.

Parametrii stării tehnice luați în considerare sunt cei care definesc de fapt această noțiune: planeitatea suprafeței de rulare, rugozitatea suprafeței îmbrăcăminții rutiere, capacitatea portantă a complexului rutier și starea de degradare a îmbrăcăminții rutiere, dar se pune accent, mai ales în partea de cercetare experimentală efectuată de autor, pe parametrul capacitate portantă. În acest sens, sunt luate în studiu un număr total de 18 sectoare experimentale de drumuri naționale, cu lungimea de 200,00 m, de pe raza administrativă a D.R.D.P. Timișoara pe care sunt efectuate o serie de investigații și măsurători de capacitate portantă prin diferite metode conforme cu normele din țara noastră. Totodată, aceleași sectoare experimentale sunt supuse modelării matematice și cercetate prin variații ale factorilor de influență considerați în teza de doctorat.

Pe baza studiilor teoretice și experimentale au rezultat o serie de concluzii interesante și totodată extrem de valoroase pentru domeniul infrastructurii rutiere, care deschid o serie de oportunități pentru cercetări ulterioare în domeniu.

## CUPRINS

1. Introducere .....	7
1.1. Rolul infrastructurii transporturilor în dezvoltarea societății .....	7
1.2. Caracteristicile rețelei de căi de comunicație terestre din zona Banatului .....	8
1.3. Particularități geomorfologice, geologice și geotehnice ale zonei Banatului .....	19
1.4. Considerații asupra stării tehnice a drumurilor din zona Banatului .....	25
1.5. Obiectivele tezei de doctorat .....	31
2. Considerații generale asupra complexelor și structurilor rutiere .....	33
2.1. Structuri rutiere .....	33
2.1.1. Clasificarea structurilor rutiere .....	33
2.1.2. Alcătuirea structurilor rutiere suplă și mixte .....	39
2.1.3. Alcătuirea structurilor rutiere rigide .....	50
2.1.4. Considerații generale privind alcătuirea structurilor rutiere .....	53
2.2. Terasamente .....	55
2.2.1. Caracteristici fizico-mecanice ale pământurilor .....	56
2.2.2. Considerații privind rolul și condițiile de execuție a stratului de formă .....	64
2.2.3. Principii generale de execuție a terasamentelor în rambleu .....	65
2.2.4. Condiții de calitate a terasamentelor în rambleu .....	68
3. Factori principali de influență asupra comportării complexelor rutiere .....	75
3.1. Tipul și intensitatea traficului rutier .....	75
3.2. Factori climaterici .....	83
3.2.1. Temperatura .....	84
3.2.2. Regimul pluviometric .....	92
3.3. Calitatea materialelor din straturile structurilor rutiere .....	94
3.4. Calitatea terenului de fundare .....	102
4. Calculul structurilor rutiere suplă și mixte .....	115
4.1. Teorii, ipoteze și metode de calcul al structurilor rutiere .....	115
4.2. Aspecte privind calculul ranforsării structurilor rutiere existente .....	125
4.3. Definierea și analiza parametrilor folosiți în calculul structurilor rutiere .....	128
4.4. Calculul structurilor rutiere .....	140
4.4.1. Calculul structurilor rutiere suplă și mixte noi .....	140
4.4.2. Calculul structurilor rutiere suplă și mixte ranforsate .....	148
4.5. Tehnici de determinare a deflexiunilor prin măsurători și calculul grosimilor straturilor de ranforsare .....	151
4.5.1. Deflectometrul cu sarcină statică .....	152
4.5.2. Deflectometrul cu sarcină dinamică .....	157
4.6. Concluzii privind analiza metodelor de calcul al structurilor rutiere suplă și mixte .....	160
5. Studii teoretice și cercetări experimentale asupra comportării în exploatare a unor structuri rutiere .....	164
5.1. Tipul și alcătuirea structurilor rutiere luate în studiu .....	164
5.2. Studii teoretice privind comportarea în exploatare a structurilor rutiere .....	169
5.2.1. Ipotezele și principiile aplicate în modelarea matematică .....	169
5.2.2. Factori de influență considerați .....	174
5.3. Încercări și cercetări experimentale .....	204
5.3.1. Metodologia de efectuare a încercărilor și cercetărilor experimentale .....	205

## 6 Cuprins

---

5.3.2. Prelucrarea și interpretarea rezultatelor obținute .....	208
5.4. Concluzii .....	215
6. Concluzii finale .....	219
6.1. Conținutul tezei de doctorat.....	220
6.2. Contribuții personale ale autorului și direcții pentru cercetări viitoare.....	229
Bibliografie .....	231

# 1. INTRODUCERE

## 1.1 Rolul infrastructurii transporturilor în dezvoltarea societății

Transporturile reprezintă o ramură fundamentală, ce se dezvoltă odată cu alte ramuri ale economiei și reflectă schimbările care au loc în întregul sistem al economiei mondiale.

Dezvoltarea și modernizarea infrastructurii este condiția esențială pentru progresul și prosperitatea unei țări. Infrastructura reprezintă, pentru orice țară, coloana vertebrală a economiei.

Orice stat, orice comunitate de state, regiune sau localitate nu se poate dezvolta fără o infrastructură de transporturi. Nicio ramură a economiei nu poate fi competitivă fără infrastructura de transport, care să permită circulația mărfurilor și persoanelor rapid, cu costuri cât mai reduse și fără poluare.

Este evident faptul că nimic nu se poate produce în lume, fără transporturile materiale sau de oameni. Cele mai uzitate transporturi sunt cele efectuate pe căile de comunicație terestre, respectiv drumurile și căile ferate, acestea constituind baza infrastructurii economice a societății. Din aceste considerente se poate aprecia că pentru a avea o economie puternică este necesar să se asigure căi de comunicație corespunzătoare.

La nivelul Uniunii Europene (UE), transporturile reprezintă peste 6 % din produsul intern brut (PIB), peste 6 % din forța de muncă, 40 % din investițiile Statelor Membre ale UE și cca 30 % din consumul de energie din UE [78].

Procesul integrării României în Uniunea Europeană impune accelerarea dezvoltării infrastructurii de transport. Dar dacă în majoritatea statelor Uniunii Europene se pune problema dezvoltării cu prioritate numai a infrastructurii pe căi navigabile interioare și căi ferate pentru a reduce gradul de poluare și a economisi energia consumată pentru transport, în România trebuie pus accent nu numai pe dezvoltarea acestor căi de comunicații, ci și a infrastructurii rutiere și a aeroporturilor, o provocare în fața căreia mulți factori de decizie s-au mulțumit până acum să ridice din umeri, acuzând lipsa banilor.

Evoluția transporturilor din România, în ultimele două decenii, la nivelul fiecărui mod de transport, nu a fost similară, ba mai mult, a avut diferite ritmuri de creștere, mai mult sau mai puțin susținute. În acest sens, se remarcă faptul că transportul rutier a cunoscut o evoluție mai accentuată raportată la celelalte moduri de transport, în special la transportul feroviar. Datorită rolului specific pe care îl ocupă în cadrul modurilor de transport, transporturile aerian și maritim sunt într-o competiție limitată cu celelalte moduri de transport, rutier și feroviar. Astfel, schimbările în distribuția transporturilor pe moduri au condus la necesitatea creșterii capacității de trafic pe numeroase sectoare de drumuri, cu menținerea totodată a restului rețelei de transport rutier într-o condiție cel puțin satisfăcătoare.

Preocupările pe care le-au avut oamenii, încă din cele mai timpurii, în direcția realizării căilor de transport, constituie dovada cea mai convingătoare a rolului pe care acestea l-au avut și îl au în dezvoltarea civilizației. Este suficient pentru

exemplificare să se menționeze drumul cu două benzi de circulație adiacent celebrului zid chinezesc construit în jurul anilor 300 î.e.n. cu o lungime de cca 800 km, sau drumurile amenajate pentru transportul de materiale necesare construirii piramidelor din Egipt. De asemenea, este de amintit faptul că cei mai mari constructori de drumuri, poduri și chiar tuneluri au fost romanii, pentru care drumul însemna viață conform dictonului "*Via Vita*", care au dezvoltat tehnica construcțiilor de la etrusci și cartaginezi, iar în acest sens semnificativ pentru țara noastră este podul peste Dunăre construit la Drobeta Turnu Severin de arhitectul Apollodor din Damasc între anii 103 și 105, fiind considerat de romani a opta minune a lumii. Însă înaintea cuceririi Daciei de către romani, din ordinul împăratului Tiberius a început în anii 33-34 e.n. construirea unui drum de-a lungul Dunării, care trecea prin Belgrad și Kostolac, traversa marele cot al Dunării la Brza Palanka și continua spre Vidin. Lucrarea a fost continuată de romani și terminată în timpul împăratului Traian în jurul anului 100 e.n., fiind imortalizată prin vestita "*Tabula Traiana*" săpata în stâncă la ieșirea Dunării din Cazanele Mici, putând fi admirată chiar și astăzi.

Revenind în prezent, se poate explica legătura între căile de comunicație și o economie puternică și sănătoasă gândindu-ne la timpul pe care oamenii activi îl consumă într-un mijloc de transport. În acest interval de timp, ce poate fi considerat timp "mort" pentru producție, deși oamenii pot fi considerați ca fiind în activitate, aceștia practic nu produc aproape nimic. Astfel, reducerea timpilor de transport reprezintă un deziderat al tuturor vremurilor. Acest lucru poate fi realizat prin sporirea vitezei de deplasare ceea ce implică vehicule performante și căi de transport mai multe și mai bune. Nu trebuie neglijați factorii de siguranța circulației și confortul utilizatorilor.

Importanța deosebită pe care o prezintă transporturile și rolul hotărâtor pe care acestea îl au pentru dezvoltarea și progresul tehnic al societății, fac ca în majoritatea țărilor dezvoltate, problema căilor de comunicație și în special a rețelei rutiere să constituie o problemă prioritara de stat [72]. Implicarea organelor abilitate ale statului în realizarea, întreținerea și exploatarea căilor de comunicație pentru transporturi reprezintă de fapt implicarea întregii societăți, care în mod real este beneficiarul facilităților oferite de aceste bunuri.

## 1.2 Caracteristicile rețelei de căi de comunicație terestre din zona Banatului

România, prin așezarea sa geografică, reprezintă o zonă de intersecție a magistrelor internaționale de transport, care leagă atât nordul și sudul Europei, cât și vestul și estul acesteia. Rețeaua de transport asigură legătura cu toate rețelele de transport ale țărilor vecine dar și cu cele din țările Europei și Asiei.

Comparativ cu Statele Membre ale UE și cu unele țări est-europene, sistemul de transport românesc este insuficient dezvoltat și de slabă calitate, consecință a investițiilor reduse în infrastructura de transport realizate în perioada de tranziție. În acest context, gradul de accesibilitate la rețeaua de transport a scăzut, constituind un obstacol în dezvoltarea economică, ceea ce poate duce la pierderea avantajelor oferite de poziția geografică a României.

Dintre toate regiunile locuite astăzi de români la nord de Dunăre, Banatul și Oltenia, cu prelungirea lor cea comună în țara Hațegului, sunt singurele care reprezintă o continuitate neîntreruptă geografico - istorică a neamului românesc - un cuib de unde se romanizau treptat țările spre apus, spre crivăț și spre răsărit, ba indirect și cele de peste Dunăre, cuibul mereu descărcându-și prinusul, dar



rămânând totdeauna plin [41]. În figura 1.1. sunt prezentate regiunile istorice ale României, unde Banatul se prezintă în zona de vest învecinat cu Crișana, Transilvania și Oltenia.



Fig. 1.1. Regiuni istorice ale României (<http://ro.wikipedia.org>)

Banatul este o provincie istorică care cuprinde astăzi zone din România, Serbia (Banatul Sârbesc) și o foarte mică parte din Ungaria. Banatul istoric însuma o suprafață de 28.526 km<sup>2</sup>. Diverse surse indică cifre ușor diferite de aceasta. La împărțirea provinciei, în 1919, României i-a fost atribuită o suprafață de 18.966 km<sup>2</sup> (aproximativ 2/3 din total), Regatului Sârbilor, Croaților și Slovenilor 9.276 km<sup>2</sup>, (aproximativ 1/3 din total), iar Ungariei 284 km<sup>2</sup> (aproximativ 1% din total) [83]. Teritoriul istoric al Banatului cu împărțirea sa în 1919 și rectificările din 1923 este ilustrat în figura 1.2.



Fig. 1.2. Teritoriul istoric al Banatului (<http://ro.wikipedia.org>)

Teritoriul istoric al Banatului prezentat în figura 1.3. pe teritoriul României este, astăzi împărțit astfel: județul Timiș, județul Caraș - Severin fără localitățile Bucova, Cornișoru, Bouțarii de Jos, Bouțarii de Sus și Preveciori, doar partea de la sud de Mureș din județul Arad, localitățile Baia Nouă, Dubova, Eibenthal, Eșelnița, Orșova și Svinița din județul Mehedinți și localitățile Sălciva și Pojoga din județul Hunedoara.



Fig. 1.3. Regiunea Banat (Dicționarul Enciclopedic Român - 1962)

În ceea ce privește administrarea drumurilor din zona Banatului putem spune că din punct de vedere administrativ rețeaua de drumuri naționale este în administrarea Direcției Regionale de Drumuri și Poduri Timișoara, rețeaua de drumuri județene este administrată de direcțiile specializate ale Consiliilor Județene Timiș, Caraș - Severin, Arad, Mehedinți și Hunedoara, iar drumurile comunale sunt în proprietatea și administrarea unităților administrativ-teritoriale pe care le străbat.

Direcția Regională de Drumuri și Poduri Timișoara face parte din cadrul Companiei Naționale de Autostrăzi și Drumuri Naționale din România și are în administrare drumurile naționale din partea de vest a țării, respectiv județele Timiș, Caraș - Severin, Arad, Hunedoara, parțial Gorj și Mehedinți, un total de 1.985 km de drumuri din care 863 km drumuri naționale europene, 402 km drumuri naționale principale și 720 km drumuri naționale secundare.

Rețeaua de drumuri naționale corespunzătoare regiunii Banat și administrată integral de Direcția Regională de Drumuri și Poduri Timișoara este prezentată în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1

## Rețeaua de drumuri naționale din zona Banatului

Nr. crt.	Drum	Traseu	Km de început	Km de sfârșit	Lungime [km]
1	2	3	4	5	6
<b>JUDEȚUL ARAD</b>					
1	DN 69	Limită de județ Timiș – Vinga – Arad	26+000	52+450	26,369
<b>JUDEȚUL CARAȘ - SEVERIN</b>					
1	DN 6	Limită de județ Mehedinți – Mehadia – Armeniș – Caransebeș – Sacu – limită județ Timiș	370+275	477+675	108,254
2	DN 57	Limită de județ Mehedinți – Pojejena – Oravița – limită județ Timiș	63+600	177+250	113,964
3	DN 57A	Pojejena (DN 57) – Socol	0+000	25+530	25,530
4	DN 57B	Oravița (DN 57) – Bozovici – Iablanița – DN 6	0+000	97+668	96,879
5	DN 57C	DN 57 – Năidaș – frontieră Serbia	0+000	0+400	0,400
6	DN 58	Caransebeș (DN 6) – Reșița – Anina (DN 57B)	0+000	82+866	83,060
7	DN 58A	Limită de județ Timiș – Fârliug – Ezeriș – Soceni (DN 58)	19+000	41+382	22,044
8	DN 58B	Reșița (DN 58) – Bocșa – Berzovia – Măureni – limită județ Timiș	0+000	44+000	44,183
9	DN 67D	Limită de județ Mehedinți – Băile Herculane – DN 6	89+700	108+390	18,790
10	DN 68	Caransebeș (DN 6) – Oțelu Roșu – DJ 684A	0+000	31+000	31,262
<b>JUDEȚUL HUNEDOARA</b>					
-	-	-	-	-	-
<b>JUDEȚUL MEHEDINȚI</b>					
1	DN 57	Orșova (DN 6) – Svinița – limită de județ Caraș - Severin	0+000	63+600	63,600
<b>JUDEȚUL TIMIȘ</b>					
1	DN 6	Limită județ Caraș - Severin – Lugoj – Timișoara – Sănnicolau Mare – Cenad – frontieră Ungaria	477+675	639+625	161,716
2	DN 57	Limită județ Caraș - Severin – Moravița (DN 59)	177+250	200+745	23,617
3	DN 58A	Lugoj (DN 6) – Victor Vlad Delamarina – limită județ Caraș Severin	0+000	19+000	19,000

## 12 Introducere - 1

1	2	3	4	5	6
4	DN 58B	Limită județ Caraș - Severin – Gătaia – Birda – Voiteg (DN 59)	44+000	66+908	21,307
5	DN 59	Timișoara – (DN 6) – Deta – Moravița – frontieră Serbia	0+000	63+428	63,344
6	DN 59A	Timișoara – (DN 6) – Jimbolia – frontieră Serbia	0+000	47+873	47,909
7	DN 59B	Cărpiniș (DN 59A) – Uivar – Livezile – Deta (DN 59)	0+000	75+000	74,464
8	DN 59C	Jimbolia (DN 59A) – Teremia Mare – Sănnicolau Mare (DN 6)	0+000	41+073	41,000
9	DN 68A	Lugoj (DN 6) – Făget – Margina – limită județ Hunedoara	0+000	53+000	52,972
10	DN 69	Timișoara (DN 69) – Orțișoara – limită județ Arad	0+000	26+000	26,018

Din totalul de 1.985,000 km de drumuri naționale administrate de Direcția Regională de Drumuri și Poduri Timișoara doar 1.166,052 km își desfășoară traseul în regiunea Banat repartizați pe județele administrate astfel:

- județul Arad: 405,912 km, din care 26,369 km în zona Banat;
- județul Caraș - Severin: 558,336 km, din care 544,336 km în zona Banat;
- județul Gorj: 356,124 km, integral în afara zonei Banatului;
- județul Hunedoara: 384,837 km, integral în afara zonei Banat;
- județul Mehedinți: 357,300 km, din care 63,000 km în zona Banat;
- județul Timiș: 532,347 km, toată lungimea fiind localizată în zona Banatului.

Rețeaua de drumuri județene din regiunea Banat este prezentată în tabelul 1.2. și cuprinde drumuri județene din județele Arad, Caraș - Severin, Hunedoara, Mehedinți și Timiș.

Tabelul 1.2

## Rețeaua de drumuri județene din zona Banatului

Nr. crt.	Drum	Traseu	Km de început	Km de sfârșit	Lungime [km]
1	2	3	4	5	6
<b>JUDEȚUL ARAD</b>					
1	DJ 572	Limită județ Timiș - Șiștarovăț - Lipova	102+500	128+519	26,019
2	DJ 609	Limită județ Timiș - Zăbalț (DJ 682)	38+800	44+200	5,400
3	DJ 609A	Limită județ Timiș - Șiștarovăț (DJ 572)	23+000	37+400	14,400
4	DJ 682	Limită județ Timiș - Birchis - Lipova - Arad - Satu Mare - limită județ Timiș	9+000	130+150	121,150

1.2 – Caracteristicile rețelei de căi de comunicație terestre din zona Banatului 13

1	2	3	4	5	6
5	DJ 682A	DJ 682 (Fântânele) Tisa Nouă - Cruceni - Firiteaz - limită județ Timiș	0+000	17+000	17,000
6	DJ 682G	Șagu (DN 69) - Cruceni (DJ 682A)	0+000	4+600	4,600
7	DJ 691	Limită județ Timiș - Neudorf (DJ 682)	42+500	49+000	6,500
8	DJ 707A	Mureș - Căprioara - limită județ Hunedoara	1+200	10+800	9,600
9	DJ 707B	Valea Mare (DJ 707A) - Birchiș	0+000	6+700	6,700
		<b>JUDEȚUL CARAȘ - SEVERIN</b>			
1	DJ 571	Moldova Veche - Sasca Montanană - DN 57 (Ciuchici)	0+000	47+400	47,000
2	DJ 571A	DN 57A (Gornea) - Zăslone - DJ 571 (Moldovița)	0+000	25+000	25,000
3	DJ 571B	DN 57B (Bozovici) - Bârz - Cărbunari (DJ 571)	0+000	36+900	36,900
4	DJ 571C	Oravița (DN 57) - Potoc - Câmpia - Socol (DN 57A)	0+000	51+200	51,200
5	DJ 571E	DN 57B - Lăpușnicel	0+000	2+100	2,100
6	DJ 571F	DN 57B - Eftimie Murgu	0+000	8+000	8,000
7	DJ 571G	DJ 571B - Gârbovăț - Lăpușnicu Mare	0+000	18+500	18,500
8	DJ 571J	Oravița - Ciclova Română	0+000	8+200	8,200
9	DJ 571K	Potoc - Cheile Nerei	0+000	4+500	4,500
10	DJ 572	Comorâște - Surducu Mare - Berzovia - limită județ Timiș	0+000	55+700	55,700
11	DJ 572B	Marila - Anina - Steierdorf	0+000	7+200	7,200
12	DJ 573	Oravița - Blădișoru de Jos - DJ 581 (Jitin)	0+000	32+000	32,000
13	DJ 573A	Nicolinț (DN 57) - Rusova Veche - Vrani - Greoni (DN 57)	0+000	33+000	33,000
14	DJ 573B	DJ 573A - Vărădia	0+000	2+000	2,000
15	DJ 573C	DN 57B - Oravița - DN 57B	0+000	5+600	5,600
16	DJ 573D	Răcășdia (DN 57) - Iertof - Vrani (DJ 573A)	0+000	10+800	10,800
17	DJ 581	Reșița (DN 58) - Goruia - Grădinari	0+000	39+000	39,000
18	DJ 581A	DN 58 - Carașova - DJ 581 (Cântar)	0+000	6+200	6,200
19	DJ 582	Reșița (DN 58) - Brebu Nou - Slatina Timiș	0+000	60+000	60,000
20	DJ 582A	Reșița (DJ 582) - Târnova	0+000	12+000	12,000
21	DJ 582B	Reșița (DJ 582A) - Stațiunea Secu	0+000	11+500	11,500
22	DJ 582C	Reșița (DJ 582) - Anina (DN 58)	0+000	32+000	32,000
23	DJ 582D	Vălig - Crivaia	0+000	8+000	8,000
24	DJ 582E	Prislop (DJ 582) - Stațiunea Semenici	0+000	9+000	9,000

1	2	3	4	5	6
25	DJ 582F	Anina (DJ 582C) - Stațiunea Marghitaș	0+000	3+900	3,900
26	DJ 583	Ezeriș (DN 58) - Bocșa (DN 58B)	0+000	10+000	10,000
27	DJ 585	Doclin (DJ 572) - Bocșa - Valeapai - limită județ Timiș	0+000	36+200	36,200
28	DJ 586	Bocșa - DJ 581 (Ocna de Fier)	0+000	18+000	18,000
29	DJ 586A	DJ 586 - Dognecea - DJ 581 (Săcășeni)	0+000	23+000	23,000
30	DJ 587	Păltiniș (DN 58) - Ohabața - Brebu - Fârliug - Duleu (DJ 585)	0+000	40+200	40,200
31	DJ 680	Plugova (DN 6) - Costișa - Arsuri Teregova - Mehadica - Crușovăț (DN 6)	0+000	66+000	66,000
32	DJ 608A	Caransebeș (DN 6) - Turnu Ruieni - Stațiunea Muntele Mic	0+000	37+000	37,000
33	DJ 608B	Căvăran (DN 6) - Copăcele - Ohaba Mâtnic - Zorlențu Mare (DJ 587)	0+000	28+000	28,000
34	DJ 608C	Slatina Timiș - Buceșnița - Bolvașnița Vârciorova	0+000	21+000	21,000
35	DJ 608D	Gara Herculane (DN 6) - Băile Herculane (DN 67D)	0+000	5+400	5,400
36	DJ 608E	DN 67D - DJ 608D (Băile Herculane)	0+000	0+800	0,800
37	DJ 680A	Sacu (DN 6) - Peștera - Ciuta - Obreja (DN 68)	0+000	18+800	18,800
38	DJ 683	Zăvoi (DN 68) - Poiana Mărului	0+000	22+000	22,000
39	DJ 684	Limită județ Timiș - Rusca Montană - Voislova (DN 68)	36+800	59+200	22,400
40	DJ 684A	DN 68 - Marga	0+000	4+000	4,000
		<b>JUDEȚUL HUNEDOARA</b>			
1	DJ 707A	Limită județ Arad - Pojoga - Sălciva	10+800	17+500	6,700
		<b>JUDEȚUL MEHEDINȚI</b>			
-	-	-	-	-	-
		<b>JUDEȚUL TIMIȘ</b>			
1	DJ 572	Limită județ Caraș-Severin - Buziaș - Topolovățu Mare - limită județ Arad	55+700	102+500	46,800
2	DJ 584	Lugoj - Știuca - limită județ Caraș-Severin	0+000	24+000	24,000
3	DJ 584A	Găvojdia (DN 6) - Știuca (DJ 584)	0+000	7+200	7,200
4	DJ 585	Limită județ Caraș-Severin - Visag - DN 58A	36+200	44+800	8,600
5	DJ 588	Gătaia (DN 58B) - Șemlacu Mare - DN 57 (Jamu Mare)	0+000	24+900	24,900
6	DJ 588A	Gătaia (DN 58B) - Berecuța - Rovinița Mare - Denta (DN 59)	0+000	16+600	16,600

## 1.2 – Caracteristicile rețelei de căi de comunicație terestre din zona Banatului 15

1	2	3	4	5	6
7	DJ 588B	Rovinița Mare (DJ 588A) - Percosova - Gherman (DN 57)	0+000	13+600	13,600
8	DJ 591	Timișoara (DN 59) - Sânmihaiu Român - Bobda - Cenei (DN 59B)	0+000	28+000	28,000
9	DJ 591A	Sânmihaiul Român (DJ 591) - Diniăș - Peciu Nou	0+000	19+300	19,300
10	DJ 592	Timișoara (DN 6) - Albina - Bacova - Buziaș - Lugoj (DN 6)	0+000	57+500	57,500
11	DJ 592A	DJ 592 (Sacoșu Turcesc) - Olvești - Tormac - limită județ Caraș-Severin	0+000	26+600	26,600
12	DJ 592B	Chevereșu Mare - Tormac - DN 59 (Voiteni)	0+000	46+200	46,200
13	DJ 592C	Boldur (DC 141) - Hodoș - Darova Sacoșu Mare (DC 143)	0+000	17+600	17,600
14	DJ 592D	Lugoj (DN 6) - Ohaba Forgaci - Ficătar - Racovița - Bacova (DJ 592)	0+000	33+700	33,700
15	DJ 593	DN 59 (Șag) - Peciu Nou - Giulvăz - Foeni - frontieră Serbia	0+000	35+900	35,900
16	DJ 593A	Peciu Nou (DJ 593) - Sânmartinu Sârbesc - Sânmartinu Maghiar - Uivar (DN 59B)	0+000	14+400	14,400
17	DJ 594	Jimbolia (DN 59A) - Grabaț - Lovrin (DN 6)	0+000	23+800	23,800
18	DJ 594A	Gottlob (DJ 594) - Comloșu Mare - frontieră Serbia	0+000	12+100	12,100
19	DJ 594B	DN 6 (Lovrin) - Lenauheim - Grabaț	0+000	17+400	17,400
20	DJ 595	Timișoara (DJ 591) - Chișoda - Giroc Timișoara (DN 59)	0+000	11+700	11,700
21	DJ 595A	Deta (DN 59) - Ghilad - Ciacova (DJ 693B)	0+000	16+100	16,100
22	DJ 609	Lugoj (DN 6) - Hezeriș - Cliciova - Cladova - limită județ Arad	0+000	38+800	38,800
23	DJ 609A	DN 6 (Chizătău) - Paniova - limită județ Arad	0+000	23+000	23,000
24	DJ 609B	Coșteiu (DN 6) - Belinț - Bethausen - Mănăștiur - Beghiu Mic (DN 68A)	0+000	34+200	34,200
25	DJ 609C	Belinț (DN 6) - Bara (DC 85)	0+000	10+500	10,500
26	DJ 609D	Timișoara (Ghiroda) - Aerogară	0+000	9+500	9,500
27	DJ 609E	Recaș (DN 6) - Stațiunea Viticolă Recatim	0+000	5+500	5,500

1	2	3	4	5	6
28	DJ 609F	Remetea Mare (DN 6) – Bucovăț - Bazoșu Nou	0+000	7+000	7,000
29	DJ 680	Lugoj (DN 6) - Măguri - Criciova - Jdioara	0+000	18+200	18,200
30	DJ 681	Făget (DN 68A) - Gladna Montană - Crivina - DN 6 (Găvojdia)	0+000	43+700	43,700
31	DJ 681A	Fârdea - Surducu Mic - Mănăștiur	0+000	14+700	14,700
32	DJ 681B	DJ 681 - Nădrag - Corneț	0+000	6+300	6,300
33	DJ 681C	DN 68A (Pogănești) - Bârna - Sarazani - Săceni - Jupani Leucușești (DJ 609B)	0+000	26+600	26,000
34	DJ 681D	Gladna Montană (DJ 681) - Zolt	0+000	6+000	6,000
35	DJ 682	Făget (DN 68A) - limită județ Arad - Periam - Saravale - Sănnicolau Mare - Dudeștii Vechi - Cheglevici - Beba Veche - frontieră Serbia	0+000	191+150	191,150
36	DJ 682A	Fântânele - Firiteaz	17+000	21+200	4,200
37	DJ 682B	Dudeștii Vechi (DJ 682) - Valcani - frontieră Serbia	0+000	13+400	13,4000
38	DJ 682D	Făget (DJ 682) - Margina (DC 103)	0+000	8+600	8,600
39	DJ 682E	Sânpetru Mare (DJ 682) - limită județ Arad	0+000	9+300	9,300
40	DJ 684	Coșava (DN 68A) - Curtea - Românești - Tomești - limită județ Caraș-Severin	0+000	36+800	36,800
41	DJ 684B	Curtea (DJ 684) - Pietroasa - Poieni	0+000	18+900	18,900
42	DJ 691	Timișoara (DN 69) - Giarmata - Pișchia – Fibiș - limită județ Arad	0+000	42+500	42,500
43	DJ 691A	Mașloc (DJ 691) - DJ 572 (Brestovăț)	0+000	26+800	26,800
44	DJ 692	DN 69 (Sănandrei) - Carani - Variaș - Pesac (DN 6)	0+000	49+900	49,900
45	DJ 693	Cărpiniș (DN 59A) - Biled - Satchinez - Orțișoara - Fibiș (DJ 691)	0+000	54+700	54,700
46	DJ 693B	Iohanisfeld (DN 59B) - Ciacova - Jebel - Liebling - DJ 592A (Otvești)	0+000	54+000	54,000
47	DJ 694	Dumbrava - Bucovăț - Fârdea	0+000	10+600	10,600

Referitor la drumurile județene din zona Banatului se poate sintetiza repartizarea acestora pe județe astfel:



- în județul Arad din totalul de 1.078,327 km de drumuri județene, 211,369 km își desfășoară traseul în zona Banat;
- în județul Caraș - Severin întreaga rețea de drumuri județene ce totalizează 882,500 km se află în zona Banatului;
- în județul Hunedoara doar 6,700 km dintr-un total de 1.321,688 km de drumuri județene se află pe teritoriul zonei Banat;
- în județul Mehedinți nu se găsesc drumuri județene în zona Banatului;
- în județul Timiș situația este similară cu cea din județul Caraș - Severin, astfel că lungimea totală a drumurilor județene, adică 1.144,800 km, se află pe teritoriul zonei Banat.

În harta din figura 1.4. sunt prezentate drumurile publice deschise circulației rutiere din zona Banatului cu următoarea descripție: drumurile naționale sunt prezentate cu roșu, drumurile județene cu albastru, drumurile comunale cu portocaliu și drumurile de exploatare cu verde.



Fig. 1.4. Rețeaua de drumuri publice deschise circulației rutiere din zona Banatului

Având în vedere faptul că starea tehnică a drumurilor este o caracteristică a drumurilor cu îmbrăcămînți bituminoase și din beton de ciment rutier, autorul nu-și propune analizarea drumurilor comunale și a celorlalte categorii de drumuri publice (drumuri forestiere, drumuri de exploatare etc.) din zona Banatului, cunoscându-se faptul că majoritatea covârșitoare a acestora nu prezintă astfel de îmbrăcămînți rutiere.

În tabelul 1.3 se prezintă o analiză comparativă a repartiției drumurilor naționale și drumurilor județene pe județele ce fac parte din zona Banatului.

Tabelul 1.3  
Repartiția pe județe a drumurilor naționale și județene din zona Banatului

Județul	Drumuri naționale [km.]	Drumuri naționale în zona Banat [km.]	Drumuri județene [km.]	Drumuri județene în zona Banat [km.]
Arad	405,912	26,369	1.078,327	211,369
Caras - Severin	558,336	544,336	882,500	882,500
Hunedoara	384,837	0,000	1.321,688	6,700
Mehedinți	357,300	63,000	772,449	0,000
Timiș	532,347	532,347	1144,800	1144,800
TOTAL	2238,732	1166,052	5199,764	2245,369

Este evident faptul că ponderea majoritară a rețelei de căi de comunicație terestre în zona Banatului, fie ea restrânsă numai la categoriile de drumuri naționale și județene, este dată de județele Timiș și Caras - Severin așa cum reiese și din figura 1.5.

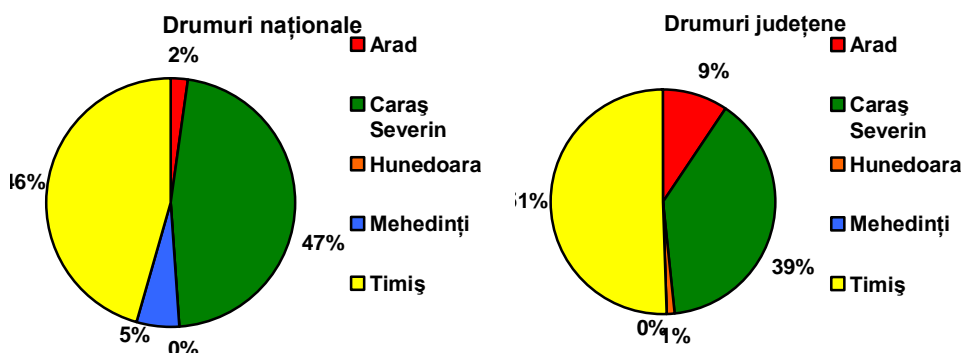


Fig. 1.5. Ponderea rețelelor de drumuri naționale și județene în zona Banatului

Admițând ca reprezentative pentru zona Banatului, județele Timiș și Caras - Severin, se poate concluziona faptul că rețeaua de căi de comunicație terestre din această zonă este una destul de densă raportată la rețeaua de căi de comunicație terestre din România, aici se remarcă faptul că județul Timiș are cea mai întinsă rețea de drumuri din România cu o lungime totală de cca. 2.900 km, iar rețeaua feroviară măsoară o lungime de cca. 787 km de cale ferată, ceea ce reprezintă de asemenea cea mai densă rețea feroviară din țară.

### 1.3 Particularități geomorfologice, geologice și geotehnice ale zonei Banatului

Granițele naturale ale Banatului sunt Râurile Mureș și Tisa, Dunărea și Culoarul Timiș-Cerna. Relieful Banatului este foarte diversificat, astfel că începând din vest spre est formele de relief se succed în trepte: câmpie joasă, câmpie înaltă, dealuri și chiar munți. Unele masive muntoase bănățene (munții Țarcu, muntele Mic și munții Cernei) constituie ramura vestică a Carpaților Meridionali. Dealurile piemontane apusene constituie aproximativ o treime din teritoriul Banatului istoric, altitudinea acestora variind între 200 și 400 de metri. La nord de râul Timiș se află dealurile Lugoșului, Lăpușului, depresiunea Făgetului și dealurile Lipovei, iar la sudul acestui râu, dealurile Pogănișului, Dognecei, Oraviței și depresiunea Carașului. Câmpia înaltă (altitudini de 100 până la 140 metri) este reprezentată de câmpiile Vingăi, Buziașului, Gătăii și Fizeșului, câmpii intermediare (altitudini de 100 până la 130 metri) sunt câmpiile Hodoni, Duboz, Tormac, Jamu Mare, Arad și Sânnicolau Mare, iar câmpiile joase (altitudine sub 100 metri) sunt reprezentate de luncile râurilor și zonele inundabile dinaintea lucrărilor de regularizare [108].

Între formele de relief ale Banatului nu pot fi omiși cei doi vulcani stinși de la Lucareț și Gătaia: Piatra Roșie (altitudine 211 metri), respectiv Șumigu (altitudine 200 metri). De asemenea, zona Banatului se remarcă prin cea mai mare întindere de nisipuri din Europa, astăzi stabilizată și acoperită cu vegetație, Dunele de nisip de la Deliblata din Serbia.

În ceea ce privește județul Timiș, forma de relief predominantă este șesul, care reprezintă 75,9 % din suprafață, dealurile ocupă cca. 7,2 %, deal-munții - 7,3 %, șes-dealurile - 6,3 % și munții 3,3 %. Relieful județului Timiș, se caracterizează printr-o mare complexitate de forme morfologice, cu structuri geologice și evoluții paleogeografice specifice, legate de geneza în timp și în spațiu a părții de vest a țării. Cea mai extinsă formă de relief a județului o reprezintă câmpia, urmată de dealuri piemontane și în partea estică de munți.

În ceea ce privește județul Caraș - Severin, din punct de vedere geografic, în județ se află toate cele trei trepte clasice, predominând însă relieful muntos care ocupă 65 % din teritoriu, fiind reprezentat de Munții Banatului, Munții Țarcu, Munții Godeanu și Munții Cernei. Relieful muntos crește în altitudine de la vest spre est, culminând în Munții Godeanului care, cu înălțimile lor de 1600 - 2200 metri, se ridică cu mult deasupra părții sudice a Munților Poiana Ruscă și a Munților Semenici, Almaj, Locvei, Aninei, și Dognecei, care au înălțimi cuprinse între 600 și 1400 metri. Acești munți sunt separați de culoarele depresionare Bistra și Timiș-Cerna. Spre vest se întind Dealurile Oraviței, Doclinului și Sacoș-Zăgujeni, precum și o porțiune restrânsă a Câmpiei Timișului. Cea mai mică altitudine a județului se găsește în zona localității Drencova, fiind de cca. 76 metri, iar maximul se înregistrează în Vârful Gugu din munții Godeanu la 2.291 metri.

Sub aspect geologic, întreaga parte de vest a țării noastre s-a format la începutul erei cuaternare, în urma unor frământări tectonice succedate de retragerea lacului Panonic, care ocupa șesul întins de astăzi al Tisei. Reprezentând fundul colmatat al lacului Panonic, litologia zonei de câmpie a Banatului cuprinde o succesiune de straturi aluviale (argile, prafuri, nisipuri și pietrișuri) așezate pe un fundament eruptivocristalin. Sub raportul alcătuirii litologice, se menționează o mare eterogenitate de roci eruptive, metamorfice și sedimentare.

Din punct de vedere seismic, regiunea Banat este considerată a doua zonă din țara noastră, după zona Vrancei, cu o mare importanță din punct de vedere al

hazardului seismic și riscului seismic [58] avându-se în vedere următoarele elemente:

- numărul mare de cutremure produse în această zonă (peste 3500 începând cu anul 1766);
- particularitățile seismo-tectonice regionale (fracturi crustale cu potențial seismic ridicat);
- intensitățile macroseismice maxime observate asociate unui număr relativ mare de focare.

Banatul este o regiune foarte bogată în focare proprii, focare care pot fi grupate în două regiuni distincte [4]:

- regiunea din partea de SE a Banatului, în zona Moldova Nouă, Orșova, Teregova, Sasca Oravița;
- regiunea Banloc, Timișoara, Jimbolia, Periam, Arad.

Epicentrele cutremurelor bănățene și valorile magnitudinii moment pentru zona Banatului sunt prezentate în figura 1.6.

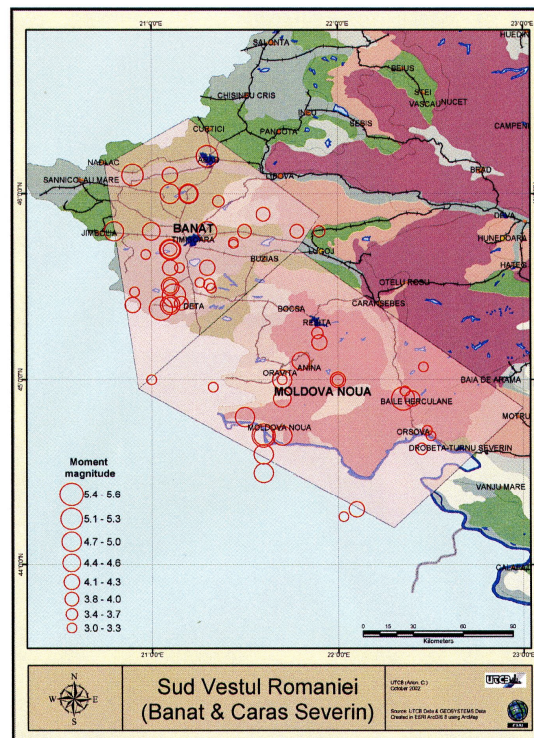


Fig. 1.6. Epicentrele cutremurelor bănățene și valorile magnitudinii moment

Din punct de vedere seismo-tectonic, conform normativului P 100/1-2006, pentru zona Banatului valoarea de vârf a accelerației terenului pentru proiectare  $a_g = (0,12 \dots 0,5)g$ , pentru cutremure cu interval mediu de recurență  $IMR = 100$  ani, iar valoarea perioadei de control (de colț) a spectrului de răspuns este  $T_c = 0,7$  secunde.

Seismicitatea zonei de câmpie a Banatului, caracterizată prin focare de adâncime relativ redusă (Șag – Parța, 27 mai 1959,  $h = 5$  km; Banloc – Ofsenița, 12 iulie 1991,  $h = 10$  km; Mașloc, 19 decembrie 1991,  $h = 19$  km; Variaș, 17 aprilie

1974, h = 20 km), este asociată câmpului de fracturi crustale aferente regiunilor Vârșeț – Banloc – Timișoara și respectiv Jimbolia – Periam – Arad.

O caracteristică a cutremurelor bănățene este atenuarea rapidă, exponențială a intensităților macroseismice odată cu creșterea distanței față de epicentru, acest lucru fiind datorat adâncimilor mici ale focarelor și influenței straturilor relativ groase de roci sedimentare neconsolidate. Acest lucru este confirmat și de cutremurele care au avut loc în Banat în ultimele decenii a căror efecte de avariere și distrugere a construcțiilor au fost semnificative doar în zonele epicentrale.

Din punct de vedere hidrologic și hidrogeologic zona Banatului este străbătută de următoarele râuri principale: Aranca, Bega, Bega veche, Timiș, Bârzava, Moravița, Caraș, Nera, Cerna, Mureș. Fiecare dintre aceste râuri au o serie de afluenți cu debit permanent sau temporar, care alcătuiesc o rețea hidrografică relativ haotică ca dispunere și direcții de curgere. Pantele reduse și condițiile de drenare hidrografică dificile, caracteristici ale zonei de câmpie a Banatului, au favorizat meandrarea cursurilor de apă, precum și apariția unor brațe moarte colmatate, în general cu aluviuni nisipoase și prăfos-măloase.

Adâncimea la care se găsește nivelul freatic constituie în general și un criteriu de separare a unităților geomorfologice și se suprapune peste acestea. Din punct de vedere al răspândirii teritoriale a acviferului freatic, acesta se prezintă ca un orizont continuu în zona de câmpie joasă de subsidență până la adâncimea de cca 30 ... 40 metri, precum și în zonele de luncă și terasă a râurilor Timiș, Bârzava, Pogăniș.

Se apreciază că granulozitatea grosieră a rocilor sedimentare (nisip cu pietriș) se întâlnește în cursul superior al râurilor Timiș și Bârzava. Nisipurile medii și grosiere se întâlnesc în partea de vest, la sud de Bega Veche (Sânmișiu Român – Ivanda – Cebza – Ghilad – Voiteg), iar în câmpia Bârzavei și a Moraviței trec în nisipuri prăfoase fine spre extremitatea vestică. Grosimea depozitelor permeabile acvifere variază între 0,5 – 20,0 metri, mai mari în zona de luncă și terasă a râurilor Bega și Timiș.

Sensul general de curgere a fluxului subteran este de la Est la Vest urmând panta generală a reliefului. Nivelul piezometric este mai adânc în cadrul câmpiei piemontane și mai ridicat în zona de câmpie joasă și luncă. În cadrul câmpiei joase panta suprafeței piezometrice urmărește panta morfologică, iar în câmpia piemontană panta morfologică este mai mare ca panta hidrolică.

Apa subterană din straturile de mare adâncime este cantonată în dispozitive de vârste geologice diferite (panonian, miocen, cretacic), fiind cu nivel sub presiune, iar gradul de mineralizație și temperatura ei sporesc cu adâncimea.

Din punct de vedere climateric și pluviometric zona Banatului se caracterizează printr-un climat temperat continental moderat cu influențe mediteraniene și oceanice. Temperatura medie a aerului în județul Timiș este de peste 11 °C în zona sud-vestică a județului, tot restul zonei de câmpie și de deal a județului înregistrează temperaturi medii de 10 ...11 °C, iar în zonele muntoase temperaturile medii anuale scad sub 4 °C. Referitor la județul Caraș - Severin temperaturile medii ale aerului sunt relativ similare cu cele ale județului Timiș, astfel că în regiunea de câmpie a județului valorile depășesc 11 °C, în zona dealurilor, depresiunilor și a munților mai scunzi valorile temperaturilor aerului medii sunt cuprinse între 9 ...11 °C. Pe măsura creșterii altitudinii reliefului temperaturile medii anuale scad între 6 ... 9 °C în munții Almăjului și Aninei, între 4 ... 6 °C în munții Poiana Ruscă și Semenicolui, iar în zona munților Jarču și Godeanu temperaturile medii ale aerului coboară sub 0 °C [3].

Sub aspect pluviometric zona Banatului se caracterizează prin creșterea cantităților anuale de precipitații de la vest la est și pe măsură ce relieful se ridică în altitudine. Astfel, dacă în colțul nord-vestic al județului Timiș cad, în medie, între 500 și 600 mm precipitații anuale, izohieta de 700 mm conturează Dealurile Lipovei, cele ale Surducului și ale Pogănișului. Pentru sectorul sud-estic al județului Timiș, creșterea cantităților de precipitații se face proporțional cu altitudinea, ajungând ca pe cele mai înalte culmi ale munților Poiana Ruscă să cadă anual în jur de 1.200 mm. Regiunea de câmpie și dealuri a județului Caraș - Severin primește anual 700 ... 800 mm de precipitații, iar cea a munților joși 800 ... 1.000 mm, în timp ce depresiunea Almăjului este marcată de izohietele de 700 și 800 mm. Pe înălțimile cele mai mari din munții Aninei, Semenicului și Poiana Ruscă cad anual 1.200 mm precipitații, iar pe cele din munții Cernei, Țarcu și Godeanu 1.400 mm [3].

Adâncimea maximă de îngheț în zona Banatului conform STAS 6054-77 este de 60 ... 80 cm, cu observația că în zona muntoasă din județul Caraș - Severin aceasta se determină pe baza unor observații locale și poate să nu fie cuprinsă în intervalul menționat anterior. În zona de câmpie a Banatului adâncimea maximă de îngheț este de 60 ... 70 cm, excepție face partea vestică a Câmpiei Arancăi, unde poate depăși 70 cm, apropiindu-se de 80 cm.

În conformitate cu STAS 1709/1-90 referitor la adâncimea de îngheț în complexele rutiere, zona Banatului se încadrează în tipul climateric I cu valoarea indicelui de umiditate  $I_m = -20 \dots 0$  și un climat uscat în zona de vest a regiunii, tip climateric II în zona centrală a regiunii cu indicele de umiditate  $I_m = 0 \dots 20$  cu climatul moderat umed și tip climateric III în zona de est a regiunii cu indicele de umiditate  $I_m > 20$  și climat umed. Tipul climateric predominant în regiune este I, acesta ocupând totodată întreaga zonă de câmpie a Banatului, excepție face partea estică a Câmpiei Timișului ce se încadrează în tipul climateric II.

În ceea ce privește valorile indicelui de îngheț pentru zona Banatului valoarea maximă a acestuia într-o perioadă de 30 ani este  $I_{max}^{30} = 410 \dots 520$ , media aritmetică a valorilor indicelui de îngheț din cele mai aspre trei ierni dintr-o perioadă de 30 ani este  $I_{med}^{3/30} = 300 \dots 450$ , iar media aritmetică a valorilor indicelui de îngheț din cele mai aspre cinci ierni dintr-o perioadă de 30 ani este  $I_{med}^{5/30} = 250 \dots 370$ .

Referitor la particularitățile geotehnice ale Banatului este necesar să remarcăm în primul rând prezența în această regiune, în special în zonele de câmpie, a pământurilor cu umflări și contracții mari (PUCM). Acest tip de pământuri, numite și pământuri contractile, expansive sau active, sunt pământuri argiloase care prezintă proprietatea de a-și modifica sensibil volumul, atunci când umiditatea lor variază. Pământurile cu umflări și contracții mari se întâlnesc în toate regiunile geografice ale țării, iar în zona Banat acestea sunt identificate în zonele subcarpatice Banat și zonele colinare dinspre Câmpia de Vest.

Toate pământurile active sunt potențial capabile de umflări și contracții importante la variații de umiditate, această capacitate de umflare-contracție se manifestă însă numai atunci când condițiile locale prilejuiesc manifestarea activă a potențialului de contracție-umflare a pământului. Identificarea pământurilor contractile se face în funcție de comportarea specifică a acestora la variațiile sezoniere de umiditate, respectiv pe baza unor caracteristici geotehnice proprii acestor pământuri.

La variațiile de umiditate, pământurile cu umflări și contracții mari se comportă diferit în funcție de regimul de umiditate. Astfel, în perioadele secetoase apar în teren crăpături de contracție (figura 1.7.), de obicei sub forma unei rețele

poligonale, fenomenul fiind mai pronunțat la temperaturile puternice din perioadele însorite, iar în perioadele ploioase crăpăturile încep să se închidă, închiderea lor pornește atât de jos, datorită umezirii prin apa care s-a infiltrat prin straturile superioare, cât și de sus unde straturile superioare se umflă prin umezire uniformă.

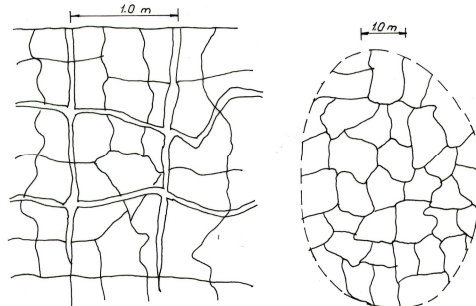


Fig. 1.7. Rețeaua de fisuri și crăpături de contracție a pământurilor argiloase active

Conform hărții cu răspândirea pământurilor active pe teritoriul României (figura 1.8.), în zona Banatului potențialul de umflare-contracție a acestor pământuri este considerat ca fiind mediu [76].

O altă particularitate a zonei Banatului o reprezintă prezența în această regiune a pământurilor sensibile la umezire (PSU). Acestea sunt pământuri coezive macroporice nesaturate, care la contactul cu apa suferă modificări bruște și ireversibile ale structurii interne, reflectate prin tasări suplimentare cu caracter de prăbușire (colaps) și scăderi ale valorilor parametrilor geotehnici de comportament mecanic. Din această categorie de pământuri fac parte loessurile, pământurile loessoide și alte pământuri preponderent prăfoase, cu porozitate neuniformă și relativ mare.

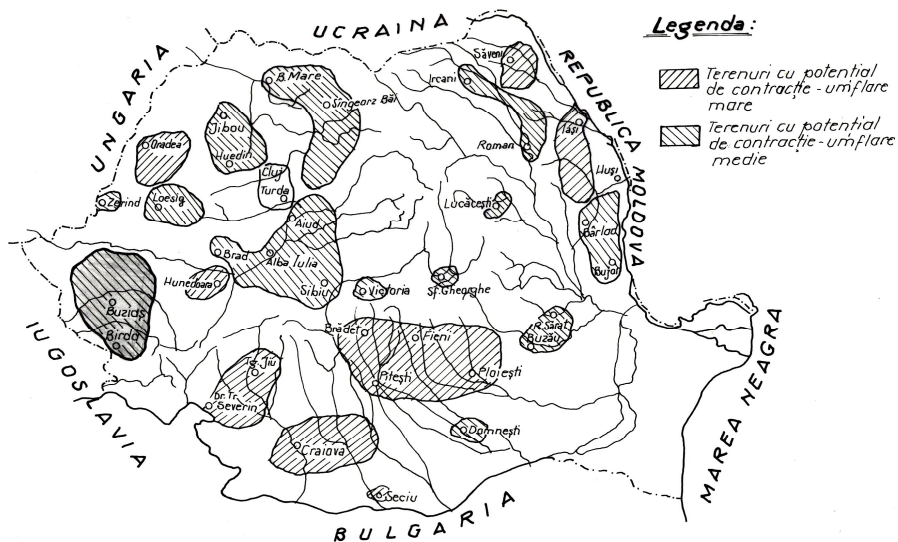


Fig. 1.8. Răspândirea pământurilor cu umflări și contracții mari pe teritoriul României

Pământurile sensibile la umezire ocupă suprafețe importante în România (cca. 19 % din teritoriul), sunt grupate în diferite zone ale țării fiind considerate din acest motiv pământuri regionale. Așa cum se observă și din harta cu răspândirea

teritorială a PSU în România (figura 1.9.), acestea se întâlnesc în Câmpia Română, Dobrogea, Podișul Moldovei, în lungul râurilor Siret, Prut și afluenți, local în Banat și în zona subcarpatică [104].

În literatura de specialitate există mai multe definiții date loessurilor, respectiv pământurilor loessoide. Astfel loessul reprezintă o rocă sedimentară detritică, predominant prăfoasă, friabilă, cu porozitate mare, neconsolidată sau slab consolidată, de culoare gălbuie până la brun-gălbuie. Din punct de vedere mineralogic este specifică prezența carbonaților, deși există și loess fără carbonați. Loessul este permeabil, apele de infiltrație determinând procese de sufoziune, care duc la tasare și formarea crovurilor. Este o formațiune specifică pleistocenului, cu o origine controversată (fluvială, eoliană, deluvială, glaciară, fluvio-glaciară, pedogenetică, complexă etc.) [42]. O altă abordare a loessului îl definește pe acesta ca fiind un depozit alueritic, slab consolidat, pulverulent, cu aspect masiv, lipsit de stratificație și cu tendință de desprindere după plane verticale. Loessul are o culoare gălbuie sau gălbuie-albicioasă și o porozitate ridicată, cu spații libere tubulare. Constituții mineralogici alogeni sunt reprezentați prin cuarț, feldspați, miche, minerale argiloase și grele, iar cei autigeni prin calcit, hidroxizi de aluminiu etc. Loessul reprezintă un depozit periglaciara și eolian, acumulat pe grosimi de zeci și sute de metri, în zona de câmpie și în zone submontane, pe platouri, în asociație cu depozite lacustre, fluviale și glaciare [5].

Prezența pământurilor sensibile la îngheț-dezghet în crusta superficială, deci tocmai pe adâncimea terenului expusă înghețului, în zona Banatului reprezintă o altă particularitate geotehnică a zonei. Pământurile argiloase cu o pondere relativ ridicată a conținutului de praf și pământurile prăfoase (prafuri, prafuri nisipoase, prafuri argiloase) prezente frecvent în stratificația zonei Banatului, în special în zonele de câmpie, coroborate cu existența unor râuri active sau colmatate, fac ca în zona de câmpie a Banatului pământurile din crusta superficială a stratificațiilor terenului să prezinte sensibilitate la îngheț relativ ridicată.

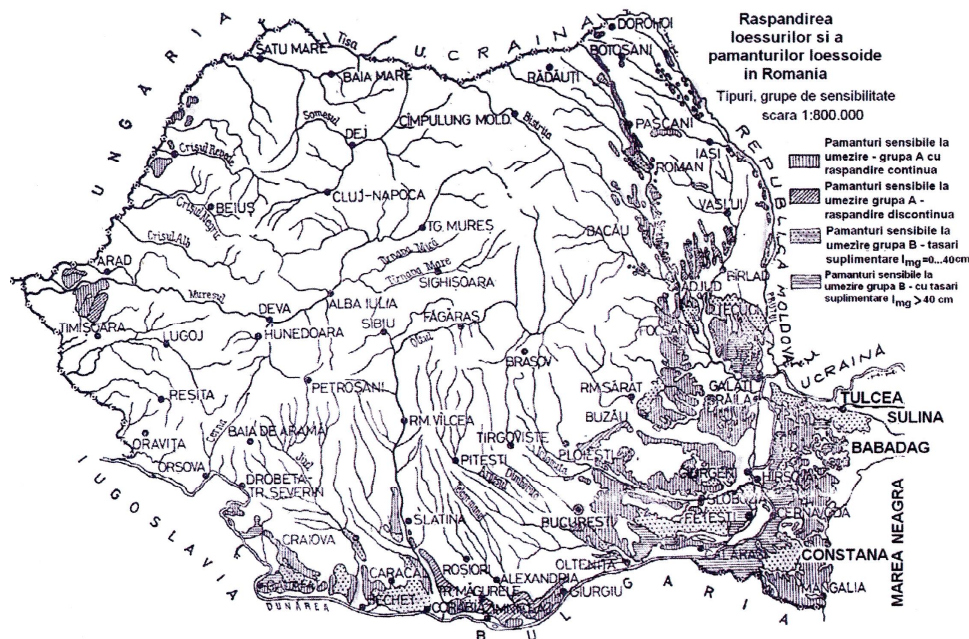


Fig. 1.9. Răspândirea loessurilor și pământurilor loessoide în România



Prin înghețare apa își mărește volumul, astfel că în masa pământului apare o stare de tensiune și deformare generată de presiuni de umflare cauzate de înghețarea apei din pori. Deteriorarea structurii și umflarea pământurilor datorită înghețului se produce prin fenomenul de segregare macroscopică. Prin acest fenomen, în condițiile existenței a două zone ale unui mediu poros, dintre care una conține gheață iar cealaltă apă, datorită structurii și permeabilității mediului apă migrează spre zona cu gheață, care prezintă sucțiune mai mare, unde apoi îngheață [36]. Creșterea volumului lentilelor de gheață formate generează starea de tensiune și deformare care deteriorează structura pământului reducându-i totodată proprietățile de rezistență.

Intensitatea procesului de umflare depinde de cantitatea de apă ce migrează și îngheață. Astfel, cu cât gradul de umiditate al pământului este mai mare, cu atât tendința de umflare datorită înghețului și starea de tensiune generată sunt mai pronunțate. Un alt parametru care influențează comportarea la îngheț a pământurilor este granulozitatea, care a fost folosită și de Cassagrande în anul 1934, când a formulat criteriul de recunoaștere a pământurilor gelive astfel: "în condiții normale și în prezența unei cantități suficiente de apă, ne putem aștepta la o formare considerabilă de lentile de gheață în pământurile neuniforme ( $U_n > 15$ ), care conțin mai mult de 3 % granule cu diametrul mai mic de 0,02 mm și în pământurile foarte uniforme ( $U_n < 5$ ), care conțin mai mult de 10 % granule cu diametrul mai mic de 0,02 mm. Nu este de așteptat nici o formare de lentile de gheață dacă pământurile conțin mai puțin de 1 % granule cu diametrul mai mic de 0,02 mm". Acest criteriu este aplicat și astăzi în Europa și în S.U.A. Ținând cont de acest criteriu, în graficul de mai jos se prezintă zonele în care pământurile pot fi sensibile la îngheț (figura 1.10.).

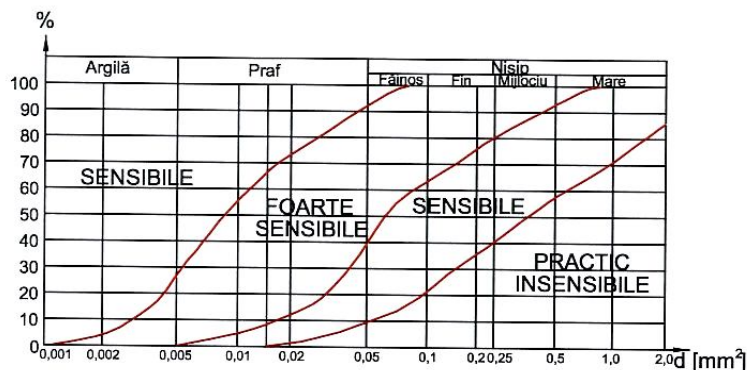


Fig. 1.10. Influența granulozității asupra sensibilității la îngheț a pământurilor

#### 1.4 Considerații asupra stării tehnice a drumurilor din zona Banatului

Starea tehnică a drumurilor moderne se stabilește pe baza calificativelor acordate caracteristicilor drumului, pe tronsoanele omogene de drum. Starea tehnică a drumurilor moderne se evaluează cu ajutorul următoarelor caracteristici:

- planeitatea suprafeței de rulare, exprimată prin valoarea indicelui de planeitate, IRI;
- rugozitatea suprafeței îmbrăcăminții rutiere, exprimată prin valorile SRT sau HS;

- capacitatea portantă a complexului rutier exprimată prin valoarea deformației elastice caracteristice,  $d_{c20}$ ;
- capacitatea portantă a complexului rutier exprimată prin valoarea deformației elastice caracteristice,  $d_{c20}$ ;
- starea de degradare a îmbrăcăminții rutiere, caracterizată prin următorii indici de degradare:
  - indicele global de degradare (IG) pentru îmbrăcămințile bituminoase;
  - indicele de degradare (ID) pentru îmbrăcămințile bituminoase și cele din beton de ciment.

Planeitatea suprafeței drumurilor este o caracteristică funcțională a drumului exprimată prin indicele de planeitate IRI (Indicele internațional de uniformitate). Indicele IRI caracterizează uniformitatea suprafeței drumurilor la evaluarea stării tehnice a drumurilor exprimat în m/km. Coeficientul IRI este un indicator care caracterizează oscilațiile suspensiei unui vehicul supusă la solicitările date de defectele de planeitate ale drumului. Calificativul planeității se stabilește în funcție de categoria drumului și valoarea indicelui de planeitate IRI, așa cum este prezentat în tabelul 1.4.

Tabelul 1.4

Categorie drum	Indicele de planeitate, IRI [m/km]			
	REA	MEDIOCRĂ	BUNĂ	FOARTE BUNĂ
Drum național european	> 5,5	3,5 ... 5,5	2,5 ... 3,5	< 2,5
Drum național principal	> 6,0	4,5 ... 6,0	3,5 ... 4,5	< 3,5
Drum național secundar, județean	> 6,5	5,5 ... 6,5	4,5 ... 5,5	< 4,5
Drum comunal	> 7,5	6,5 ... 7,5	5,5 ... 6,5	< 5,5

Rugozitatea suprafeței îmbrăcăminții rutiere este o caracteristică funcțională a drumului și este caracterizată de valorile SRT sau HS. Determinarea rugozității cu aparatul SRT constă în transformarea energiei cinetice a unui pendul în frecare, evidențiată de înălțimea de ridicare a pendulului dincolo de punctul de contact cu suprafața îmbrăcăminții rutiere. Determinarea rugozității prin metoda înălțimii de nisip constă în întinderea pe suprafața de încercare a unui volum dat de nisip fin, sub forma unei pete circulare, care umple golurile îmbrăcăminții până la nivelul asperităților. Convențional, înălțimea de nisip (HS) se stabilește raportând volumul de nisip la suprafața petei. Calificativul rugozității se stabilește funcție de valorile SRT sau HS, așa cum rezultă din tabelul 1.5.

Tabelul 1.5

Calificativ	Rugozitatea	
	SRT	HS
REA	< 55	< 0,2
MEDIOCRĂ	55 ... 70	0,2 ... 0,6
BUNĂ	70 ... 80	0,6 ... 0,7
FOARTE BUNĂ	> 80	> 0,7

Capacitatea portantă a complexului rutier este o caracteristică structurală a drumului exprimată prin valorile deformației elastice (deflexiunea) caracteristică. Deflexiunea se măsoară cu deflectometrele cu sarcină dinamică în conformitate cu instrucțiunile proprii de utilizare sau cu deflectometrele cu pârghie tip Benkelman, în conformitate cu "Instrucțiunile tehnice departamentale pentru determinarea prin deflectografie și deflectometrie a capacității portante a drumurilor cu structuri rutiere suplă" indicativ CD 31-2002.

Calificativul capacității portante se stabilește în funcție de clasa de trafic și valoarea deflexiunii caracteristice conform tabelului 1.6, în cazul măsurărilor efectuate cu deflectometrul cu sarcina dinamică și conform tabelului 1.7, în cazul măsurărilor efectuate cu deflectometrul cu pârghie tip Benkelman.

Tabelul 1.6  
Capacitatea portantă determinată cu ajutorul deflectometrului cu sarcina dinamică

Clasa de trafic	Traficul de calcul [m.o.s.]	Capacitatea portantă			
		REA	MADIOCRĂ	BUNĂ	FOARTE BUNĂ
Deflexiune caracteristică, 0.01 mm					
Foarte ușor	Sub 0.03	> 180	160...180	140...160	< 140
Ușor	0.03...0.10	> 150	120...150	100...120	< 100
Mediu	0.10...0.30	> 110	85...110	70...85	< 70
Greu	0.30...1.00	> 80	60...80	50...60	< 50
Foarte greu	1.00...3.00	> 65	50...65	45...50	< 45
Exceptional	3.00...10.00	> 55	45...55	35...45	< 35

Tabelul 1.7  
Capacitatea portantă determinată cu ajutorul deflectometrului cu pârghie Benkelman

Clasa de trafic	Traficul de calcul [m.o.s.]	Capacitatea portantă			
		REA	MEDIOCRĂ	BUNĂ	FOARTE BUNĂ
Deflexiune caracteristică, 0.01 mm					
Foarte ușor	Sub 0.03	> 200	185...200	165...185	< 165
Ușor	0.03...0.10	> 175	145...175	130...145	< 130
Mediu	0.10...0.30	> 140	115...140	100...115	< 100
Greu	0.30...1.00	> 110	90...110	80...90	< 80
Foarte greu	1.00...3.00	> 95	80...95	75...80	< 75
Exceptional	3.00...10.00	> 85	75...85	70...75	< 70

Starea de degradare este o caracteristică structurală a drumului. Starea de degradare a îmbrăcăminții rutiere este caracterizată de indicele global de degradare (IG) determinat conform normativului AND 540 sau indicele de degradare (ID) determinat conform instrucțiunilor AND 547.

Starea de degradare a fiecărui eșantion este caracterizată prin valoarea indicelui global de degradare (IG) calculat cu relația:

$$IG = \sqrt{I.E.ST \times I.E.SU} \text{ [%]} \quad (1.1)$$

în care:

I.E.ST este indicele de evaluare structurală și reprezintă cât din suprafața îmbrăcăminții nu este afectată de degradările structurale;

I.E.SU este indicele de evaluare a suprafeței și reprezintă cât din suprafața îmbrăcăminții nu este afectată de degradările de suprafață.

Starea de degradare pe fiecare sector omogen pentru îmbrăcămințile rutiere bituminoase este caracterizată de indicele de degradare (ID), calculat cu relația:

$$ID = \frac{S_{degr}}{S} \times 100 [\%] \quad (1.2)$$

în care:

$S_{degr}$  este suprafața degradată, în  $m^2$ ;

S - suprafața benzii de circulație, în  $m^2$

$$S_{degr} = D_1 + 0,7D_2 + 0,7 \times 0,5D_3 + 0,2D_4 + D_5 [m^2] \quad (1.3)$$

în care:

$D_1$  este suprafața afectată de gropi și plombe;

$D_2$  - suprafața afectată de faianțări, fisuri și crăpături multiple pe direcții diferite;

$D_3$  - suprafața afectată de fisuri și crăpături transversale și longitudinale, rupturi de margine;

$D_4$  - total suprafață poroasă, cu ciupituri, suprafață încrețită, suprafață șiroită, suprafață exudată;

$D_5$  - suprafața afectată de fâgașe longitudinale;

coeficienții 0,7 și 0,2 țin cont de ponderea defectiunii receptive, iar coeficientul 0,5 ține cont de lățimea pe care este afectată suprafața îmbrăcăminții de degradările tip  $D_3$ , pentru a fi exprimate în  $m^2$ .

Starea de degradare pe fiecare sector omogen pentru îmbrăcămințile rutiere din beton de ciment este caracterizată de indicele de degradare (ID) calculat cu relația:

$$ID = \frac{N_{dd}}{N_{dt}} \times 100 [\%] \quad (1.4)$$

în care:

$N_{dd}$  este numărul de dale degradate;

$N_{dt}$  - numărul total de dale pe banda de circulație.

$$N_{dd} = D_1 + 0,5D_2 + 0,5D_3 \times N/S + 0,3D_4, [dale] \quad (1.5)$$

în care:

N este numărul dalelor pe bandă;

S - suprafața sectorului de măsurare pe bandă ( $m^2$ );

$D_1$  - număr dale tasate;

$D_2$  - număr dale plombate și faianțate;

$D_3$  - suprafață afectată de fisuri și crăpături transversale de colț, longitudinale, de formă neregulată;

$D_4$  - suprafață exfoliată;

coeficienții 0,5 și 0,3 aplicați degradărilor tip  $D_2$  și  $D_4$ , țin cont de ponderea defectiunii respective;

coeficientul 0,5 aplicat degradării tip  $D_3$ , țin cont de lățimea pe care este afectată suprafața îmbrăcăminții, de degradările  $D_3$ , pentru a fi exprimate în  $m^2$ .

Calificativul stării de degradare se stabilește în funcție de indicele de degradare conform tabelului 1.8. Clasa stării tehnice se încadrează în cinci clase pe baza calificativelor caracteristicilor drumului, conform tabelor 1.9 și 1.10 în funcție de tipul structurii rutiere [89].

Tabelul 1.8

Calificativ	Indicele de degradare	
	IG	ID
REA	< 77	> 13
MEDIOCRĂ	77...90	7.5...13
BUNĂ	90...95	5...7.5
FOARTE BUNĂ	> 95	< 5

Tabelul 1.9

Stabilirea stării tehnice și a lucrărilor obligatorii de întreținere periodică și de reparații curente în cazul drumurilor cu structuri rutiere suple și mixte (semirigide)

Stare tehnică	Clasa stării tehnice	Calificativul caracteristicilor				Lucrări de întreținere și reparații	
		Capacitate portantă	Stare de degradare	Planeitate	Rugozitate	-	-
Foarte bună	5	F. bună	F. bună	F. bună	F. bună	-	-
Bună	4	Cel puțin bună	Cel puțin bună	Cel puțin bună	Cel puțin mediocră	Tratamente bituminoase	Întreținere periodică
			Cel puțin mediocră	Cel puțin bună	Bună la rea	Straturi bituminoase f. subțiri	
Mediocră	3	Cel puțin mediocră	Cel puțin mediocră	Cel puțin mediocră	F. bună la rea	Covoare bituminoase	
Rea	2	Cel puțin mediocră	Cel puțin rea	Cel puțin rea	F. bună la rea	Reciclare în situ a îmbrăcăminții bituminoase	
Foarte rea	1	Rea	F. bună la rea	F. Bună la rea	F. Bună la rea	Ranforsarea structurii rutiere	Reparații curente

Tabelul 1.10

Stabilirea stării tehnice și a lucrărilor obligatorii de întreținere periodică și de reparații curente în cazul drumurilor cu structură rutieră rigidă

Starea tehnică	Clasa stării tehnice	Calificativul caracteristicilor			Lucrări de întreținere și reparații	
		Stare de degradare	Planeitate	Rugozitate	-	-
Foarte bună	5	Foarte bună	Foarte bună	Foarte bună	-	-
Bună	4	F. Bună și bună	Bună	F. Bună și bună	Tratamente bituminoase	Întreținere periodică
Mediocră	3	Cel puțin mediocră	Cel puțin mediocră	Cel puțin mediocră	Straturi bituminoase f. subțiri	
Rea	2	Cel puțin rea	Cel puțin rea	Cel puțin rea	Ranforsarea structurii rutiere	Reparații curente
Foarte rea	1	Rea	Rea	Mediocră la rea		

În ceea ce privește starea tehnică a drumurilor naționale din Banat, conform situației obținută de la Direcția Regională de Drumuri și Poduri Timișoara valabilă la data de 30 aprilie 2009, se observă faptul că starea de degradare predominantă a acestora este una mediocră.

Din totalul de 1.166,052 km de drumuri naționale ce își desfășoară traseul pe teritoriul Banatului, 268,048 km au o stare de degradare bună, iar 557,443 km au o stare de degradare mediocră.

Având în vedere că pe restul de 340,561 km de drumuri naționale din Banat se execută sau sunt necesare a se executa lucrări de ranforsare a structurii rutiere și reciclare în situ a îmbrăcăminții rutiere bituminoase, se apreciază că pe această lungime starea de degradare a drumurilor este rea.

Evaluarea stării de degradare a fost făcută pe baza indicelui global de degradare IG, în cazul îmbrăcăminților rutiere bituminoase, respectiv indicelui de degradare ID, în cazul îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, conform tabelului 1.8 pe sectoare omogene de drumuri.

În figura 1.11. este prezentată procentual starea de degradare a drumurilor naționale din zona Banatului.

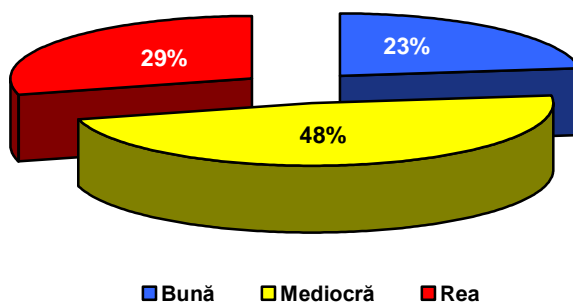


Fig. 1.11. Repartiția procentuală a stării de degradare a drumurilor naționale din zona Banatului

În urma cercetărilor efectuate pe drumurile județene, s-au obținut date cu privire la starea de viabilitate a acestora pentru județele Timiș și Caraș - Severin.

Analiza făcută de administrația drumurilor județene cu privire la starea de viabilitate a acestora, este practic o analiză vizuală a stării de degradare a suprafeței de rulare. Datele obținute sunt datele declarate de Direcția pentru Administrarea Drumurilor și Podurilor Județene Timiș și Caraș - Severin la data de 31 decembrie 2008.

Astfel, pe raza județului Timiș din totalul de 1.144,800 km de drumuri județene, 127,600 km au îmbrăcămințe bituminoasă, 43,100 km au îmbrăcămințe rutieră din beton de ciment, 12,000 km au îmbrăcămințe din pavaj de piatră cioplită, 562,865 km au îmbrăcămințe bituminoasă ușoară, 271,920 km sunt drumuri pietruite și 27,300 km sunt din pământ. Referitor la starea de viabilitate a acestora 446,805 au starea de viabilitate bună și 697,995 km au starea de viabilitate rea.

În figura 1.12. se prezintă procentual starea de viabilitate și tipul îmbrăcăminții rutiere a drumurilor județene de pe raza județului Timiș.

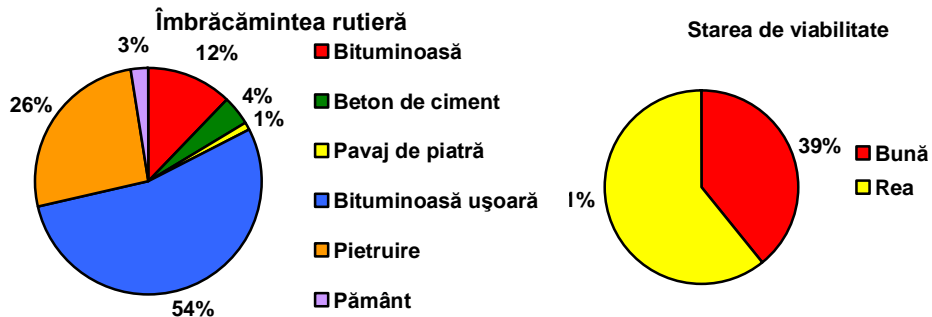


Fig. 1.12. Repartiția procentuală a tipului de îmbrăcăminte rutieră și stării de viabilitate pe drumurile județene din județul Timiș

Referitor la județul Caraș - Severin din totalul de 882,500 km drumuri județene, 118,330 km au îmbrăcăminte bituminoasă, 90,480 km au îmbrăcăminte rutieră din beton de ciment, 19,640 km au îmbrăcăminte din pavaj de piatră cioplită, 358,770 km au îmbrăcăminte bituminoasă ușoară, 292,280 km sunt drumuri pietruite și 3,000 km sunt din pământ. În ceea ce privește starea de viabilitate a acestora, 282,240 au starea de viabilitate bună, 473,210 km au starea de viabilitate mediocră și 127,050 km au starea de viabilitate rea (figura 1.13.).

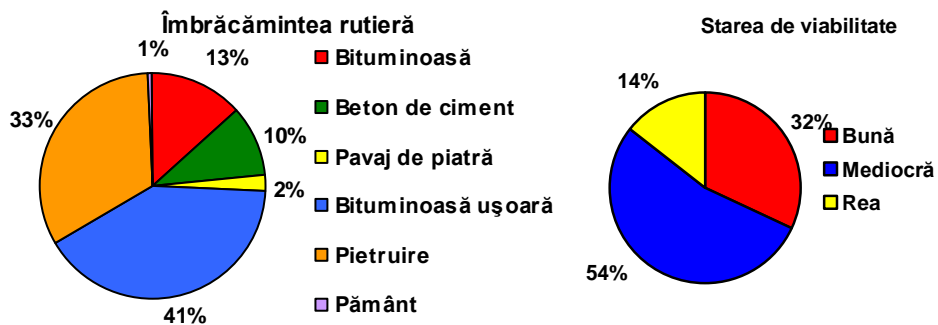


Fig. 1.13. Repartiția procentuală a tipului de îmbrăcăminte rutieră și stării de viabilitate pe drumurile județene din județul Caraș - Severin

## 1.5 Obiectivele tezei de doctorat

Dezvoltarea unei societăți depinde într-o mare măsură de eficiența și calitatea transporturilor, care la rândul lor depind de infrastructura acestora. Având în vedere perioadele de timp pe care le parcurgem și importanța infrastructurii transporturilor, și mai ales a transporturilor rutiere, se poate afirma faptul că îmbunătățirea stării tehnice a drumurilor poate fi considerată un factor decisiv în sporirea calității infrastructurii rutiere.

Plecând de la aceste considerente lucrarea de față își propune studierea unor factori de influență asupra stării tehnice a drumurilor, cu particularizare în zona Banatului, în scopul îmbunătățirii acestora și menținerii ei la standarde superioare pentru perioade cât mai îndelungate de timp.

Cunoașterea influenței unor factori asupra stării tehnice a drumurilor permite o mai bună gestionare a administrării acestora, evitarea unor situații nedorite generate de acești factori în exploatarea drumurilor și de asemenea, oferă posibilitatea de luare a unor măsuri care să combată efectele negative ale unor factori, care vor fi luați în studiu în prezenta teză de doctorat.

Astfel, se va studia comportarea complexelor rutiere funcție de tipul și intensitatea traficului rutier, funcție de climă, temperatură, regim pluviometric. Se va analiza influența calității materialelor utilizate în structurile rutiere și a naturii și caracteristicilor geotehnice ale terenului de fundare asupra comportării complexelor rutiere în exploatare. De asemenea, se vor studia influențele asupra stării tehnice a drumurilor a terenurilor dificile specifice zonei Banatului și a terenurilor de fundare alcătuite din pământuri coezive și necoezive.

În cadrul tezei de doctorat se analizează diferite metode de calcul a structurilor rutiere suple și mixte (semirigide) noi și a ranforsărilor acestora. În acest sens, se va face o analiză critică a acestor metode bazată pe studii și măsurători de capacitate portantă realizate pe o serie de drumuri naționale de pe raza Direcției Regionale de Drumuri și Poduri Timișoara, încercându-se stabilirea unei corelații între rezultatele obținute cu diversele metode de dimensionare a ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte (metoda analitică, metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometrul Benkelman și metode corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină dinamică – PHONIX FWD MLY 10000).

Totodată se verifică rezultatele experimentale obținute prin aplicarea metodelor de dimensionare a calculul ranforsării structurilor rutiere suple și mixte (semirigide) și se încearcă determinarea gradului de încredere al fiecărei metode aplicate în cadrul studiului experimental în raport cu celelalte.

De asemenea, se propune o modelare matematică a structurilor rutiere de pe unele sectoare experimentale pe care s-au efectuat încercări și determinări în situ, cu ajutorul căreia se analizează comportarea acestora în exploatare pe baza ipotezelor și principiilor de dimensionare a complexelor rutiere, variind o serie de factori și parametrii (sarcina din trafic, legătura dintre straturile rutiere, caracteristicile de deformabilitate ale straturilor rutiere, inclusiv ale terenului de fundare). De asemenea se studiază comportarea structurilor rutiere ranforsate pe baza soluțiilor obținute prin cele trei metode de dimensionare supuse cercetărilor experimentale.

Pe baza cercetărilor efectuate și a modelării matematice a structurilor rutiere se urmărește influența unor factori ce pot fi considerați ca fiind determinanți în comportarea complexelor rutiere și modul de considerare a unor parametrii utilizați în calculul de dimensionare al structurilor rutiere.



## **2. CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA COMPLEXELOR ȘI STRUCTURILOR RUTIERE**

Complexele rutiere pot fi definite ca fiind construcții alcătuite dintr-o structură rutieră și fundație (terasament și teren natural), care au rolul de a servi în nune condiții și în siguranță circulația rutieră. În consecință la proiectarea întregului complex rutier trebuie acordată atenție majoră fiecărui strat al structurii rutiere, precum și conlucrării dintre structura rutieră, terasament și terenul natural

### **2.1 Structuri rutiere**

Structura rutieră este elementul de rezistență al drumului, aferent pe părții carosabile și benzilor de încadrare, fiind alcătuită dintr-un ansamblu de straturi executate din materiale pietroase stabilizate sau nu cu lianți, după tehnologii adecvate, și dimensionate conform anumitor norme, având în ansamblu o capacitate portantă stabilită în principal funcție de intensitatea traficului greu [50].

Activitatea practică de construcție, modernizare și întreținere a drumurilor preconizează utilizarea unor materiale de calitate care să fie procurate, pe cât posibil, din apropierea zonei de amplasament a drumului, astfel încât cheltuielile de transport pentru aceste materiale să fie minime. Luând ca determinant pentru găsirea soluției optime de execuție costul minim al lucrărilor, se poate ajunge la utilizarea unor materiale diverse, care, pe baza unor cercetări sistematice și prin folosirea unor tehnologii adecvate, se pot aduce în stadiul de utilizare curentă în tehnica rutieră.

Pentru a putea rezista în bune condiții, la acțiunea traficului rutier, structura rutieră a drumurilor moderne este alcătuită dintr-un complex de straturi. La alcătuirea acestui complex trebuie să se țină seama de o serie de caracteristici de exploatare a drumurilor [34], ca de exemplu:

- intensitatea și caracterul circulației;
- capacitatea de transport (numărul de tone brute ce pot fi transportate pe drum între două reparații capitale);
- valoarea investiției inițiale;
- termenele și costul reparației;
- costul de revenire al transporturilor;
- termenul de recuperare a investiției inițiale etc.

#### **2.1.1 Clasificarea structurilor rutiere**

Structurile rutiere ale drumurilor publice sau ale străzilor sunt caracterizate printr-o mare diversitate a modului de alcătuire, determinată în special de modificarea în timp a concepției privind rolul diverselor straturi care le alcătuiesc.

Marea varietate de materiale folosite în tehnica rutieră (pământuri, agregate naturale, lianți) și de tehnologii conduce implicit la apariția unei diversități largi de straturi rutiere, a căror comportare în exploatare sub acțiunea solicitărilor (trafic și condiții climaterice) trebuie corect apreciată prin calcule de dimensionare specifice, astfel marea varietate de straturi și structuri rutiere existente trebuie grupate după

principii bine determinate, fiecărei grupări corespunzându-i o metodă specifică de calcul. De asemenea, și din punct de vedere al terminologiei rutiere este convenabilă o clasificare pragmatică a structurilor rutiere.

Structurile rutiere romane erau formate din două sau patru straturi. În cazul structurilor rutiere formate din două straturi, fundația și îmbrăcămintea drumului erau alcătuite din piatră de duritate diferită, adesea aglomerată cu var hidraulic. Grosimea structurii rutiere în acest caz depășea 50 cm. În cazul structurilor rutiere formate din patru straturi, grosimea acestora era mult mai mare, fiind cuprinsă între 90 ... 140 cm. În cazul acestor structuri rutiere, primul strat inferior era format din blocuri sau lespezi, așezate manual unul câte unul, în două sau trei rânduri suprapuse. Piatra era amestecată cu un mortar de argilă, iar grosimea stratului era cuprinsă între 20 ... 50 cm. Cel de al doilea strat era realizat din piatră spartă mare cu o grosime de 30 ... 40 cm, iar cel de al treilea strat, în grosime de 20 ... 25 cm, era realizat din piatră spartă mai mărunță aglomerată cu var hidraulic. Ultimul strat, îmbrăcămintea rutieră, era alcătuit din piatră spartă mărunță sau din pavele sau lespezi. Grosimea stratului de îmbrăcăminte era cuprinsă între 20 ... 25 cm. Tipurile de structuri rutiere romane sunt prezentate în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1

Tipuri de structuri rutiere romane

Tip structură rutieră	Straturi de rezistență	Îmbrăcăminte rutieră
În două straturi	Piatră aglomerată cu var hidraulic	Piatră aglomerată cu var hidraulic
În patru straturi	Blocuri de piatră amestecată cu un mortar de argilă (20...50 cm) Piatră spartă mare (30...40 cm) Piatră spartă aglomerată cu var hidraulic (20...25 cm)	Piatră spartă mărunță (20...25 cm) Pavele sau lespezi (20...25 cm)

Până la mijlocul secolului XIII nu se înregistrează nicio noutate demnă de remarcat în domeniul structurilor rutiere. Drumurile erau pietruite cu balast sau piatră spartă, pavate cu bolovani sau piatră cioplită, iar străzile erau podite cu dulapi de lemn [26]. Odată cu creșterea traficului și a sarcinilor pe osie, ca urmare a accentuării schimburilor comerciale, după anul 1.750 procesul de degradare al drumurilor se face tot mai simțit în întreaga Europă. Însă, revoluționarea transporturilor rutiere, inclusiv a structurilor rutiere, e marcată de apariția automobilului la începutul secolului XX.

Pentru o corectă clasificare a structurilor rutiere este necesar să se cunoască în totalitate materialele utilizabile în straturile rutiere prin caracteristicile lor care intervin în cadrul metodelor de dimensionare adoptate, precum și modul de comportare al acestora în exploatare, care poate conduce, prin studii atente și, din păcate de durată, la concluzii interesante, menite de multe ori să influențeze etapele de calcul de dimensionare, tehnologiile de execuție, implementarea unor noi soluții etc.

În acest domeniu, pornind de la realitățile sectorului rutier din țara noastră din perioada anilor '80 (grosimi reduse de straturi bituminoase), s-a urmărit stabilirea unor principii clare, care să conducă la o definire și clasificare obiective și concise ale structurilor rutiere, pe baza studierii comportării în exploatare a acestora.

S-a ținut seama de faptul că segmentarea exagerată în clasificarea structurilor rutiere are repercusiuni însemnate asupra terminologiilor utilizate, dar mai ales asupra metodelor de dimensionare aplicate, care în mod practic trebuie să fie adaptate fiecărei categorii de structuri rutiere considerate. De asemenea, s-a avut în vedere că, urmare

a multiplelor lucrări de îmbunătățire a stării de viabilitate a drumurilor, a lucrărilor de modernizare, reabilitare sau ranforsare, precum și a apariției și aplicării de noi materiale și tehnologii (în special diversificarea și folosirea tot mai frecventă a straturilor din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici), s-a ajuns la o diversitate foarte mare de structuri rutiere, care nu mai puteau fi încadrate în categoriile de structuri rutiere recunoscute la acea dată.

Cercetările desfășurate au condus la necesitatea punerii în discuție a următoarelor propuneri vizând definirea și clasificarea structurilor rutiere:

- o nouă definiție a structurilor rutiere și a complexelor rutiere;
- o nouă clasificare a structurilor rutiere;
- luarea în considerare, în toate cazurile, la dimensionare, ranforsare, pentru stabilirea strategiei de întreținere etc., a complexelor rutiere și nu numai a structurilor rutiere.

Pentru atingerea acestor obiective s-a făcut apel la concepția generală de alcătuire și proiectare a construcțiilor, care se referă la dimensionarea unei structuri de rezistență, plasată pe o fundație adusă la anumiți parametri tehnici bine stabiliți, la solicitările sigure sau posibile de-a lungul duratei de exploatare prognozate.

În baza acestei concepții, s-a ajuns la concluzia înlocuirii termenului de sistem rutier cu structură rutieră, care de altfel se constituie în elementul de rezistență al unui drum.

Dezbaterile purtate pe plan național au condus la acceptarea noii concepții vizând definirea și clasificarea structurilor rutiere și a complexelor rutiere așa cum se va vedea în continuare.

Structura rutieră în baza concepției menționate anterior, în cadrul definiției acesteia, se construiește pe o fundație formată din:

- terasamente, în care se include, după caz, stratul de formă;
- terenul natural;

Ținând seama de modul de alcătuire și de comportare în exploatare, s-a ajuns la următoarea clasificare a structurilor rutiere:

- *structura rutieră suplă* este alcătuită dintr-un ansamblu de straturi realizate din materiale necoezive stabilizate mecanic sau/și cu lianți hidrocarbonați, îmbrăcămintea și stratul de bază fiind realizate din mixturi asfaltice, sau, în mod excepțional, din macadam bituminos sau din macadam (pietruire);
- *structura rutieră rigidă* este alcătuită dintr-un ansamblu de straturi stabilizate sau nu cu lianți, peste care se realizează o îmbrăcăminte din beton de ciment;
- *structura rutieră mixtă* este constituită din straturi din agregate naturale stabilizate mecanic și cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în care apar în timp fisuri din contracție, iar îmbrăcămintea și eventual stratul de bază sunt straturi bituminoase. Stratul rutier din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici poate fi strat de fundație sau/și strat de bază.

Straturile rutiere care alcătuiesc structurile rutiere au următoarele denumiri:

- îmbrăcămintea rutieră (strat de uzură și strat de legătură, pentru structurile rutiere suple și mixte (semirigide), respectiv strat de uzură și strat de rezistență pentru structurile rutiere rigide);
- stratul de bază (pentru structurile rutiere suple și mixte);
- stratul (sau straturile) de fundație, care s-ar putea denumi strat de rezistență (pentru structurile rutiere suple și mixte);

- stratul (sau straturile) de fundație, care s-ar putea denumi strat portant (pentru structurile rutiere rigide);
- stratul (sau straturile) de protecție.

Din alcătuirea structurilor rutiere poate să lipsească unul sau mai multe straturi, iar unele dintre straturi pot să îndeplinească unul sau mai multe roluri. Stratul de formă se definește ca fiind stratul superior al terasamentelor, amenajat pentru uniformizarea și sporirea capacității portante la nivelul patului drumului.

În timpul execuției și la scurt timp după execuție, stratul de formă îndeplinește următoarele roluri:

- asigurarea derulării traficului de șantier pentru aprovizionarea cu materialele necesare și executarea primului strat de fundație;
- realizarea unei uniformități corespunzătoare pentru a permite punerea în operă a stratului superior cu grosimile proiectate și cu respectarea condițiilor de scurgere a apelor subterane de la nivelul patului drumului;
- asigurarea unei capacități portante uniforme și suficient de ridicate pentru a permite compactarea în bune condiții a primului strat de fundație;
- asigurarea protecției patului drumului împotriva intemperiilor (ploaie, îngheț - dezgheț etc.) până în momentul executării structurii rutiere.

Pe toată durata de exploatare a structurii rutiere, stratul de formă are rolul de asigurare a unei capacități portante uniforme tot timpul anului, indiferent de condițiile climatice. Având în vedere modul de alcătuire, materialele și tehnologiile folosite, metodele de dimensionare și comportarea în exploatare a structurilor rutiere realizate în România, s-a obținut clasificarea acestora în forma prezentată în tabelul 2.2, cu mențiunea că referiri cu privire la grosimile straturilor se vor face în capitolele 2.2 și 2.3.

Tabelul 2.2

Tipuri de structuri rutiere utilizate în România

Tip structură rutieră	Strat de fundație (rezistență)	Strat de bază	Îmbrăcămintă
Suplă	Structuri rutiere suple vechi Balast stabilizat mecanic Macadam, macadam bituminos Blocaj din piatră brută sau bolovani de râu Pietruiri existente	Anrobate bituminoase	Straturi bituminoase Pietruire, macadam
Mixtă	Agregate naturale stabilizate cu ciment sau lianți puzzolanici Straturi din beton de ciment Macadam cimentat Structuri rutiere suple vechi Balast stabilizat mecanic Macadam, macadam bituminos Blocaj din piatră brută sau bolovani de râu Pietruiri existente	Anrobate bituminoase Agregate naturale stabilizate cu lianți	Straturi bituminoase
Rigidă	Strat drenant din beton poros Balast stabilizat mecanic Agregate naturale stabilizate cu lianți Pietruiri existente	-	Beton de ciment simplu Beton de ciment armat

În cadrul acestei concepții, împărțirea structurilor rutiere cu îmbrăcămînți bituminoase în suple și mixte (semirigide) este dictată de existența sau nu în alcătuirea structurii rutiere a cel puțin unui strat realizat din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Pe de altă parte, grosimea straturilor bituminoase considerată în cazul acestei abordări este relativ redusă, stratul din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici putând fi strat de fundație sau strat de bază.

Tendința formulată pe plan mondial privind alcătuirea structurilor rutiere suple și mixte are la bază conceptul realizării unor straturi de rezistență cu o capacitate portantă adecvată solicitărilor traficului de calcul, urmând ca îmbrăcămintea bituminoasă să fie constituită dintr-un covor asfaltic subțire, foarte subțire sau ultrasubțire. Acest principiu se bazează pe disocierea rolului straturilor în structura rutieră: straturile de rezistență primesc rolul structural, iar stratul de uzură rolul de asigurare a condițiilor de rulare (rol de interfață structură rutieră – vehicul). În acest sens, în tabelul 2.3 se prezintă câteva tipuri de structuri rutiere alcătuite pe baza acestui principiu, conform concepției de alcătuire și dimensionare a structurilor rutiere franceze [12].

Tabelul 2.3

Tipuri de structuri rutiere bazate pe disocierea rolului stratului în structura rutieră

Tip structură rutieră	Straturi de rezistență	Îmbrăcămintă rutieră
Suplă	Mixturi asfaltice pentru straturi de rezistență (max. 15 cm) Materiale granulare nestabilizate cu lianți (20...50 cm)	Covor asfaltic subțire (4...5 cm), foarte subțire (2...3 cm) sau ultrasubțire (1,0...1,5 cm)
Bituminoasă	Mixturi asfaltice pentru straturi de rezistență (15...40 cm)	Covor asfaltic subțire (4...5 cm), foarte subțire (2...3 cm) sau ultrasubțire (1,0...1,5 cm)
Semirigidă	Materiale granulare stabilizate cu lianți hidraulici (20...50 cm)	Îmbrăcămintă bituminoasă din mixturi asfaltice (6...14 cm)
Mixtă	Mixturi asfaltice pentru straturi de rezistență (10...20 cm) Materiale granulare stabilizate cu lianți hidraulici (20...40 cm)	Covor asfaltic subțire (4...5 cm), foarte subțire (2...3 cm) sau ultrasubțire (1,0...1,5 cm)
Inversă	Mixturi asfaltice pentru straturi de rezistență (10...20 cm) Materiale granulare nestabilizate cu lianți (cca 12 cm) Materiale granulare stabilizate cu lianți hidraulici (15...50 cm)	Covor asfaltic subțire (4...5 cm), foarte subțire (2...3 cm) sau ultrasubțire (1,0...1,5 cm)
Rigidă cu dale armate continuu	Mixturi asfaltice pentru straturi de rezistență (5 cm) Nisip stabilizat cu lianți hidraulici (50...60 cm)	Beton de ciment armat continuu (18...24 cm)

Se remarcă faptul că straturile rutiere inferioare, contrar concepției românești actuale, pot fi realizate din materiale pietroase stabilizate cu diferiți lianți, renunțându-se la conceptul că aceste straturi de fundație trebuie să asigure implicit și drenarea apelor de infiltrație spre exteriorul corpului drumului.

Celelalte roluri de protecție ale unui strat inferior de fundație (anticontaminator, anticapilar) nu mai sunt necesare în condiția unei corecte realizări a infrastructurii până la patul drumului, iar rolul antigel poate fi asigurat și de materialele compozite.

În acord cu această concepție, straturile de rezistență (de fundație și/sau de bază) pot fi realizate din materiale care se încadrează în una din grupele următoare:

- agregate naturale nestabilizate;
- mixturi asfaltice adaptate pentru realizarea straturilor de rezistență;
- agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici (ciment) sau puzzolanici (zgură granulată, cenuși de termocentrală etc.).

Referitor la mixturile asfaltice pentru straturile de rezistență se pot remarca următoarele tendințe, care diferă semnificativ de cele practicate în țara noastră pentru realizarea, de exemplu, a anrobateelor bituminoase:

- granulozitatea scheletului mineral este continuă, dar dimensiunea maximă a granulei din amestec este 20 mm (frecvent 14 sau 10 mm), spre deosebire de țara noastră unde dimensiunea maximă este de 25 mm;
- bitumul utilizat frecvent este de tip 20/30, pur, cu tendința creșterii ponderii utilizării de bitum tip 10/20 sau 15/25. Se poate utiliza bitum modificat sau bitum special. La noi în țară bitumul folosit este același ca și pentru îmbrăcăminte: D 80/10 în zone climatice reci și D 60/80 în zone climatice calde;
- grosimea de punere în operă este de 6...8 cm pentru o granulozitate 0-10, de 8...14 cm pentru o granulozitate 0-14 și de 10...16 cm pentru un schelet mineral 0-20. Pentru anrobateele bituminoase românești grosimea minimă a stratului realizat este de 5(6) cm, fără a se preciza și o dimensiune maximă de punere în operă;
- dozajul de liant (raportat la masa scheletului mineral) este 4,0...5,5 %, în timp ce la anrobateele bituminoase românești se utilizează un dozaj de 3,3...5,4 % (raportat la masa mixturii asfaltice), echivalent cu 3,4...5,7 % raportat la masa scheletului mineral.

Pentru astfel de mixturi asfaltice se obțin moduli de rigiditate de 9 000...14 000 MPa, în timp ce pentru anrobateele bituminoase românești se mizează la dimensionare pe un modul de elasticitate dinamic de 5 000...5 600 MPa. Straturile rutiere respective se caracterizează prin rigiditate și rezistență la oboseală ridicată, capabile să joace rolul de rezistență în cadrul structurii rutiere.

În noile condiții, îmbrăcămintea bituminoasă se poate reduce la un singur covor asfaltic cu grosimea de 1...5 cm (excepție făcând structurile rutiere mixte la care grosimea straturilor bituminoase poate ajunge la 14 cm), care urmează să îndeplinească aproape exclusiv exigențele impuse de un contact pneu - îmbrăcăminte corespunzător, și anume: rugozitate și implicit aderență foarte bună, capacitate de drenare rapidă spre exteriorul părții carosabile a apelor din precipitații, uniformitate corespunzătoare și reducerea zgomotului de rulare.

Straturile bituminoase subțiri se realizează din betoane asfaltice pentru straturi subțiri sau din betoane asfaltice drenante.

- Betoanele asfaltice pentru straturi subțiri se caracterizează în principal prin:
- granulozitatea scheletului mineral 0-10 sau 0-14, discontinuă 2-6;

- dozajul de bitum pur (rar modificat sau special) tip 40/50 sau 60/70 de 5,4...5,8 % (raportat la masa scheletului mineral);
- grosimea stratului 3,0...4,0 cm pentru granulozitatea 0-10 și 3,5...4,0 cm pentru granulozitatea 0-14.

Betoanele asfaltice drenante se caracterizează prin:

- granulozitate 0-10, discontinuă 2-6, sau 0-6, discontinuă 2-4;
- bitum puternic modificat cu polimeri în dozaj de 4,4...4,8 % din agregatul natural;
- grosime de 3...4 cm pentru granulozitatea 0-6, respectiv 4...5 cm pentru granulozitatea 0-10. Volumul de goluri remanent este de 20...30 %.

Straturile bituminoase foarte subțiri se realizează din betoane asfaltice adaptate acestei necesități, materiale care se caracterizează în mod deosebit prin:

- granulozitatea scheletului 0-6 sau 0-10 (foarte rar 0-14), cu discontinuități bine determinate. Dozajul de nisip 0-2 este de 20...30 %;
- bitum modificat cu polimeri sau bitum cu fibre (modul de conținut 3,5);
- grosimea stratului de 2...3 cm și volum de goluri remanent de 12...25 %.

Straturile bituminoase ultrasubțiri se realizează din betoane asfaltice caracterizate prin:

- granulozitatea scheletului 0-6 (discontinuu 2-4) sau 0-10 (discontinuu 2-6), cu un dozaj de nisip 0-2 este de 20...25 %;
- bitum modificat cu polimeri în proporție de 5,2...5,5 % din masa agregatului total;
- grosimea stratului de 1,5...2,0 cm.

La noi în țară soluțiile aproape unanime de proiectare a îmbrăcăminților bituminoase noi prevăd realizarea a două straturi din betoane asfaltice cu grosimea de minimum 4,0 cm (fără a se preciza și grosimea maximă în care se pot realiza acestea), cu agregate naturale cu granulozitate continuă, cu dimensiunea maximă a granulei de 16 (sau 25) mm, cu bitum pur D 80/100 (zone climatice reci) și D 60/80 (zone climatice calde), cu dozaje de liant în general mai ridicate decât cele menționate anterior.

Se constată pentru țara noastră o rămânere în urmă evidentă față de noile tendințe de pe plan mondial atât în conceperea alcătuirii structurilor rutiere suple și mixte (semirigide) noi, cât și în ceea ce privește tipurile de materiale și tehnologiile utilizate pentru realizarea straturilor rutiere.

Structurile rutiere rigide cu îmbrăcăminte din beton de ciment armate continuu constituie o soluție care se impune ca urmare a rentabilității ei deosebite. Această tehnologie se pretează pentru drumuri cu trafic foarte intens și pondere importantă a vehiculelor grele datorită lucrărilor de întreținere foarte reduse și a comportării foarte bune la preluarea solicitărilor traficului greu, fiind practic insensibile la deformații plastice. Durata de exploatare foarte mare (până la 40...50 ani) compensează costurile de investiție superioare, asigurând o eficiență evidentă a acestora.

### 2.1.2 Alcătuirea structurilor rutiere suple și mixte

Structurile rutiere suple, numite și nerigide, comportă o îmbrăcăminte bituminoasă pe straturi de bază și de fundație alcătuite în general din agregate naturale. Structurile rutiere mixte, numite și semirigide, 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 suple și mixte, conform STAS 6400, sunt date în tabelul 2.4.

Tabelul 2.4

Alcătuirea structurilor rutiere suple și mixte (semirigide)

CLASE DE TRAFIC	FOARTE UȘOR		UȘOR		MEDIU		GREU		FOARTE GREU		
	NR. TOTAL DE VEHIULE/ZI NR. DE VEHIULE >50ZI NR. ECHIVALENT DE VEHIULE DE CALCUL AI30,10ZI	<200 <60 <50	200-500 60-150 50-150	400 450 500	500-3000 150-800 150-700	3000-7500 800-3000 700-2500	7500 >3000 >2500	7500 >3000 >2500	7500 >3000 >2500	7500 >3000 >2500	
MODULUL DE DEFORMAȚIE ECHIVALENTA NECESAR (daN/cm <sup>2</sup> )	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
ÎN REGIUNI CU BALAST											
BETON /ASFALTIC COVOR BITUMINOS (MORTAR ASFALTIC SĂRAC ÎN CRIEBLURA BINDER MIXTURĂ BITUMINOASĂ BALAST SAU NISIP (AMESTEC OPTIMAL) BALAST (E <sub>p</sub> =600daN/cm <sup>2</sup> ) BALAST NISIPOS (E <sub>p</sub> =450-500 daN/cm <sup>2</sup> ) MACADAM CIMENT (MERCAMINTE) MACADAM (STRAT DE BAZĂ) PIAȚĂ SPARTĂ (AMESTEC OPTIMAL) PIAȚĂ SPARTĂ	STRUCTURĂ TIP 1		STRUCTURĂ TIP 2		STRUCTURĂ TIP 3		STRUCTURĂ TIP 4		STRUCTURĂ TIP 5		
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	
	7 10 10 27	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35,5	2,5 9 10 18 20 35,5	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35
ÎN REGIUNI CU PIAȚĂ SPARTĂ											
a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
7 10 10 27	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35,5	2,5 9 10 18 20 35,5	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35	2,5 9 10 18 20 35

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 structurile rutiere suplă;
- agregate naturale de balastieră, care au o pondere importantă în structurile rutiere mixte (tabelul 2.4).

Alcătuirea structurii rutiere se stabilește luând în considerare următoarele:

- grosimi 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-dezgeț, conform STAS 1709/2;
- asigurarea unei protecții suficiente față de manifestarea procesului de fisurare reflectivă.

Tabelul 2.5

Grosimi minime ale straturilor structurilor rutiere suplă

Straturi de fundație		Strat de bază		Îmbrăcăminte bituminoasă					Grosimi minime, cm
Mod de alcătuire	Grosimi minime cm	Mod de alcătuire	Grosimi minime cm	Clasa tehnică					
				I	II	III	IV	V	
Balast	15	Macadam	8	-	-	-	da	da	4 la covor
		Mixtură asfaltică	5	-	-	-	da	da	
Un strat inferior din balast sau din pământ stabilizat mecanic și un strat superior din balast amestec optimal	10 pentru stratul inferior	-	-	-	-	-	da	da	
	10 pentru stratul superior	Macadam	8	-	-	-	da	da	
Un strat inferior din balast și un strat superior din piatră spartă mare, sort 63-90 sau piatră spartă, amestec optimal	10 pentru stratul inferior	-	-	-	-	-	da	da	
		Macadam	8	-	-	-	da	da	
	12 pentru stratul superior	Macadam semipenetrat sau penetrat cu bitum	8	-	da	da	da	-	
		Mixtură asfaltică	5	da	da	da	da	-	
Un strat inferior din balast, un strat mijlociu din blocaj de piatră brută și un strat de egalizare din piatră spartă	10 pentru stratul inferior	-	-	-	-	da	-	-	
	21 pentru stratul mijlociu (inclusiv nisip)	Macadam	8	-	da	da	-	-	
	6 pentru stratul de egalizare	Mixtură asfaltică	5	-	da	da	-	-	

În ceea ce privește alcătuirea structurilor rutiere suple și mixte pentru străzi, variantele de alcătuire a acestora sunt prezentate în tabelul 2.7 [102].

Variantele de alcătuire a structurilor rutiere sunt în funcție de clasa tehnică a drumului, respectiv de categoria străzii. Clasificarea tehnică a drumurilor se face în funcție de intensitatea traficului rutier actual și de perspectivă. Încadrarea drumurilor în clase tehnice, respectiv a străzilor în categorii, se face de unitățile administrative ale acestora.

Tabelul 2.6

Grosimi minime ale straturilor structurilor rutiere mixte (semirigide)

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

Notă: \* cu riscul manifestării fisurării reflexive

La stabilirea numărului de straturi rutiere și a grosimilor acestora este necesar să fie luate în considerare și următoarele aspecte:

- problemele tehnologice de realizare a unor straturi rutiere cu grosimi minime sau maxime, legate de compactitatea materialelor sau de planeitatea suprafețelor de rulare;
- încetinirea procesului de transmitere a fisurilor de contracție termică spre suprafață, ale straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici (structuri rutiere mixte);
- necesitatea micșorării numărului de straturi rutiere, în scopul reducerii riscurilor de deficiențe ale aderenței și conlucrării dintre straturi.

Alegerea tipului de structură rutieră și a compoziției acesteia face parte integrantă din studiul optimizării strategiei de investiție și de întreținere a drumului. Complexitatea acestei etape este evidentă, iar în acest sens în continuare se precizează câteva aspecte tehnice și economice care ar putea facilita luarea unor decizii.

Este foarte important de observat faptul că, structurile rutiere suple și mixte, dacă ar fi supuse aceleiași intensități de trafic pe perioada de perspectivă, nu pot fi echivalente din punct de vedere al evoluției stării lor tehnice în timp, deoarece sunt alcătuite din materiale cu caracteristici mecanice sensibil diferite.



repede sub solicitările din trafic, ceea ce face ca acest tip de structură să fie recomandat pentru drumurile de clase tehnice III...V. Imposibilitatea asigurării caracteristicilor funcționale, corespunzătoare unui trafic în condiții de siguranță și confort pe întreaga durată de perspectivă, determină necesitatea unor lucrări de întreținere intense, explicate și prin faptul că investiția inițială este relativ redusă comparativ cu celelalte tipuri de structuri rutiere.

Comportarea în exploatare a structurilor rutiere mixte (semirigide) depinde în mare măsură de grosimea totală a straturilor bituminoase. În cazul acestor structuri rutiere starea tehnică evoluează relativ lent, de aceea ele sunt recomandate la drumurile de clase tehnice I...III. Caracteristicile acestor tipuri de structuri rutiere sunt investițiile inițiale relativ ridicate, urmate însă de lucrări de întreținere reduse, de tip preventiv.

Nu este de neglijat aspectul transportului de materiale, care, având în vedere cantitățile mari de materiale care trebuie transportate, poate influența decisiv costul final al investiției. În acest sens se recomandă ca la alegerea tipului de structură rutieră să se țină seama de materialele de construcție disponibile situate la distanțe cât mai reduse de obiectiv. Împărțirea structurilor rutiere cu îmbrăcămînți bituminoase în suple și mixte este dictată de existența sau nu în alcătuirea structurii rutiere a cel puțin unui strat realizat din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

Straturile rutiere obținute prin stabilizarea agregatelor naturale cu ciment sau cu lianți puzzolanici, dacă lucrează ca elemente monolit, posedă o rigiditate ridicată care sporește continuu până la o anumită vârstă și trebuie dimensionate la oboseală.

În cazul unor astfel de straturi rutiere se manifestă contracții primare, care cuprind contracția dinaintea întăririi și contracția hidraulică. Acestea sunt responsabile de primele contracții lente ale materialului după punerea sa în operă și se produc chiar dacă materialul este puțin rezistent. Pe lângă contracțiile primare la straturile rutiere din materiale stabilizate se întâlnesc contracții termice, care sunt asociate fie variațiilor de temperatură zilnice (20...30 °C), fie celor anuale (50...60 °C). Contracția materialelor stabilizate crește în timp, iar capacitatea lor de deformare (fără fisurare) scade o dată cu vârsta și numărul de solicitări suportate.

Sub efectul contracțiilor, straturile rutiere de acest tip fisurează, fisurile transversale echidistante care apar având în permanență tendința de propagare prin straturile bituminoase superioare, sub efectul traficului și al variațiilor de temperatură.

Dacă straturile rutiere din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici nu funcționează ca un element monolit, ci ca un element microfisurat, nu se dimensionează la oboseală, iar comportarea lor în exploatare este intermediară între straturile monolit și cele obținute din agregate naturale stabilizate mecanic.

În altă ordine de idei, apariția straturilor rutiere din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici a determinat necesitatea luării în considerare a unor noi criterii de dimensionare și, implicit, apariția unei noi categorii de structuri rutiere, și anume a structurilor rutiere mixte (semirigide). Apariția acestor noi structuri rutiere trebuie privită ca o consecință a următoarelor realități:

- costurile scăzute ale materialelor locale, subproduselor de carieră sau industriale, care se pot găsi în cantități suficiente în zona de amplasament a drumului și care, prin stabilizare cu ciment sau cu lianți puzzolanici, pot depăși deficiențele inițiale de calitate pentru a fi folosite în straturi rutiere;
- aspectul ecologic pe care îl ridică depozitele nevalorificate de astfel de materiale;
- realizarea unor importante economii de materiale prin construcția unor straturi rutiere mai subțiri, dar cu o capacitate portantă ridicată;

- economisirea lianților tradiționali (mai scumpi) prin înlocuirea lor, totală sau parțială, cu lianți puzzolanici.

În cadrul structurilor rutiere mixte, se presupune că straturile rutiere din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici sunt straturi monolit.

Referitor la *structurile rutiere suple* sunt interesante câteva din concluziile materializate în urma observațiilor efectuate asupra unor astfel de structuri rutiere (experiența franceză) [50] și anume:

- în peste 40 % din cazuri grosimea totală a straturilor rutiere este de 40...60 cm;
- suprafața îmbrăcăminții rutiere prezintă deformații permanente (65 % din cazuri) și este fisurată (60 % din cazuri), cu toate că în peste 50 % din cazuri, ultimul strat bituminos nu este mai vechi de 3...5 ani;
- deflexiunea medie pe aceste structuri rutiere este de circa 0,70 mm și nu depășește 1,00 mm decât în cca. 20 % din cazuri.

Pentru modelarea structurii rutiere se poate folosi un model tristrat (teren de fundare, strat din agregate naturale și îmbrăcămințe bituminoasă), iar dacă îmbrăcămintea este foarte subțire, se poate recurge chiar la un model bistrat (figura 2.1.). Modulul  $E_2$  al stratului din agregate naturale este determinat funcție de modulul terenului de fundare  $E_3$ , deoarece acest strat rutier nu poate suporta eforturi unitare de tracțiune și nu are un modul propriu.

$$E_2 = k \times E_3 \text{ [daN/cm}^2\text{]} \quad (2.1)$$

în care coeficientul  $k = 2...4$

Calculul de dimensionare constă în compararea deformației relative  $\varepsilon_z$  a terenului de fundare cu cea calculată funcție de trafic  $\varepsilon_{zN}$ .

$$\varepsilon_{zN} = 21\,000 \times 10^{-6} \times N^{-0.24} \text{ [microdeformații]} \quad (2.2)$$

în care:

$N$  este numărul de cicluri care solicită structura rutieră;

$\varepsilon_{zN}$  - valoarea admisibilă a deformației relative pe terenul de fundare.

În figura 2.1. se prezintă variația deformației relative  $\varepsilon_z$  a terenului de fundare funcție de valoarea coeficientului  $k$  și a grosimii stratului din agregate naturale  $h$ , pentru două tipuri de teren de fundare diferențiate prin valorile modulului de deformație  $E_3$  și pentru o solicitare corespunzătoare unei roți duble de 65 kN (sarcina pe osie 115 kN).

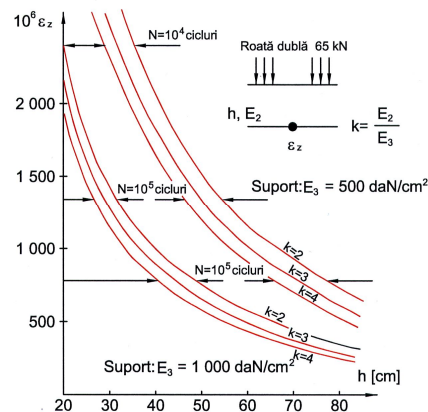


Fig. 2.1. Variația lui  $\varepsilon_z$  funcție de coeficientul  $k$  și grosimea stratului din agregate naturale ( $h$ )

În figura 2.2. se prezintă variația grosimii stratului din agregate naturale funcție de numărul de cicluri. Se constată influența foarte importantă pe care o are

terenul de fundare asupra grosimii stratului rutier din agregate naturale și se poate reține că în condițiile în care terenul de fundare este de o bună calitate ( $E_3 = 1000 \text{ daN/cm}^2$ ), o structură rutieră care are straturi din agregate naturale cu grosimi semnificative poate suporta un trafic foarte important.

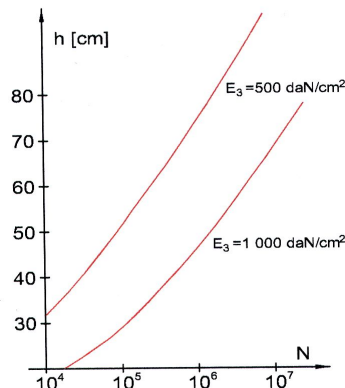


Fig. 2.2. Variația grosimii stratului din agregate naturale ( $h$ ) funcție de numărul de cicluri  $N$

În cazul unei modelări tristrat, criteriul deformației relative  $\varepsilon_z$  la nivelul patului drumului nu mai este suficient pentru reprezentarea modului de lucru al structurii rutiere sub solicitările din trafic. Pentru a lua în considerare comportarea sub încărcări a îmbrăcăminții, este necesar să se verifice în plus și deformația relativă  $\varepsilon_T$  la baza stratului bituminos, valoare care este influențată de mărimea traficului. Astfel, pentru o îmbrăcămințe bituminoasă cu modulul  $E_1 = 50000 \text{ daN/cm}^2$ , deformația relativă limită pentru  $10^6$  cicluri de încărcare (osii de 130 kN) este  $\varepsilon_T = 160 \cdot 10^{-6}$ .

În aceste condiții, în figura 2.3. este prezentată variația lui  $\varepsilon_z$  funcție de grosimea stratului din agregate naturale  $h$ , pentru două tipuri de straturi suport ( $E_3 = 500 \text{ daN/cm}^2$  și  $E_3 = 1000 \text{ daN/cm}^2$ ), un coeficient  $k = 3$  și pentru două grosimi ale îmbrăcăminții bituminoase ( $e = 0$  și  $e = 6 \text{ cm}$ ). Rezultă că pentru diferite valori  $\varepsilon_z$ , influența celor 6,0 cm ai îmbrăcăminții bituminoase se traduce prin micșorarea grosimii stratului din agregate naturale cu 12...16 cm.

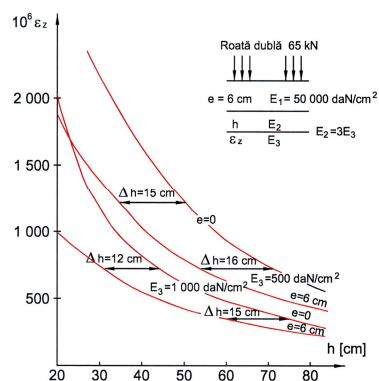


Fig. 2.3. Influența grosimii îmbrăcăminții bituminoase asupra valorilor  $\varepsilon_z$

Pe de altă parte, pentru aceleași condiții, în figura 2.4. este prezentată variația lui  $\varepsilon_T$  funcție de grosimea stratului din agregate naturale  $h$ . Rezultă că

deformația relativă  $\varepsilon_T$  de la baza îmbrăcăminții bituminoase este practic independentă de grosimea stratului din agregate naturale.

În cazul *structurilor rutiere mixte*, se pot distinge două cazuri:

- structuri rutiere mixte cu îmbrăcăminte bituminoasă subțire;
- structuri rutiere mixte cu straturi bituminoase a căror grosime este mare:

$$\frac{H_{MA}}{H_{SR}} \geq \frac{1}{3} \quad (2.3)$$

în care:

$H_{MA}$  este grosimea straturilor bituminoase;

$H_{SR}$  - grosimea totală a structurii rutiere.

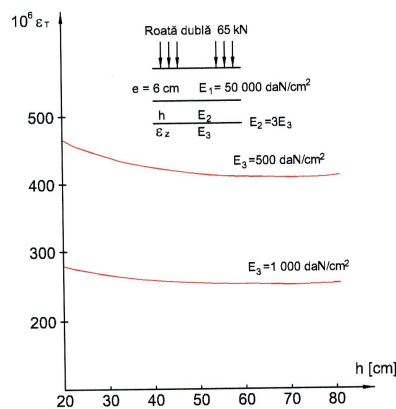


Fig. 2.4. Influența grosimii stratului din agregate naturale asupra valorilor  $\varepsilon_T$

În primul caz, atunci când relația 2.3 nu este îndeplinită, structura rutieră poate avea în alcătuire un strat sau două (strat de fundație și strat de bază) din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici. Având în vedere rigiditatea importantă a acestor straturi, efortul unitar  $\sigma_z$  pe terenul de fundare este redus, motiv pentru care criteriul de dimensionare folosit constă în verificarea eforturilor unitare de întindere din încovoiere  $\sigma$  sau a deformațiilor relative de întindere  $\varepsilon$  de la baza straturilor din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici. În baza acestui principiu, procedeul de dimensionare folosit este cel prezentat în figura 2.5.. Etapele care trebuie parcurse sunt, în principal, următoarele:

- determinarea cu ajutorul unui model de calcul a eforturilor unitare (deformațiilor relative) de întindere din încovoiere la baza stratului din agregate naturale stabilizate cu ciment. Pentru aceasta, modelarea structurii rutiere trebuie să fie realistă și trebuie considerată ipoteza lunecării sau nu a straturilor rutiere unele față de altele;
- efortul unitar (deformația relativă) calculat trebuie comparat cu valoarea limită, care, la rândul ei, depinde de natura materialului și de nivelul de trafic prognozat (legea de oboseală);
- dimensionarea trebuie să țină seama de dispersiile de calitate și de grosime ale materialelor pe șantier.

Dacă există două straturi din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici (strat de fundație și strat de bază), există pericolul unei slabe legături între ele. O desprindere completă a celor două straturi implică verificarea eforturilor unitare (deformațiilor relative) de întindere la baza fiecărui strat.

Pentru calcularea grosimii stratului bituminos se recomandă folosirea modelării tristrat. O modelare bistrat poate fi acceptată în următoarele situații:

- îmbrăcămintea bituminoasă este desprinsă de stratul stabilizat și se calculează starea de eforturi și de deformații în structură cu neglijarea îmbrăcăminții. Utilizarea acestui model nu permite calcularea deformațiilor la baza stratului bituminos;
- îmbrăcămintea bituminoasă este lipită de suportul său, dar în cadrul modelului bistrat se mărește grosimea stratului stabilizat cu grosimea corespunzătoare stratului bituminos, prin echivalare:

$$h = (h_2 + h_1) \times \sqrt{\frac{E_1}{E_2}} \quad [\text{cm}] \quad (2.4)$$

în care:

$h$  este grosimea stratului echivalent;

$h_1$  - grosimea straturilor bituminoase;

$h_2$  - grosimea straturilor din materiale stabilizate;

$E_1$  - modulul la baza straturilor bituminoase;

$E_2$  - modulul la baza straturilor din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici.

În al doilea caz, când grosimea straturilor bituminoase este mare, adică inegalitatea 2.3 este satisfăcută, structura rutieră mixtă poate lucra sub solicitările din trafic, cu sau fără conlucrarea dintre straturi.

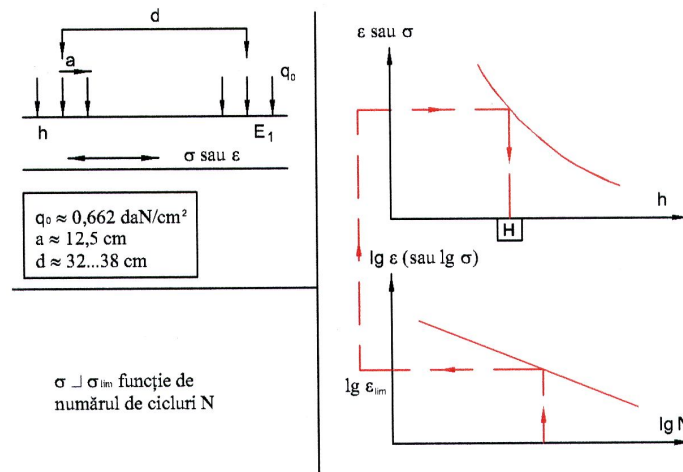
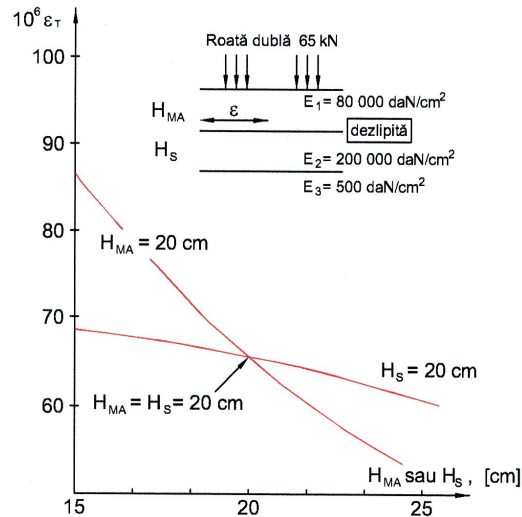
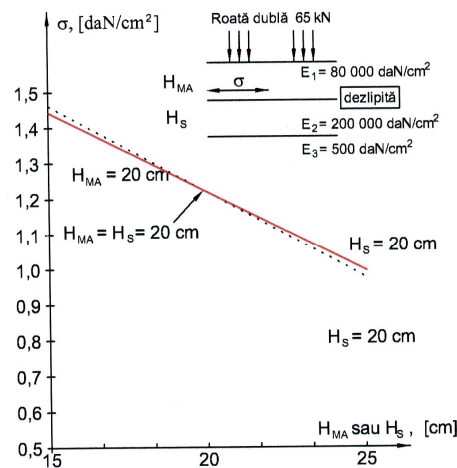


Fig. 2.5. Procedul de dimensionare a straturilor din agregate naturale stabilizate cu ciment

În figura 2.6. este reprezentată variația deformației relative  $\varepsilon_T$  funcție de grosimea totală a straturilor bituminoase ( $H_{MA} = 20$  cm), precum și funcție de grosimea totală a straturilor stabilizate ( $H_S = 20$  cm). Pentru aceleași două situații, în figura 2.7. este reprezentată variația efortului unitar de întindere  $\sigma$  de la baza straturilor stabilizate.

Se constată că deformația relativă de la baza straturilor bituminoase  $\varepsilon_T$  este mai sensibilă la o variație de grosime a straturilor stabilizate cu ciment decât la o variație a grosimii totale a straturilor bituminoase. Pe de altă parte, efortul unitar de întindere  $\sigma$  la baza straturilor stabilizate cu ciment este mai sensibil la o variație a grosimii straturilor bituminoase decât la o variație a grosimii stratului de fundație.



Fig. 2.6. Variația deformației relative  $\varepsilon_T$  în funcție de  $H_{MA}$  și  $H_S$ Fig. 2.7. Variația efortului unitar de întindere  $\sigma$  în funcție de  $H_{MA}$  și  $H_S$ 

Dimensionarea constă în verificarea valorilor deformației relative  $\varepsilon_T$  și efortului unitar  $\sigma$ , calculate cu valorile limită corespunzătoare, care țin seama și de intensitatea traficului prognozat și de coeficienții de siguranță. Coeficienții de siguranță care vor afecta valorile  $\varepsilon_T$  trebuie să fie mai mari decât cei folosiți pentru valorile  $\sigma$ , deoarece pentru această situație (straturi dezlipite), fisurile din stratul de fundație se vor transmite mai greu prin stratul de bază, iar în al doilea rând, orice pierdere de capacitate portantă a stratului de fundație se traduce prin creșterea deformațiilor relative  $\varepsilon_T$  de la baza straturilor bituminoase și la cedarea rapidă prin oboseală a acestora.

Structura rutieră în alcătuirea căreia cele două straturi rutiere sunt lipite are o capacitate portantă mai ridicată decât în cazul precedent. Această situație conduce la eforturi unitare de întindere la baza straturilor stabilizate cu ciment mai mici și la

o propagare a fisurilor din stratul de fundație prin straturile bituminoase mai accentuată decât în cazul precedent.

Este interesant de studiat care sunt solicitările suplimentare care apar în straturile bituminoase ca urmare a prezenței fisurilor în stratul de fundație, solicitări care provin din trafic și din variații de temperatură, precum și modul și durata de propagare a fisurilor prin straturile bituminoase superioare.

### 2.1.3 Alcătuirea structurilor rutiere rigide

În funcție de clasa tehnică a drumului, structurile rutiere rigide sunt alcătuite în două variante, prezentate și în figura 2.8.:

- îmbrăcăminte cu dale din beton de ciment realizată dintr-un singur strat sau două straturi, strat de fundație superior, strat de fundație inferior, eventual strat de formă; această variantă este obligatorie pentru drumurile de clasă tehnică I și II, iar pentru drumurile de clasă tehnică III ...V se stabilește pe bază de calcul tehnico-economic;
- îmbrăcăminte cu dale din beton de ciment realizată dintr-un strat sau două straturi, strat de fundație, eventual strat de formă; această variantă se folosește pentru drumurile de clasă tehnică III ... V.

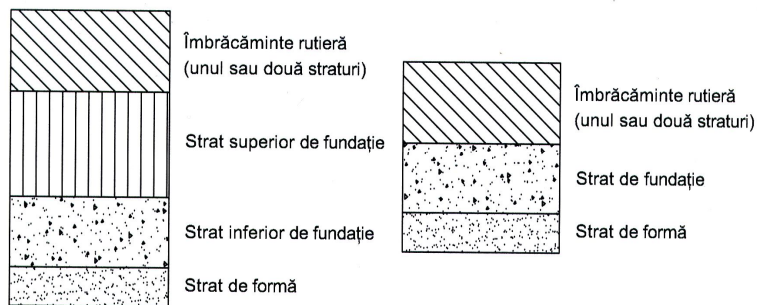


Fig. 2.8. Tipuri de structuri rutiere rigide

În ceea ce privește alcătuirea structurilor rutiere rigide pentru străzi, variantele de alcătuire a acestora sunt prezentate în tabelul 2.8 [102].

Grosimea minimă a îmbrăcăminte din beton de ciment este de 18 cm.

Structurile rutiere a căror îmbrăcăminte este formată din beton de ciment sau macadam cimentat se încadrează în categoria structurilor rutiere rigide. La noi în țară, în mod obișnuit, s-au realizat îmbrăcămiți rutiere rigide din dale din beton de ciment și macadam cimentat. În figura 2.9. se arată compoziția celor mai frecvente structuri rutiere rigide realizate în România.

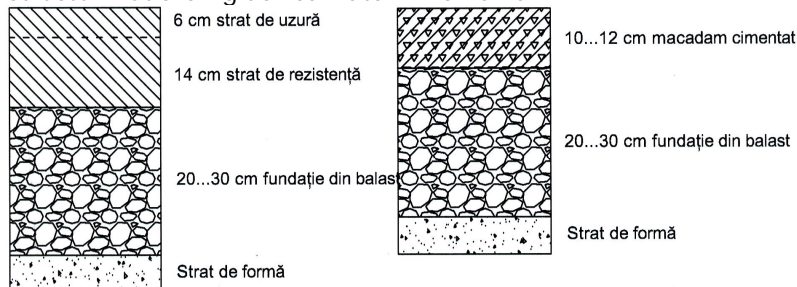


Fig. 2.9. Îmbrăcămiți rutiere rigide aplicate în România

De remarcat este faptul că, în cazul structurilor rutiere rigide, îmbrăcămintea constituie elementul principal și, în consecință, comportarea structurii rutiere în exploatare se confundă cu comportarea îmbrăcămintei. În general, îmbrăcămințile rutiere rigide se realizează, pe toată lățimea părții carosabile, sub forma unor dale din beton de ciment, cu o grosime de 18...25 cm, având rosturi longitudinale între benzile de circulație, precum și rosturi transversale de contracție și dilatație dispuse în plan ca în figura 2.10.

Dala din beton de ciment poate fi realizată dintr-un singur strat sau din două straturi, cel superior fiind denumit strat de uzură, iar cel inferior, strat de rezistență, așa cum s-a arătat și în figura 2.9.. Având în vedere faptul că în cazul dalelor din beton de ciment repartizarea solicitărilor se realizează pe o suprafață mult mai mare decât în cazul îmbrăcăminților rutiere executate din mixturi asfaltice, rezultă că și deformațiile sub solicitări în cazul acestora sunt mai reduse, ceea ce este foarte important din punct de vedere al comportării în exploatare, de aceea, în mod normal, îmbrăcămințile rutiere rigide au o durată de exploatare de 20...30 ani, mult mai mare decât cele bituminoase.

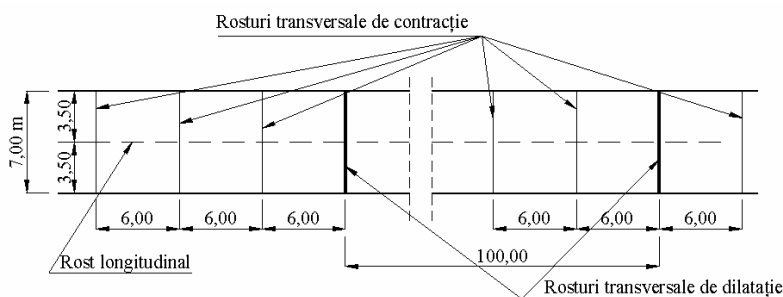


Fig. 2.10. Dispunerea în plan a rosturilor la îmbrăcămințile rutiere rigide




















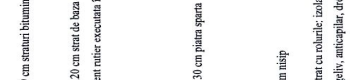


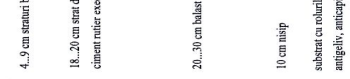

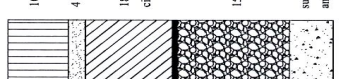




Proiectarea și execuția îmbrăcăminților rutiere rigide impune cunoașterea tuturor aspectelor complexe care se referă la dimensionarea și alcătuirea structurilor rutiere, stabilirea compoziției betoanelor, pregătirea terenului de fundare și realizarea straturilor rutiere inferioare, rezolvarea problemei rosturilor, a tehnologiilor de execuție, respectiv asigurarea controlului de calitate al lucrărilor.

Acceptarea soluțiilor tehnice cu privire la alegerea tipului de îmbrăcămintă se bazează pe rezultatele studiului tehnico-economic al efectelor tuturor acestor avantaje și dezavantaje pe care le prezintă îmbrăcămințile rutiere rigide față de cele nerigide. Ținând seama de realizările existente la noi în țară, orientarea administrațiilor de drumuri spre aplicarea în cazul modernizării drumurilor, inclusiv la construcția de autostrăzi, a îmbrăcăminților rigide poate fi pe deplin justificată, alegerea acestei soluții trebuind însă adoptată numai în urma unui calcul de rentabilitate bine fundamentat.

La nivel mondial se constată o extindere a utilizării materialelor granulare stabilizate cu lianți hidraulici la realizarea stratului suport al îmbrăcăminților din beton de ciment. Aceste straturi, asigură un suport uniform și stabil pentru îmbrăcămințile din beton de ciment, împiedicând tasarea inegală a dalelor și măbind durata de exploatare a lucrărilor. De asemenea, se remarcă rezultatele bune obținute în unele țări în domeniul îmbrăcăminților din beton de ciment armate continuu, armate dispers cu fibre de oțel sau a betoanelor precomprimate.

Tabelul 2.8

Alcătuirea structurilor rutiere rigide pentru străzi

	CU ÎMBRĂCĂMIȘI DIN BETON DE CIMENT		
			
			
			
			
	<b>CU STRATURI DE BAZĂ DIN BETON DE CIMENT</b>		
			
			
			

Calitatea betoanelor de ciment rutiere s-a îmbunătățit substanțial prin utilizarea antrenorilor de aer, care sporesc rezistențele la îngheț-dezgeț și la acțiunea fondanților chimici folosiți pentru combaterea poleiului precum și prin utilizarea superplastifianților, care scurtează durata de întărire a betonului, ajungându-se ca după 2...3 zile calea să poată fi dată în exploatare. Rugozitatea suprafeței de rulare s-a îmbunătățit prin folosirea strierii mecanizate longitudinală sau transversală, prin clutarea suprafeței betoanelor cu material pietros rezistent sau prin dezvelirea parțială a agregatelor din betonul de la suprafață.

Cu privire la avantajele economice ale structurilor rutiere rigide față de cele nerigide, se constată că pentru un trafic rutier foarte intens și pentru o durată de exploatare de 30 ani, cheltuielile totale de construcție, întreținere și exploatare pot ajunge, în anumite cazuri, net în favoarea structurilor rutiere rigide, alegerea acestora putând fi justificată, după caz, chiar și pentru drumuri cu trafic mijlociu.

#### **2.1.4 Considerații generale privind alcătuirea structurilor rutiere**

Principalele tipuri de straturi rutiere care pot alcătui o structură rutieră au fost menționate în subcapitolele 2.1.2, respectiv 2.1.3, fiecare dintre ele caracterizându-se prin anumite particularități care trebuie să le permită îndeplinirea rolurilor specifice.

Îmbrăcămintea rutieră este situată la partea superioară a structurii rutiere și poate fi alcătuită din unul sau două straturi care suportă direct acțiunea traficului rutier și a factorilor climaterici. Tipurile de îmbrăcăminți rutiere moderne sunt: îmbrăcăminți rutiere bituminoase, îmbrăcăminți rutiere din beton de ciment și îmbrăcăminți rutiere din piatră fasonată.

Îmbrăcămintea rutieră bituminoasă în două straturi este alcătuită din stratul de uzură și din stratul de legătură. Îmbrăcămintea rutieră din beton de ciment în două straturi are în alcătuire stratul de uzură și stratul de rezistență. În ambele cazuri, dacă îmbrăcămintea este executată într-un singur strat, acesta va avea caracteristicile stratului superior și se va numi strat de uzură. În general, îmbrăcămintea din beton de ciment se execută într-un singur strat.

*Stratul de uzură* este stratul superior al structurii rutiere menit să reziste acțiunilor tangențiale date de trafic acțiunilor factorilor climaterici. Stratul de uzură trebuie să aibă în plus o rugozitate corespunzătoare, să asigure o bună drenare a apelor din precipitații și să împiedice pătrunderea acestora în corpul drumului.

*Stratul de legătură* este stratul inferior al îmbrăcăminții bituminoase în două straturi, care face legătura dintre stratul de uzură și stratul de bază sau stratul superior de fundație al structurii rutiere. Principalele roluri ale stratului de legătură sunt de a prelua o parte din eforturile unitare tangențiale și de a repartiza pe suprafețe mai mari eforturile unitare verticale datorate traficului.

*Stratul de bază* este situat între îmbrăcămintea bituminoasă și stratul (straturile) de fundație. Acesta are rolul de a prelua încărcările date de trafic, în special eforturile unitare tangențiale și de întindere, și de a repartiza eforturile unitare verticale pe suprafețe mai mari, predându-le apoi stratului inferior în limita capacității portante a acestuia.

*Stratul (straturile) de fundație* este situat între stratul de bază sau îmbrăcămintea rutieră și terenul de fundare, având rol de rezistență, astfel acesta preia eforturile unitare verticale de la stratul rutier superior, le repartizează pe suprafețe mai mari și le transmite stratului imediat inferior sau terenului de fundare în limita capacității portante a acestora. În acest scop, straturile de fundație trebuie

să fie alcătuite astfel încât sarcinile statice sau dinamice din trafic să fie preluate în așa măsură încât terenul de fundare să nu fie solicitat peste limitele admisibile. Stratul (straturile) de fundație trebuie să aibă o rezistență stabilă și o grosime suficientă pentru a repartiza cât mai uniform eforturile unitare verticale pe terenul de fundare. Pe lângă rolul de rezistență, straturile de fundație mai pot avea următoarele roluri:

- rol drenant: asigură drenarea și evacuarea apelor infiltrate în structura rutieră, împiedicând stagnarea acestora la nivelul patului drumului; acest rol este esențial pentru menținerea constantă a capacității portante a structurii rutiere;
- rol anticapilar: rupe ascensiunea capilară a apelor subterane; acest rol este îndeplinit de straturi rutiere alcătuite din materiale granulare având o grosime mai mare decât înălțimea ascensiunii capilare a apelor subterane, amplasate pe terenul de fundare;
- rol antigel: împiedică pătrunderea înghețului până la nivelul pământului din patul drumului, recomandându-se, în acest caz, folosirea în straturile de fundație a unor materiale negelive, cu o conductibilitate termică redusă;
- rol anticontaminant (izolator): oprește pătrunderea argilei din terenul de fundare spre straturile rutiere superioare de rezistență ale structurii rutiere.

Dacă straturile de fundație nu pot realiza unul sau mai multe din rolurile menționate (drenant, anticapilar, antigel și anticontaminant), se impune realizarea între patul drumului și primul strat de fundație al unui strat de protecție.

*Straturile de protecție* sunt așezate pe pământul din patul drumului și pot avea rol drenant, anticapilar, antigel și anticontaminant, în funcție de condițiile locale și de necesități.

*Stratul drenant* se execută din balast în scopul colectării și evacuării apelor din precipitații care pătrund în straturile de fundație în timpul execuției sau ulterior, prin acostamente, fisuri, crăpături, rosturi etc. În acest scop, se vor lua măsuri în vederea evacuării apelor din acest strat rutier în afara corpului drumului. Grosimea stratului drenant este de min. 10 cm după compactare. Acest strat rutier se ia în considerare la calculul de dimensionare a structurilor rutiere și grosimea lui se include în grosimea totală a structurii rutiere pentru verificarea acesteia la acțiunea îngheț-dezghetului.

*Stratul anticapilar* se execută din balast cu o grosime de min. 15 cm după compactare și mai mare decât înălțimea capilară maximă. Și acest strat de protecție se ia în considerare în calculele de dimensionare și de verificare la îngheț-dezghet a structurii rutiere.

*Stratul anticontaminant (izolator)* se execută din nisip sau din geotextile, atunci când nu se realizează strat de formă sau atunci când straturile de fundație, respectiv celelalte straturi de protecție, nu îndeplinesc și acest rol. Grosimea stratului anticontaminant din nisip este de 7 cm după compactare și nu se ia în considerare la dimensionarea structurii rutiere și la verificarea acesteia la acțiunea îngheț-dezghetului. Stratul izolator din geotextile poate îndeplini și rol drenant, cu condiția executării sale până la taluzurile șanțurilor, caz în care cota sa va fi cu minim 15 cm mai ridicată decât cota fundului dispozitivului de scurgere a apelor de suprafață.

*Stratul antigel* se execută din zgură expandată, sau din zgură granulată de furnal, cu grosimea de min. 12 cm după compactare. Acest strat de protecție nu se ia în considerare la dimensionarea structurii rutiere, dar se include în grosimea

totală a structurii rutiere pentru efectuarea verificării acesteia la acțiunea îngheț-dezghețului.

*Patul drumului* este suprafața amenajată a terasamentelor pe care se așează structura rutieră.

Straturile structurii rutiere prezintă caracteristici fizico-mecanice și de portanță diferite, în funcție de materialele din care sunt realizate, tehnologia de execuție folosită și de rolul pe care îl îndeplinesc în alcătuirea ansamblului.

Referitor la modul de alcătuire și de execuție a straturilor rutiere, se rețin următoarele principii structurale [11]:

- principiul structural al compactării presupune că materialul din care este alcătuit stratul rutier are o granulozitate care să permită realizarea, printr-o compactare adecvată, unei densități maxime, obținându-se astfel o capacitate portantă cât mai ridicată;
- principiul structural al macadamului se referă la realizarea stratului rutier prin așternerea în reprize a unor sorturi monogranulare din piatră spartă de dimensiuni din ce în ce mai mici, fiecare repriză de așternere fiind urmată de o compactare corespunzătoare, până în momentul în care granulele sortului așternut nu mai pătrund în stratul format, ci se sfărâmă sub ruloarele compactorului;
- principiul structural al betonului se referă la realizarea stratului rutier din agregate naturale legate între ele cu un liant care prin întărire permite obținerea unui material cu rezistențe mecanice mari;
- principiul structural al pavajelor se referă la realizarea stratului rutier din materiale pietroase fasonate de diverse forme și dimensiuni așezate pe un strat suport corespunzător, astfel încât acestea să formeze un ansamblu uniform și stabil.

Grosimile straturilor rutiere se determină prin calcule care au la bază metode de dimensionare specifice fiecărei categorii de structură rutieră, ele neputând fi inferioare grosimilor constructive impuse prin norme tehnice.

## 2.2 Terasamente

Infrastructura drumurilor reprezintă totalitatea lucrărilor necesare a se executa, pentru învingerea obstacolelor pe care le ridică terenul natural, în vederea amenajării fâșiei necesare executării căii de transport și asigurării continuității acesteia. Infrastructura drumului cuprinde lucrările de terasamente și lucrările de artă.

Terasamentele susțin calea și asigură racordarea acesteia la terenul natural, preluând prin intermediul structurii rutiere eforturile ce apar din solicitările autovehiculelor. Totodată, ele trebuie să-și păstreze capacitatea portantă constantă, la variația în timp a condițiilor climaterice.

Construcția unui drum comportă executarea unui mare volum de terasamente, materialul predominant pentru execuția acestora fiind pământul. Rezistența, stabilitatea și durabilitatea terasamentelor în exploatare depind de calitatea pământurilor din care sunt realizate, de tehnologia aplicată și de întreținerea acestora.

Prin terasamente se înțelege totalitatea lucrărilor de săpături și umpluturi executate în general din pământuri, în formele și dimensiunile prevăzute în proiecte, necesare construcțiilor sau reconstrucțiilor de drumuri sau de căi ferate. Terenul pe

care se execută terasamentele este considerat teren de fundare, iar pământurile folosite pentru realizarea lor sunt denumite materiale pentru terasamente [57].

Terasamentele trebuie să fie durabile. Se spune despre un terasament că este durabil dacă în exploatare își păstrează forma, stabilitatea și portanța, cu lucrări minime de întreținere. În vederea asigurării durabilității terasamentelor se impun măsuri de protecție împotriva acțiunii apei, constând în colectarea și evacuarea apelor de suprafață, drenarea apelor subterane și a celor din corpul terasamentelor și protejarea taluzurilor și a dispozitivelor de colectare și evacuare a apelor.

Având în vedere rolul esențial al terasamentelor în asigurarea unei durate de exploatare îndelungate a drumurilor, se impune tratarea proiectării, execuției și întreținerii acestora cu deosebită atenție. Orice defecțiuni la nivelul terasamentelor provoacă degradări ale structurii rutiere, care de cele mai multe ori se remediază foarte greu și cu investiții majore.

### 2.2.1 Caracteristici fizico-mecanice ale pământurilor

Caracteristicile fizico-mecanice ale pământurilor din care este alcătuit terenul de fundare sau se realizează terasamentele au rol determinant în proiectarea și execuția căilor de comunicație terestre.

Studiul pământurilor este deosebit de important pentru soluționarea cât mai eficientă a problemelor ce se ridică la realizarea unei lucrări rutiere de calitate și având în vedere faptul că drumul este o construcție care se desfășoară pe zone întinse, în care caracteristicile pământurilor sunt foarte variate și expuse în permanență variațiilor de temperatură și de umiditate, cunoașterea caracteristicilor fizico-mecanice ale acestora este o necesitate absolută.

Pământurile sunt acumulări de particule solide minerale, produse prin degradarea fizică și alterarea chimică a rocilor, care pot conține sau nu materii organice.

Pământurile, în general, sunt compuse din trei faze:

- faza solidă, alcătuită din scheletul mineral;
- faza lichidă (apa), care umple total sau parțial golurile dintre particulele solide;
- faza gazoasă, formată în primul rând din aer, care umple golurile neocupate de faza lichidă.

Una din ultimele două faze poate să lipsească. Dacă lipsește faza lichidă, pământul este uscat, iar dacă toate golurile dintre granule sunt umplute cu apă, pământul este saturat. Funcție de proporția în care intră cele trei faze (solidă, lichidă și gazoasă) în compoziția unui pământ, de mărimea particulelor, de modul de asociere a elementelor componente, se diferențiază diversele tipuri de pământuri precum și caracteristicile fizico-mecanice ale acestora.

În cele ce urmează se face o prezentare sintetică a caracteristicilor fizico-mecanice ale pământurilor care intervin la proiectarea și execuția complexelor rutiere.

*Densitatea pământului*,  $\rho$ , reprezintă raportul dintre masa unei probe de pământ cu o anumită umiditate și volumul total al acesteia, în care este inclus volumul porilor golurilor:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [g/cm}^3\text{]} \quad (2.5)$$



*Densitatea scheletului mineral*,  $\rho_s$ , reprezintă raportul între masa particulelor solide dintr-o cantitate de pământ și volumul propriu al acestor particule (fără goluri).

*Greutatea volumică*,  $\gamma$ , este raportul între greutatea unei probe de pământ și volumul total al acestuia (inclusiv golurile).

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ [kN/m}^3\text{]} \quad (2.6)$$

$$\gamma = \frac{m \times g}{V} = \rho \times g \text{ [kN/m}^3\text{]} \quad (2.7)$$

În practică se operează cu greutatea volumică naturală,  $\gamma_{nat}$ , greutatea volumică în stare uscată,  $\gamma_d$ , greutatea volumică în stare saturată,  $\gamma_{sat}$ , greutatea volumică în stare sumersată,  $\gamma'$  și greutatea volumică a scheletului mineral,  $\gamma_s$ .

*Granulozitatea*, reprezintă repartitia procentuală a particulelor de pământ, după mărimea lor. Cunoscându-se curba de granulozitate, se poate aprecia cât de uniform sau neuniform este un pământ, cu ajutorul *coeficientului de neuniformitate* definit de relația 2.8.

$$U_n = \frac{d_{60}}{d_{10}} [-] \quad (2.8)$$

în care:

$d_{60}$  este diametrul ochiului ciurului sau latura ochiului sitei prin care trec 60% dintre granulele din masa probei analizate pentru verificarea granulozității, determinat de pe curba de granulozitate, în mm;

$d_{10}$  - diametrul ochiului ciurului sau latura ochiului sitei prin care trec 10% dintre granulele din masa probei analizate pentru verificarea granulozității, determinat de pe curba de granulozitate, în mm.

*Porozitatea*,  $n$ , este definită ca raportul dintre volumul porilor  $V_p$  și volumul total al materialului analizat  $V$ .

$$n = \frac{V_p}{V} \times 100 \text{ [%]} \quad (2.9)$$

*Indicele porilor*,  $e$ , este raportul între volumul porilor dintr-o cantitate de pământ  $V_p$  și volumul particulelor solide  $V_s$  din acea cantitate de pământ.

$$e = \frac{V_p}{V_s} [-] \quad (2.10)$$

*Gradul de îndesare*,  $I_D$ , este un indice de structură al pământurilor necoezive și este definit de relația:

$$I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} [-] \quad (2.11)$$

în care:

$e$  este indicele porilor corespunzător stării naturale de îndesare;

$e_{max}$  - indicele porilor corespunzător stării de afânare maximă;

$e_{min}$  - indicele porilor corespunzător stării de îndesare maximă.

*Capacitatea de îndesare*,  $C_i$ , este proprietatea pământurilor nisipoase de a-și micșora volumul porilor prin rearanjarea particulelor solide.

$$C_i = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\min}} [-] \quad (2.12)$$

*Umiditatea*,  $w$ , este raportul între masa apei,  $m_w$ , conținută în porii unei cantități de pământ și masa particulelor solide,  $m_s$ , din acea cantitate.

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100 [\%] \quad (2.13)$$

*Permeabilitatea*, este proprietatea unor pământuri de a permite circulația apei libere prin golurile particulelor solide, sub acțiunea câmpului gravitațional.

După legea lui Darcy, viteza de filtrare a apei prin pământ se poate exprima prin relația 2.14.

$$v = k \times i [\text{m/s}] \quad (2.14)$$

în care:

$k$  este coeficientul de permeabilitate;

$i$  - gradientul hidraulic.

*Plasticitatea*, este proprietatea pământurilor coezive de a se deforma ireversibil sub acțiunea forțelor exterioare, fără variația volumului și fără apariția unor discontinuități în masa lor.

*Indicele de plasticitate*,  $I_p$ , delimitează domeniul de comportare plastică a pământurilor și se calculează cu relația 2.15.

$$I_p = w_L - w_p [\%] \quad (2.15)$$

în care:

$w_L$  este limita superioară de plasticitate;

$w_p$  - limita inferioară de plasticitate.

*Indicele de consistență*,  $I_c$ , exprimă starea relativă de consistență a pământurilor coezive față de cele două limite de plasticitate,  $w_L$  și  $w_p$ , și se determină cu relația 2.16.

$$I_c = \frac{w_L - w}{w_L - w_p} = \frac{w_L - w}{I_p} [-] \quad (2.16)$$

în care:

$w$  este umiditatea naturală a pământului;

$w_L$  și  $w_p$  - semnificațiile din relația 2.15.

*Compresibilitatea*, este proprietatea unui pământ de a se deforma sub acțiunea unor încărcări de compresiune.

În condiții de laborator studiul compresibilității pământurilor și determinarea cantitativă a unor indici de compresibilitate se face cu aparatul numit edometru.

O caracteristică principală a încercării de compresibilitate, efectuată în edometru, constă în faptul că deformarea laterală a probei de pământ este complet împiedicată, astfel că proba suferă numai deformații verticale.

Încărcarea probei se face în trepte, fiecare treaptă de încărcare menținându-se până la încheierea procesului de consolidare, adică până când deformația prin comprimare se stabilizează.

Pe baza rezultatelor încercării de compresibilitate în edometru se pot trasa două diagrame caracteristice pentru pământul analizat: curba de compresiune-tasare și curba de compresiune-porozitate.

Curba de compresiune-tasare constă în reprezentarea grafică a dependenței dintre tasarea specifică și presiunea exercitată asupra unei probe de pământ supuse încercării de compresibilitate în edometru (figura 2.11.).

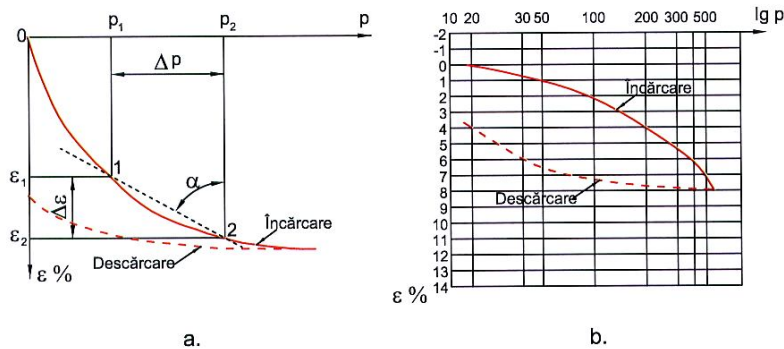


Fig. 2.11. Curba de compresiune-tasare  
(a - reprezentare normală, b - reprezentare semilogaritmică)

Tasarea specifică, corespunzătoare unei trepte de încărcare  $p_i$ , este definită prin raportul dintre deformația verticală  $\Delta h_i$ , stabilizată sub acțiunea încărcării  $p_i$ , și înălțimea inițială a probei,  $h_0$ , exprimându-se în procente.

$$\varepsilon = \frac{\Delta h_i}{h_0} \times 100 [\%] \quad (2.17)$$

Se poate defini *modulul de deformație edometric*  $M$ , considerând pe curba de compresiune-tasare un interval determinat de presiunile  $p_1$  și  $p_2$  (fig. 2.11), cărora le corespund tasările specifice  $\varepsilon_1$  și  $\varepsilon_2$  cu relația:

$$M = \operatorname{tg} a = \frac{p_2 - p_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \times 100 [\%] \quad (2.18)$$

La trasarea curbei de compresiune-tasare se poate folosi și scara logaritmică pentru reprezentarea pe abscisă a valorilor presiunii (fig. 2.11.b).

Din curba de compresiune-tasare se poate determina și tasarea specifică, pentru orice valoare a presiunii, însă pentru comparația pământurilor în funcție de compresibilitate se folosește tasarea specifică corespunzătoare presiunii de 200 kPa ( $\varepsilon_{p2}$ ). În funcție de această valoare pământurile se pot grupa în:

- pământuri puțin compresibile:  $\varepsilon_{p2} < 2 \%$ ;
- pământuri compresibile:  $\varepsilon_{p2} = (2 \dots 6) \%$
- pământuri foarte compresibile:  $\varepsilon_{p2} > 6 \%$ .

Curba de compresiune-porozitate constă în reprezentarea grafică a dependenței dintre indicele porilor și presiunea aplicată asupra probei încercate în edometru (figura 2.12.).

Din curba de compresiune-porozitate se determină:

- coeficientul de compresibilitate  $a_v$ , definit ca raport între variația indicelui porilor  $\Delta e$  și variația corespunzătoare a presiunii  $\Delta p$  (figura 2.12.):

$$a_v = \operatorname{tg} \beta = \frac{e_2 - e_1}{p_2 - p_1} = \frac{\Delta e}{\Delta p} [-] \quad (2.19)$$

- coeficientul de compresibilitate volumetrică  $m_v$ , care se calculează cu relația:

$$m_v = a_v \times \frac{1}{1 + e_0} [\text{kPa}^{-1}] \quad (2.20)$$

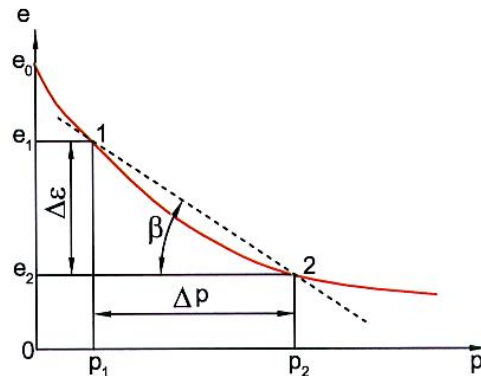


Fig. 2.12. Curba de compresiune-porozitate

Între modulul de deformație edometric și coeficientul de compresibilitate  $a_v$ , există următoarea relație de echilibru:

$$M = a_v \times (1 + e_1) \text{ [kPa]} \text{ sau } a_v = \frac{1}{M} \times (1 + e_1) \text{ [kPa}^{-1}] \quad (2.21)$$

în care  $e_1$  reprezintă indicele porilor corespunzător presiunii geologice de la adâncimea de prelevare a probei din stratul natural.

După cum s-a văzut, în condiții de laborator se pot determina unele caracteristici de compresibilitate ( $M$ ,  $a_v$ ,  $m_v$ ) ale pământurilor prin încercări edometrice. Faptul că la încercările efectuate în edometru deformarea laterală este complet împiedecată, aceasta nu realizează întocmai condițiile de deformare a straturilor de pământ din natură. De asemenea, rezultatele obținute sunt influențate și de o oarecare deranjare a structurii probelor atât la prelevare cât și la pregătirea lor pentru încercare. De aceea, se consideră că deformabilitatea (compresibilitatea) pământurilor este mai bine caracterizată prin *modulul de deformație liniară*  $E$ , care se determină în condiții de teren prin încercări cu placa, efectuate în sondaje deschise sau foraje.

Încercarea constă în aplicarea unor încărcări în trepte, pe o placă rigidă, așezată pe stratul de pământ și măsurarea tasărilor corespunzătoare ale plăcii până la stabilizarea acestora sub fiecare treaptă de încărcare. Pentru fiecare treaptă de încărcare  $p_i$  se măsoară deplasarea verticală a plăcii (tasarea)  $s_i$ , la diferite intervale de timp  $t$ , până la stabilizare. Cu datele obținute se reprezintă grafic diagramele:  $p_i - s_i$ ,  $p_i - t_i$ , și  $s_i - t_i$  (figura 2.13.).

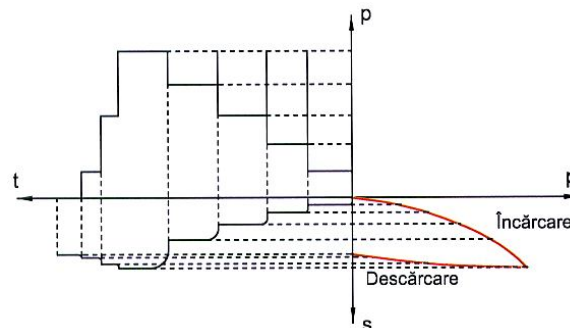


Fig. 2.13. Reprezentarea grafică a rezultatelor încercării cu placa

Pe baza diagramei de variație a tasării stabilizate  $s_i$ , în funcție de presiunea netă  $p_i$ , aplicată prin intermediul plăcii asupra pământului, se determină presiunea limită  $p_l$ , până la care se poate considera că există o dependență aproximativ liniară între tasare și presiune. În general sunt posibile două situații:

- pe diagrama  $p_i - s_i$  se distinge clar o porțiune aproximativ rectilinie (figura 2.14.), care este limitată superior de valoarea presiunii limite de proporționalitate  $p_l$ ;
- diagrama  $p_i - s_i$  are pronunțat caracter curbiliniu chiar de la primele trepte de încărcare (figura 2.15.), în acest caz, drept presiune limită de proporționalitate se ia presiunea  $p_i$ , corespunzătoare treptei de încărcare pentru care este îndeplinită condiția:

$$(s_{i+1} - s_i) \geq 1,5 \times (s_i - s_{i-1}) \quad (2.22)$$

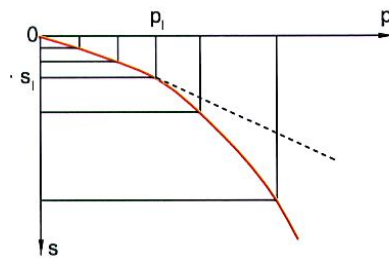


Fig. 2.14. Determinarea directă a presiunii  $p_l$

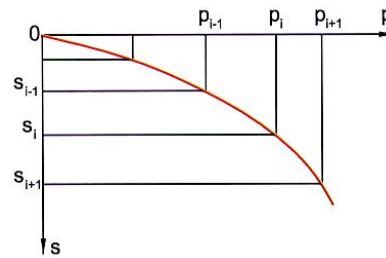


Fig. 2.15. Determinarea prin calcul a presiunii  $p_l$

Modulul de deformare liniară  $E$  al stratului de pământ supus încărcării cu placa se determină cu următoarea relație:

$$E = \frac{\omega \times p_l \times d}{s_i} \times (1 - \nu^2) \text{ [kPa]} \quad (2.23)$$

în care:

$\omega$  este un coeficient adimensional dependent de forma plăcii de încărcare (0,97 pentru placă circulară și 0,88 pentru placă pătrată);

$p_l$  - presiunea limită de proporționalitate, în kPa;

$d$  - diametrul sau latura plăcii, în m;

$s_i$  - tasarea corespunzătoare presiunii  $p_i$ , extrasă din diagrama de presiune-tasare, în m;

$\nu$  - coeficientul de deformare laterală al pământului (coeficientul lui Poisson).

În cazul când nu se dispune de posibilități pentru determinarea modulului de deformare liniară  $E$  prin încărcări experimentale de teren, valoarea sa se poate aproxima pe baza mărimii modulului de deformare edometric  $M$ , prin intermediul unui coeficient de corecție  $M_0$ , funcție de natura și starea pământului:

$$E = M_0 \times M \text{ [kPa]} \quad (2.24)$$

La dimensionarea structurilor rutiere, datorită ciclurilor repetate de încărcare-descărcare generate de trafic, se folosește *modulul de elasticitate dinamic* al terenului din patul drumului.

Teoretic modulul de elasticitate dinamic al pământului  $E_p$ , se definește ca fiind limita raportului dintre variația presiunii aplicate pe placa de încărcare,  $\Delta p$  și variația deformației elastice  $\Delta s_e$ , multiplicată cu diametrul  $d$  al plăcii:

$$E_p = \lim \frac{\Delta p}{\Delta s_e} \times d \text{ [kPa]} \quad (2.25)$$

Un alt indice utilizat în studiul complexelor rutiere este *modulul de reacție* K (coeficientul de pat), care este un indice convențional, definit ca raport între presiunea p, exercitată asupra terasamentului prin intermediul unei plăci de încercare cu diametrul d = 75 cm și tasarea corespunzătoare, s.

$$k = \frac{P}{s} \text{ [kN/m}^3\text{]} \quad (2.26)$$

*Indicele de capacitate portantă C.B.R.* (Californian Bearing Ratio), caracterizează capacitatea portantă a unui pământ. El se folosește la identificarea tipurilor de pământuri, în scopul clasificării și utilizării lor pentru lucrări de terasamente, inclusiv pentru stratul de formă sau patul drumului. De asemenea indicele C.B.R. se poate folosi la aprecierea stării de compactare a terenului de fundare de sub stratul de formă.

Indicele de capacitate portantă C.B.R. se determină astfel:

$$C.B.R. = \frac{F}{F_0} \times 100 \text{ [%]}, \quad (2.27)$$

în care:

F este forța exercitată asupra dispozitivului de penetrare necesară pentru realizarea unei anumite pătrunderi în proba supusă încercării;

F<sub>0</sub> - forța necesară aceleiași pătrunderi într-o probă etalon.

Cunoscând diagrama de tasare, se determină valorile F<sub>i</sub> a forțelor de penetrare corespunzătoare valorilor Δh<sub>i</sub> a adâncimilor de penetrare, iar pe baza lor se construiește diagrama de variație F<sub>i</sub> - Δh<sub>i</sub> pentru proba încercată, după modelul exemplificat în figura 2.16.

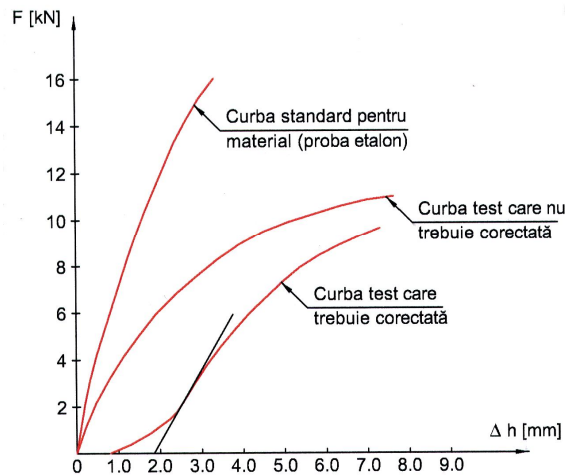


Fig. 2.16. Reprezentarea grafică a dependenței F<sub>i</sub> - Δh<sub>i</sub>

În unele situații, penetrarea inițială are loc fără o creștere a forței de penetrare, diagrama de variație având pe prima porțiune concavitatea orientată în sus. În acest caz este necesară corectarea curbei respective, ducând tangenta la

curbă în punctul de pantă maximă și prelungind-o apoi până la intersecția cu axa absciselor [92].

*Rezistența la forfecare*,  $\tau_f$ , se definește ca fiind efortul unitar tangențial maxim, dintr-o secțiune a unui masiv de pământ, în momentul ruperii prin forfecare după acea secțiune (suprafață de cedare).

Cantitativ mărimea rezistenței la forfecare a pământurilor se poate exprima prin legea lui Coulomb. Conform legii lui Coulomb, în cazul pământurilor necoezive rezistența la forfecare  $\tau_f$  se exprimă prin ecuația unei drepte care trece prin originea axelor de coordonate (fig. 2.17.a) și este egală ca valoare cu mărimea tensiunii tangențiale de rupere, fiind determinată de frecarea dintre particulele componente și de mărimea tensiunii normale  $\sigma$ :

$$\tau_f = \sigma \times \operatorname{tg}\Phi \quad [\text{kPa}] \quad (2.28)$$

în care:

$\Phi$  este unghiul a cărui tangentă trigonometrică reprezintă coeficientul de frecare internă (interioară) dintre particulele ce se găsesc de o parte și de alta a suprafeței de rupere, unghi care poartă denumirea de unghi de frecare interioară a pământului.

Pentru pământurile coezive, conform aceleiași legi, rezistența la forfecare se exprimă tot prin ecuația unei drepte (fig. 2.17.b) care însă nu mai trece prin originea axelor de coordonate, ci taie ordonata într-un punct, a cărui poziție este determinată de mărimea coeziunii pământului:

$$\tau_f = \sigma \times \operatorname{tg}\Phi + c \quad [\text{kPa}] \quad (2.29)$$

Dreapta corespunzătoare fiecăreia din ecuațiile 2.28 și 2.29 poartă denumirea de dreaptă intrinsecă sau dreapta lui Coulomb, fiind definită în cazul cel mai general prin doi parametri:

- înclinarea față de orizontală, care reprezintă unghiul de frecare interioară al pământului  $\Phi$ ;
- ordonata la origine, care reprezintă coeziunea specifică a pământului,  $c$ .

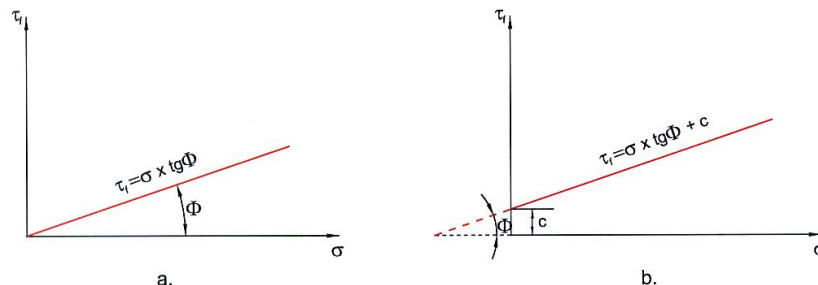


Fig. 2.17. Dreapta intrinsecă (a – pământ necoeziv, b – pământ coeziv)

Cei doi parametri poartă denumirea de parametri rezistenței la forfecare și pentru o anumită stare a unui pământ se consideră în mod convențional ca fiind caracteristici mecanice constante ale acestuia.

După cum s-a putut observa rezistența la forfecare a pământului este funcție de mărimea tensiunilor normale  $\sigma$ . Aceasta înseamnă că în studiul cedării pământurilor, ceea ce interesează nu este valoarea absolută a tensiunii tangențiale  $\tau$ , ci raportul în care se află față de tensiunea normală  $\sigma$ .

Unghiul de frecare interioară și coeziunea specifică constituie principalele caracteristici mecanice ale pământurilor, care intervin în evaluarea prin calcul a capacității portante a acestora, precum și în calculele de verificare a stabilității

masivelor de pământ, respectiv a terasamentelor căilor de comunicație terestre și a versanților naturali adiacenți.

### 2.2.2 Considerații privind rolul și condițiile de execuție a stratului de formă

Problema îmbunătățirii proprietăților fizico-mecanice ale diferitelor categorii de pământuri se pune și la executarea unor lucrări de terasamente, la care ca material de construcție se folosește pământul (ramblee de căi ferate și drumuri, diguri, baraje etc.). Principalele modificări care se urmăresc prin aplicarea diferitelor procedee de îmbunătățire a pământurilor sunt [15]:

- reducerea compresibilității;
- creșterea rezistenței la forfecare;
- micșorarea permeabilității;
- eliminarea sensibilității la umezire;
- reducerea potențialului de umflare - contracție;
- micșorarea gelivității.

Metodele de îmbunătățire a caracteristicilor fizico-mecanice ale pământurilor se aplică în funcție de natura acestora și de modificările urmărite, de grosimile straturilor de pământ supuse îmbunătățirilor, de materialele și utilajele de care se dispune etc.

În scopul reducerii mișcării terasamentelor și a utilizării cât mai depline a pământului, chiar în vecinătatea zonei de unde acesta a fost excavat, au fost tot mai intens promovate procedeele de îmbunătățire a proprietăților pământurilor prin tratare acestora cu lianți hidraulici sau puzzolanici.

Datorită extinderii mari în plan, pe traseul unui drum pot apărea porțiuni, de lungimi diferite, unde capacitatea portantă a terenului de fundare este redusă sau prezintă particularități defavorabile (activitate pronunțată, sensibilitate la umezire, sensibilitate la îngheț, compresibilitate mare etc.). În astfel de situații se impun măsuri de sporire și uniformizare a capacității portante a terenului de fundare, și măsuri de diminuare a efectelor negative a unor fenomene specifice pământurilor care alcătuiesc terenul de fundare. În acest sens, în afară de folosirea unor procedee și metode de îmbunătățire în adâncime a terenului de fundare, o soluție tehnico-economică eficientă pentru sporirea și uniformizarea capacității portante la nivelul patului drumului o reprezintă realizarea *stratului de formă*.

În tehnica rutieră modernă s-a generalizat necesitatea execuției cu o deosebită grijă a părții superioare a terasamentelor, astfel încât printr-o selecție a materialelor și o tratare adecvată, stratul pe care se așează fundația drumului să aibă o rezistență uniformă și cât mai ridicată. S-a ajuns astfel la introducerea așa-numitului *strat de formă*, care trebuie să răspundă următoarelor deziderate:

- să aibă o capacitate portantă ridicată ( $E_{sf} \geq 100 \text{ daN/cm}^2$ ) și constantă pe toată suprafața, indiferent de variația umidității;
- să constituie un strat corespunzător pentru circulația autovehiculelor și a utilajelor de șantier, pe orice timp;
- să aibă o suprafață plană, nedeformabilă și fără denivelări, care să constituie un bun suport pentru stratul de fundație;
- sensibilitatea stratului la acțiunea apei și înghețului să fie cât mai mică.

Stratul de formă face trecerea între două structuri cu caracteristici diferite (patul drumului și structura rutieră) și face legătura dintre două faze de construcție diferite, care se pot succede imediat sau la intervale de timp mai îndepărtate. El nu face parte din structura rutieră, rămânând prin structură și concepție un component



al terasamentelor. Având în vedere aceste lucruri, stratul de formă comportă următoarele funcțiuni:

- sporește și uniformizează capacitatea portantă la nivelul patului drumului;
- asigură realizarea pantelor transversale și longitudinale pentru evacuarea apelor pluviale;
- reduce diferența de rigiditate între stratul de fundație al drumului și terenul din patul drumului;
- elimină denivelările suprafeței patului drumului permițând execuția stratului de fundație a drumului cu grosime constantă;
- sporește rezistența complexelor rutiere la acțiunea îngheț-dezghet;
- împiedică contaminarea cu pământ a straturilor de fundație din agregate naturale.

Stratul de formă se adoptă de la caz la caz, în funcție de necesitățile reale constatate de obicei la execuție, și se adaptează în funcție de calitatea terasamentelor terminate. Această adaptabilitate a stratului de formă la necesitățile corectării stratului superior al terasamentelor constituie diferența esențială între stratul de formă și stratul de fundație. Acesta din urmă este conceput în faza de proiectare în funcție de structura sistemului rutier din care face parte, în schimb stratul de formă este strâns legat de execuția terasamentelor.

Stratul de formă poate fi realizat într-o multitudine de variante în funcție de scop, mijloace existente și condiții locale. Materialele din care se realizează stratul de formă sunt pământurile din care se execută terasamentele îmbunătățite prin: adaosuri pentru corectarea granulozității, stabilizări cu zgură granulată, cenușă de termocentrală, ciment, var etc. De asemenea, pentru constituirea straturilor de formă se pot utiliza materiale necoezive ca nisipuri, balasturi, deșeuri de carieră etc. Aceste materiale trebuie puse în operă prin tehnologii adecvate.

Prescripțiile în vigoare, și anume STAS 12253, conțin următoarele precizări referitoare la stratul de formă:

- straturile de formă alcătuite din pământuri coezive, zgură brută de furnal și din deșeuri de carieră se vor utiliza, de regulă, când terasamentele sunt alcătuite din aceste materiale;
- straturile de formă din pământuri coezive tratate cu var se vor utiliza, de regulă, la terasamente alcătuite din pământuri coezive;
- straturile de formă din pământuri stabilizate cu zgură granulată și var, din pământuri stabilizate cu ciment și din agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici, se aplică, de regulă, la drumurile de clasă tehnică I și II.

Introducerea stratului de formă ca o practică curentă în tehnica rutieră are repercusiuni favorabile și asupra dimensionării și comportării în exploatare a complexelor rutiere. Construcția structurilor rutiere pe un strat portant, omogen, uniform și puțin influențabil de variația umidității conduce în mod cert la mărirea duratei de exploatare a drumurilor.

### **2.2.3 Principii generale de execuție a terasamentelor în rambleu**

Rambleurile sunt umpluturi executate pe suprafața terenului natural, caracterizate printr-o formă regulată și executate după anumite reguli constructive, destinate susținerii suprastructurii căii.

Rambleurile pentru drumuri sunt tipizate și prezentate în normative, fapt care ușurează proiectarea. În general nu sunt necesare lucrări de proiectare individuală a rambleurilor decât, în următoarele cazuri:

- rambleuri mai înalte de 12,00 m;
- terasamentele se execută pe terenuri cu panta mai mare de 25 %;
- când terenul este instabil și prezintă forme de alunecare, surpare, prăbușire;
- când se execută terasamente în condiții speciale (prin hidromecanizare, cu explozivi, sub apă etc.);
- pe sectoare supuse inundațiilor în mod periodic unde rocile sunt instabile sau se traversează zone cu caracteristici mecanice necorespunzătoare (mlăștini, terenuri slabe etc.).

După înălțimea rambleurilor față de nivelul terenului înconjurător, se deosebesc:

- rambleuri mici,  $h \leq 0,5$  m;
- rambleuri mijlocii,  $0,5 < h \leq 2$  m;
- rambleuri înalte,  $2 < h < 12$  m.

Înălțimea rambleului rezultă din cotele profilului longitudinal al drumului, din condițiile hidrologice și din condițiile de teren.

Terenul pe care se execută rambleurile este bine să fie cât mai orizontal. Când această cerință nu este îndeplinită, atunci se adoptă o formă a rambleului în funcție de înclinarea terenului natural. La înclinări ale terenului natural mai mici de  $1/5$ , nu este necesară decât îndepărtarea terenului vegetal. La pante de  $1/5 - 1/3$  suprafața coastei se va amenaja în trepte care vor avea lățimea de cel puțin 1,00 m și o înclinare de 2 % pentru asigurarea scurgerii apelor (figura 2.15.). În terenurile nisipoase, datorită faptului că nu se mențin treptele de legătură, amenajarea acestora se reduce numai la scarificarea terenului natural.

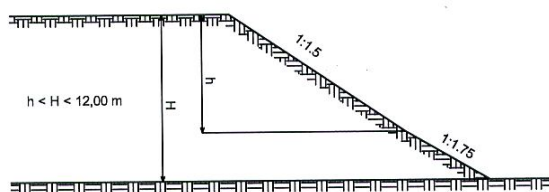


Fig. 2.18. Rambleu pe coastă

La înclinări ale terenului mai mari de  $1/3$  nu sunt suficiente numai treptele de legătură, ci trebuie luate măsuri suplimentare pentru amenajări de prevenire a unor posibile fenomene de alunecare. Printre măsuri se numără contrabanchetele, contrafortii, zidurile de sprijin sau pământul armat etc. Aceste măsuri suplimentare, pe lângă rolul lor de prevenire a fenomenelor de alunecare, mai prezintă avantajul reducerii suprafețelor ocupate de taluzurile rambleurilor.

Pentru înălțimea rambleului, măsurată la muchia platformei, se recomandă:

- în regiuni uscate în care apele se scurg ușor și nu există posibilitatea ascensiunii apelor subterane prin capilaritate sau infiltrații, înălțimea rambleului va fi minim de 0,50 m, putând fi redusă excepțional în terenuri permeabile la 0,20 m;
- în regiunile de șes, unde scurgerea apelor este nesatisfăcătoare, existând posibilitatea ascensiunii apelor subterane prin capilaritate sau infiltrații, înălțimea rambleurilor se va stabili în funcție de condițiile locale.

Suprainălțarea  $H.R.$  minimă a marginii platformei deasupra nivelului apelor care stagnează timp îndelungat sau a nivelului superior al apelor freatice, se dă în tabelul 2.9.

Tabelul 2.9

Supraînălțarea minimă a marginii platformei deasupra nivelului apelor stagnante

Tipul pământului	Supraînălțarea minimă H.R., m
Nisip mare, nisip mijlociu	0,7
Nisip fin, nisip argilos	0,9
Argilă, argilă nisipoasă	1,5
Praf, argilă nisipoasă, argilă prăfoasă	1,8

Executarea rambleurilor necesită o mare cantitate de pământ care se poate obține din debleuri sau din gropi de împrumut. Soluția cu gropi de împrumut trebuie folosită cu grijă pentru a se evita scoaterea din circuitul agricol sau forestier a unor mari suprafețe de teren. Gropile se execută în diverse forme, recomandabil la distanțe cât mai mari de zona drumului. Funcție de înălțimea rambleurilor rezultată din studiu, se adoptă înclinarea suprafețelor taluzurilor care mărginesc platforma drumului. Înclinarea cea mai frecvent utilizată este de 1:1,5 (2:3), care se adoptă pentru rambleuri din:

- argile prăfoase sau nisipoase cu înălțimea sub 6,00 m;
- nisipuri argiloase sau prafuri argiloase cu înălțimea mai mică de 7,00 m;
- nisipuri cu înălțimea până la 8,00 m;
- pietrișuri și balasturi cu înălțimea sub 10,00 m.

La înălțimi mai mari decât cele de mai sus, dar nu mai mult de 12,00 m, se adoptă două valori pentru înclinarea taluzurilor. Astfel, până la înălțimile menționate mai sus se adoptă valoarea 1:1,5, iar pentru celelalte înălțimi, o valoare de 1:1,75 (figura 2.19.). Peste înălțimi mai mari de 12,00 m, înclinarea taluzurilor rezultă în urma unor calcule de stabilitate a masivelor de pământ.

În zonele inundabile sau în albiile majore a cursurilor de apă, înclinarea taluzurilor va fi de 1:2 până la o înălțime a rambleurilor de maximum 4,00 m (figura 2.20.). Este necesară, în acest caz, și prevederea unor măsuri de consolidare a taluzurilor.

La executarea terasamentelor în rambleu o deosebită importanță prezintă asanarea terenului de fundare prin metode adaptate caracteristicilor pământului.

Terenurile de fundare pentru rambleuri pot fi, din punct de vedere al umidității uscate, umede sau mocirloase.

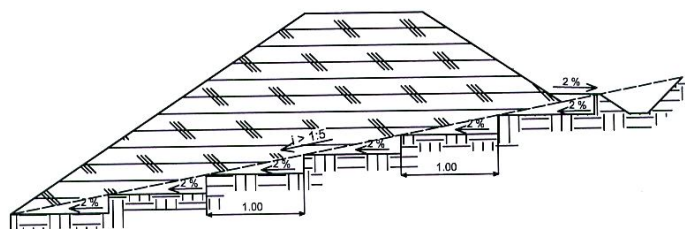


Fig. 2.19. Panta taluzurilor de rambleu

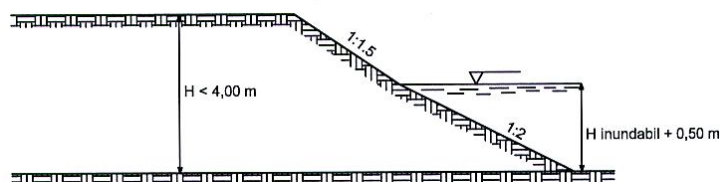


Fig. 2.20. Panta taluzurilor de rambleu în zone inundabile

Se consideră uscate acele terenuri de fundare care se situează întotdeauna deasupra nivelului apelor subterane, inclusiv al celor capilare, iar scurgerea apelor de suprafață este asigurată. Pământul este considerat umed, dacă în unele perioade ale anului este saturat cu apă, iar indicele de consistență este mai mic de 0,50. Putem vorbi de pământ mocirlos dacă este în permanență saturat cu apă, iar indicele de consistență este mai mic de 0,25.

În cazul terenurilor de fundare uscate se recomandă următoarele măsuri:

- îndepărtarea brazdelor și a terenului vegetal;
- dacă înclinarea taluzului natural este cuprinsă între 1/5 și 1/3, se vor executa trepte de legătură cu înclinarea de 2 % în sensul versantului și cu lățimea de circa 1,00 m;
- dacă înclinarea taluzului natural este mai mare de 1/3, sunt necesare studii individuale pentru detalierea lucrărilor de sprijinire.

În cazul pământurilor umede trebuie luate măsuri de evacuare a apelor subterane prin șanțuri sau drenuri. Pământurile mocirloase trebuie tratate în mod special prin lucrări proiectate individual în funcție de condițiile locale.

La execuția terasamentelor în rambleu se pot utiliza o serie de tipuri de pământuri, atât coezive cât și necoezive, funcție de natura de proveniență a acestora (gropi de împrumut, material rezultat din săpături etc.) și de condițiile locale. Tipurile de pământuri ce pot fi utilizate la execuția terasamentelor în rambleu sunt prezentate sintetic în tabelul 2.10.

Tabelul 2.10

Tipuri de pământuri folosite la execuția terasamentelor în rambleu

<b>Grupa principală</b>	<b>Tipuri de pământuri</b>
Pământuri coezive	Blocuri, bolovăniș, pietriș
	Nisip cu pietriș, nisip mare, nisip mijlociu sau nisip fin
	Nisip cu liant prăfos sau argilos
Pământuri necoezive	Nisip prăfos, nisip argilos
	Praf, praf nisipos, praf argilos nisipos, praf argilos
	Argilă, argilă prăfoasă nisipoasă, argilă nisipoasă, argilă prăfoasă, argilă grasă

#### 2.2.4 Condiții de calitate a terasamentelor în rambleu

Condițiile tehnice generale de calitate pentru terasamentele drumurilor publice și ale străzilor fac obiectul STAS 2914-84. Conform acestui standard, calitatea pământurilor, ca materiale pentru terasamente, variază între „foarte bună” și „foarte rea”, conform tabelelor 2.11 și 2.12.

Tabelul 2.11

## Calitatea pământurilor necoezive ca materiale pentru terasamente

Denumirea și caracterizarea principalelor tipuri de pământuri	Simbol	Granulozitate			Coeficient neuniformitate, $U_n$	Indicele de plasticitate $I_p$ , %	Umflare liberă, $U_L$ , %	Calitate material terasamente	
		Conținut în părți fine în % din masa totală pentru							
		$d < 0,005$ mm	$d < 0,05$ mm	$d < 0,25$ mm					
Blocuri, bolovăniș pietriș	Foarte puține părți fine, neuniforme, insensibile la îngheț-dezghet și variații de umiditate (granulozitate continuă)	1a	< 1	< 10	< 20	> 5	0	-	Foarte bună
	Idem (granulozitate discontinuă)	1b				≤ 5			Foarte bună
Nisip cu pietriș, nisip mare, mijlociu sau fin	Părți fine, neuniforme, sensibilitate mijlocie la îngheț-dezghet, insensibile la variații de umiditate (granulozitate continuă)	2a	< 6	< 20	< 40	> 5	≤ 10	-	Foarte bună
	Idem (granulozitate discontinuă)	2b				≤ 5			Bună
Nisip cu pietriș, nisip mare, mijlociu sau fin cu liant prăfos sau argilos	Părți fine multe, foarte sensibile la îngheț-dezghet, umflare liberă și contracție reduse	3a						≤ 40	Mediocră
	Idem (umflare liberă medie sau mare)	3b	≥ 6	≥ 20	≥ 40	-	≥ 10	> 40	Mediocră

Deoarece calitatea pământurilor, ca materiale pentru terasamente, este variabilă, este necesar să se rețină următoarele aspecte atunci când pământurile sunt folosite pentru terasamente în rambleu:

- nu se folosesc pământuri de consistență redusă ca mături, nămoluri, pământuri turboase cu conținut de săruri solubile în apă mai mare de 5 %, bulgări de pământ sau pământuri cu substanțe putrescibile (brazde, crengi, rădăcini etc.);
- în cazul utilizării pământurilor argiloase cu simbolurile 4d sau 4e, a căror calitate este rea, este necesar ca soluția de punere în operă și eventualele măsuri de îmbunătățire a calității acestora să fie fundamentate pe considerente tehnico-economice;

- dacă se utilizează pământuri necoezive, acestea se vor pune în operă la partea superioară a rambleurilor și se aștern în straturi plane pe toată lățimea rambleului. Se va evita formarea, în rambleu, a unor punji de pământuri necoezive, care ar favoriza adunarea apelor de infiltrație.

Tabelul 2.12

Calitatea pământurilor coezive ca material pentru terasamente

Denumirea și caracterizarea principalelor tipuri de pământuri		Simbol	Plasticitatea conform nomogramei Casagrande	Indicele de plasticitate Ip, %	Umflarea liberă, U <sub>L</sub> , %	Calitate material terasamente
Nisip prăfos, praf nisipos, nisip argilos, praf, praf argilos nisipos, praf argilos, argilă prăfoasă nisipoasă, argilă nisipoasă, argilă prăfoasă, argilă, argilă grasă	Anorganice, cu compresibilitate și umflare liberă reduse, sensibilitate mijlocie la îngheț-dezghet	4a	<p>The nomogram plots the Plasticity Index (Ip) on the y-axis (0 to 70) against the Liquid Limit (Wc) on the x-axis (0 to 100). A diagonal line is defined by the equation <math>Ip = 0.73 \times (Wc - 20)</math>. Vertical lines are drawn at <math>Wc = 30\%</math> and <math>Wc = 50\%</math>. The regions are labeled as follows: 4a (top left, <math>Wc &lt; 30, Ip &gt; 25</math>), 4b (middle left, <math>Wc &lt; 30, 10 &lt; Ip &lt; 25</math>), 4c (middle right, <math>30 &lt; Wc &lt; 50, Ip &lt; 10</math>), 4d (top right, <math>Wc &gt; 50, Ip &gt; 25</math>), 4e (middle right, <math>30 &lt; Wc &lt; 50, Ip &gt; 10</math>), and 4f (bottom right, <math>Wc &gt; 50, Ip &lt; 10</math>).</p>	< 10	< 40	Medio-cră
	Anorganice, cu compresibilitate mijlocie, umflare liberă redusă sau medie, foarte sensibile la îngheț-dezghet	4b		< 35	< 70	Medio-cră
	Organice, cu compresibilitate și umflare liberă reduse, sensibilitate mijlocie la îngheț-dezghet	4c		≤ 10	< 40	Medio-cră
	Anorganice, cu compresibilitate și umflare liberă mari, sensibilitate mijlocie la îngheț-dezghet	4d		> 35	> 70	Rea
	Organice, cu compresibilitate mijlocie, umflare liberă redusă sau medie, foarte sensibile la îngheț-dezghet	4e		< 35	< 70	Rea
	Organice, cu compresibilitate mare, umflare liberă medie sau mare, foarte sensibile la îngheț-dezghet	4f		-	> 70	Foarte rea

În rambleuri pământul se așterne în straturi uniforme paralele cu linia roșia a proiectului, pe întreaga lățime a rambleului. Suprafața fiecărui strat intermediar este plană cu pante transversale de 3...5 % spre exterior, iar grosimea straturilor se alege în funcție de utilajul de compactare, astfel încât să se poată asigura gradul de compactare prescris pe toată grosimea aleasă.

Taluzurile rambleurilor așezate pe terenuri de fundare cu capacitate portantă corespunzătoare vor avea înclinarea de 1:1,5 până la înălțimile măsurate pe verticală din tabelul 2.13. În cazul rambleelor mai înalte decât cele din tabelul 2.11, dar nu peste 12,00 m, înclinarea taluzurilor peste înălțimile din tabel este de 1:2 până la bază. În rambleele mai înalte de 12,00 m și cele situate în albiile unor râuri, văi și bălți, înclinarea taluzurilor se determină pe baza unui calcul de stabilitate.

Tabelul 2.13  
Înălțimile maxime ale taluzurilor de rambleu cu înclinarea de 1:1,5 pe terenuri cu capacitate portantă bună

Natura materialelor din rambleu	Înălțimea maximă a rambleului, m
Argile prăfoase, argile nisipoase	6,00
Nisipuri argiloase, prăfuri argiloase	7,00
Nisipuri	8,00
Pietrișuri, balasturi	10,00

Taluzurile rambleelor așezate pe terenuri de fundație cu capacitate portantă redusă vor avea înclinarea de 1:1,5 pe înălțimile date în tabelul 2.14 în funcție de caracteristicile fizico-mecanice ale terenului de fundație. Pentru ramblee mai înalte decât cele din tabelul 2.14 înclinarea taluzurilor se stabilește pe baza unui calcul de stabilitate.

Tabelul 2.14  
Înălțimile maxime ale taluzurilor de rambleu cu înclinarea de 1:1,5 pe terenuri cu capacitate portantă redusă

Panta terenului de fundație	Caracteristicile terenului de fundație								
	Unghiul de frecare, °								
	5			10			15		
	Coeziunea materialului, kPa								
	30	60	10	30	60	10	30	60	80
Înălțimea maximă a rambleului, m									
0	3,00	4,00	3,00	5,00	6,00	4,00	6,00	8,00	10,00
1:10	2,00	3,00	2,00	4,00	5,00	3,00	5,00	6,00	7,00
1:5	1,00	2,00	1,00	2,00	3,00	2,00	3,00	4,00	5,00
1:3	-	-	-	1,00	2,00	1,00	2,00	3,00	4,00

Dacă pentru realizarea terasamentelor în rambleu se utilizează deșeuri de carieră, atunci granulozitatea acestora trebuie să fie obligatoriu continuă, astfel încât umpluturile să aibă un volum de goluri cât mai redus. Umpluturile alcătuite excesiv din deșeuri de carieră trebuie să se execute cu materiale de dimensiuni descrescând de jos în sus, până la dimensiuni care să împiedice antrenarea în adâncime a agregatelor naturale din stratul inferior al structurii rutiere [103].

În cazul realizării rambleurilor din cenușă de termocentrală (reziduri rezultate în urma arderii cărbunilor energetici) sunt necesare următoarele condiții de calitate [99]:

- în zonele inundabile, la baza umpluturii se execută un strat drenant din balast cu grosimea de 20 cm;
- umplutura din cenușă de termocentrală va constitui miezul rambleului, acostamentele și taluzurile realizându-se în acest caz din pământ;

- execuția umpluturilor din cenușă de termocentrală se face în flux continuu, iar în cazul întreruperii lucrărilor, la reluarea acestora se recomandă stropirea suprafeței stratului cu emulsie bituminoasă;
- la partea superioară a rambleului, pe o grosime de minim 10 cm, se recomandă tratarea cenușei de termocentrală cu 2...4 % var hidratat în pulbere;
- o atenție deosebită trebuie acordată înclinării taluzurilor care variază funcție de înălțimea rambleului de la 1:1,5 pentru înălțimi de până la 7,00 m la 1:1,75 pentru înălțimi cuprinse între 7,0...12,0 m. Pentru ramblee de peste 12,0 m înclinarea taluzurilor se stabilește pe baza unor calcule de stabilitate.

Stabilitatea terasamentelor rutiere și capacitatea acestora de a prelua solicitările din trafic, în corelație cu influența factorilor climaterici, depinde de gradul de compactare realizat  $D$ , care se determină cu relația 2.30.

$$D = \frac{\rho_d}{\rho_{d \max}} \times 100 [\%] \quad (2.30)$$

în care:

$\rho_d$  este densitatea în stare uscată a pământului din terasamentul în rambleu realizat;

$\rho_{d \max}$  - densitatea în stare uscată maximă a aceluiași pământ obținută în laborator.

Gradul de compactare trebuie să aibă valorile minime necesare în conformitate cu tabelul 2.15 și implică cunoașterea caracteristicilor de compactare ale pământului, folosit la execuția terasamentului, și anume:

- densitatea în stare uscată maximă,  $\rho_{d \max}$ ;
- umiditatea optimă de compactare,  $w_{opt}$ .

Tabelul 2.15

Valorile minime necesare pentru gradul de compactare al terasamentelor în rambleu

Zonele din terenul natural și din terasamente la care se prescrie gradul de compactare	Pământuri	
	Necoezive	Coezive
	Gradul de compactare minim, %	
Primii 0,30 m ai terenului natural de sub un rambleu cu înălțimea $h$ de: $h \leq 2,00$ m $h > 2,00$ m	100	97
	95	92
În corpul rambleului la adâncimea $d$ sub patul drumului: $d \leq 0,50$ m $0,50$ m $< d \leq 2,00$ m $d > 2,00$ m	100	100
	100	97
	95	92

Pentru realizarea gradului de compactare minim este necesar ca umiditatea pământului pus în operă să fie cât mai apropiată de umiditatea optimă de compactare. În cazul în care umiditatea de compactare nu se încadrează în limitele admise ( $\pm 1...2$  % pentru pământuri necoezive,  $\pm 3...4$  % pentru pământuri coezive) se recomandă să se adopte măsuri adecvate pentru reducerea sau creșterea umidității de compactare.

O altă condiție impusă terasamentelor rutiere de rambleu, inclusiv celor de debleu, se referă la deformabilitatea acestora, la nivelul superior, atunci când nu este prevăzut un strat de formă, sau la nivelul inferior al acestuia când este prevăzut.



Măsurătorile de deformabilitate se efectuează cu deflectometre, iar interpretarea rezultatelor acestor măsurători se efectuează prin examinarea modului de variație pe suprafață a valorii deflexiunii  $d$  corespunzătoare sarcinii pe osie de 110 kN și a valorii coeficientului de variație  $C_v$ . Se consideră că terasamentul prezintă o calitate corespunzătoare din punct de vedere al deformabilității dacă sunt respectate următoarele condiții:

- deflexiunea are valori mai mici decât deflexiunea admisibilă  $d_{max}$ , a cărei valori sunt prezentate în tabelul 2.16 funcție de tipul pământului sau al materialului din umplutură;
- coeficientul de variație are o valoare mai mică de 50 %, deci uniformitatea execuției este corespunzătoare.

Tabelul 2.16

Valorile maxime admisibile ale deflexiunii

Tipul pământului, materialului din umplutură	Valoarea maximă admisibilă a deflexiunii $d_{max adm}$ , 0,01 mm
Nisip prăfos, nisip argilos	350
Praf nisipos, praf argilos-nisipos, praf argilos, praf	400
Argilă nisipoasă, argilă prăfoasă, argilă prăfoasă-nisipoasă, argilă	350
Deșeuri de carieră	350
Cenușă de termocentrală	450

Potrivit cercetărilor japonezi [57], [70], infiltrațiile de noroi și pungile de balast se formează chiar în condițiile unui sistem eficient de drenare, dacă pământul din zona platformei nu îndeplinește una din condițiile următoare:

- $P_{420} < 70 \%$ ,  $P_{420}$  fiind fracțiunea exprimată procentual care trece prin sita cu dimensiunea ochiului de 0,420 mm;
- $K = P_{74} / P_{420} < 0,65$ ,  $K$  fiind raportul de trecere, iar  $P_{74}$  fiind fracțiunea exprimată procentual care trece prin sita cu dimensiunea ochiului de 0,074 mm.

Experimental s-a ajuns la concluzia că între limita de curgere a pământului folosit și grosimea zonei platformei există o relație care stabilește o linie-limită a infiltrațiilor de noroi. Pornind de la aceste considerații, s-au adoptat, la construcția rambleurilor, adâncimi-limită sub nivelul platformei terasamentului, în funcție de limita de curgere a pământului folosit, conform tabelului 2.17.

Tabelul 2.17

Adâncimile-limită sub nivelul platformei terasamentului recomandate la construcția rambleurilor

Limita de curgere $W_L$ , %	Adâncimea-limită, cm
< 35	30
< 50	30...50
nelimitată	< 50

După normele americane măsurile pentru o execuție de calitate a rambleurilor pot fi adoptate în baza greutateii volumice maxime a pământului în stare uscată  $g_{dmax}$ , obținută în laborator prin metoda Proctor normal, și a gradului de compactare  $D$ , primul indice exprimând calitatea pământului și al doilea calitatea compactării. Caracteristicile admise în baza acestor principii diferă în raport cu înălțimea rambleului

și sunt prezentate în tabelul 2.18. Potrivit normelor germane, la construcția rambleurilor de drumuri trebuie îndeplinite anumite condiții cu privire la gradul de compactare  $D_p$  și la modulul de elasticitate dinamic  $E_p$ , determinat prin încercarea cu placa. Așa cum rezultă și din figura 2.21., aceste valori diferă în funcție de distanța de la platforma terasamentului spre bază și cu înălțimea rambleului [57], [62].

Tabelul 2.18

Condiții de apreciere a calității rambleului			
Înălțimea rambleului, $H_r$			
$H_r \leq 3,00$ m		$H_r > 3,00$ m	
$g_{dmax}$ , g/cm <sup>3</sup>	D, %	$g_{dmax}$ , g/cm <sup>3</sup>	D, %
1,44...1,65	100	1,52...1,65	102
1,65...1,76	98	1,65...1,76	100
1,76...1,92	95	1,76...1,92	98
> 1,92	90	> 1,92	95

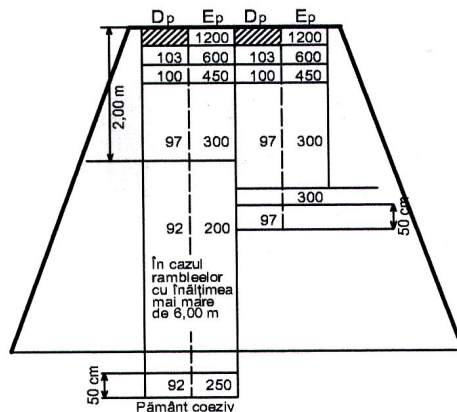


Fig. 2.21. Condiții de calitate la executarea rambleurilor după normele germane

Îndeplinirea condițiilor de calitate ale terasamentelor de rambleu reprezintă o condiție necesară asigurării unei bune comportări în exploatare a drumurilor.

### 3. FACTORI PRINCIPALI DE INFLUENȚĂ ASUPRA COMPORTĂRII COMPLEXELOR RUTIERE

#### 3.1 Tipul și intensitatea traficului rutier

Primul mod de transport pe uscat, cunoscut de omenire a fost cel rutier. Transportul rutier de persoane și marfă reprezintă factorul dinamizator, elementul cheie al unei economii bazate pe cunoaștere și al coeziunii sociale. Traficul rutier este dat de totalitatea participanților la mișcare (vehicule, persoane), care utilizează drumul la un moment dat sau într-o perioadă de timp.

În ultimele decenii s-a înregistrat o creștere continuă și relativ spectaculoasă a numărului autovehiculelor proprietate personală (trafic ușor) în trafic, în timp ce transporturile de persoane și marfă (trafic greu) nu au cunoscut o creștere atât de spectaculoasă. Astfel, în acest sens este elocventă evoluția traficului rutier pe rețeaua de drumuri naționale din România prezentată în figura 3.1., începând cu anul 1980 până în anul 2015.

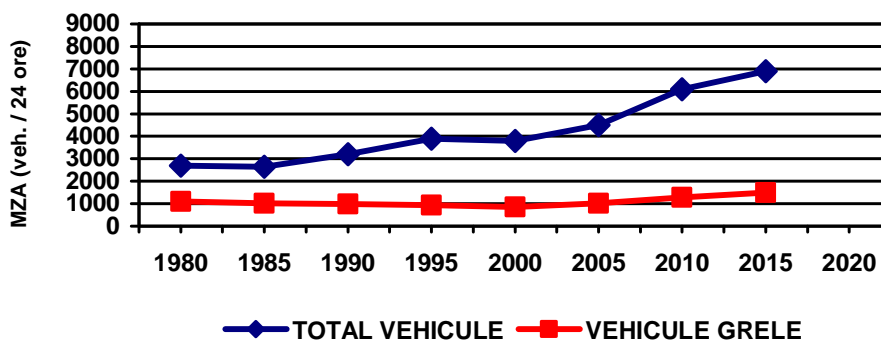


Fig. 3.1. Evoluția traficului rutier pe rețeaua de drumuri naționale din România

În ceea ce privește evoluția traficului rutier pe categorii de drumuri într-o variantă medie de evoluție, a fost estimată folosind coeficienții medii de evoluție ai traficului stabiliți de CESTRIN București. Pe ansamblul rețelelor de drumuri naționale, județene și comunale, evoluția traficului pentru o perioadă de 35 ani, 1990...2025 este prezentată figura 3.2. [56]. Prin această prognoză se estimează o creștere a traficului în perioada 2005...2025 de 116 % pe rețeaua de drumuri naționale, de 71 % pe rețeaua de drumuri județene și de 78 % pe rețeaua de drumuri comunale, ratele medii anuale de creștere fiind de 3,9 % pe drumurile naționale și de 2,8 % pe drumurile județene și comunale.

Studiul traficului se realizează folosind tehnica traficului rutier, normele de proiectare a drumurilor, normele pentru asigurarea siguranței circulației rutiere și numărul, caracteristicile și cauzele accidentelor de circulație.

Compoziția traficului reprezintă alcătuirea acestuia, după categoriile de vehicule participante la circulație. Componenta traficului indică dacă traficul este omogen (aceiași tip de vehicule) sau eterogen (mai multe tipuri de vehicule care circulă cu viteze diferite).

Intensitatea traficului rutier reprezintă numărul de participanți la circulație care trec printr-o secțiune a unui drum într-o unitate de timp (oră, zi).

Compararea intensității traficului la diferite drumuri sau în mai multe etape, la același drum, ca și diversitatea tipului de vehicule care îl compun, au impus stabilirea unor unități de referință (vehicule etalon), în funcție de tipul analizei efectuate.

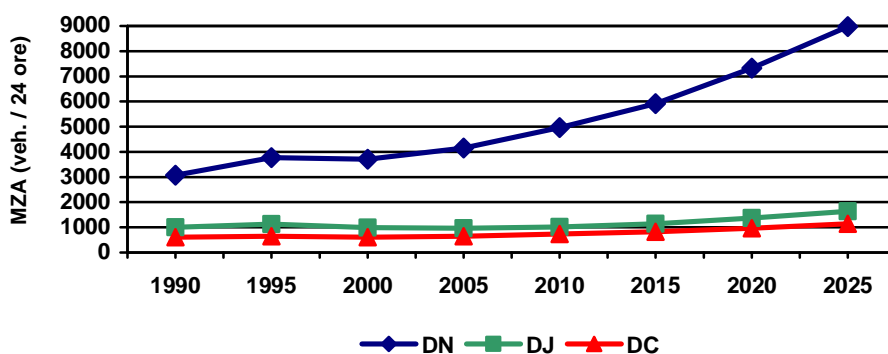


Fig. 3.2. Evoluția traficului rutier pe categorii de rețele de drumuri publice din România

Clasificarea tehnică a drumurilor după intensitatea traficului se face în cinci clase, iar a rețelei actuale se face pe baza intensității traficului rezultat din datele ultimului recensământ de circulație. [105].

Clasele tehnice servesc pentru clasificarea rețelei de drumuri publice actuale în vederea planificării și proiectării lucrărilor de modernizare și îmbunătățire a condițiilor de circulație, precum și pentru lucrările de construcții noi. Pentru planificarea și proiectarea lucrărilor de modernizare, îmbunătățire a condițiilor de circulație, precum și pentru construcțiile noi de drumuri, clasificarea tehnică se face după intensitatea traficului de perspectivă. Perioada de perspectivă recomandată este de 15 ani.

Traficul de perspectivă pentru clasificarea tehnică a drumului public se estimează pe baza datelor de trafic obținute din recensămintele efectuate pe acel drum, completate, după caz, cu anchete tip origine-destinație, la care se aplică coeficienții de evoluție a traficului în perspectivă, stabiliți pe baza datelor specifice de dezvoltare socio-economică a țării și/sau a zonei traversate de drum.

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.

Clasa tehnică este dată de intensitatea traficului în coloanele 2...5. În cazul în care rezultă clase tehnice diferite, încadrarea drumului se face pe baza unei analize aprofundate, ținându-se seama de intensitatea orară de calcul în vehicule-etalon, în funcție de toate elementele care determină capacitatea de circulație a drumurilor (coloana 4).

Vehiculul-etalon de calcul al intensității traficului rutier este autoturismul. Echivalarea numărului de vehicule fizice în vehicule-etalon (autoturism) se face prin

multiplicarea numărului vehiculelor fizice de diferite categorii, recenzate cu coeficienți de echivalare, în conformitate cu reglementările în vigoare.

În ceea ce privește traficul rutier, se remarcă influența acestuia îndeosebi asupra defecțiunilor structurii rutiere și ale complexului rutier. Pentru prevenirea degradării drumurilor datorită acțiunii acestor factori se impune dimensionarea corespunzătoare a complexului rutier pentru asigurarea preluării în bune condiții a sarcinilor din trafic, în special din traficul greu în condițiile de exploatare date și de asemenea, controlul traficului din punct de vedere al tonajului [100].

Autovehiculele cu greutatea pe osie mai mare de 50 kN fac parte din categoria vehiculelor grele, care definesc traficul greu. Clasele de trafic sunt stabilite funcție de perioada de perspectivă pe baza traficului de calcul,  $N_c$ , exprimat în milioane osii standard (m.o.s.) și de media zilnică anuală (M.Z.A.) a vehiculelor grele (V.G.) și sunt prezentate în tabelul 3.1 [102].

Tabelul 3.1

Clase de trafic pentru perioada de perspectivă de 10, respectiv 30 ani

Trafic drumuri osii 115 kN	Clasa de trafic	Volum trafic $N_c$ , [m.o.s.]		M.Z.A. 50 kN (V.G.)	
		Perioada de perspectivă – 10 ani	Perioada de perspectivă – 30 ani	Perioada de perspectivă – 10 ani	Perioada de perspectivă – 30 ani
Excepțional	T0	3,0...10,0	> 36,0	> 660	> 1.980
Foarte greu	T1	1,0...3,0	12,0...36,0	220...660	660...1.980
Greu	T2	0,3...1,0	3,0...12,0	110...220	330...660
Mediu	T3	0,1...0,3	0,7...3,0	70...110	210...330
Ușor	T4	0,03...0,1	0,2...0,7	35...70	105...210
Foarte ușor	T5	< 0,03	< 0,2	< 35	< 35

Vehiculele aplică sarcini verticale prin acțiunea asupra complexelor rutiere și orizontale prin acțiunea la nivelul suprafeței de rulare. Vehiculele grele aplică complexelor rutiere sarcini superioare considerate uzual ca rezultând din caracteristicile constructive și din încărcătura acestora. Acest lucru se datorează pe de o parte distribuției încărcării pe osie, iar pe de altă parte oscilațiilor pe verticală care apar la trecerea roții vehiculului peste defecțiunile (neregularitățile) suprafeței de rulare. Încărcările statice depind doar de configurația și greutatea vehiculului, în timp ce încărcările dinamice introduc în plus efectul inerției, amortizării și rigidității acestuia. Deformațiile din lungul drumului, străbătute de un vehicul încărcat care se deplasează cu viteză medie, pot introduce oscilații verticale, care vor amplifica sarcina aplicată de roată.

Efectul traficului asupra comportării complexelor rutiere depinde de tipul și numărul vehiculelor care le solicită. Componenta traficului are relevanță prin procentul de vehicule grele, iar cele din transportul de mărfuri cuprind vehicule mai agresive față de drum. Agresivitatea traficului față de structurile rutiere poate fi definită ca fiind capacitatea vehiculelor grele de a produce degradări structurilor rutiere [32]. Solicitățile repetate de încovoiere care apar în complexele rutiere sunt date de trecerile repetate ale vehiculelor și conduc la fenomene de oboseală a materialelor din structura rutieră și implicit la deformarea straturilor din structură.

Constituind unul din parametrii principali de calcul în dimensionarea structurilor rutiere, traficul trebuie analizat din punct de vedere al agresivității diferitelor tipuri de autovehicule asupra structurilor rutiere. Studiarea agresivității unui vehicul asupra structurii rutiere implică analiza mecanismului de degradare sub sarcina acestuia [82]. Luând în considerare mecanismul de degradare acceptat în

metodologia de dimensionare a structurilor rutiere suple și mixte (semirigide), degradarea unui drum se datorează:

- tensiunilor radiale de întindere la baza straturilor bituminoase, repetarea acestora conducând la acumularea degradărilor prin oboseală și fisurarea straturilor bituminoase;
- tensiunilor verticale de compresiune la nivelul patului drumului, repetarea acestora conducând la acumularea deformațiilor permanente care produc deformarea suprafeței drumului.

Pentru legile de oboseală adoptate în metodologia de dimensionare se pot stabili:

- numărul de solicitări care produce degradarea la nivelul straturilor bituminoase,  $N_T$ ;
- numărul de solicitări care produce degradare la nivelul patului drumului,  $N_z$ .

Agresivitatea unui autovehicul se stabilește cu referire la osia standard adoptată și reprezintă numărul de solicitări ale autovehiculului care produce aceeași degradare ca cea a osiei standard. Dezvoltarea transportului rutier internațional a determinat apariția, și în România, în spectrul larg al configurației autovehiculelor a celor cu sarcina pe osie chiar și mai mare de 115 kN, sarcina luată în calcul la dimensionarea structurilor rutiere noi și a ranforsărilor celor existente în țara noastră (osia standard).

Dintr-un studiu amplu efectuat de S.C. INCERTRANS S.A. București, asupra efectului pe care îl au transporturile de marfă asupra structurilor rutiere dimensionate pentru 100 kN pe osie simplă, s-a constatat faptul că agresivitatea osiei de 115 kN este de 1,6...4,5 ori mai mare decât cea a osiei de 100 kN, deși sarcina este de doar 1,15 ori mai mare [66].

Durabilitatea este un concept derivat în timpul testelor AASHO care stau la baza metodei americane de dimensionare AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Acest concept se referă la funcția primară a unei structuri rutiere: de a oferi utilizatorului condiții optime de siguranță și confort în timpul deplasării. Pe o scară de la 0,0 la 5,0 se poate defini și evalua această caracteristică printr-un indice de durabilitate, astfel pentru valoarea 0,0 îmbrăcămintea este impracticabilă, iar pentru valoarea 5,0 aceasta este în stare perfectă de exploatare.

Aproape toate structurile rutiere, atunci când sunt nou construite sau proaspăt reabilite, sunt de așteptat să se situeze la un nivel ridicat al indicelui de durabilitate, cu o scădere în timp a acestuia datorată încărcărilor din trafic. De obicei, indicele inițial de durabilitate a unei structuri rutiere va fi de aproximativ 4,0 sau mai mare (5,0 este un ideal greu de atins, dar, obiectiv și aproape inaccesibil și nivelurile de mai jos 2,0 nu sunt considerate acceptabile).

Pentru ca imediat după darea în exploatare a unui sector de drum, adică la începutul perioadei de perspectivă, indicele de durabilitate să se mențină la un nivel cât mai ridicat pe o perioadă cât mai îndelungată, o soluție ar putea fi reducerea încărcării sarcinii pe osie.

În acest fel s-ar putea prelungii durata de viață a acestui sector de drum, implicit costurile de întreținere, iar perioada scursă până la o eventuală intervenție capitală (modernizare, ranforsare, reabilitare) ar crește considerabil. Schimbările în conceptul de durabilitate la care sunt supuse structurile rutiere în timp definesc așa numitul „criteriu de performanță”. Comportarea structurilor rutiere la acțiunea traficului în conceptul indicelui de durabilitate și al criteriului de performanță este ilustrată în figura 3.3.

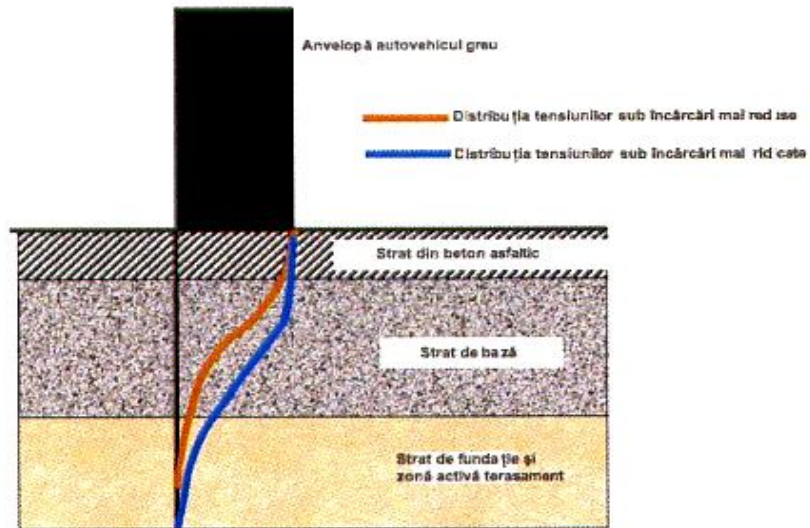


Fig. 3.3. Comportarea structurilor rutiere sub acțiunea încărcărilor din trafic

Diferența structurală principală între o structură rutieră rigidă și o structură rutieră suplă sau mixtă constă în modul în care sarcina produsă de trafic este distribuită. O structură rutieră cu îmbrăcămintea din beton de ciment (structură rutieră rigidă) prezintă o rigiditate foarte ridicată, astfel încât distribuția sarcinilor produse de trafic se face pe o arie relativ largă, iar eforturile sunt consumate în cea mai mare parte în interiorul dalelor de beton. În ceea ce privește structurile rutiere suple sau mixte (semirigide), distribuția eforturilor se face pe o arie relativ restrânsă, iar eforturile se fac resimțite și la nivelul straturilor inferioare, inclusiv la nivelul zonei active a terasamentelor. În figura 3.4. se prezintă distribuția eforturilor generate de încărcările din trafic pentru structurile rutiere rigide, respectiv pentru structuri rutiere suple sau mixte.

În ceea ce privește capacitatea de preluare a solicitărilor datorate traficului a structurilor rutiere suple se remarcă faptul că agregatele naturale din alcătuirea fundației drumului au o rigiditate scăzută, care depinde de cea a terenului de fundare și de grosimea stratului de fundație. În cazul în care îmbrăcămintea bituminoasă are o grosime mică, solicitările verticale provenite din trafic sunt transmise suportului structurii rutiere cu o repartitie laterală redusă. Tensiunile verticale de compresiune cu valori mari la nivelul patului drumului sau la nivelul stratului de fundație din balast, determină acumularea deformațiilor permanente la aceste niveluri, proces care favorizează producerea deformațiilor permanente la suprafața drumului.

Straturile bituminoase din structurile rutiere suple sunt supuse unor solicitări repetate de încovoiere, datorate solicitărilor din trafic, cu amplitudine mare, care conduc la degradarea prin oboseală a acestora. Amplitudinea și suprafața deformațiilor permanente sub formă de denivelări și fâgașe longitudinale, care influențează planeitatea suprafeței de rulare, se accentuează pe măsura acumulării traficului.

Referitor la structurile rutiere mixte (semirigide), mai exact la capacitatea de preluare a solicitărilor datorate traficului, se observă că stabilizarea cu lianți hidraulici sau puzzolanici a agregatelor naturale conferă straturilor alcătuite din

aceste materiale o rigiditate ridicată, care determină tensiuni reduse, transmise la nivelul patului drumului, însă, straturile din materiale stabilizate sunt supuse la solicitări mari de întindere prin încovoiere datorate traficului rutier.

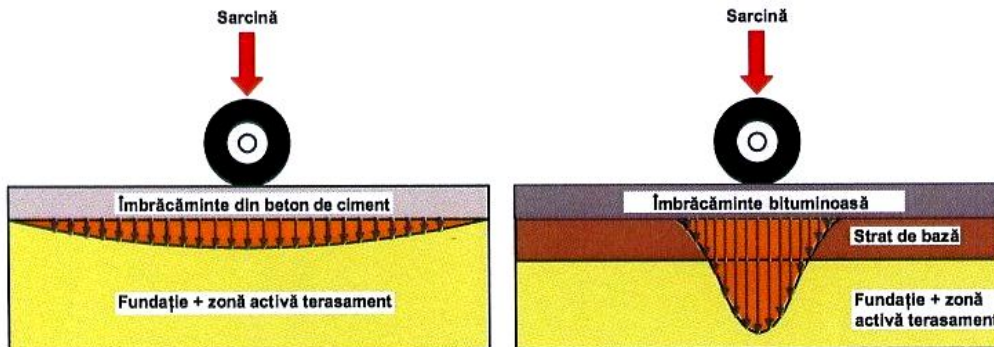


Fig. 3.4. Distribuția eforturilor din trafic în structuri rutiere rigide, suple sau mixte

În cazul în care o structură rutieră mixtă prezintă în alcătuire două straturi din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici (stratul de bază și stratul superior de fundație), aderența dintre aceste straturi asigură continuitatea deplasărilor, tensiunea maximă de întindere fiind observată la partea inferioară a stratului de fundație.

Așa numita interfață îmbrăcămintă bituminoasă – strat de bază din material stabilizat reprezintă de asemenea o zonă slabă, deoarece ea este supusă unor tensiuni verticale de compresiune și de tăiere orizontale.

La structurile rutiere rigide acțiunea traficului greu și intens are o influență hotărâtoare în apariția fenomenului de pompaj care poate produce în timp fisuri, tasări și rupturi în apropierea rosturilor transversale afectate. Pompajul constă în ridicarea printr-un rost sau crăpătură, spre suprafața îmbrăcămintei, a noroiului format de către apele infiltrate între dale și terenul de fundare, sub influența mișcării dalei din aval spre verticală, datorită efectului traficului.

De regulă, defecțiunile îmbrăcămintelor rutiere din beton de ciment se produc progresiv în timp, sub acțiunea traficului și a condițiilor de exploatare, după următorul lanț: decolmatarea rosturilor – pompaj – fisurare – tasare – crăpătură – faianțare – degradare totală sau exfoliere – groapă – degradare totală.

Agresivitatea autovehiculelor asupra structurilor rutiere se stabilește cu referire la osia standard, reprezentând numărul de treceri ale acesteia, care produce aceeași degradare. Ea se exprimă prin coeficientul de echivalare al autovehiculului, respectiv în osii standard.

Studii efectuate de către SEARCH CORPORATION au permis pentru calculul coeficientului de echivalare să se utilizeze următoarea relație [31]:

$$f_{ek.o.i.} = A \times \left( \frac{P_i}{115} \right)^\beta \quad [o.s.] \quad (3.1)$$

în care:

$f_{ek.o.i.}$  este coeficientul de echivalare al agresivității osiei „i” în osii standard;

$P_i$  - sarcina osiei „i”;

$A$  și  $\beta$  - coeficienți ce depind de tipul structurii rutiere și de configurația semiosiei.



Astfel, cu ajutorul relației 3.1 se poate calcula coeficientul de echivalare al agresivității osiei oricărui tip de vehicul, dacă se cunosc configurația și sarcina osiei.

La baza exprimării coeficientului de echivalare al agresivității osiei,  $f_{ek.o.i.}$  din relația 3.1, au stat relațiile 3.2 și 3.3 care exprimă același coeficient corespunzător criteriului deformației specifice de întindere admisibilă la baza straturilor bituminoase, respectiv corespunzător criteriului deformației specifice verticale admisibile la nivelul terenului de fundare.

$$f_{ek.o.i.}^o = \left( \frac{\varepsilon_{ro.s.115}}{\varepsilon_{ro.i.}} \right)^{-b} \quad [\text{o.s.}] \quad (3.2)$$

în care:

$f_{ek.o.i.}^o$  este coeficientul de echivalare al agresivității osiei „i” în osii standard la baza straturilor bituminoase;

$\varepsilon_{r.o.s.115}$  - deformația specifică de întindere, produsă la solicitarea sarcinii semiosiei standard, la baza straturilor bituminoase, în microdeformații (microdeformație - deformație specifică înmulțită cu  $10^6$ );

$\varepsilon_{r.o.i.}$  - deformația specifică de întindere, produsă la solicitarea sarcinii semiosiei „i”, la baza straturilor bituminoase, în microdeformații;

$b = 3,97$  conform Normativului AND 550 pentru dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare a sistemelor rutiere suple și semirigide (metoda analitică).

$$f_{ek.o.i.}^z = \left( \frac{\varepsilon_{zo.s.115}}{\varepsilon_{zo.i.}} \right)^{-b} \quad [\text{o.s.}] \quad (3.3)$$

în care:

$f_{ek.o.i.}^z$  este coeficientul de echivalare al agresivității osiei „i” în osii standard la nivelul terenului de fundare;

$\varepsilon_{z.o.s.115}$  - deformația specifică verticală, produsă de solicitarea sarcinii semiosiei standard, la nivelulul terenului de fundare, în microdeformații;

$\varepsilon_{z.o.i.}$  - deformația specifică verticală, produsă de solicitarea sarcinii semiosiei „i”, la nivelulul terenului de fundare, în microdeformații;

$b = 0,27$  pentru drumuri cu un trafic de calcul  $> 1$  milion osii standard (m.o.s.), respectiv  $b = 0,28$  pentru drumuri cu un trafic de calcul  $\leq 1$  m.o.s., conform Normativului AND 550 pentru dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare a sistemelor rutiere suple și semirigide (metoda analitică).

Coeficientul de echivalare al agresivității osiei „i” în osii standard la baza straturilor bituminoase ( $f_{ek.o.i.}^o$ ) are valori mai mari decât coeficientul de echivalare al agresivității osiei „i” în osii standard la nivelul terenului de fundare ( $f_{ek.o.i.}^z$ ), ceea ce indică o agresivitate mai mare a vehiculelor grele asupra straturilor bituminoase decât asupra terenului de fundare.

Astfel, în calculele de dimensionare se recomandă utilizarea coeficienților de echivalare corespunzători criteriului deformației specifice de întindere admisibilă la baza straturilor bituminoase.

În continuare se prezintă defecțiuni ale îmbrăcăminților rutiere bituminoase care au printre cauze și traficul greu și intens.

Suprafața șlefuită apare datorită traficului intens, mai precis datorită solicitărilor orizontale importante generate de traficul rutier, specifice zonelor în curbe și sectoarelor unde se produc accelerări și decelerări frecvente.

Vălurile și refulările apar frecvent pe suprafețele îmbrăcăminților bituminoase cu strat de uzură din mortar asfaltic sau din mixturi asfaltice cu nisip bituminos, în zone cu trafic intens cu frânări și accelerări frecvente care generează forțe tangențiale mari.

Fisurile și crăpăturile transversale ale îmbrăcăminților bituminoase conduc și la mișcări verticale sub efectul traficului greu ceea ce determină accelerarea transmiterii lor în straturile bituminoase superioare, iar fisurile și crăpăturile longitudinale pot să apară datorită suprasolicitării complexului rutier datorită circulației autovehiculelor de mare tonaj, mai ales în perioada imediat următoare dezghețului.

Făgașele pot apărea datorită insuficienței compactării straturilor din structura rutieră, care se tasează sub efectul dinamic al traficului greu canalizat.

Degradările din îngheț-dezgheț ale îmbrăcăminților rutiere bituminoase se pot produce datorită acțiunii traficului greu în perioada de dezgheț pe sectoare de drum cu capacitatea portantă scăzută.

Este important de precizat faptul că în perioada când pământul este înghețat, traficul nu produce degradarea structurii rutiere, degradările din îngheț-dezgheț apărând în perioadele de dezgheț.

Acțiunea traficului greu asupra structurilor rutiere suple și mixte (semirigide) produce de asemenea defecțiuni ale îmbrăcăminților bituminoase de tipul: suprafață exsudată, peladă, rupturi de margine, faianțări, gropi, tasări locale.

În continuare se prezintă defecțiuni ale îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment care au printre cauze și traficul greu și intens.

Decolmatarea rosturilor îmbrăcăminților rutiere rigide constă în desprinderea, sfărâmarea și evacuarea sub acțiunea traficului greu a materialelor de colmatare din rosturi, în special pe timp rece, când masticul bituminos din rosturi devine casant și nu urmărește contracția dalelor din beton de ciment.

Rupturile pot apărea datorită acțiunii traficului greu în perioada de întărire a betonului sau datorită pătrunderii unor materiale dure necompresibile (criblură, pietriș etc.), favorizată de acțiunea traficului, în rosturile transversale de dilatație în perioade reci, împiedicând astfel dilatarea dalelor la creșterea temperaturilor producând eforturi de compresiune mari ce conduc la ruperi locale ale betonului în dreptul rosturilor blocate.

Fisurile și crăpăturile transversale în îmbrăcămințile rutiere din beton de ciment pot apărea datorită oboselii betonului sub acțiunea combinată a traficului greu și a variațiilor mari de temperatură și umiditate, iar cele longitudinale se produc datorită tasării fundației în profil transversal și fisurării betonului sub acțiunea sarcinilor din trafic.

Pompajul se poate produce datorită sarcinilor provenite din trafic care acționează asupra dalei din aval și o deformează pe verticală.

Faianțările îmbrăcăminților rutiere rigide pot fi generate de fenomenul de oboseală al betonului datorită duratelor mari de exploatare sub acțiunea traficului greu și intens.

Acțiunea traficului greu și intens asupra structurilor rutiere rigide mai poate produce de asemenea defecțiuni ale îmbrăcăminților din beton de ciment de tipul: suprafață șlefuită, suprafață exfoliată, deschiderea rosturilor longitudinale, gropi, tasarea dalelor, distrugerea totală a dalelor.

Influența traficului rutier asupra apariției diferitelor tipuri de defecțiuni ale îmbrăcăminților rutiere bituminoase și ale îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment este prezentată sintetic în tabelul 3.2 [48].

Tabelul 3.2

Influența traficului rutier asupra apariției defecțiunilor la îmbrăcămintele rutiere

<b>Îmbrăcămiți rutiere bituminoase</b>										
<b>Defecțiuni ale suprafeței de rulare</b>		<b>Defecțiuni ale îmbrăcămintei structurii rutiere</b>			<b>Defecțiuni ale structurii rutiere</b>			<b>Defecțiuni ale complexului rutier</b>		
Suprafață șlefuită	Suprafață exsudată	Peladă	Văluriri și refulări	Rupturi de margine	Fisuri și crăpături	Faianțări	Făgașe longitudinale	Gropi	Degradări din îngheț-dezghet	Tasări locale
•	•	•	••	••	••	••	••	••	••	•
<b>Îmbrăcămiți rutiere din beton de ciment</b>										
<b>Defecțiuni ale suprafeței de rulare</b>		<b>Defecțiuni ale rosturilor</b>		<b>Defecțiuni ale îmbrăcămintei structurii rutiere</b>			<b>Defecțiuni ale structurii rutiere</b>			
Suprafață șlefuită	Suprafață exfoliată	Decolmatare rosturi	Deschiderea rosturilor longitudinal	Rupturi	Fisuri și crăpături	Gropi	Pompaj	Faianțare	Tasarea dalelor	Distrugerea totală a dalelor
•	•	•	•	•	•	•	••	••	•	••

Notă: • influență redusă  
•• influență importantă

### 3.2 Factori climaterici

În ultimul timp suntem martorii unor schimbări de climă extrem de accentuate, care sunt resimțite evident și în țara noastră. Practic în ultima perioadă ne confruntăm cu doar două anotimpuri (iarnă, vară), deoarece temperaturile variază foarte rapid de la valori foarte mari la valori foarte mici. Verile sunt caniculare și extrem de secetoase, uneori însoțite de fenomene de inundații datorate unor ploi de vară însemnate cantitativ, iernile nu sunt foarte geroase decât accidental cu perioade scurte, uneori chiar cu temperaturi ce rar coboară sub 0°C. Evident că toate aceste fenomene se răsfrâng și asupra stării tehnice a drumurilor.

Modificările climaterice enumerate au determinat necesitatea introducerii unor materiale noi, unor tehnologii noi de execuție, astfel fiind necesare o serie de cercetări în domeniu pentru combaterea, prevenirea sau chiar eliminarea efectelor distructive ale factorilor climaterici.

Atât țara noastră cât și zona Banatului au suferit și suferă în continuare modificări semnificative în ceea ce privește clima. Din punct de vedere climateric și pluviometric zona Banatului se caracterizează printr-un climat temperat continental moderat cu influențe mediteraniene și oceanice. Caracterizarea zonei Banatului din punct de vedere al factorilor climaterici a fost prezentată pe larg în capitolul 1.3 al prezentei teze de doctorat.

Este important să remarcăm introducerea unor cerințe de calitate suplimentare pentru diferite materiale rutiere, introducerea în tehnica rutieră a unor materiale noi, simple sau compozite, care au rolul de îmbunătățire a comportării complexelor rutiere la acțiunea defavorabilă a agenților climaterici.

Comportarea complexelor rutiere la acțiunea factorilor climaterici se referă la comportarea acestora sub influența temperaturii și a regimului pluviometric.

Caracterul puternic de influență al factorilor climaterici asupra stării tehnice a drumurilor derivă și din perioada de măsurare care se stabilește în funcție de condițiile de măsurare, conform tabelului 3.3. De asemenea, pentru o evaluare cât mai exactă a stării tehnice este bine să se țină cont și de recomandările făcute asupra condițiilor meteorologice propice efectuării măsurărilor [89].

Tabelul 3.3  
Perioadele de măsurare recomandate pentru caracteristicile drumului privind starea tehnică

Caracteristica drumului	Perioada de măsurare recomandată	Recomandări
Planeitatea	Tot timpul anului la temperaturi atmosferice mai mari de 0°C	Pe timp frumos, fără precipitații
Rugozitatea SRT și înălțimea de nisip HS	Aprilie - octombrie	Pe timp frumos, fără precipitații, la temperaturi mai mari de 15°C
Deformația elastică caracteristică, $d_{c20}$	Primăvara, după dezgheț sau cel mult 15 zile după perioada ploilor de primăvară (aprilie - iunie)	În cazul unei alte perioade de măsurare se face corecția rezultatelor măsurărilor
Indicele global de degradare (IG) sau indicele de degradare (ID) al îmbrăcăminții rutiere	Tot timpul anului, după cel puțin un an de la execuția ultimului tratament bituminos de suprafață, sau covoare, ranforsări	După perioada de dezgheț. Imediat după ploaie, când suprafața stratului de rulare este în curs de uscare

### 3.2.1 Temperatura

Programul de cercetare American SHRP (Strategic Highway Research Program) a condus la un nou sistem de clasificare a biturilor utilizate la realizarea îmbrăcăminții rutiere. Acest sistem, numit SUPERPAVE, se bazează pe comportarea reologică a liantului determinată prin încercări originale și într-o gamă de temperaturi în care acesta se va găsi pe toată durata de exploatare. Determinările se efectuează pe liantul proaspăt, precum și pe liantul îmbătrânit în timp scurt - obținut prin metoda RTFOT - sau pe durată îndelungată - RTFOT și PAV - urmărindu-se în fapt evitarea degradărilor specifice îmbrăcăminții bituminoase:

- formarea de făgașe;
- fisurarea din oboseală datorită traficului;
- fisurarea termică datorită temperaturilor coborâte.

Pentru stabilirea condițiilor climatice în care se poate situa un drum, în cadrul proiectului de urmărire pe termen lung a comportării structurilor rutiere (LTPP) - parte integrantă a programului SHRP -, s-a inițiat crearea unei baze de date meteorologice.

Întrucât degradările îmbrăcăminte bituminoase datorate exclusiv temperaturii constau în deformarea permanentă și fisurarea din contracția termică, pentru proiectul SUPERPAVE s-a reținut o bază restrânsă de date meteorologice, parametrii esențiali fiind temperaturile maxime și minime din aer, care prin calcule pot conduce la valorile maxime și minime ale temperaturii îmbrăcăminte rutiere utilizând ecuația care exprimă echilibrul energetic teoretic la suprafață.

Din observațiile efectuate în cadrul programului SHRP s-a constatat că deformarea permanentă a îmbrăcăminte bituminoase prezintă o corelație mai bună cu media cea mai ridicată a temperaturilor zilnice maxime în aer pe o perioadă de 7 zile consecutive decât cu temperatura cea mai ridicată înregistrată pe parcursul unei luni [107]. Pentru calculul temperaturilor maxime la suprafața îmbrăcăminte se utilizează următoarea relație simplificată:

$$T_{s \max} = T_{a \max} - 0,00168\Phi^2 + 0,2289\Phi + 24,4 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.4)$$

în care:

$T_{s \max}$  este temperatura maximă la suprafața îmbrăcăminte;

$T_{a \max}$  - temperatura maximă din aer înregistrată în 7 zile consecutive;

$\Phi$  - latitudinea geografică a locului în care s-a făcut înregistrarea.

În sistemul SUPERPAVE se consideră reprezentativă temperatura maximă la adâncimea de 20 mm față de suprafața îmbrăcăminte, care se poate calcula cu următoarea relație simplificată:

$$T_{20 \max} = 0,955 T_{s \max} - 0,8 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.5)$$

în care:

$T_{20 \max}$  este temperatura maximă la adâncimea de 20 mm față de suprafața îmbrăcăminte;

$T_{s \max}$  - temperatura maximă la suprafața îmbrăcăminte.

Temperatura minimă a îmbrăcăminte bituminoase, răspunzătoare de producerea fisurilor de contracție termică este considerată de cercetătorii americani ca fiind egală cu cea mai scăzută temperatură singulară înregistrată în aer pe parcursul unui întreg an, diferențele fiind considerate nesemnificative și acoperitoare. Totuși, asupra acestei relații există și alte opinii, cercetătorii firmei Shell stabilind pe baza observațiilor efectuate pentru teritoriul Franței următoarea relație admisă și de specialiștii de la Asphalt Institute [51]:

$$T_{s \min} = 0,895T_{a \min} + 1,7 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.6)$$

în care:

$T_{s \min}$  este temperatura minimă a îmbrăcăminte bituminoase;

$T_{a \min}$  - cea mai scăzută temperatură singulară înregistrată în aer pe parcursul unui întreg an.

Având în vedere importanța cunoașterii cât mai precise a condițiilor de temperatură în care se situează un sector de drum, pentru alegerea tipului de bitum ce urmează a fi utilizat la realizarea îmbrăcăminte bituminoase pe baza criteriului științific al gradului de performanță P.G. și eventuala recomandare pentru utilizarea biturilor modificate acolo unde situația o va impune, Compania Națională de Autostrăzi și Drumuri Naționale din România a introdus în planul de cercetare al CESTRIN o temă de cercetare cu acest subiect, bazată pe datele meteorologice furnizate de Institutul Național de Meteorologie și Hidrologie (I.N.M.H.) București.

Pentru cele 18 localități luate în studiu au fost calculate, utilizând metodologia SUPERPAVE, valorile temperaturilor maxime în aer ( $T_{a \max}$ ), la suprafața îmbrăcăminte ( $T_{s \max}$ ), la adâncimea de 20 mm de la suprafață ( $T_{20 \max}$ ), precum și temperatura minimă la suprafața îmbrăcăminte ( $T_{s \min}$ ) pentru 30 ani consecutivi (1971 - 2000). Calculele au fost efectuate de Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași (pentru 9 stații situate în jumătatea de est a țării) și de Universitatea

„Politehnica” din Timișoara (pentru 9 stații situate în jumătatea vestică a țării) în baza unor contracte de cercetare încheiate cu CESTRIN București prin prelucrarea datelor primare de temperatură (valori zilnice medii, maxime și minime) furnizate de I.N.M.H..

Prelucrarea statistică a unui șir mare de valori pentru fiecare localitate a permis calcularea valorilor caracteristice ale parametrilor termici menționați ( $T_{s \max}^k$ ,  $T_{20 \max}^k$  și  $T_{s \min}^k$ ) pentru trei grade de risc:

- $p = 5\%$  - posibilitatea de depășire a valorii medii o singură dată la 20 ani;
- $p = 10\%$  - posibilitatea de depășire a valorii medii o singură dată la 10 ani;
- $p = 20\%$  - posibilitatea de depășire a valorii medii o singură dată la 5 ani.

Relația de calcul utilizată pentru calculul valorilor caracteristice ( $T^k$ ) este următoarea:

$$T^k = X_m + t_\alpha \times S \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.7)$$

în care:

$X_m$  este media aritmetică a valorilor de temperatură prelucrate;

$t_\alpha$  - valoarea coeficientului Student pentru gradul de risc considerat;

$S$  - abaterea medie pătratică calculată cu relația:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_m - X_i)^2}{n}} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.8)$$

în care:

$X_m$  este media aritmetică a valorilor de temperatură prelucrate;

$X_i$  - valoarea fiecărei temperaturi prelucrate;

$n$  - numărul de valori luate în calcul.

Pentru a avea o reprezentare mai detaliată a situației temperaturilor maxime și minime ale îmbrăcămintei asfaltice raportată la suprafața întregii țări și la rețeaua rutieră a României, față de cele 18 stații pentru care s-au făcut prelucrări ale datelor zilnice de temperatură pe un interval de 30 ani, au fost solicitate de la I.N.M.H. București pentru încă 25 stații meteorologice valorile medii anuale ale unor parametri caracteristici.

Transpunerea valorilor de temperatură obținute pe hărți în dreptul localităților a permis trasarea unor zone distincte pentru valori negative și pozitive conform intervalelor SUPERPAVE menționate. În figurile 3.5. și 3.6. sunt prezentate aceste hărți, zonele respective fiind marcate prin culori distincte [80].

Straturile structurilor rutiere mixte alcătuite din agregate naturale stabilizate prezintă contracții termice și datorate prizei liantului. Contracțiile, împiedecate de frecarea stratului pe suportul acestuia, provoacă fisurarea transversală a stratului, fisurile fiind propagate în timp la suprafața îmbrăcămintei rutiere, proces denumit „fisurare reflectivă”. Aceste fisuri de contracție apar la suprafață, la distanțe destul de regulate (5...15 m), deschiderea lor variind în funcție de temperatură, între câțiva zecimi de mm și câțiva mm. Sub acțiunea traficului, fisurile de contracție au tendința să se dubleze sau să se ramifice.

Din punct de vedere mecanic, aceste discontinuități creează, în apropierea lor, o creștere a tensiunilor orizontale produse la trecerea vehiculelor, față de cele produse într-un mediu continuu. Această creștere este în funcție inversă de calitatea transferului de sarcină între cele două margini ale fisurii. Un transfer redus are drept consecință și creșterea tensiunilor verticale pe suportul structurii rutiere.

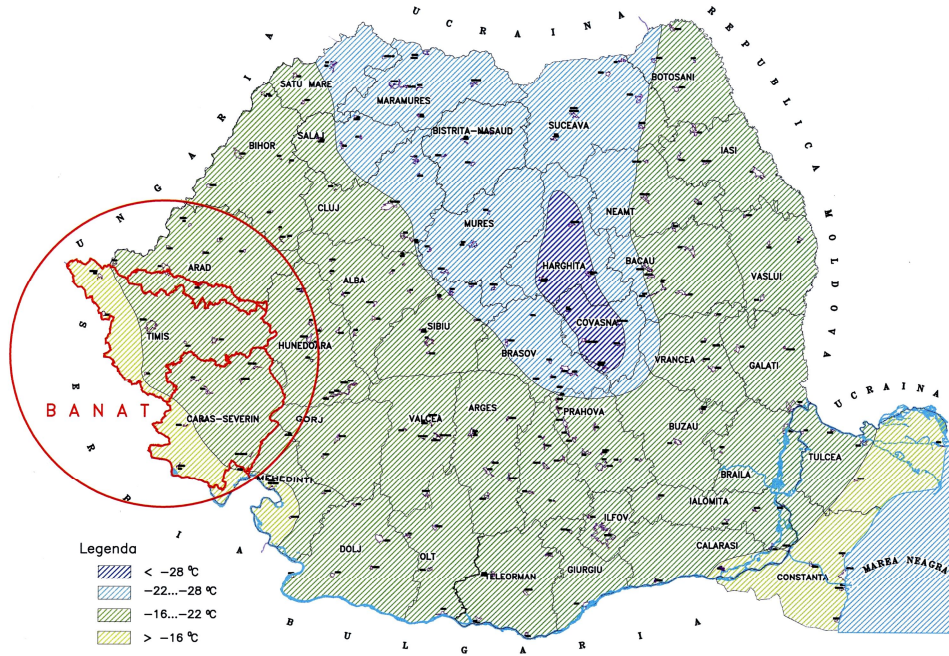


Fig. 3.5. Temperaturi minime la suprafața îmbrăcămintei rutiere ( $T_{\min}$ ) pentru  $p = 5\%$

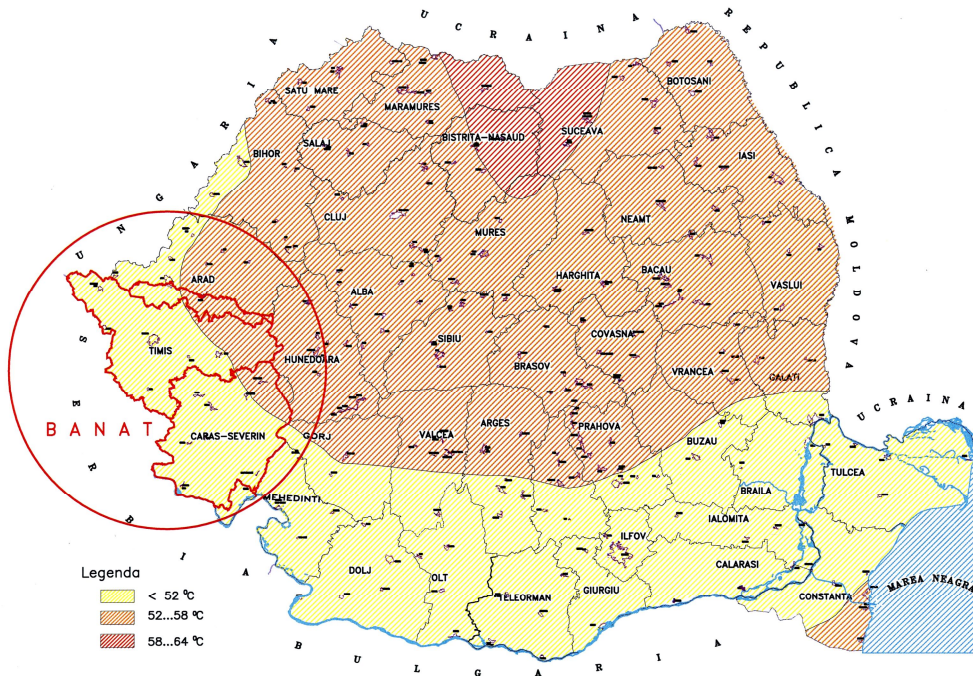


Fig. 3.6. Temperaturi maxime la suprafața îmbrăcămintei rutiere ( $T_{\max}$ ) pentru  $p = 5\%$

Referitor la structurile rutiere rigide, variațiile de temperatură creează în dala de beton de ciment eforturi datorate contracției sau dilatației, funcție de valorile temperaturilor, din acest motiv fiind necesare rosturi de dilatație și contracție, transversale și longitudinale, elemente caracteristice îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment. Astfel, în dala de beton apar tensiuni de întindere din încovoiere datorate gradientului de temperatură zilnic, peste care se suprapun cele datorate încărcărilor din trafic.

Cele mai severe degradări sunt provocate de variațiile de temperatură și de amplitudinea valorilor temperaturii. Variațiile de temperatură au un efect negativ asupra structurii rutiere, indiferent de tipul acesteia, în special din cauza fenomenului de îngheț-dezghet. Acesta apare în prezența apei existente în corpul drumului, deci pentru a scădea efectele negative ale acestuia, trebuie asigurat un grad cât mai ridicat de impermeabilitate a structurii rutiere.

În timpul iernii, modulul de elasticitate dinamic al structurilor rutiere crește, datorită modificărilor de structură ale straturilor de bază și a celor de fundație, inclusiv a zonei active a terasamentelor, și din cauza influenței temperaturii asupra vâscozității asfaltului sau betonului. În timpul perioadei de dezghet, primăvara, straturile de bază și cele de fundație împreună cu zona activă a terasamentelor devin saturate cu apă datorită dezghețării lentilelor de gheață, reducând astfel legăturile structurale ale acestor straturi, implicit modulul de elasticitate dinamic.

Cu o structură slăbită, îmbrăcămintea rutieră nu poate susține sarcina pentru care a fost proiectată; prin urmare, ne putem aștepta de cele mai multe la deteriorarea îmbrăcăminții rutiere, a structurii și chiar a complexului rutier, fenomen ce apare îndeosebi primăvara, în timpul perioadei de dezghet. Deteriorarea structurii rutiere se manifestă la suprafață prin apariția fisurilor și crăpăturilor în îmbrăcămintea, din cauza deformațiilor din straturile de bază sau de fundație, inclusiv cele ale terenului de fundare.

Fisurarea la temperaturi scăzute a îmbrăcăminților rutiere bituminoase și din beton de ciment, este influențată, pe lângă valorile de temperatură, de mai mulți factori cum ar fi: calitatea materialelor din structura rutieră, regimul pluviometric, geometria drumului, vârsta structurii rutiere. Referitor la vârsta structurilor rutiere se apreciază că cu cât aceasta este mai înaintată, cu atât este mai mare riscul la fisurarea termică.

În continuare se prezintă defecțiuni ale îmbrăcăminților rutiere bituminoase care au printre cauze și regimul de temperatură.

Suprafața șlefuită, vâluririle și refulările îmbrăcăminților bituminoase pot fi efecte ale temperaturilor ridicate ale mediului ambiant.

Fisurile și crăpăturile, făgașele longitudinale și faianțările apar în urma ciclurilor repetate de îngheț-dezghet, în special perioadele de dezghet.

În ceea ce privește structurile rutiere rigide, acestea prezintă și ele o serie de defecțiuni ale îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment care au printre cauze variațiile de temperatură.

Decolmatarea rosturilor se produce la variații mari de temperatură.

Rosturile cu mastic în exces se datorează presiunii exercitate de dilatarea dalelor din beton de ciment, în perioadele cu temperaturi ridicate, asupra masticului bituminos din rosturi care este împins spre suprafață.

Rupturile pot apărea datorită pătrunderii unor materiale dure necompresibile (criblură, pietriș etc.), favorizată de acțiunea traficului, în rosturile transversale de dilatație în perioade reci, împiedicând astfel dilatarea dalelor la creșterea temperaturilor.



Tasarea dalelor se poate datora tasării terenului de fundare, insuficient compactat și lipsit de drenare, în perioadele cu temperaturi negative (îngheț).

Variațiile de temperatură, precum și valorile scăzute sau ridicate ale acesteia, asupra structurilor rutiere rigide mai pot produce de asemenea defecțiuni ale îmbrăcăminților din beton de ciment de tipul: suprafață exfoliată, fisuri și crăpături, gropi.

Influența temperaturii asupra apariției diferitelor tipuri de defecțiuni ale îmbrăcăminților rutiere bituminoase și ale îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment este prezentată sintetic în tabelul 3.4 [48].

Tabelul 3.4

Influența temperaturii asupra apariției defecțiunilor la îmbrăcămințile rutiere

Îmbrăcăminți rutiere bituminoase						
Defecțiuni ale suprafeței de rulare	Defecțiuni ale îmbrăcămintei structurii rutiere		Defecțiuni ale structurii rutiere			
Suprafață exsudată	Văluriri și refulări		Fisuri și crăpături	Faianțări	Făgașe longitudinale	
••	•		•	•	••	
Îmbrăcăminți rutiere din beton de ciment						
Defecțiuni ale suprafeței	Defecțiuni ale rosturilor		Defecțiuni ale îmbrăcămintei			Defecțiuni ale structurii
Suprafață exfoliată	Decolmatarea rosturilor	Rosturi cu mastic în exces	Rupturi	Fisuri și crăpături	Gropi	Tasarea dalelor
•	•	•	••	•	•	•

Notă: • influență redusă  
•• influență importantă

În cazul structurilor rutiere mixte (semirigide) și a existenței unor straturi de fundație din beton de ciment, îmbrăcămintea asfaltică ar trebui analizată în două ipostaze:

- vara, când se pune problema stabilității asfaltului pe suportul rigid dat de stratul din materiale stabilizate;
- iarna, când în urma contracțiilor din fundație există posibilitatea transmiterii fisurilor în îmbrăcămintea bituminoasă.

Aceste două ipostaze sunt direct legate de proprietățile reologice ale liantului bituminos și de variabilitatea comportării sale în raport cu variațiile de temperatură.

Betonul de ciment și mixturile asfaltice sunt influențate de variațiile sezoniere de temperatură diferit (figura 3.7.), din cauza coeficienților de dilatație diferiți și a structurii lor diferite [27]. Astfel, coeficientul de dilatație al betonului de ciment poate fi considerat în mod practic aproape constant la valoarea de  $10 \times 10^{-6}$ , în timp ce coeficientul de dilatație pentru asfalt prezintă variații mari funcție de temperatură și are o valoare mult mai ridicată decât cea a betonului de ciment. La temperaturi negative coeficientul de dilatație al betonului asfaltic scade brusc atingând valoarea minimă la temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$ .

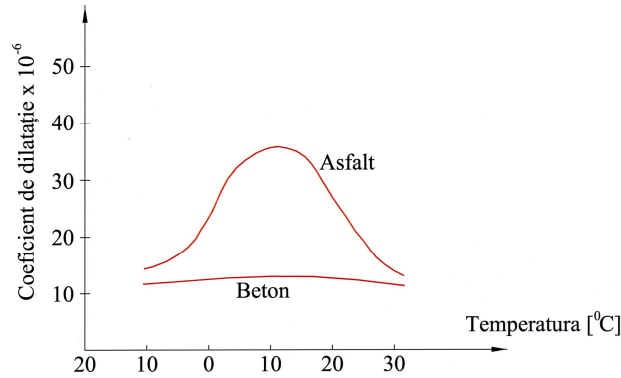


Fig. 3.7. Variația coeficientului de dilatație în raport cu temperatura

Rezistența materialelor la tensiuni de întindere la temperaturi joase se poate determina prin încercări de întindere la cicluri de încărcare scăzute sau prin răcirea progresivă a epruvetelor menținute la aceeași forță de tracțiune. Cu ajutorul acestor tipuri de încercări se poate determina temperatura critică la care se poate produce ruperea epruvetei prin sfărâmare. În cazul în care tensiunea de întindere e mai mare decât rezistența la tracțiune a materialului, se presupune că materialul prezintă fisuri în structura sa (figura 3.8.). În cazul în care temperatura variază ciclic în jurul unei valori medii scăzute poate apărea fenomenul de oboseală termică a materialului.

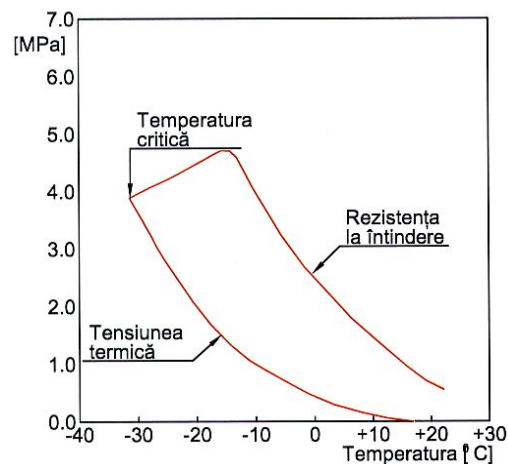


Fig. 3.8. Influența temperaturii asupra rezistenței la întindere și tensiunii termice la mixturile asfaltice

Proprietățile materialelor bituminoase sunt strâns legate de temperatură, astfel încât este interesantă analiza variației rezistenței la oboseală a acestor materiale funcție de temperatură.

În mod curent, încercările la oboseală pe materiale bituminoase se efectuează la temperaturi cuprinse între 10...20 °C. Studii efectuate în acest sens au arătat că deformația  $\epsilon_6$ , care determină ruperea materialului după  $10^6$  cicluri, este într-adevăr dependentă de temperatură (figura 3.9.) [46]. Această funcție este una crescătoare și liniară, cel puțin pentru valori pozitive ale temperaturii.

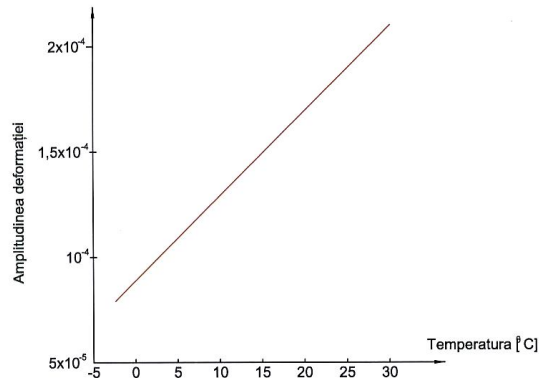


Fig. 3.9. Deformațiile admisibile după  $10^6$  cicluri funcție de temperatură

În ceea ce privește durata de viață la oboseală a îmbrăcăminților rutiere bituminoase, luându-se în considerare separat numărul de cicluri de solicitare raportat la numărul total de cicluri, când s-a propagat fisura la suprafața carosabilului, se pot face următoarele observații: viteza de propagare a fisurii este mai lentă la solicitarea din trafic față de cea din temperatură în faza inițială, iar situația se inversează în faza finală, așa cum rezultă și din figura 3.10. [23], în care:

- $N$  este numărul de cicluri solicitante (din variații de temperatură sau din trafic);
- $N_{tot}$  - numărul total de cicluri când apare fisura la suprafața părții carosabile.

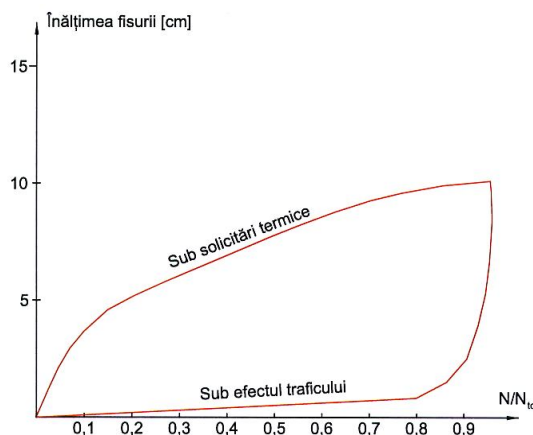


Fig. 3.10. Evoluția fisurării funcție de temperatură și de trafic

Dacă solicitarea termică poate exista fără solicitarea din trafic într-o structură rutieră, inversa acestei situații este mai puțin probabilă. În general, efectul temperaturii și cel al traficului asupra comportării complexelor rutiere trebuie studiat în ansamblu, adică printr-o solicitare combinată a celor doi factori, deoarece, în practică, cele două tipuri de solicitări acționează concomitent.

Influența factorilor climaterici asupra comportării complexelor rutiere se manifestă inclusiv la nivelul terenului de fundare, nu numai în straturile rutiere. Referitor la acest considerent, modulul de reacție al terenului de fundare

(coeficientul de pat) variază funcție de tipul pământului din care este alcătuit în raport cu variațiile sezoniere de temperatură, fapt prezentat în figura 3.11. [81].

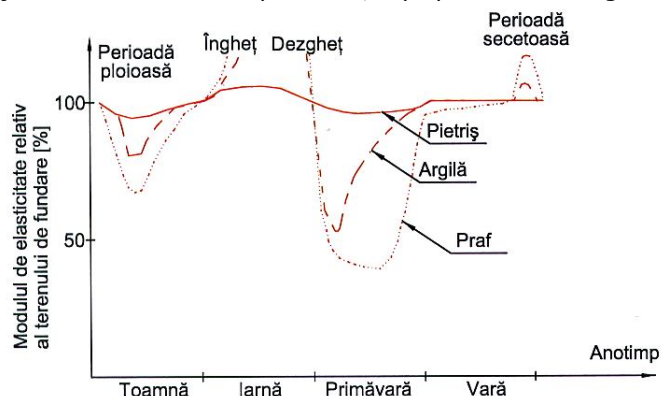


Fig. 3.11. Variația sezonieră a modului de elasticitate a terenului de fundare

### 3.2.2 Regimul pluviometric

Este de notorietate faptul că degradările superficiale ale drumurilor sunt mai mult sau mai puțin rapide sub acțiunea traficului, în funcție de durata perioadei la care îmbrăcămintea rutieră este umedă. Apa din precipitații (ploaie, zăpadă, lapoviță) poate stagna pe suprafața de rulare, datorită scurgerii defectuoase sau a unor degradări care permit acest lucru. Pelicula de apă formată poate deveni foarte periculoasă pentru trafic, putând provoca fenomenul de acvaplănare sau se poate infiltra în complexul rutier, în special datorită neetanșeității îmbrăcămintei rutiere. Astfel, apa din precipitații pătrunde în complexul rutier și, împreună cu apa ridicată prin ascensiune capilară în straturile inferioare, determină scăderea capacității portante a structurilor rutiere și deformații permanente ale acestora (degradări).

Apariția fisurilor de contracție datorate variațiilor de temperatură în structurile rutiere mixte favorizează pătrunderea apei în structura rutieră, care are drept consecințe:

- reducerea aderenței la interfețe, creșterea deformațiilor specifice de întindere la baza îmbrăcămintei bituminoase și a tensiunilor de întindere la baza straturilor stabilizate, ca și o modificare a condițiilor de rezemare a structurii rutiere pe suportul acesteia;
- înrăutățirea transferului de sarcină la fisuri, prin creșterea tensiunilor de întindere la baza stratului stabilizat și a tensiunilor de compresiune pe stratul suport al structurii rutiere și favorizarea procesului de atriție.

Drumurile care au în alcătuire doar stratul de bază din agregate naturale stabilizate cu ciment, prezintă o evoluție relativ rapidă a degradărilor, acest fapt fiind datorat procesului de atriție care are loc la marginea fisurilor, însoțit de pătrunderea apei. Acest proces antrenează apariția la suprafață, în perioadele umede, a noroiului și implicit atrage după sine evoluția rapidă a degradărilor, apărând în timp relativ scurt defecțiuni de tipul faianțarilor.

Referitor la structurile rutiere suple, rigiditatea relativ redusă a acestor structuri determină o sensibilitate deosebită a capacității portante a acestor drumuri la variația regimului pluviometric al terasamentelor rutiere. Această sensibilitate se manifestă prin așa numitele „efecte de margine”, reducerea capacității portante putând conduce la apariția de fisuri și faianțări. Apa, care se infiltrează mai ușor prin

fisuri, accelerează fenomenul de oboseală, prin degradarea marginilor fisurilor și crăpăturilor, apoi prin formarea gropilor în îmbrăcăminte.

În continuare se prezintă defecțiuni ale îmbrăcămintilor rutiere bituminoase care au printre cauze și regimul pluviometric.

Faianțările apar datorită infiltrării apelor în corpul căii.

Făgașele longitudinale pot apărea în cazul pătrunderii apelor în complexul rutier, stratul de formă sau zona activă a terasamentului cedează datorită umidității excesive, antrenând cu sine tasarea structurii rutiere în porțiunea cea mai solicitată.

Degradările provocate de îngheț-dezghet se produc atunci când există o rezervă de apă în apropierea zonei de temperaturi negative din corpul căii care alimentează această zonă, gravitațional, prin infiltrare laterală sau prin ascensiune capilară în perioada de îngheț.

Regimul pluviometric mai poate cauza defecțiuni ale îmbrăcămintilor bituminoase de tipul gropilor sau a tasărilor locale.

În ceea ce privește structurile rutiere rigide, acestea prezintă și ele o serie de defecțiuni ale îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment care au printre cauze regimul pluviometric.

Pompajul poate fi cauzat de prezența apei libere între dală și terenul de fundare datorită infiltrării apelor de suprafață sau datorită apelor subterane.

Faianțările îmbrăcămintilor rutiere rigide se pot produce datorită infiltrării apei de suprafață prin crăpături și rosturi în straturile de fundație și în patul drumului.

Regimul pluviometric mai poate cauza defecțiuni ale îmbrăcămintilor din beton de ciment de tipul tasării dalelor sau distrugerii totale a acestora.

Influența regimului pluviometric asupra apariției diferitelor tipuri de defecțiuni ale îmbrăcămintilor rutiere bituminoase și ale îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment este prezentată sintetic în tabelul 3.5 [48].

Regimul pluviometric influențează comportarea complexelor rutiere și prin acțiunea sa asupra terenului de fundare. Înghețarea pământului din patul drumului cauzează absorbții mari de apă, care pot conduce la fisurări fine. În timpul dezghețului, apa se concentrează în fisuri determinând o scădere dramatică a rigidității terenului de fundare, chiar dacă umiditatea acestuia nu se modifică. Figura 3.12. [81] prezintă variația modulului de reacție al terenului de fundare funcție de precipitații și de presiunea apei din pori, pentru o perioadă de 1 an și jumătate. Valorile din grafic sunt obținute pe un pământ nisipos argilos.

Tabelul 3.5

Influența regimului pluviometric asupra apariției defecțiunilor la îmbrăcămintile rutiere

<b>Îmbrăcăminți rutiere bituminoase</b>				
<b>Defecțiuni ale structurii rutiere</b>			<b>Defecțiuni ale complexului rutier</b>	
Faianțări	Făgașe longitudinale	Gropi	Degradări din îngheț-dezghet	Tasări locale
••	•	••	••	•
<b>Îmbrăcăminți rutiere din beton de ciment</b>				
<b>Defecțiuni ale structurii</b>				
Pompaj	Faianțare	Tasarea dalelor	Distrugerea totală a dalelor	
••	•	•	•	

Notă: • influență redusă  
•• influență importantă

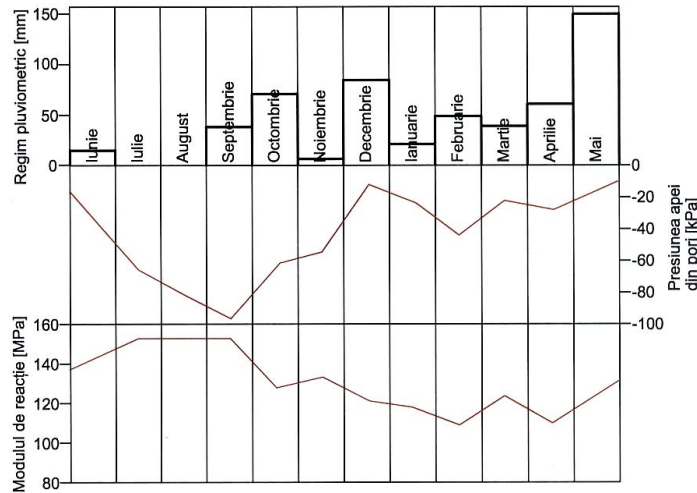


Fig. 3.12. Variația modului de reacție al pământului în raport cu regimul pluviometric și presiunea apei din pori

Schimbările regimului pluviometric și temperaturii pot provoca deformații permanente ale terenului de fundare în mod direct, sub formă de modificări de volum (din cauza umidității) sau chiar alunecări de teren, în situațiile cele mai grave.

### 3.3 Calitatea materialelor din straturile structurilor rutiere

Indiferent de tipul materialelor rutiere (agregate naturale, lianți, agregate naturale stabilizate), pentru ca acestea să poată fi folosite cu succes în domeniul căilor de comunicație terestre, ele trebuie să îndeplinească o serie de condiții de calitate.

Agregate naturale de balastieră folosite în complexele rutiere pentru drumuri sunt nisipul, pietrișul și balastul.

Nisipul trebuie să îndeplinească următoarele condiții funcție de scopul în care este folosit:

- pentru straturi izolatoare: sort 0...8, conținut de fracțiuni sub 0,09 mm max. 12 %, condiția de filtru invers satisfăcută ( $d_{15} < 5d_{85}$ ), coeficient de permeabilitate  $k > 6 \times 10^{-3}$  cm/s;
  - pentru macadamuri: sort 0...8 pentru împănare, conținut de fracțiuni sub 0,02 mm 5...15 %, sort 0...4 pentru protecție, conținut de fracțiuni sub 0,02 max 5 %;
  - pentru pavaje din piatră brută: sort 0...8 pentru substrat și 0...4 pentru protecție, cu un conținut de fracțiuni sub 0,09 mm max. 12 %;
  - pentru straturi din nisip stabilizat cu ciment sau lianți puzzolanici: sort 0...8, cu coeficientul de neuniformitate ( $U_n$ ) min 8 și echivalentul de nisip (EN) min. 30 %;
  - pentru mixturi asfaltice: sorturi 0...4, 4...8, 0...8, cu EN min. 85 %;
  - pentru îmbrăcăminți rigide: sorturi 0...4, 4...8, cu EN min. 85 %.
- Pietrișul prezintă următoarele condiții impuse în scopul în care este folosit:

- pentru straturi rutiere stabilizate: sorturi 8...16, 16...31, uzura Los Angeles (LA) max. 35 %;
- pentru mixturi asfaltice: sorturi 8...16, 16...31, 8...31, conținut de granule sub 0,63 mm max. 1 %, forma granulelor definită de rapoartele  $b/a > 0,66$  și  $c/a > 0,33$ , uzura LA max. 30%;
- pentru tratamente bituminoase: sorturi 8...16, 16...31, cu un grad de spargere min. 50 %;
- pentru îmbrăcămînți rigide: sorturi 8...16, 16...31, 8...31, 16...40, cu un grad de spargere min. 65 %, uzura LA max. 25 %, rezistență la strivire min. 60 %, rezistența la îngheț-dezghet maxim 10 %.

Balastul este supus următoarelor condiții de calitate:

- pentru stratul anticapilar: sort 0...71,  $U_n > 15$ , coeficient de permeabilitate  $k > 3,5 \times 10^{-3}$  cm/s;
- pentru stratul de fundație: sort 0...71,  $U_n > 15$ , EN min. 30 %, uzura LA max. 50 %;
- pentru straturi din balast stabilizat cu ciment: sorturi 0...20 și 0...31, cu  $U_n > 8$ , EN min. 30 %, uzura LA max. 35 %, conținut de fracțiuni 0...7,1 mm 40 ... 65 %;
- pentru straturi de bază din mixturi asfaltice: sort 0...31, cu uzura LA max. 30 %, proporția de granule  $> 31,5$  mm  $< 15$  %.

Referitor la agregate naturale și piatră prelucrată pentru drumuri, produsele din piatră naturală provin din roci magmatice, metamorfice și sedimentare. Rocile trebuie să îndeplinească următoarele condiții petrografice:

- să fie omogene din punct de vedere al compoziției chimice;
- să nu prezinte urme de degradare fizică sau chimică;
- să nu conțină pirită, limonită sau săruri solubile.

Piatra prelucrată pentru drumuri trebuie să prezinte următoarele caracteristici:

- fața pavelor și calupurilor trebuie să fie plană. Baza plană paralelă cu fața și egală cu  $2/3 \dots 3/4$  din suprafața ei, fețele laterale trebuie să fie plane;
- bordurile trebuie să aibă fața plană cu muchii drepte. Fața laterală dinspre carosabil trebuie cioplită  $2/3$  din înălțime.

Piatra brută se utilizează la fundații, pereuri, pavaje, acostamente și trebuie să respecte următoarele condiții impuse funcție de scopul în care este folosită:

- pentru fundații și pereuri are forma apropiată de trunchiul de piramidă cu înălțimea 140...180 mm și lățimea 80...150 mm;
- pentru pavaje și acostamente are formă poligonală, înălțimea 160...200 mm, lungimea și lățimea 100...200 mm.

Piatra spartă se obține prin concasarea și sortarea pietrei brute. Distingem:

- savura: sort 0...8, se folosește la macadam, conținutul de impurități max. 1 %, rest pe ciurul de 8 max. 5 %;
- splitul: sorturi 8...16, 16...25, 25...40, conținutul de impurități max. 1 %, conținut de granule mai mare decât  $d_{max}$  max. 5 %, forma granulelor prin rap.  $b/a$  min. 0,5 și  $c/a$  min. 0,25;
- piatra spartă mare: sorturi 40...63, 63...90, aceleași calități cu splitul;
- piatra spartă sort 25...40 pentru prepararea BcR: conținut de granule mai mare decât  $d_{max}$  max. 5 %,  $< d_{min}$  max. 10 %, uzura LA max. 20 %, coeficient de gelivitate  $\mu_{g25}$  max. 3 %.

Criblura, sorturi: 4...8, 8...16, 16...25 prezintă aceleași condiții de admisibilitate ca și piatra spartă sort 25...40.

Nisipul de concasaj trebuie să aibă conținutul de granule  $> 3,15$  mm maxim 5 % și coeficientul de activitate 1,5 ... 2 %.

Materialele pietroase care se utilizează pentru producerea mixturilor asfaltice (criblurile, nisipul de concasaj etc.) influențează direct calitatea acestora și, deci, comportarea în exploatare a structurilor rutiere executate cu acestea. Materialele pietroase folosite la producerea mixturilor asfaltice trebuie, în principal, să îndeplinească următoarele condiții:

- să fie curate (să nu conțină părți fine nocive, materiale străine etc.);
- să aibă o formă regulată, cât mai apropiată de forma cubică, granulele poliedrice fiind cele mai rezistente;
- să provină din roci dure de natură bazică (pentru mixturi asfaltice);
- să fie rezistente la uzură;
- să fie colțuroase, cu muchii vii;
- să se înscrie în zona de granulozitate prescrisă pentru fiecare tip de mixtură asfaltică și beton de ciment.

Agregatele naturale care nu sunt curate și conțin argilă, praf, substanțe organice sau alte corpuri străine, folosite la prepararea oricăror amestecuri cu bitum (mixturi asfaltice, tratamente bituminoase etc.), compromit în mod sigur reușita lucrării, pentru că împiedică anrobarea granulelor. În contact cu apa se produce umflarea amestecului și dezanrobarea (desprinderea peliculei de liant de pe suprafața granulei de agregat natural), ceea ce conduce la dezgrădinarea (desfacerea) stratului rutier și distrugerea sa totală.

Agregatele naturale sub formă de lancie, aplatizate și cele care nu au formă aproape cubică, nu se pot compacta în condiții satisfăcătoare, iar sub influența traficului se sparg, se rup în bucăți din ce în ce mai mici, favorizând dezanrobarea și pătrunderea apei în stratul rutier și reducând rezistența la oboseală a stratului în care sunt folosite.

Duritatea rocii din care sunt obținute agregatele naturale influențează comportarea acestora la sfărâmare, la uzură sub influența forțelor tangențiale datorate acțiunii pneurilor. Scheletul mineral puternic contribuie la evitarea formării făgașelor și la asigurarea stabilității stratului în exploatare, mai ales pe timp calduros, la menținerea rugozității stratului de uzură și mărirea duratei de exploatare. Straturile rutiere de uzură trebuie să fie realizate în mod necondiționat din agregate naturale deosebit de rezistente la uzură. Rezistența la uzură a agregatelor naturale depinde de natura rocii, forma și dimensiunile granulelor, gradul de alterare a rocii.

Efectul colțurozității (agregate naturale cu multe muchii vii) se manifestă prin mărirea unghiului de frecare interioară a scheletului mineral, obținându-se prin urmare un strat rutier mai dificil de compactat, dar rezistent la forfecare, cu o mare stabilitate și în care nu apar făgașe longitudinale. S-a constatat experimental că pe un beton asfaltic realizat din materiale rotunde, pus în operă pe o pistă de încercări accelerate, după 400.000 de treceri cu roata de probă, s-a produs un făgaș cu o adâncime de 4,5 ori mai mare decât făgașul produs într-un beton asfaltic realizat în aceleași condiții, însă din materiale colțuroase [50].

Filerul îndeplinește următoarele condiții de admisibilitate pentru prepararea mixturilor asfaltice:

- să nu reacționeze chimic cu lianții;
- să asigure o bună adhezivitate a liantului;
- granulele să nu fie poroase pentru a nu mări consumul de liant prin absorbție;
- să nu adsorbă în mod selectiv componenți ai bitumului.



Deoarece bitumul neparafinos pentru drumuri este liantul hidrocarbonat cel mai răspândit în tehnica rutieră, în continuare sunt prezentate condițiile tehnice de calitate pe care acesta trebuie să le îndeplinească în funcție de tipul acestuia (tabelul 3.6).

Tabelul 3.6

Condiții de calitate pentru bitumul neparafinos pentru drumuri

Caracteristica	Tipul bitumului					
	D 25/40	D 40/50	D 50/80	D 80/120	D 120/180	D 180/200
Punct de înmuiere (°C)	57...67	55...60	48...55	43...49	39...45	38...42
Penetrația la 25 °C (zecimi de mm)	25...40	41...50	51...80	81...120	121...180	181...200
Ductilitatea minimă: - la 0 °C (cm) - la 25 °C (cm)	- 25	- 70	- 100	1,5 100	5 100	8 100
Punct de rupere Fraass, (°C,) maxim	-10	-12	-12	-15	-17	-17
Substanțe solubile în sulfură sau tetraclorură de carbon, (%), minim	99	99	99	99	99	99
Punct de inflamabilitate, M, 0°C (min.)	260	260	250	250	240	240
Stabilitate prin încălzire la 163 °C timp de 5 ore: - pierderi de masă (%), maxim - scăderea penetrației (%)	0,3 25	0,3 25	0,4 25	0,4 24	0,9 30	0,9 30
Parafină cu punct de topire min. 45 °C, (%), maxim	2	2	2	2	2	2
Densitate la 15 °C, (kg/m <sup>3</sup> ), min.	1000	998	995	992	990	990

De asemenea, condiții de calitate trebuie să îndeplinească și celelalte materiale folosite la realizarea complexelor rutiere, dar într-o proporție mult mai redusă, cum ar fi: lianții minerali hidraulici (cimentul) și nehidraulici (ipsosul, varul), lianții puzzolanici (cenușa de termocentrală, zgura de furnal înalt, tuful vulcanic) și derivați ai lianților hidrocarbonați (bitumuri modificate, derivați ai bitumului).

Straturile din agregate naturale stabilizate sunt supuse fenomenului de fisurare din contracție. Natura agregatelor naturale intervine în principal prin intermediul valorii coeficientului de dilatație termică al agregatelor naturale, care pentru rocile silicioase este aproape dublu față de cel al rocilor calcaroase:  $10...12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  față de  $6...8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Astfel, această explicație poate justifica comportarea diferită a unor straturi rutiere executate cu agregate naturale silicioase și calcaroase, dar totodată nu trebuie neglijat faptul că evaluarea influenței coeficientului de dilatare termică al agregatelor

naturale în cadrul unor materiale compozite este greu de verificat, deoarece nu poate fi separată de influența liantului.

Cercetările efectuate pe diferite tipuri de materiale stabilizate au arătat că fisurarea datorită contracției în cazul nisipurilor stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici este mai redusă decât în cazul altor agregate naturale stabilizate cu aceeași lianți. Acest fenomen este explicat prin faptul că micșorarea dimensiunii maxime a granulei dintr-un amestec are ca efect creșterea temperaturii necesare pentru producerea fisurării. Pe de altă parte, reducerea dimensiunii maxime a granulei permite, pentru aceleași rezistențe, obținerea unei rigidități mai reduse și deci creșterea deformabilității până la rupere (figura 3.13.) [23].

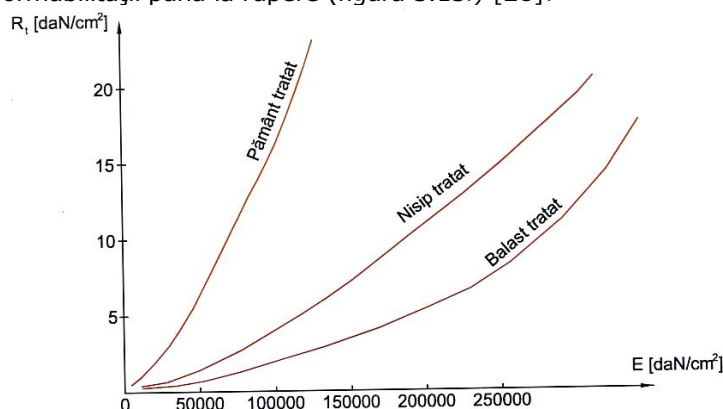


Fig. 3.13. Influența granulozității asupra rezistenței la întindere și modulului de elasticitate pentru diferite materiale stabilizate

Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească agregatele naturale pentru a putea fi folosite la prepararea mixturilor asfaltice sunt bine definite și se referă la mărimea și forma granulelor, natura rocii de bază, granulozitate etc. Ele trebuie să fie mai ales curate, să prezinte o bună adezivitate față de bitumul utilizat, să aibă rezistențe mecanice corespunzătoare, să reziste la uzură.

Agregatele naturale (cribluri, nisip etc.) utilizate la prepararea mixturilor asfaltice trebuie să prezinte o serie de caracteristici dintre care se menționează în mod special următoarele:

- să fie curate, fiind exclus a se obține o mixtură asfaltică acceptabilă cu agregate murdare, cu conținut ridicat de argilă, praf sau alte impurități organice; în cazul agregatelor murdare procesul de dezanrobare (dezlipirea liantului de pe suprafața agregatului natural) este iminent și în consecință lucrarea este compromisă. Se admite parte levigabilă maximum 3 % și un echivalent de nisip de minimum 85 %;
- să prezinte o uzură cât mai mică sub efectul circulației; evident în stratul de rulare se vor folosi agregate de cea mai bună calitate, care să nu se șlefuiască și să nu se uzeze, prezentând suprafețe rugoase;
- să fie omogene din punct de vedere al compoziției mineralogice, să nu prezinte urme de alterare chimică și să nu conțină minerale, care se descompun sub acțiunea agenților atmosferici;
- să provină din roci de natură bazică sau neutră, care permit realizarea unei bune adezivități;
- să prezinte rezistențe mari la compresiune, pentru a nu se sfărâma sub efectul traficului și al intemperiilor;

- forma granulelor să fie poliedrică, neadmițându-se granule lamelare și aciculare, care se sfărâmă foarte ușor sub efectul circulației.

Filerul trebuie să fie uscat și să aibă finețea necesară (fracțiunea sub 0,09 mm, minimum 80 %). Filerul mărește domeniul de plasticitate al bitumului și favorizează adezivitatea la agregatul natural. Filerul mărește frecarea interioară din bitum și coeziunea bitumului și prin aceasta îmbunătățește comportarea mixturii asfaltice la solicitări statice și la rupere și împiedică îmbătrânirea bitumului acționând astfel încât bitumul să-și păstreze timp îndelungat proprietățile lui de liant.

În general, scheletul mineral al unei mixturi asfaltice compus din cribluri și nisip are un volum mare de goluri. Pentru mărirea compactității se adaugă filer, care micșorează volumul de goluri al amestecului, însă mărește suprafața specifică a agregatului natural. În vederea realizării unei mixturi asfaltice corespunzătoare, trebuie să se examineze în primul rând condițiile de calitate impuse acestora. În esență este necesar ca mixturile asfaltice să prezinte următoarele caracteristici mai importante: lucrabilitate, compactitate, stabilitate mecanică și insensibilitate la acțiunea apei.

Lucrabilitatea este proprietatea mixturii asfaltice de a putea fi pusă în operă în condițiile obținerii unor caracteristici fizico-mecanice ridicate ale îmbrăcămintei. Lucrabilitatea unei mixturi asfaltice depinde de o serie de elemente: fluiditatea liantului, granulozitatea agregatului natural, natura și forma agregatelor, dozajul de filer, conținutul de liant.

Compactitatea trebuie să se realizeze la mixturi asfaltice printr-o judicioasă dozare a liantului în funcție de granulozitatea agregatelor naturale, forma granulelor, aplicarea unei tehnologii de compactare corespunzătoare etc.

Stabilitatea mecanică este strâns legată de dozajul de liant și de vâscozitatea lui. Un exces de bitum conduce sigur la vâluriri ale îmbrăcăminții bituminoase. Un liant mai moale, cu un punct de înmuiere scăzut generează de asemenea în exploatare deformații plastice ale îmbrăcămintei bituminoase. Liantul în cantitate insuficientă generează suprafețe poroase, care se pot degrada sub acțiunea traficului și a apei. Un schelet mineral puternic asigură o stabilitate bună a straturilor bituminoase din mixturi asfaltice.

Insensibilitatea la acțiunea apei este influențată în principal de adezivitatea liantului la agregate și prezența argilei în masa mixturii asfaltice, care produce umflări la contactul cu apa.

La betoanele rutiere se utilizează de obicei agregate naturale grele provenite din sfărâmarea naturală sau din concasarea rocilor. Pentru obținerea unor betoane de ciment cât mai rezistente și compacte, agregatele trebuie să provină din cariere și balastiere autorizate, având roci cu caracteristici fizico-mecanice corespunzătoare.

Se recomandă utilizarea nisipului de râu, cuarțos, curat, având granule rotunde, aspre la pipăit, care frecate între degete să scârțâie. În scopul obținerii unor betoane rezistente și lucrabile se limitează și conținutul de părți fine argiloase din nisip, care trebuie să prezinte un echivalent de nisip de minimum 85 %.

Rezistența la îngheț-dezghet a pietrișului, exprimată în pierderea față de masa inițială după ciclurile de îngheț-dezghet trebuie să fie de maximum 10 %, iar conținutul de părți levigabile se limitează la 0,3 %, cu condiția ca în agregatul total să nu depășească 1 %.

Criblura, trebuie să provină din roci dure, magmatice, omogene și compacte. Pentru criblura folosită în stratul de uzură la îmbrăcămințile din beton de ciment de la noi din țară, rezistența de rupere la compresiune trebuie să fie minimum 1 500 daN/cm<sup>2</sup>, rezistența la uzură cu mașina Böhme: maximum 0,1 g/cm<sup>2</sup>, rezistența la

uzură cu mașina Deval minimum 13, rezistența la sfărâmare prin șoc: minimum 80 %, coeficientul de gelivitate: maximum 3 %, iar rezistența la uzură cu mașina Los Angeles trebuie să prezinte valori sub 25 %.

Principalele cerințe impuse cimentului rutier (rezistență mare la întindere și contracție redusă) sunt contradictorii având în vedere că prin creșterea rezistențelor mecanice se mărește și pericolul de fisurare a betonului în perioada de întărire. Din această cauză studiile efectuate au scos în evidență necesitatea alegerii unui tip de ciment rutier, cu rezistențe mecanice medii și priză lentă, considerat eficient din punct de vedere tehnic pentru a fi utilizat la realizarea îmbrăcăminților din beton de ciment.

Calitatea apei este foarte importantă, ea putând să influențeze caracteristicile betonului. Se impune ca sărurile dizolvate în apă să fie sub 1 g/L din care mai puțin de 0,5 g clorură de calciu, iar conținutul de materii în suspensie trebuie să fie sub 0,5 g/L.

Agregatele naturale influențează caracteristicile betonului de ciment prin granulozitate, forma și dimensiunea maximă a granulelor, natura suprafeței granulelor, natura rocii, prezența impurităților etc. Granulozitatea agregatelor prezintă o importanță deosebită pentru caracteristicile betonului de ciment, întrucât influențează volumul de goluri de care depinde dozajul de ciment, cantitatea de apă, lucrabilitatea, rezistențele mecanice, gelivitatea etc.

Granulozitățile diferite, prezentate în figura 3.14., influențează rezistențele betonului de ciment în măsura în care asigură o compactitate maximă și o cantitate de apă de amestecare mică la aceleași condiții de lucrabilitate. Se constată că, la dozaje egale de ciment, rezistența betonului crește o dată cu cantitatea de agregat mare din beton (curba I), în comparație cu un agregat care are multă parte fină (curba III). Această comportare se explică prin faptul că fracțiunea fină necesită mai multă apă de amestecare la aceeași lucrabilitate, iar creșterea cantității de apă produce înfierea nisipului care determină o reducere a dozajului real de ciment și a densității aparente, rezultând un beton mai poros, cu rezistențe mecanice mai mici.

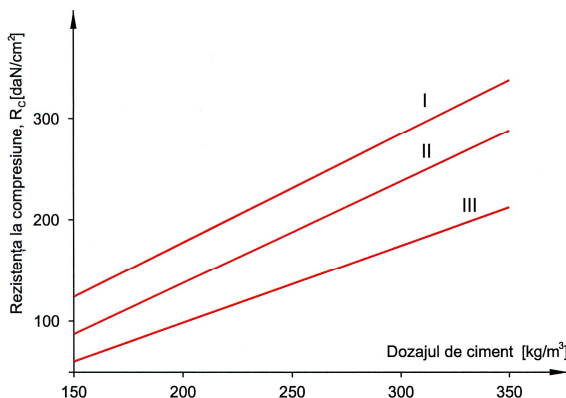


Fig. 3.14. Influența granulozității agregatelor asupra rezistenței la compresiune a betonului de ciment

Prin variația (creștere de la 2 la 9 %) conținutului de parte fină sub 0,25 mm (praf), în cazul menținerii aceleiași lucrabilități, rezistențele mecanice ale betonului prezintă scăderi considerabile cuprinse între 25 și 30 %, fapt prezentat în figura 3.15. [50]. Trebuie menționat totuși faptul că fracțiunile fine sub 0,25 mm nu pot lipsi din compoziția betonului, având în vedere faptul că, până la anumite limite,

favorizează lucrabilitatea acestuia. Se recomandă ca fracțiunea fină a agregatului natural împreună cu cantitatea de ciment să asigure un conținut optim de parte fină totală în masa betonului.

Influența conținutului de nisip în alcătuirea scheletului mineral al betoanelor de ciment rutiere este deosebit de semnificativă sub aspectul modificării principalelor caracteristici ale betonului. Din figura 3.16. se poate observa că pentru un conținut de nisip în alcătuirea scheletului mineral de peste 45...50 %, valorile rezistenței la compresiune ( $R_c$ ), rezistenței la întindere prin încovoiere ( $R_{ti}$ ) și a densității aparente ( $\rho_{ap}$ ) scad foarte mult. De asemenea, valorile acestor caracteristici depind de granulozitatea agregatelor, așa cum reiese și din figura 3.16., în care curbele „a” reprezintă valorile rezistenței la compresiune ( $R_c$ ), rezistenței la întindere prin încovoiere ( $R_{ti}$ ) și a densității aparente ( $\rho_{ap}$ ) în cazul agregatelor având  $D_{max} = 22$  mm, iar curbele „b” în cazul agregatelor având  $D_{max} = 40$  mm.

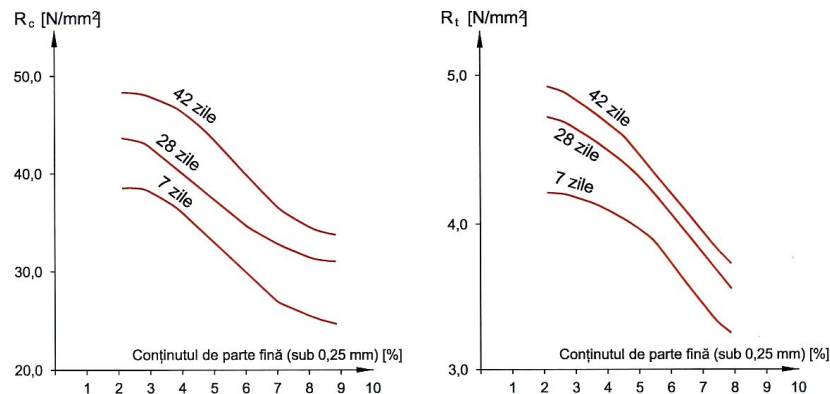


Fig. 3.15. Influența conținutului de praf asupra rezistențelor mecanice ale betonului de ciment

Fracțiunea mare a agregatelor (pietrișul, criblurile sau piatra spartă) prezintă o importanță mai mare întrucât de ele depind rezistențele mecanice și, în special, în cazul betoanelor rutiere din stratul de uzură, rezistența la uzură și ușurința de tăiere a striurilor și striurilor betonului. Aceste materiale este necesar să nu fie gelive, să nu se umfle în prezența apei și să nu conțină elemente alterate.

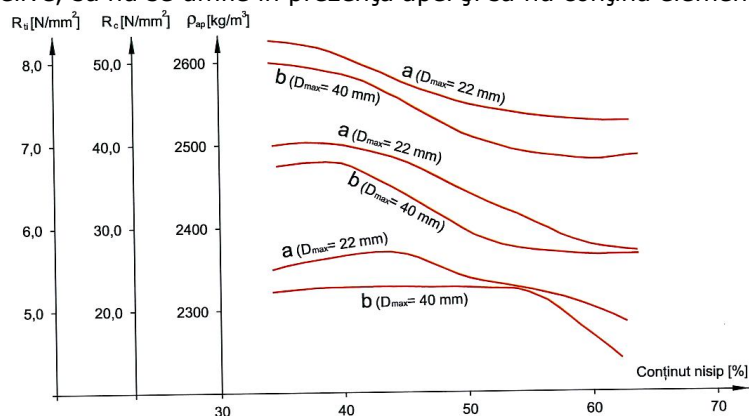


Fig. 3.16. Influența conținutului de nisip și a granulozității agregatelor asupra caracteristicilor betonului de ciment

Este evident faptul că nerespectarea condițiilor de calitate impuse materialelor din straturile structurilor rutiere, pe lângă influențele negative asupra comportării în exploatare a complexelor rutiere, generează defecțiuni ale îmbrăcăminților rutiere.

În continuare se prezintă defecțiuni ale îmbrăcăminților rutiere bituminoase care au printre cauze și calitatea materialelor din structură.

Suprafața șlefuită, se poate produce în cazul realizării îmbrăcămintei bituminoase din mixturi asfaltice cu schelet mineral având conținut ridicat de fracțiuni fine sau prin utilizarea unor agregate naturale, cu rezistență redusă la șlefuire, pentru prepararea mixturilor asfaltice.

Suprafața exsudată poate apărea și din cauza utilizării unui bitum cu vâscozitate redusă (penetrație peste 120 1/10 mm).

Suprafețele încrețite, vălurile și refulările se datorează bitumului de consistență redusă folosit la prepararea mixturilor asfaltice.

Suprafața cu ciupituri poate avea printre cauzele de producere prezența impurităților în nisipul bituminos în cazul îmbrăcăminților executate cu nisip bituminos, agregate naturale cu impurități sau neuniforme din punct de vedere al durității utilizate la prepararea mixturilor asfaltice, Granulele din rocă gelivă, alterată sau moale pot fi sfărâmate la punerea în operă prin compactare sau sub efectul pneurilor autovehiculelor și scoase din stratul de uzură rămânând goluri.

Făgașele longitudinale apar datorită utilizării unor mixturi asfaltice care au un schelet mineral slab (agregate cu granule peste 3 cm în proporție sub 65 %), un conținut de bitum ridicat și/sau de consistență moale.

Calitatea materialelor din straturile rutiere mai pot produce de asemenea defecțiuni ale îmbrăcăminților bituminoase de tipul: suprafață șiroită, peladă, faianțări, gropi.

În ceea ce privește structurile rutiere rigide, acestea prezintă și ele o serie de defecțiuni ale îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment care au printre cauze calitatea necorespunzătoare a materialelor din structură.

Suprafața șlefuită poate apărea la betoanele de ciment rutiere datorită utilizării unor agregate cu rezistență la uzură redusă la prepararea betoanelor de ciment.

Exfolierea se poate produce în cazul folosirii în stratul de uzură a unui ciment necorespunzător sau a unor agregate gelive sau murdare.

Calitatea necorespunzătoare a materialelor mai poate provoca defecțiuni ale îmbrăcăminților din beton de ciment de tipul fisurilor și crăpăturilor, gropilor, faianțărilor sau distrugerii totale a dalelor.

Influența calității materialelor din straturile structurilor rutiere asupra apariției diferitelor tipuri de defecțiuni ale îmbrăcăminților rutiere bituminoase și ale îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment este prezentată sintetic în tabelul 3.7 [48].

### 3.4 Calitatea terenului de fundare

Spre deosebire de alte construcții cu amplasamente de extindere mai redusă, pe traseul unui drum probabilitatea diversității elementelor geologice și geotehnice este mult mai mare, putând fi întâlnite zone cu terenuri dificile (compresibile, sensibile la umezire, cu umflări și contracții mari, cu sensibilitate mare la îngheț, alunecătoare). Funcționalitatea și viabilitatea drumurilor pot fi influențate uneori în sens defavorabil și de comportarea terenurilor din zonele adiacente platformei căii (versanți potențial instabili, zone inundabile etc.).

Tabelul 3.7

Influența calității materialelor asupra apariției defecțiunilor la îmbrăcămintile rutiere

<b>Îmbrăcăminți rutiere bituminoase</b>									
<b>Defecțiuni ale suprafeței de rulare</b>			<b>Defecțiuni ale îmbrăcămintei structurii rutiere</b>				<b>Defecțiuni ale structurii rutiere</b>		
Suprafață șlefuită	Suprafață exsudată	Suprafață șiroită	Peladă	Văluri și refulări	Suprafață cu ciupituri	Suprafață încrețită	Faianțări	Făgașe longitudinale	Gropi
••	•	••	•	••	••	••	•	••	•
<b>Îmbrăcăminți rutiere din beton de ciment</b>									
<b>Defecțiuni ale suprafeței de rulare</b>		<b>Defecțiuni ale îmbrăcămintei structurii rutiere</b>			<b>Defecțiuni ale structurii rutiere</b>				
Suprafață șlefuită	Suprafață exfoliată	Fisuri și crăpături	Gropi		Faianțări	Distrugea totală a dalelor			
••	••	••	••		•	••			

Notă: • influență redusă  
•• influență importantă

Prin specificul lor, drumurile impun cercetării și investigării geologico-tehnice și geotehnice pe traseul lor anumite particularități specifice, care derivă din următoarele considerente:

- lungimea mare a traseului care sporește probabilitatea diversității elementelor geologice și geotehnice;
- necesitatea extinderii investigării geologico-tehnice și geotehnice și în zonele adiacente amprizei, mai ales dacă acestea pot fi afectate de unele fenomene de instabilitate;
- acordarea unei atenții sporite fazei de recunoaștere a terenului pentru depistarea unor zone cu pământuri dificile ca teren de fundare, precum și observarea fenomenelor specifice de alunecări de teren, în special pentru faza primară a acestora de alunecare lentă;
- necesitatea identificării zonelor de traseu cu rambleuri înalte și debleuri adânci;
- necesitatea cartării geologico-tehnice pentru a avea date asupra stratificației și tectonicii, a fenomenelor fizico-geologice, a morfologiei și a antecedentelor terenului.

Terasamentele sunt în permanență expuse acțiunii agenților exteriori, care exercită o influență hotărâtoare asupra comportării lor. Variația de umiditate și temperatură în decursul anului determină mărirea sau micșorarea capacității portante a terasamentelor, deci rezistența și stabilitatea complexului rutier. Apa care, sub diferitele ei forme, exercită o influență hotărâtoare asupra comportării terasamentelor, poate rezulta fie prin infiltrarea precipitațiilor atmosferice, fie prin ascensiunea capilară a apelor subterane.

Precipitațiile atmosferice care cad pe suprafața platformei drumului și se scurg pe aceasta se pot infiltra prin îmbrăcămintea permeabilă și, mai ales, prin

acostamentele neetanșate până în terenul de fundare. Dacă nivelul apelor subterane se găsește la mică adâncime, apa capilară poate de asemenea să ajungă până la terenul de fundare și să-l umezească. Înălțimea ascensiunii capilare depinde de mărimea granulelor și de gradul de compactare al pământului, variind de la câteva zeci de centimetri la câțiva metri, pentru pământurile prăfoase și argiloase.

Pământul bine compactat poate îndeplini în mare măsură rolul unui strat izolator. Un pământ bine compactat corespunzător și la umiditatea optimă de compactare absoarbe puțină apă și reduce în mare măsură deplasarea apei capilare, umiditatea rămâne în exploatare aproape constantă, ceea ce sporește în mare măsură stabilitatea terasamentelor.

În timpul înghețului îndelungat, diferențele de temperatură la nivelul superior al terasamentelor și la nivelul apelor subterane sunt mari, ceea ce creează o depresiune, care determină migrarea apelor subterane din straturile mai calde spre straturile superioare mai reci prin deplasarea apei peliculare sau a vaporilor de apă (figura 3.17.).

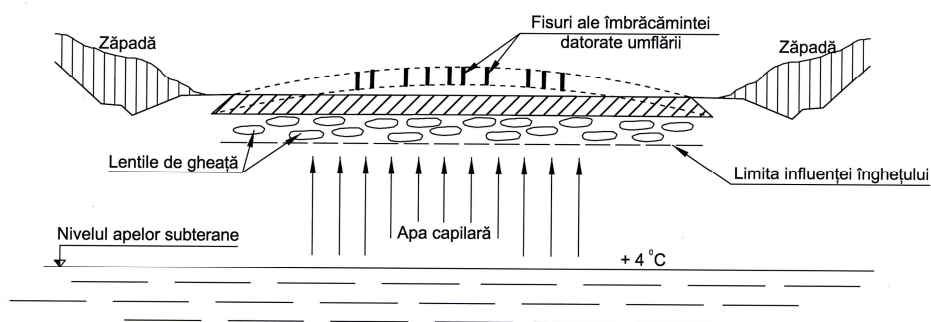


Fig. 3.17. Formarea lentilelor de gheață în terenul de fundare

Energia specifică superficială, care ține legată particula de apă de granula de pământ, crește pe măsură ce temperatura scade, cu alte cuvinte, o granula de pământ mai rece poate menține legată o peliculă mai groasă de apă decât o granula cu o temperatură mai ridicată. Deci, pelicula de apă de pe granula care se răcește se îngroașă prin atragerea moleculelor de apă de pe granulele din straturile mai calde ale pământului.

Când temperatura scade sub zero grade, apa îngheață în porii relativ mari ai pământului, formând cristale de gheață izolate. În jurul acestor cristale se formează o depresiune datorită căreia cristalele își măresc treptat volumul, atrăgând spre ele umiditatea din pământul înconjurător. Pământul capătă o stratificație orizontală, între straturi fiind intercalate lentile de gheață a căror grosime poate varia de la câțiva mm până la câțiva cm. Acestea pot provoca umflarea neuniformă a terasamentului, ceea ce poate duce la denivelarea și fisurarea îmbrăcămintilor.

Deplasarea apei și acumularea acesteia în pământ sub formă de lentile de gheață se produce cu atât mai frecvent cu cât pământul conține o cantitate mai mare de particule prăfoase și argiloase (sub 0,05 mm). Tendința lentilelor de gheață de a-și mări volumul crește pe măsură ce pământul conține particule mai fine. Pe de altă parte, însă, circulația interioară a apei devine cu atât mai dificilă cu cât pământul este mai fin, de aceea pământurile argiloase sunt mai puțin periculoase la îngheț decât cele prăfoase.



Depozitarea zăpezii pe acostamentele drumului, ca urmare a dezăpezirii părții carosabile, agravează fenomenele de mai sus, întrucât zăpada întârzie dezghețul pământului din acostamente, îngreunând prin aceasta uscarea corpului drumului. Drept urmare, cantități mari de apă pot ajunge să fie închise ca într-o covată (figura 3.18.) chiar sub structura rutieră, contribuind la micșorarea capacității portante a terenului de fundație și la deformația întregului complex rutier sub efectul traficului.

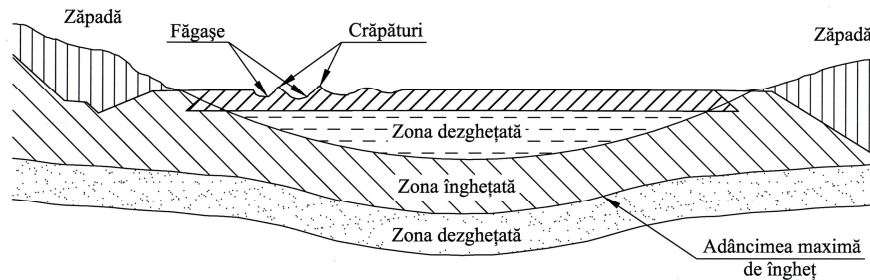


Fig. 3.18. Producerea degradărilor din îngheț-dezgheț

Degradările din îngheț-dezgheț determinate de calitatea terenului de fundare apar când pământul din patul drumului este sensibil la îngheț, sau straturile rutiere sunt contaminate cu argilă sau praf.

Terasamentele sunt supuse în permanență la acțiunea greutății proprii, a traficului și la acțiunea agresivă a agenților naturali. La drumuri, greutatea sarcinilor provenite din trafic este relativ redusă față de greutatea proprie a terasamentelor în rambleu. Acțiunea cea mai importantă asupra stabilității și durabilității terasamentelor o exercită apa, sub toate formele, precum și variațiile de temperatură. Ca urmare a acestor solicitări, terasamentele pot să se deformeze sau să-și piardă echilibrul, apărând astfel fenomene de tasare, sau alunecări de teren.

Se numesc tasări acele cedări ale platformei rambleurilor care se produc relativ încet, numai pe verticală, și care se datorează îndesării naturale a pământurilor înfoiate prin săpare și insuficient compactate cu ocazia execuției. La aceasta se mai adaugă și tasarea eventuală a terenului de fundare. Sub acțiunea greutății rambleurilor, unele terenuri de fundare pot suferi, din cauza capacității portante necorespunzătoare, tasări importante, însoțite de cedarea terenului natural și refularea acestuia de o parte sau de ambele părți ale rambleului (figura 3.19.).

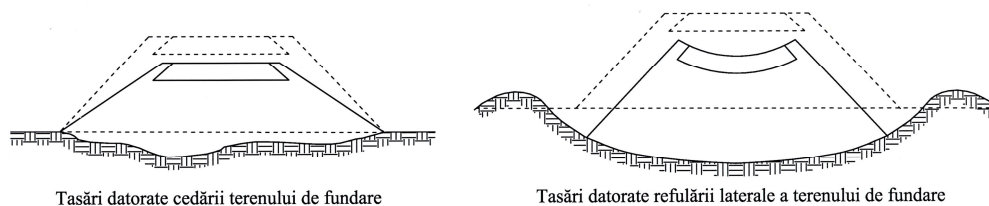


Fig. 3.19. Producerea tasărilor datorate terenului de fundare

Fenomenul de refulare a terenului de fundare este un fenomen de cedare plastică și se produce atunci când, sub acțiunea solicitărilor, eforturile tangențiale

din anumite puncte depășesc rezistența la tăiere a pământului respectiv. Cedarea terenului de fundare de sub rambleuri se mai poate datora și prezenței apelor subterane la un nivel ridicat, sau infiltrării apelor de suprafață, adică unei supraumeziri a pământului de la baza terasamentelor.

Desprinderea unor mase mari de pământ din terenul natural sau din rambleurile executate și deplasarea lor sub acțiunea gravitației pe o anumită suprafață formează o alunecare de teren (figura 3.20.).

Alunecările sunt simple, când nu sunt însoțite de răsturnarea, surparea sau prăbușirea maselor de pământ. În cazul acesta se produc simple dislocări, în care masele de pământ se desprind și se deplasează. De regulă, însă, fenomenul de alunecare este însoțit și de fenomene de prăbușiri și surpări, care tulbură stabilitatea întregii mase de pământ.

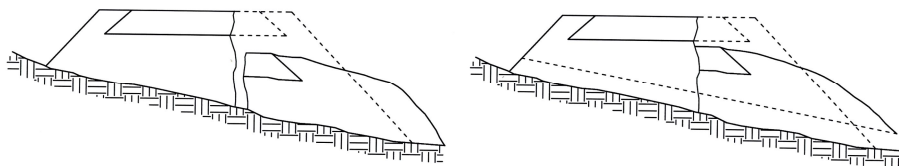


Fig. 3.20. Alunecarea unei părți de rambleu

Suprafața de alunecare este în general condiționată de structura geologică a versantului (de exemplu, un strat de argilă îmbibat cu apă), sau de apariția în interiorul maselor de pământ a unor suprafețe de rupere, de-a lungul cărora rezistența la forfecare pentru pământul respectiv să fie depășită de eforturile unitare tangențiale.

Cele mai multe alunecări nu apar spontan. O pantă susceptibilă de alunecare poate să rămână în echilibru ani de zile și numai morfologia caracteristică terenurilor alunecate și prezența de crăpături indică instabilitatea terenului. Pentru ca pornirea să devină activă, sunt necesare mici modificări ale echilibrului. Uneori este suficient un zgomot puternic sau trepidațiile produse de trecerea prin apropiere a unui vehicul greu, ca să declanșeze mișcarea.

Factorul principal care produce alunecarea terenurilor este umezirea excesivă, datorată, fie precipitațiilor atmosferice, fie acțiunii apelor subterane.

Pierderea stabilității taluzurilor debleurilor și rambleurilor are loc prin depășirea rezistenței la forfecare a pământului de-a lungul unor suprafețe de stratificație, sau de-a lungul unor suprafețe de rupere prin alunecare în pământ. Cedarea se produce atunci când forțele active, componente ale greutateii pământului și forțelor exterioare, după suprafața de cedare, depășesc forțele de frecare interioară și coeziunea ce se pot mobiliza pe aceste suprafețe.

Pentru a putea studia influența calității terenului de fundare asupra comportării complexelor rutiere sunt necesare câteva precizări referitoare la dependența stării de eforturi, care se dezvoltă în terasamentele platformei drumului, de rigiditatea căii în plan vertical și intensitatea traficului.

Eforturile unitare verticale care apar la nivelul patului drumului și în terasament variază, pentru aceeași intensitate a traficului, în funcție de rigiditatea căii în plan vertical. Cu cât calea este mai rigidă, cu atât eforturile verticale care se dezvoltă în zona patului drumului căii sunt mai mari. Peste o anumită valoare a efortului unitar vertical din terasament și în raport cu numărul de cicluri de solicitare se dezvoltă deformații locale remanente. Deformațiile remanente care se produc la nivelul terenului de fundare sporesc datorită stagnării apelor, care influențează

nefavorabil caracteristicile mecanice ale pământurilor și pot fi sub formă de adâncituri de suprafață, deformări ale patului drumului, în cazul unor pământuri argiloase cu plasticitate mare, pungi de balast.

Adânciturile de suprafață constă în tasări ale terenului de fundare, în special în dreptul urmelor roților autovehiculelor, unde presiunile transmise terasamentului sunt maxime. Mărimea acestor adâncituri superficiale depinde pe de o parte de valoarea eforturilor unitare la nivelul patului drumului și pe de altă parte de caracteristicile mecanice ale pământului din terenul de fundare. În cazul în care partea superioară a terasamentului este alcătuită din argile cu plasticitate ridicată, deformațiile de suprafață sunt însoțite de înnoirea și colmatarea straturilor de fundație din materiale granulare ale structurilor rutiere (balast, piatră spartă), mai ales când în zona activă a terasamentelor sunt încorporate argile moi sau mături.

Terenurile de fundare alcătuite din pământuri necoezive influențează comportarea structurilor rutiere în exploatare prin starea lor de îndesare caracterizată prin gradul de îndesare și capacitatea de îndesare.

Gradul de îndesare al pământurilor necoezive,  $I_D$ , se definește cu relația 3.9 și este necesar de a se determina pentru a caracteriza mai bine starea de îndesare sau afânare în care se pot întâlni în natură pământurile nisipoase.

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad [-] \quad (3.9)$$

în care:

$e$  este indicele porilor corespunzător stării naturale de îndesare;

$e_{\max}$  - indicele porilor corespunzător stării de afânare maximă;

$e_{\min}$  - indicele porilor corespunzător stării de îndesare maximă.

Capacitatea de îndesare,  $C_i$ , este un indice geotehnic propriu fiecărui fel de pământ necoeziv, se definește cu ajutorul relației 3.10 și exprimă proprietatea acestuia de a-și micșora volumul golurilor (porilor) prin reșezarea particulelor solide.

$$C_i = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\min}} \quad [-] \quad (3.10)$$

Cu cât capacitatea de îndesare a unui pământ nisipos are valoarea mai mare, cu atât acesta poate avea variații mari mai mari ale volumului de goluri și deci tasări mai mari sub acțiunea solicitărilor din trafic.

Pământuri dificile ca teren de fundare sunt pământurile cu umflări și contracții mari (PUCM), numite și pământuri contractile, expansive sau active. Acestea sunt pământuri argiloase care prezintă proprietatea de a-și modifica sensibil volumul, atunci când umiditatea lor variază, și sunt caracteristice și zonei de câmpie a Banatului. Aria de răspândire a acestor pământuri în România, implicit în zona Banatului, a fost prezentată în capitolul 1.3, figura 1.8.

Variațiile de volum cauzate de variațiile de umiditate ale PUCM sunt influențate de:

- activitatea pământurilor;
- condițiile hidrogeologice;
- variațiile de umiditate;
- presiunea transmisă de fundație;
- grosimea stratului;
- suprafața umezită;
- proprietățile fizice și chimice ale lichidului care produce umezirea pământului.

În ceea ce privește activitatea pământurilor, la baza adsorbției de apă sunt fenomene de natură electromoleculară, a căror explicație trebuie căutată în natura mineralogică a particulelor argiloase, forma și finețea lor, natura dipolară a apei și cationii combinațiilor chimice disociate, care se găsesc în apa din natură. Mineralul argilos care prezintă cele mai intense mărimi de volum este montmorillonitul, iar variația de volum este legată de fenomene moleculare și electromoleculare, reflectate prin existența apei peliculare și a celei capilare, mărimea lor va depinde de natura mineralogică a particulelor care alcătuiesc fracțiunea argilooasă și de natura ionilor absorbiți.

În ceea ce privește condițiile hidrogeologice, care influențează comportarea terenurilor contractile, deosebim trei situații:

a). nivelul hidrostatic subteran este la o adâncime mai mare de 10,00 m. Diagrama de variație a umidității cu adâncimea de la suprafața terenului, determinată prin măsurători periodice de teren, arată că la adâncimea de cca. 2,00m umiditatea se menține practic constantă în tot timpul anului;

b). nivelul hidrostatic subteran este la o adâncime mai mică de 2,00 m. Diagrama arată un orizont de iarnă și al altu de vară, adâncimea de la care umiditatea rămâne practic constantă fiind de cca. 1,40 m. De la această adâncime fundațiile nu mai sunt influențate de uscăciune;

c). nivelul hidrostatic subteran este la o adâncime intermediară, între 2,00 și 10,00 m. În acest caz diagrama rezultă ca o combinație a celor două cazuri precedente. Din ea rezultă că zona AB nu este supusă variațiilor de umiditate. Punctele C și D corespund adâncimilor maxime de variație ce se ating vara (D), respectiv iarna (C). Fundarea în zona AB sau sub punctul D când zona AB lipsește, se face în condiții sigure. Punctele A, B, C, D se stabilesc prin observații sezoniere în teren.

Variația umidității cu adâncimea, a pământurilor active, corespunzătoare celor trei situații descrise anterior, este prezentată grafic în figura 3.21. Din diagramă rezultă foarte clar influența deosebit de puternică a pământurilor contractile asupra comportării în exploatare a complexelor rutiere, dat fiind faptul, că drumurile sunt construcții a căror fundație nu se găsește la adâncimi mari, decât în situații excepționale.

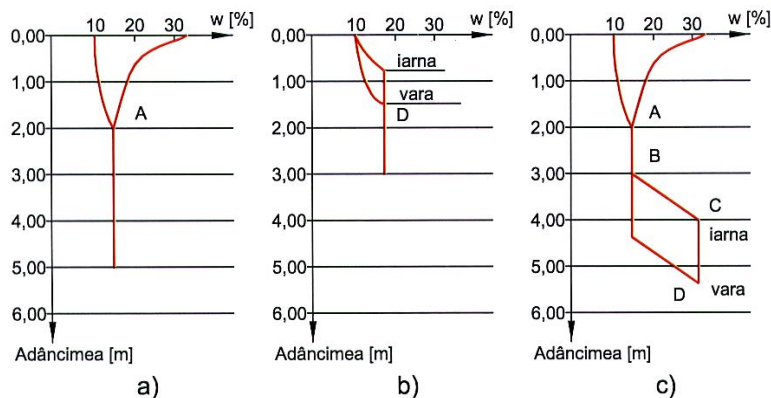


Fig. 3.21. Variația umidității pământurilor active în raport cu adâncimea

Umiditatea și îndesarea influențează în sensul că la creșterea umidității inițiale se reduce umflarea, iar la o umiditate egală cu umiditatea de umflare, deformația de umflare nu are loc. Cu mărirea îndesării inițiale, crește umflarea.

Presiunea de umflare este independentă de suprasarcină, de umiditatea inițială, gradul de umiditate și grosimea stratului și crește cu creșterea densității inițiale a pământului în stare uscată.

Cu cât stratul este mai gros, cu atât există posibilitatea ca să aibă loc o umflare mai mare rezultată din însumările umflărilor ce au loc în diferite puncte.

Cu cât suprafața umezită sub nivelul patului drumului va avea dimensiuni mai reduse, cu atât crește neuniformitatea deformațiilor care vor avea loc, mărin gradul pericolului apariției unor degradări în structura rutieră.

O altă categorie de pământuri dificile ca teren de fundare, cu influență directă asupra comportării în exploatare a structurilor rutiere, cu particularitate și pentru zona Banatului o reprezintă pământurile sensibile la umezire (PSU). Acestea sunt pământuri coezive macroporice nesaturate, care la contactul cu apa suferă modificări bruște și ireversibile ale structurii interne, reflectate prin tasări suplimentare cu caracter de prăbușire (colaps) și scăderi ale valorilor parametrilor geotehnici de comportament mecanic. Repartiția acestor tipuri de pământuri pe teritoriul României a fost prezentată în capitolul 1.3, figura 1.9.

Referitor la prăbușirea structurii pământurilor sensibile la umezire s-au făcut câteva ipoteze. Astfel, se consideră că prăbușirea este provocată de creșterea grosimii peliculei de apă adsorbită, care conduce la scăderea coeziunii primare, apa având și rol de lubrifiant. O altă ipoteză consideră că prăbușirea se produce în cea mai mare parte prin dizolvarea carbonaților de calciu și prin dispariția angrenajului capilar prin inundarea pământului.

S-a constatat că deformațiile care se produc datorită umezirii se manifestă în zona activă a terasamentelor și sunt rezultatul a două fenomene: reducerea porozității prin reșezarea elementelor componente ale structurii și umflarea fracțiunii fine argiloase care intră în alcătuirea pământului. Din acest considerent s-a definit un coeficient de legare a loessului cu liant argilos care se calculează cu relația 3.11 [38].

$$k_L = \frac{A\%}{N\% + P\%} \quad [-] \quad (3.11)$$

în care:

$k_L$  este coeficient de legare a loessului cu liant argilos;

A %, N %, P % - fracțiuni granulometrice (argilă, praf, nisip).

Mărimea deformației provocată de umezirea pământului este influențată nu numai de proporția de argilă din pământ, ci și de natura mineralogică a acesteia. Astfel, mineralele argiloase care în contact cu apa prezintă umflări mari, reduc mărimea deformațiilor datorate umezirii loessurilor.

Pământuri dificile pentru fundare sunt și pământurile sensibile la îngheț-dezgeț, care în zona Banatului reprezintă o altă particularitate geotehnică a zonei. Prin înghețare apa își mărește volumul, astfel că în masa pământului apare o stare de tensiune și deformație generată de presiuni de umflare cauzate de înghețarea apei din pori. Deteriorarea structurii și umflarea pământurilor datorită înghețului se produce prin fenomenul de segregare macroscopică, care deteriorează structura pământului reducându-i totodată proprietățile de rezistență. Din experiență s-a constatat că pot fi sensibile și foarte sensibile la îngheț (gelive) atât argilele cât și pământurile nisipoase, dar cele mai sensibile (periculoase) sunt pământurile prăfoase, care nu trebuie utilizate pentru executarea terasamentelor, mai ales în cazurile în care există surse de apă care le-ar putea umezi.

De remarcat că pământurile necoezive (nisipuri, pietrișuri, bolovănișuri) fără liant argilos, în cadrul procesului de îngheț nu formează lentile de gheață, ci numai

cristale de gheață. În același timp, prin îngheț, pământul se transformă într-o masă rigidă, iar cristalele de gheață formate nu diminuează capacitatea portantă a terasamentelor executate din aceste pământuri.

Pământurile coezive (argile, argile prăfoase, prafuri, prafuri argiloase, prafuri nisipoase, nisipuri prăfoase și argiloase) formează lentile de gheață care provoacă o scădere locală a temperaturii, determinând migrarea apei din zonele mai calde spre cele reci și astfel are loc fenomenul de mărire a dimensiunilor lentilelor de gheață. Ca urmare a măririi dimensiunilor, forțele verticale de umflare cresc, ceea ce duce în final la formarea burdușirilor și a celorlalte degradări din îngheț.

Cercetările efectuate în ultimul timp în diverse țări au arătat că există și alte caracteristici care pot influența sensibilitatea la îngheț a pământurilor. Printre acestea ar fi gradul de compactare al pământului, natura mineralogică a particulelor, ascensiunea capilară etc. Astfel, Beskow consideră că nu sunt supuse umflării pământurile care au o ascensiune capilară mai mică de 1,00 m (pietrișuri, nisipuri, argile tari). Sunt sensibile la îngheț pământurile cu o ascensiune capilară de 1,00...2,50 m dacă nu sunt îndesate și între 2,50...4,00 m, chiar dacă sunt bine îndesate. Pot provoca umflări argilele fine și sedimentele foarte fine, cu o ascensiune capilară mai mare de 2,00 m, dacă nu sunt îndesate și mai mare de 3,00 m, dacă conțin mai mult de 50 % elemente având diametrul mai mic de 0,02 mm [50].

Cauzele defecțiunilor și degradărilor drumurilor sunt multiple și variate, printre ele de multe înscriindu-se și comportarea necorespunzătoare a terenului de fundare sau a materialului din corpul terasamentului în rambleu.

Practica a confirmat că în general între procesul de agravare în timp a defecțiunilor și comportarea necorespunzătoare a terenului de fundare există o relație de potențare reciprocă, fiecare dintre cele două procese influențându-l negativ pe celălalt.

Este evident că există o serie de defecțiuni și degradări ale drumurilor, ale căror cauze pot să nu includă inițial influența comportării terenului natural de fundare sau a umpluturii din care este alcătuit patul drumului. La fel de adevărat este și faptul că multe dintre aceste defecțiuni și degradări pot determina comportarea necorespunzătoare a terenului de fundare, care la rândul ei poate agrava aceste degradări sau poate constitui cauza principală a producerii altor defecțiuni și degradări.

Referitor la defecțiunile îmbrăcăminților bituminoase calitatea terenului de fundare poate determina apariția rupturilor de margine, în condițiile în care scurgerea apelor de pe părțile marginale ale platformei drumului este necorespunzătoare și astfel determină comportarea necorespunzătoare a terenului de fundare (tasări, refulări), mai ales dacă acesta este alcătuit din pământuri argiloase și prăfos-argiloase.

Fisurile și crăpăturile îmbrăcăminților asfaltice pot fi generate de umflările și/sau contracțiile unui teren natural de fundare activ.

Faianțările pot fi provocate de contaminarea cu pământ argilos a straturilor de fundație. De asemenea, o altă cauză a faianțărilor o constituie tasarea și refularea sub trafic greu, mai ales în cazul unei supraumeziri locale, produse de topirea lentilelor de gheață formate în patul drumului, cu atât mai mult atunci când acesta este alcătuit din pământuri gelive.

Făgașele se datorează în general subdimensionării complexului rutier, în producerea lor un rol hotărâtor având procesul de deformare pronunțată a fundației și a pământului din patul drumului. Pătrunderea apei în complexul rutier produce creșterea umidității terenului de fundare, care reduce capacitatea portantă la nivelul

patului drumului și facilitează tasarea structurii rutiere, formându-se astfel fâgașe în zonele mai puternic solicitate de trafic.

Degradările din îngheț-dezghet se datorează umflărilor neregulate generate de mărirea prin înghețare a volumului apei din pământ în zona de îngheț prin transformarea acesteia în lentile de gheață, precum și prin reducerea capacității portante la nivelul patului drumului, ca urmare a creșterii umidității la dezghet. Aceste tipuri de degradări se produc sub acțiunea combinată și/sau simultană a următorilor factori legați de calitatea terenului de fundare:

- existența în patul drumului a unui pământ sensibil la îngheț;
- existența în apropierea zonei de îngheț a complexului rutier a unei surse de apă, care să alimenteze zona respectivă, inclusiv terenul de fundare, gravitațional, prin infiltrare laterală sau prin ascensiune capilară, în perioada de îngheț;
- persistența pe o perioadă îndelungată a înghețului care să favorizeze migrarea apei spre zona de îngheț, ceea ce are ca urmare mărirea lentilelor de gheață și prin aceasta sporirea tensiunilor în zona activă a terasamentului supusă înghețului.

Producerea tasărilor locale a complexelor rutiere cu îmbrăcămînți bituminoase pot avea ca și cauze de producere cedarea terenului de fundare sau unele refulări laterale ale materialului pământos din corpul unor terasamente în rambleu.

Este evident că și în cazul drumurilor cu îmbrăcămînți rutiere din beton de ciment, complexul rutier poate fi afectat de degradări specifice unor fenomene de instabilitate a terasamentelor (alunecări, refulări laterale, tasări etc.).

O structură rutieră rigidă dimensionată necorespunzător, respectiv cu dale de grosime și rezistență insuficiente, fără sau cu sisteme ineficiente pentru drenarea apelor din corpul drumului, cu o capacitate portantă neuniformă a straturilor de fundație și a terenului din patul drumului, determină apariția de defecțiuni și degradări ale îmbrăcămintei și ale structurii dalelor de beton.

Dintre defecțiunile și degradările îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment, la a căror apariție și dezvoltare, capacitatea portantă, natura și deformabilitatea terenului de fundare pot avea o influență hotărâtoare, se rețin fisurile și crăpăturile, fenomenul de pompaj, faianțările, tasarea dalelor și distrugerea totală a acestora.

Fisurile și crăpăturile dalelor din beton de ciment pot apărea datorită capacității portante reduse și neuniforme a terenului de fundare în lungul dalelor sau datorită tasărilor neuniforme ale terenului din patul drumului. Existența în patul drumului a unor pământuri active sau gelive constituie o altă cauză, care poate contribui la formarea și mai ales la dezvoltarea fisurilor și transformarea acestora în crăpături, prin presiunea generată de creșterea de volum a acestora prin umflare sau înghețare.

Fenomenul de pompaj se produce de-a lungul rosturilor transversale sau longitudinale, în lungul fisurilor și a marginilor îmbrăcămintei din beton de ciment și are ca și cauză principală prezența apei libere între stratul de fundație și terenul de fundare. Sub acțiunea presiunii dalei de beton generată de încărcările din trafic, pământul argilos amestecat cu apă este expulzat spre exterior prin rost.

Faianțările pot fi cauzate de umezirea excesivă a patului drumului ca urmare a infiltrării apei de pe suprafața părții carosabile prin fisuri și/sau crăpături sau rosturi decolmatate, precum și a unei drenări insuficiente a corpului drumului. De asemenea, prezența în terenul de fundare a unor pământuri gelive, concomitent cu umezirea acestora, pot determina apariția faianțărilor.

Cauza determinantă a tasărilor dalelor de beton de ciment o constituie o comportare necorespunzătoare a terenului de fundare, respectiv capacitatea portantă redusă și deformabilitate pronunțată a acestuia datorită umezirii, astfel încât uneori dalele pot rămâne în consolă. De asemenea, tasarea, refularea laterală sau alunecarea terasamentelor în rambleu pot provoca tasarea dalelor în zona afectată de aceste instabilități.

Distrugea totală a dalelor se poate produce datorită capacității portante reduse sau neuniforme a terenului de fundare sau datorită fenomenelor de tasare a terasamentelor.

Influența calității terenului de fundare asupra apariției diferitelor tipuri de defecțiuni ale îmbrăcăminților rutiere bituminoase și ale îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment este prezentată sintetic în tabelul 3.8.

Tabelul 3.8

Influența calității terenului de fundare asupra defecțiunilor la îmbrăcămințile rutiere

<b>Îmbrăcăminți rutiere bituminoase</b>					
<b>Defecțiuni ale suprafeței de rulare</b>	<b>Defecțiuni ale structurii rutiere</b>			<b>Defecțiuni ale complexului rutier</b>	
Rupturi de margine	Fisuri și crăpături	Faianțări	Făgașe longitudinale	Degradări din înghețdezgheț	Tasări locale
•	•	••	••	••	•
<b>Îmbrăcăminți rutiere din beton de ciment</b>					
<b>Defecțiuni ale îmbrăcămintei</b>	<b>Defecțiuni ale structurii</b>				
Fisuri și crăpături	Pompaj	Faianțare	Tasarea dalelor	Distrugea totală a dalelor	
•	•	••	••	••	

Notă: • influență redusă  
•• influență importantă

Prin poziția sa geografică, prin morfologia și litologia sa, prin regimul climateric și pluviometric, zona de câmpie a Banatului prezintă sub aspect geologico-tehnic și geotehnic unele particularități specifice. Necunoașterea și neluarea în considerare a acestor particularități specifice la proiectarea și construcția drumurilor poate influența defavorabil comportarea în exploatare a acestora [40].

În general stratificația terenului în zona de câmpie a Banatului, cuprinde straturi aluviale, de natură nisipoasă, prăfoasă și argiloasă, cu așezare, de regulă, încrucișată. În unele locuri pământurile argiloase sunt active și sensibile la umezire, iar cele prăfoase și prăfos-nisipoase au o sensibilitate ridicată la îngheț. Nivelul apei subterane este relativ ridicat, iar condițiile de drenare gravitațională sunt reduse.

În luncile râurilor Timiș și Bega, care străbat Câmpia Timișului de la est la vest, în stratificația terenului este prezentă o crustă relativ subțire (1,00...2,00 m) slab coezivă alcătuită din prafuri nisipoase, prafuri, prafuri argiloase după care urmează în general depozite de nisipuri de diverse granulozități. Starea de îndesare relativ redusă a nisipurilor fine din zona superioară a stratificației, constatată în diverse situații prin încercări de penetrare, corelată cu nivelul ridicat al apei subterane, sporește potențialul de lichiefiere (scădere bruscă a rezistenței la forfecare) a acestor nisipuri.

Existența în Câmpia Timișului a numeroase meandre, brațe moarte, lacuri și bălți, colmatate natural sau artificial, asociate cu condiții reduse de drenare gravitațională a apei, face ca pe alocuri în stratificația terenului să fie prezente și



pământuri de natură măloasă. Pe o suprafață considerabilă din zona de câmpie a Banatului, inclusiv în Câmpia Timișului sunt prezente pământuri active, în general cu potențial de umflare-contrație mediu, dar și mare ocazional.

În general aspectele geotehnice caracteristice Câmpiei Timișului se regăsesc și în Câmpia Bârzavei.

Câmpia Torontalului (Arancăi) aparține treptei joase de câmpie a Banatului. Stratificația terenului specifică, se caracterizează printr-o relativă neuniformitate. Astfel, sub stratul de teren vegetal este prezentă, de regulă, o crustă argilos-prăfoasă cu extindere în adâncime până în jur de 4,00...5,00 m, urmată de nisipuri, sau, mai rar, un complex de pământuri nisipoase. Pământurile argilos-prăfoase au o consistență variabilă de la plastic consistent la plastic vârtos, un grad de umiditate de la umed la saturat, respectiv o stare de consolidare medie. Încercările de penetrare dinamică, efectuate în mai multe zone din Câmpia Arancăi, au indicat pentru complexele nisipoase o stare de îndesare mai slabă la suprafață (până la adâncimi de 2,00...3,00 m), respectiv medie spre adâncime.

Sub aspect geotehnic, Câmpia Vingăi se caracterizează prin prezența în stratificația terenului a pământurilor argilos-prăfoase de natură loessoidă. Tasarea suplimentară a acestor pământuri argiloase loessoide, care în general depășește 2 %, numai pentru straturile situate la adâncimi de până la 3,00...4,00 m, nu are caracter de prăbușire, ci se datorează accentuării compresibilității odată cu creșterea gradului de umiditate. Analizând plasticitatea pământurilor argiloase și argilos-prăfoase, de natură loessoidă, prezente în Câmpia Vingăi, s-a constatat că aceasta este mai ridicată decât cea care ar corespunde în mod normal acestor pământuri, indicele de plasticitate ajungând la valori de până la 40...55 %.

Având în vedere că argila prezentă în stratificația terenului de fundare în zona de câmpie a Banatului este activă și foarte activă, corelând acest lucru cu faptul că în aceste zone, în general degradările care predomină pe sectoarele de drum sunt de tipul fisurilor și crăpăturilor longitudinale, se poate concluziona faptul că la variații pluviometrice și termice mari, caracterul activ și foarte activ al argilei din patul drumului poate constitui una din cauzele principale de producere și dezvoltare a acestor tipuri de degradări [73].

La intensificarea acțiunii defavorabile a terenului de fundare asupra degradărilor unor sectoare de drum poate contribui și faptul că, datorită condițiilor morfologice specifice zonei de câmpie a Banatului, pe unele porțiuni nivelul terenului din imediata vecinătate a acostamentelor se află la o cotă mai ridicată decât acestea, astfel încât nu există posibilitatea evacuării apelor meteorice gravitațional, în sens transversal, din zona platformei drumului [74].

Inexistența sistemelor de colectare și evacuare a apelor de suprafață de pe partea carosabilă, respectiv funcționarea defectuoasă acolo unde acestea există, accentuează manifestarea activității pământului argilos din patul drumului și reduce capacitatea portantă a acestuia, constituind o altă cauză a agravării stării de degradare a drumurilor fondate pe terenuri active, caracteristice zonei de câmpie a Banatului.

Alături de proiectarea structurală și calitatea execuției drumurilor, proiectarea geotehnică joacă un rol important în asigurarea unei bune comportări în exploatare a acestora, mai ales în situațiile în care terenul de fundare este alcătuit din pământuri cu anumite proprietăți specifice, așa cum sunt și pământurile active. În aceste situații, cercetarea geotehnică trebuie să cuprindă determinarea unor caracteristici specifice, care să definească complet natura și starea terenului de fundare [39].

Normativele în vigoare stabilesc că potențialul de activitate a pământurilor argiloase și argilos-prăfoase, prezente în zona de câmpie a Banatului, este unul mediu, dar există suficiente zone, restrânse ce-i drept, unde aceste pământuri sunt foarte

active, fapt care, coroborat cu variații termice și pluviometrice mari, constituie o cauză determinantă a producerii și dezvoltării degradărilor structurilor rutiere fondate pe astfel de terenuri. La caracterul activ, specific mării majorității a pământurilor argiloase și argilos-prăfoase, din zona de câmpie a Banatului, se adaugă și plasticitatea relativ mare și foarte mare a acestora, precum și sensibilitatea ridicată la îngheț-dezghet, caracteristici care, de asemenea, intensifică influența negativă a terenurilor de fundare asupra stării tehnice a drumurilor.

Faptul că drumurile din zona de câmpie a Banatului beneficiază de condiții hidrologice defavorabile și foarte defavorabile, din cauza dificultăților de drenare și scurgere gravitațională a apelor, face ca influența defavorabilă a terenului de fundare asupra stării tehnice a drumurilor să se accentueze, astfel că și starea tehnică a acestora se înrăutățește.

Particularitățile de ordin geologico-tehnic și geotehnic, specifice zonei de câmpie a Banatului, fac ca influența terenului de fundare asupra viabilității drumurilor să fie accentuată. Potențialul de activitate relativ ridicat al pământurilor argiloase și prăfoase, pe unele porțiuni destul de extinse ale zonei de câmpie a Banatului, alături de plasticitatea în general mare și foarte mare a acestora, precum și sensibilitatea ridicată la îngheț-dezghet, sunt caracteristici care intensifică influența negativă a terenului de fundare asupra viabilității drumurilor.

O altă cauză a producerii și agravării defecțiunilor și degradărilor drumurilor din zona de câmpie a Banatului o constituie prezența în terenul de fundare sau utilizarea la execuția rambleurilor a unor pământuri cu aspect mâlos, a căror proprietăți de rezistență și deformabilitate sunt slabe.

Având în vedere aspectele prezentate în ceea ce privește influența calității terenului de fundare asupra comportării în exploatare a complexelor rutiere, implicit asupra stării tehnice a acestora, se apreciază că este absolut necesar ca cercetarea geotehnică a terenului de fundare, atât pentru execuție cât și pentru reabilitare, să fie cât mai complexă, astfel încât să se poată depista, la nevoie, particularitățile geotehnice specifice unor porțiuni de traseu. De asemenea, adoptarea structurilor rutiere noi sau ranforsarea celor existente, trebuie să țină seama de particularitățile geotehnice specifice ale terenului din patul drumului, în sensul eliminării sau măcar al diminuării influenței negative a terenului de fundare asupra comportării în timp a complexelor rutiere.

## 4. CALCULUL STRUCTURILOR RUTIERE SUPLE ȘI MIXTE

Structura rutieră este elementul de rezistență al drumului, prevăzută și realizată în zona părții carosabile și a benzilor de încadrare, fiind alcătuită dintr-un ansamblu de straturi executate din materiale pietroase stabilizate sau nu cu lianți, după tehnologii adecvate, și dimensionate conform anumitor norme, având în ansamblu o capacitate portantă stabilă în principal funcție de intensitatea traficului greu [50].

Așa cum rezultă și din titlul prezentului capitol, acesta își propune o analiză amplă a metodelor de dimensionare a structurilor rutiere suple și mixte, noi sau existente, excluzând structurile rutiere rigide. Acest fapt se datorează tendințelor la nivel mondial, care se regăsesc și în țara noastră, cu privire la construcția de drumuri noi și reabilitarea celor existente. În figura 4.1. sunt reprezentate aceste tendințe aplicabile în Europa [81], de unde se justifică pe deplin alegerea făcută de autor.

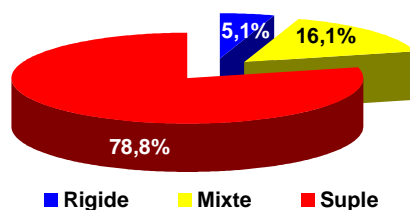


Fig. 4.1. Repartiția procentuală a tipurilor de structuri rutiere folosite în Europa

De reținut este faptul că în ceea ce privește structurile rutiere rigide, se remarcă un procent mai ridicat de utilizare a acestora la construcția de drumuri în țări precum Germania (28 %), Elveția (22 %) și Belgia (17 %). Procentaj ridicat pentru structurile rutiere mixte se întâlnește în țări precum Franța (40 %), Ungaria (40 %) și Germania (36 %). O situație interesantă se întâlnește în Grecia și Irlanda, unde nu se utilizează structuri rutiere rigide sau mixte, ci exclusiv structuri rutiere suple. În România, tendințele, în ceea ce privește construcțiile de noi drumuri sau reabilitarea celor existente, sunt foarte apropiate de cele de la nivel european, astfel că în țara noastră se utilizează 80 % structuri rutiere suple, 15 % structuri rutiere mixte și 5 % structuri rutiere rigide.

### 4.1 Teorii, ipoteze și metode de calcul al structurilor rutiere

Metodele de dimensionare a structurilor rutiere suple și mixte utilizate la nivel european pot fi: metode analitice și metode empirice.

Principiile metodelor analitice de dimensionare sunt identice cu cele folosite în dimensionarea oricărei structuri inginerești și au la bază comportarea structurii sub acțiunea încărcărilor. Cea mai utilizată categorie de metode analitice presupune

un model de răspuns al structurii pentru calculul tensiunilor și eforturilor generate de încărcarea pe osie, în punctele în care structura rutieră este considerată mai vulnerabilă. Aceste valori obținute prin calcul sunt comparate cu valori admisibile care se obțin printr-un calcul invers al unor structuri foarte bine cunoscute, analizate și încercate în repetate rânduri (structuri etalon).

Metodele empirice pot fi bazate pe de o parte numai pe experiența inginerască, caz în care pot fi îmbunătățite cu cât experiența se acumulează, sau, pe de altă parte, metodele empirice pot rezulta pe baza colectării, prelucrării și sistematizării de date și informații pentru o anumită perioadă de timp și corelarea statistică a acestora cu variabilele de calcul.

Figura 4.2. prezintă repartitia procentuală a metodelor de dimensionare a structurilor rutiere suple și mixte în țările europene [81].

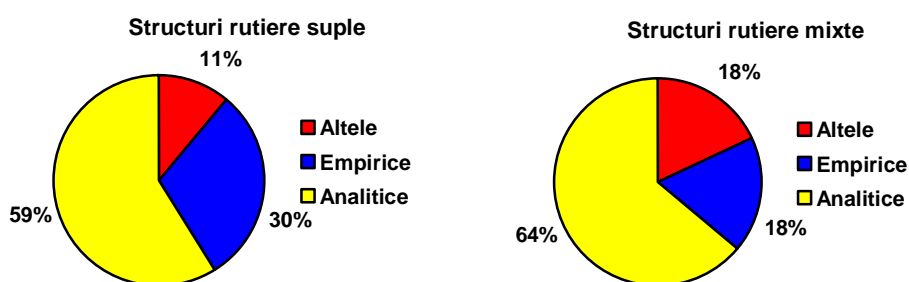


Fig. 4.2. Metode de dimensionare pentru structuri rutiere suple și mixte utilizate în Europa

Criteriile de dimensionare, adoptate de majoritatea țărilor europene, privind metodele analitice de dimensionare a structurilor rutiere suple noi sunt similare ca și concept. Perioada de perspectivă a structurii rutiere este raportată la deformația specifică de întindere admisibilă la baza straturilor bituminoase sau la deformația specifică de compresiune admisibilă la nivelul patului drumului. Aceste două deformații sunt asociate cu cele două cauze importante care produc distrugerea structurilor rutiere: dezvoltarea fisurilor în straturile bituminoase datorită fenomenului de oboseală și dezvoltarea deformațiilor în plan observate la suprafața îmbrăcăminții. Dimensionarea se bazează pe teoria elasticității liniare pentru a calcula valorile tensiunilor și deformațiilor specifice în punctele critice ale structurii rutiere.

Dintre metodele analitice de dimensionare utilizate pentru structurile rutiere suple noi cele mai des răspândite sunt: metoda engleză, metoda franceză, metoda Shell, metoda Nottingham și metoda Asphalt Institute. Caracteristicile individuale specifice acestor metode, cu privire la informații generale, condiții, ipoteze și criteriile de proiectare sunt prezentate în tabelul 4.1 [81].

Factorul de fiabilitate (factorul de risc) se referă la probabilitatea ca valoarea reziduală așteptată pentru structură să fie atinsă, la sfârșitul duratei de exploatare a structurii fără a fi nevoie de lucrări de intervenție și poate avea valori de 15...20 % pentru drumuri secundare, respectiv 2,5...0,01 % pentru drumuri principale (autostrăzi) [81].

Conceptul de indice de serviciu se bazează pe o scară de evaluare, care desemnează starea îmbrăcăminții rutiere în orice moment.

Fiecare dintre aceste metode utilizează condiții standard diferite privind calculul solicitărilor din trafic care produc tensiuni și deformații, regimul

pluviometric, temperaturile echivalente ale straturilor bituminoase, osia standard și frecvența de încărcare etc.

Tabelul 4.1  
Elementele caracteristice metodelor de dimensionare analitice ale structurilor rutiere suplă

Informații generale					
	METODA ENGLEZĂ	METODA NOTTINGHAM	METODA SHELL	METODA FRANCEZĂ	METODA ASPHALT INSTITUTE
<b>Model elastic</b>	GENSTRESS	-	BISAR	ALIZE	DAMA
<b>Condiția de legătură între straturi</b>	Legătură perfectă	Legătură perfectă	Legătură perfectă	Legătură perfectă, sau straturi nelegate	Legătură perfectă
<b>Solicitări tangențiale</b>	-	-	-	În situații speciale	-
<b>Perioada de perspectivă</b>	Numărul de osii standard estimat pentru o perioadă dată luând în calcul coeficienții de creștere a intensității traficului				
<b>Sfârșitul perioadei de perspectivă</b>	Necesară ranforsarea	Necesară ranforsarea sau reconstrucția	Indice de serviciu 2,5	Necesară ranforsarea sau reconstrucția	Indicele de serviciu 2,5
Criteriul de dimensionare la oboseală a straturilor bituminoase					
<b><math>N_f</math> - trafic admisibil în osii standard <math>\epsilon_t</math> - deformația specifică de întindere la baza straturilor bituminoase</b>	$\text{Log}(N_f) = -9.38 - 4.16 * \text{Log}(\epsilon_t)$	$\text{Log}(N_f) = 46.82 + 15.8 * \text{Log}(\epsilon_t) - [5.13 * \text{Log}(\epsilon_t) - 14.39] * \text{Log}(V_b) - [8.63 * \text{Log}(\epsilon_t) - 24.2] * \text{Log}(SP)$ $V_b$ -volum strat bituminos $SP$ -punct critic	Nomograme	$\epsilon_t = \epsilon_6 * (N_f / 10^6)^{0.5} * k_c k_r k_s * \sqrt{[E(10^\circ\text{C}) / E(T_{eq})]}$ $k_c k_r k_s$ -factori de corecție $b$ -panta legii de oboseală $\epsilon_6$ -deformația specifică la $10^6$ cicluri de încărcare	$\text{Log}(N_f) = 16.086 - 3.291 * \text{Log}(\epsilon_t) - 0.845 * \text{Log}(E * 10^{-3})$ $E$ -modul de rigiditate al straturilor bituminoase
<b>Temperatura de referință (<math>T_{eq}</math>), °C</b>	20	19,6	17,6	15	Temperatura medie lunară a aerului
Criteriul de dimensionare la deformații a terenului de fundare					
<b><math>N_d</math> - trafic admisibil în osii standard <math>\epsilon_z</math> - deformația specifică de compresiune la nivelul patului drumului</b>	$N_d = 6.17 * 10^{-8} * \epsilon_z^{-3.95}$	$N_d = RF * 7.6 * 10^8 * \epsilon_z^{-3.7}$ $RF$ -factor ce depinde de tipul suportului pentru îmbrăcăminte	$N_d = 6.15 * 10^{-7} * \epsilon_z^{-4.0}$	$N_d = a * \epsilon_z^{-4.5}$ $a$ -coeficient ce depinde de clasa de trafic și structura rutieră	$N_d = 1.365 * 10^{-9} * \epsilon_z^{-4.477}$
<b>Temperatura de referință (<math>T_{eq}</math>), °C</b>	20	15	17,6	15	Temperatura medie lunară a aerului
<b>Unități de măsură</b>	$N_f, N_d$ - osii standard $\epsilon_t, \epsilon_z$ - mm/mm	$N_f, N_d$ - osii standard $\epsilon_t, \epsilon_z$ - mm* $10^6$ /mm	$N_f, N_d$ - osii standard $\epsilon_t, \epsilon_z$ - mm/mm	$E$ - MPa $N_f, N_d$ - osii standard* $10^6$ $\epsilon_t, \epsilon_z$ - mm* $10^6$ /mm	$E$ - MPa $N_f, N_d$ - osii standard $\epsilon_t, \epsilon_z$ - mm/mm
Factorul de fiabilitate (de risc)					
	Da	Nu	Da	Da	Nu

Referitor la configurația osiei standard, metoda engleză utilizează osia cu roți simple pentru calculul stării de eforturi și deformații în structura rutieră, în timp ce celelalte metode utilizează osia cu roți duble.

În ceea ce privește solicitarea (frecvența, timpul), metodele de dimensionare engleză, franceză și Asphalt Institute folosesc o frecvență echivalentă în timp ce metodele Nottingham și Shell folosesc timp de încărcare echivalent. Pentru materialele cu comportare vâsco-elastică, echivalarea între timpul de încărcare și frecvență se poate considera cea din relația 4.1. Metodele Shell și Nottingham folosesc o frecvență de încărcare de aproximativ 8 Hz. O creștere a frecvenței cu 1 Hz echivalează cu o creștere a vitezei cu 10 km/h. Referitor la vitezele de trafic, metodele analitice utilizează viteze de 50...100 km/h. Revenind la configurația osiei standard, aceasta nu aduce modificări importante în ceea ce privește starea de tensiuni și deformații din structura rutieră atâta timp cât frecvența de încărcare se menține. Dacă această frecvență variază, modificările nu sunt nici de această dată foarte semnificative, de exemplu, o dublare a frecvenței de încărcare face ca modulul de elasticitate al unui strat din mixtură asfaltică să crească cu 25 %.

$$t_0 = \frac{1}{2x\pi f} \text{ [secunde]} \quad (4.1)$$

în care:

$t_0$  este durata solicitării;

$f$  - frecvența solicitării în Hz.

Toate metodele analitice folosesc o pătrime din sarcina osiei standard pentru convertirea legilor privind spectrul de încărcare, excepție face metoda franceză, care folosește a cincea parte din sarcină. Această lege poate fi utilizată pentru convertirea traficului de calcul estimat prin orice fel de metodă într-unul echivalent care să poată fi aplicat oricărei metode. Folosind aceste legi de echivalare, se poate afirma faptul că o trecere a sarcinii pe osie de 130 kN utilizată la metoda analitică franceză de dimensionare, echivalează cu aproximativ șase treceri ale osiei cu sarcina de 80 kN folosită la celelalte metode.

Definirea perioadei de perspectivă în metoda engleză se face mizând pe faptul că 85 % din structura rutieră își va menține capacitatea portantă fără să fie necesare lucrări de ranforsare a acesteia. Atunci când un sector de drum este depășit din punct de vedere a capacității portante, și deci, pe acest sector de drum sunt necesare lucrări de ranforsare a complexului rutier se spune că drumul a atins un prag critic. În metoda franceză se poate vorbi de mai multe praguri critice, în concordanță cu traficul prognozat, astfel că pentru o clasă de trafic superioară (trafic greu) drumurile se proiectează la un nivel de risc de 2,5 %, iar în cazul unei clase de trafic inferioare (trafic ușor), nivelul de risc crește până la 25 %.

Alte metode de dimensionare a structurilor rutiere suple utilizează indicele de serviciu (IS) și timpul până la distrugerea structurii rutiere (până la reconstrucție). Factorii principali care determină indicele de serviciu sunt rugozitatea și gradul de neuniformitate (planeitatea) ale drumului în profil longitudinal. Conceptul de indice de serviciu a fost dezvoltat în timpul testelor AASHO, care stau la baza metodei americane de dimensionare AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) și se bazează pe o scară de evaluare, care desemnează starea îmbrăcămintei rutiere în orice moment. Acest indice este mai degrabă un indice de calitate, decât un indice de structură. În orice caz, Croney și Croney [25] sugerează că un indice de serviciu de 2,5 al echivala cu o structură rutieră distrusă iar un indice de serviciu de 3,2 ar echivala cu pragul critic. Ferne

[29] consideră că indicele de serviciu care marchează pragul critic ar trebui să fie de 1,7...2,0 ori mai mare decât timpul până la distrugerea structurii rutiere. Metoda de dimensionare Nottingham utilizează criteriile privind deformațiile și fenomenul de oboseală ținând cont atât de indicele de serviciu cât și de timpul până la distrugerea structurii rutiere.

Deoarece fiecare țară are climatul său propriu, resurse și producții proprii, scopuri specifice, țările și-au dezvoltat metode de dimensionare a structurilor rutiere proprii. În perioada din jurul anului 1950, testele AASHO (American Association of State Highway Officials) efectuate în S.U.A. au contribuit la introducerea unei apropieri pentru o dimensionare sistematică. Mai târziu, în jurul anilor 1970, metoda Shell SPDM (Shell Pavement Design Method) a fost prima metodă care a propus o abordare analitică a dimensionării. Majoritatea metodelor de dimensionare actuale se bazează, mai mult sau mai puțin, pe aceste abordări. Începând cu anii 1990, aceste metode au fost supuse mai multor revizuirii și/sau clarificări de la o treaptă la alta [60].

Pe scheletul metodelor sus menționate s-au dezvoltat alte noi metode analitice de dimensionare, fiecare dintre ele cu specificul său, având caracteristici individuale cu privire la trafic, proprietățile materialelor, modelarea matematică a criteriilor de dimensionare, luarea în calcul a eforturilor orizontale, osia standard etc. Dintre metodele analitice de dimensionare utilizate pentru structurile rutiere suplă noi cele mai des răspândite, pe baza cărora s-au constituit celelalte metode de dimensionare specifice fiecărei țări în parte, sunt: metoda franceză, metoda engleză, metoda Shell, metoda Nottingham și metoda Asphalt Institute.

Metoda franceză are la bază o abordare elastică, prin care se calculează tensiuni și deformații specifice în structură, produse de solicitările din trafic. Această abordare teoretică este contrabalansată de teste de laborator și analize în situ făcute pe structuri rutiere. Principiul general constă în determinarea grosimii pentru fiecare tip de strat din structură, astfel încât structura rutieră să răspundă încărcărilor din trafic pe o perioadă definită de timp.

Pentru terenul de fundare și zona activă a terasamentelor criteriul de proiectare se referă la deformația specifică verticală la nivelul patului drumului,  $\epsilon_z$ , iar pentru straturile bituminoase criteriul de dimensionare este legat de deformația specifică orizontală la baza acestora,  $\epsilon_h$ . Metoda include și conceptul de probabilitate, care se referă la definirea unor coeficienți de risc care iau în calcul eficiența la oboseală a rezultatelor și grosimilor straturilor aflate în exploatare.

Metoda engleză se bazează în principal pe rezultate empirice obținute prin interpretarea performanțelor unor sectoare de drum experimentale. Metoda permite proiectarea unor structuri rutiere solicitate de un trafic de până la 100 milioane osii standard și servește ca bază pentru DMRB (Design Manual for Roads and Bridges – Manual de proiectare pentru drumuri și poduri). Creșterea continuă a intensității traficului și implicit a solicitărilor provocate, a determinat revizuirea metodei în anul 1997 pe baza cercetărilor efectuate de TRRL (Transport and Road Research Laboratory – Laborator de cercetare pentru drumuri și transporturi) care pe baza unui raport numit TRL 250 a introdus conceptul de „long-life pavement” (structură rutieră durabilă) și a permis dimensionarea unor straturi rutiere din materiale noi.

Dimensionarea structurilor rutiere se face pe baza manualului DMRB și presupune o proiectare ușoară a structurilor rutiere utilizând o serie de grafice. Pe baza acestora se stabilesc grosimile straturilor funcție de materialul din care sunt alcătuite și de traficul de calcul exprimat în milioane osii standard.

Rezumând, metoda engleză de dimensionare a structurilor rutiere suplă este una empirică bazată pe rezultate experimentale. Este ușor de aplicat, dar nu se

poate aplica în situații nestandardizate (materiale noi, regiuni geografice diferite, condiții speciale).

Metoda americană AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) se bazează pe rezultate empirice obținute la testele AASHO. Aceste teste au fost efectuate la început între anii 1957...1961 și au implicat testarea și observarea a peste 500 sectoare experimentale. Analiza rezultatelor obținute a dus la găsirea unor legi de echivalare între osia solicitantă și conceptul de indicele de serviciu, (Present Serviceability Index - PSI).

Metoda americană are la bază ecuația de regresie care face legătura între numărul de osii standard și PSI (Present Serviceability Index - indicele de serviciu) și anume:

$$\text{Log}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log(MR) - 8,07 \quad (4.2)$$

în care:

$W_{18}$  este numărul total de osii standard;

$Z_R \times S_0$  - factorul de fiabilitate;

SN - numărul structural;

MR - modulul de elasticitate al terenului de fundare.

Metoda AASHTO se bazează pe date empirice și presupune utilizarea a două concepte: indicele de calitate și numărul structural.

Metoda Shell (SPDM) modelează structurile rutiere după modelul Burminster în trei straturi: straturile bituminoase, straturile de bază, terenul de fundare.

Calculul este condus iterativ, variind grosimile straturilor rutiere, până când se obține o structură rutieră capabilă să suporte sarcinile admisibile pentru un anumit număr de cicluri de solicitare.

Metoda Shell este o metodă analitică, foarte complexă, care ia în calcul o gamă foarte largă de materiale și condiții. Metoda folosește informații care nu sunt neapărat necesare a fi obținute prin încercări de laborator. Informațiile necesare se referă la condiții climaterice, proprietățile materialelor, compoziția acestora etc. Singurul factor pe care această metodă nu-l ia în considerare este factorul de fiabilitate, care este lăsat în întregime la aprecierea proiectantului.

În continuare se prezintă câteva caracteristici ale metodelor de dimensionare analitică pentru structurile rutiere suple utilizate în unele țări mai importante din Europa.

În Austria se utilizează cinci clase de încărcare pentru traficul de calcul. Perioada de perspectivă este de 20 ani, după care se consideră că structura rutieră ar trebui ranforsată sau înlocuită. Metoda de dimensionare se bazează pe calculul tensiunilor și deformațiilor specifice pe baza teoriei elasticității liniare. Osia standard are sarcina de 100 kN care reprezintă și vehiculul etalon cu care se echivalează celelalte categorii de vehicule. Calculul se efectuează pentru 12 perioade de timp diferite cu temperaturi aferente pentru straturile bituminoase și moduli diferiți pentru straturile de fundație.

Principiul metodei de dimensionare din Belgia constă în evitarea fisurării îmbrăcămintei bituminoase datorită fenomenului de oboseală și a deformațiilor excesive ale structurii rutiere. Metoda are la bază teoria sistemului multistrat considerat omogen și izotrop. Metoda necesită cunoașterea în detaliu a proprietăților materialelor rutiere și a efectului condițiilor climaterice asupra acestora.



Finlanda se remarcă prin utilizarea unei metode semi-empirice bazată pe teoria lui Odemark. Pentru fiecare strat sunt necesare modulul de elasticitate al materialului și grosimea stratului. Valorile modulilor de elasticitate au fost determinate în urma efectuării și comparării rezultatelor a mii de încercări și, astfel, s-au definit pentru fiecare material în parte. Dintre aceste valori caracteristice se amintesc: piatră spartă 300 MPa, balast 200 MPa, nisip 50 MPa, argilă 10 MPa, betoane asfaltice 2500 MPa, straturi din materiale stabilizate 2000...2500 MPa. Osia standard considerată la evaluarea traficului de calcul are sarcina de 100 kN. Referitor la numărul de osii standard care solicită structurile rutiere, sectoarele de drum sunt împărțite în șase categorii (clase), pentru fiecare categorie în parte fiind necesară asigurarea unui modul echivalent al structurii de minim 425 MPa (clasa 1, trafic de calcul de peste 5 milioane osii standard), respectiv 175 MPa (clasa 6).

În Germania structurile rutiere suple sunt supuse următoarelor cerințe de dimensionare:

- terenul de fundare și straturile de fundație trebuie să respecte condiții minime referitoare la capacitatea portantă și gradul de compactare;
- condițiile se înăspresc progresiv spre suprafață (spre straturile superioare);
- grosimea straturilor depinde de intensitatea traficului și se stabilesc pe baza unor considerente economice în funcție de condițiile locale, aspecte tehnice și economice, factori de mediu etc.;
- calculul intensității traficului ia în considerare media zilnică a vehiculelor comerciale (masa > 2,8 t), perioada de perspectivă, numărul de benzi de circulație;
- grosimea totală a structurii rutiere trebuie să prevină eventualele acțiuni defavorabile produse de fenomenul de îngheț-dezghet asupra straturilor de fundație.

Metoda de dimensionare aplicată în țara vecină Ungaria, este o metodă combinată, analitică și empirică. Metoda utilizează un trafic de calcul evaluat pe o perioadă de perspectivă și capacitatea portantă a terenului de fundare, exprimată prin CBR, % sau E, MN/m<sup>2</sup> ca și date inițiale. Criteriile de dimensionare sunt: criteriul deformației specifice de întindere admisibilă la baza straturilor bituminoase și criteriul deformației specifice de compresiune admisibilă la nivelul patului drumului. Traficul de calcul se exprimă în osii standard de 100 kN.

Țări precum Croația, Slovenia, Elveția folosesc metode analitice de dimensionare bazate pe rezultatele testelor AASHO (American Association of State Highway Officials), iar Olanda folosește metoda Shell de dimensionare ușor adaptată la condițiile locale.

În România metoda analitică, cu elemente empirice, de dimensionare a structurilor rutiere suple se bazează pe următoarele principii:

- limitarea procesului de degradare prin oboseală a straturilor bituminoase;
- limitarea procesului de deformare permanentă a suportului structurii rutiere.

Pentru atingerea acestor obiective, dimensionarea structurilor rutiere suple se bazează pe îndeplinirea concomitentă a următoarelor criterii:

- deformația specifică de întindere admisibilă la baza straturilor bituminoase;
- deformația specifică de compresiune admisibilă la nivelul patului drumului.

Metoda analitică de dimensionare se bazează pe stabilirea unei alcătuirii 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 este necesar să se efectueze în prealabil studii, în vederea obținerii următoarelor date:

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

În concluzie, metodele de dimensionare ale structurilor rutiere suple sunt în cea mai mare parte metode analitice, inclusiv în România, care au la bază teoria elasticității liniare pentru calculul deformațiilor și tensiunilor specifice în punctele critice ale structurii rutiere.

Metodele analitice de dimensionare a structurilor rutiere suple sunt bazate pe modele matematice, structurile rutiere sunt alcătuite din straturi infinite în plan orizontal, așezate pe un teren de fundare de grosime semifinită, straturile sunt alcătuite din materiale omogene, izotrope și cu comportare elastică. Funcție de caracteristicile stratului (grosime, coeficientul lui Poisson, modulul lui Young etc.) aceste modele prezintă o evaluare a solicitărilor în cadrul structurii, chiar dacă modelarea implică simplificări semnificative cu privire la comportamentul mecanic al straturilor în structură. Legile de oboseală obținute prin teste de laborator sunt utilizate la estimarea încărcărilor maxime admise ce pot fi suportate de structurile rutiere în funcție de numărul de solicitări ale osiei standard.

Structurile rutiere mixte au la bază aceleași metodologii de dimensionare ca și cele ale structurilor rutiere suple, însă criteriile de dimensionare sunt legate de tensiunile de întindere induse. În țările europene, cea mai răspândită metodă de dimensionare a structurilor rutiere mixte este cea franceză, iar principiile de dimensionare se bazează pe fenomenul de oboseală dat de straturile rutiere din materiale stabilizate.

Metoda franceză de dimensionare a structurilor rutiere mixte este o metodă analitică care se bazează pe modelul liniar elastic multi-strat Burmister și permite calculul tensiunilor și deformațiilor specifice de întindere la baza straturilor stabilizate și deformațiilor specifice verticale datorate compresiunii la partea superioară a straturilor din materiale stabilizate produse de solicitările osiei standard de 130 kN. Grosimea straturilor este aleasă astfel încât raportul între grosimea straturilor bituminoase și a straturilor din materiale stabilizate să fie de 1:2. Sunt luate în discuție două stadii:

1 - structura rutieră se prezintă în condiții bune. Se apreciază că straturile din materiale stabilizate sunt cele care suportă solicitările din trafic, de aceea se calculează pentru acest stadiu tensiunea de întindere  $\sigma_1$  la baza straturilor din materiale stabilizate;

2 - structura rutieră se prezintă în condiții rele. În această fază, se consideră că se mai poate conta doar pe 20 % din modulul straturilor din materiale stabilizate și în acest stadiu nu există legătură între stratul bituminos de bază și stratul suport din materiale stabilizate. În acest stadiu se apreciază că straturile bituminoase sunt cele care suportă solicitările din trafic, iar în acest sens se calculează deformația specifică de întindere  $\epsilon_2$  la baza straturilor bituminoase.

Fiecare din valorile specifice celor două stadii considerate,  $\sigma_1$  și  $\epsilon_2$ , se utilizează pentru determinarea numărului de solicitări admisibile,  $N_1$  și  $N_2$ , luând în considerare capacitatea portantă a terenului de fundare, coeficienți de ajustare etc.

Structura rutieră este bine dimensionată dacă numărul total de solicitări,  $N_1 + N_2$ , nu depășește volumul de trafic estimat pe perioada de perspectivă.

În România pentru dimensionarea structurilor rutiere mixte se aplică metoda analitică, cu elemente empirice bazată pe aceleași principii de dimensionare aplicate pentru structurile suple, pentru a căror atingere este necesară îndeplinirea concomitentă a următoarelor criterii:

- deformația specifică de întindere admisibilă la baza straturilor bituminoase;
- tensiunea de întindere admisibilă la baza stratului de fundație din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici;
- deformația specifică de compresiune admisibilă la nivelul patului drumului.

Modelele de dimensionare ale structurilor rutiere suple și mixte sunt prezentate în figura 4.3.

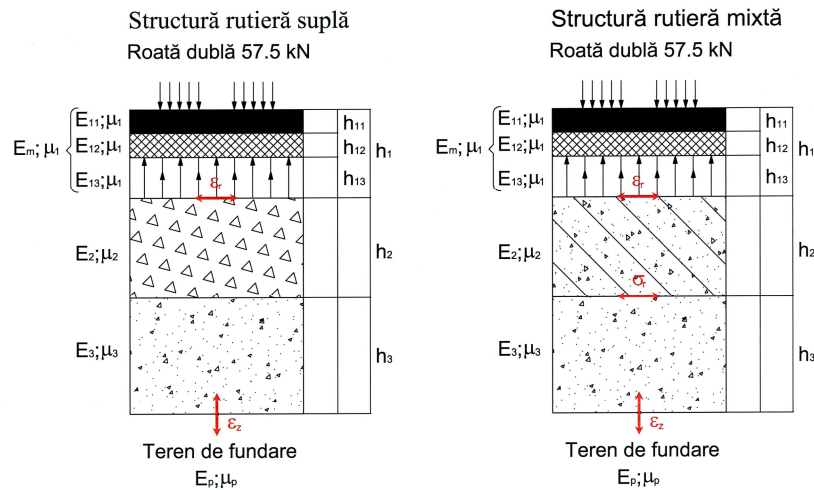


Fig. 4.3. Modele folosite la dimensionarea structurilor rutiere suple sau mixte

Schema logică de calcul a metodelor analitice de dimensionare a structurilor rutiere suple și mixte (figura 4.4.) se bazează pe modelul de răspuns și pe modelul de performanță [64]. Modelului de răspuns îi corespund ca și date de intrare grosimile straturilor, traficul, proprietățile materialelor din straturi și cele ale terenului de fundare, toate corelate cu influența factorilor climaterici. Răspunsul structurii rutiere la solicitările traficului se bazează pe teoria modelării multistrat, care prezintă următoarele dezavantaje:

- materialele din straturile rutiere sunt considerate ca fiind elastice, omogene, continui și izotrope;
- straturile sunt considerate ca fiind infinite în plan orizontal, de grosime constantă, astfel că nu se pot lua în considerare eventualele discontinuități locale (fisuri);
- se neglijează comportarea vâsco-elastică a materialelor bituminoase și efectele dinamice induse de vehicule generate de neuniformitatea suprafeței de rulare.

Modelul de răspuns se bazează pe mecanismele de degradare ale structurilor rutiere. Mecanismele de degradare care stau la baza metodelor de dimensionare sunt următoarele:

- oboseala straturilor bituminoase și a celor din materiale stabilizate cu lianți hidraulici;
- deformarea permanentă la nivelul terenului de fundare.

Între acest model de răspuns și modul real de comportare a structurilor rutiere există discrepanțe destul de semnificative. Astfel, modelele de răspuns nu iau în considerare procesul de transmitere către suprafață a fisurilor din contracție ale straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici, producerea de fâgașe în straturile bituminoase sau procesele de fisurare inițiate la suprafața structurilor rutiere. De asemenea, sunt neglijate modificările în timp ale proprietăților materialelor rutiere, pe durata de exploatare, sub efectele mediului înconjurător sau a traficului. Procedeeul de calcul din figura 4.4. reprezintă o metodă incrementală, în care procesul de apreciere a degradării este împărțit într-un număr de creșteri de timp ( $\Delta t$ ), astfel pot fi luate în considerare modificările care au loc pe parcursul exploatării drumului.

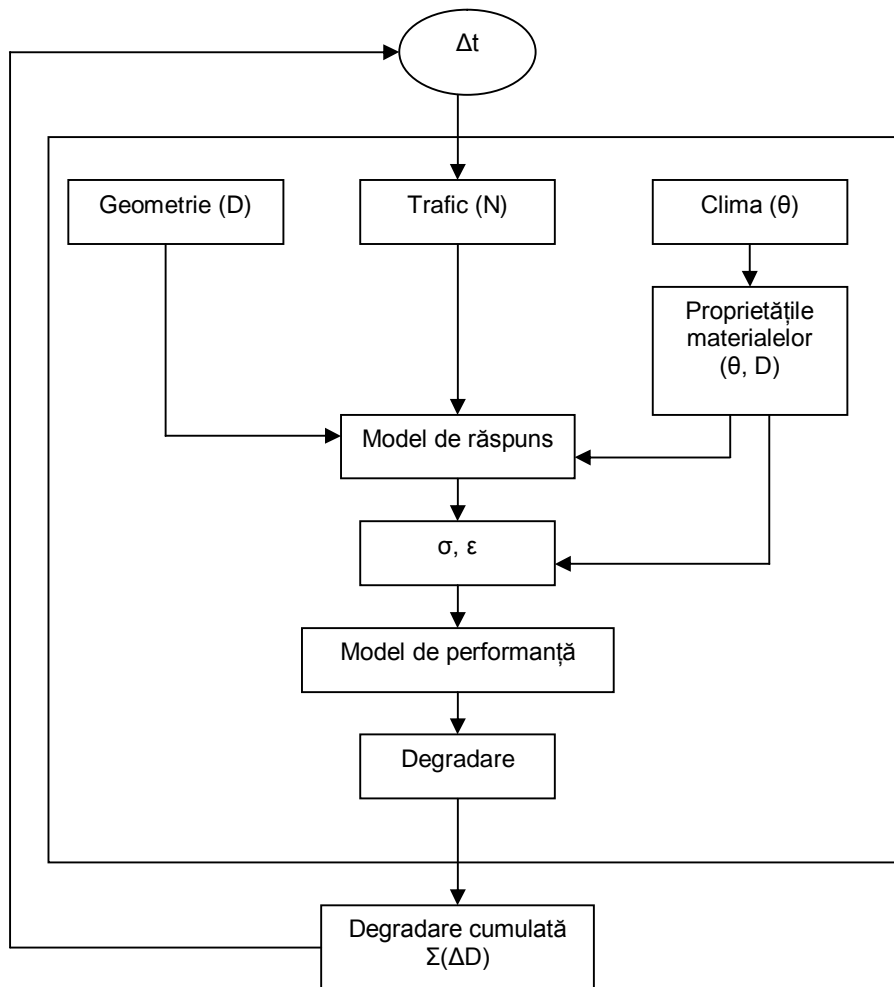


Fig. 4.4. Schema logică de calcul a metodelor analitice de dimensionare ale structurilor rutiere

Pentru fiecare creștere de timp se va produce o creștere a degradării ( $\Delta D$ ), care va modifica proprietățile materialelor, și în unele situații, geometria acestora (discontinuități datorate fisurării sau denivelări datorate modificării grosimilor straturilor rutiere). Pentru fiecare iterație, creșterea degradării va fi însumată, până la un nivel dat, la care se impune o lucrare de întreținere.

#### **4.2 Aspecte privind calculul ranforsării structurilor rutiere existente**

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

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

În majoritatea țărilor europene, deformațiile specifice și tensiunile critice, care duc la pierderea capacității portante a structurilor rutiere, pot fi calculate direct pe baza măsurării de deflexiuni sau pe baza unor modele de răspuns utilizând calculul invers al modurilor straturilor rutiere (metode analitice). Pentru estimarea duratei de exploatare reziduale se utilizează legi empirice de corelare între răspunsul structurii rutiere și fenomenul de oboseală sau deformare permanentă. Această metodă de determinare a duratei de exploatare reziduală (numărul de ani în care structura rutieră poate prelua solicitările datorate traficului de perspectivă) reprezintă de fapt metoda inversă de dimensionare a structurilor rutiere noi.

Metodele de dimensionare analitică a grosimii straturilor de ranforsare a structurilor rutiere suplă și mixte au la bază principiile metodelor analitice de dimensionare ale structurilor rutiere suplă și mixte noi. Straturile de ranforsare sunt proiectate pentru a furniza rezistență suficientă structurii rutiere astfel ca aceasta să facă față cerințelor traficului pentru o perioadă de timp prestabilită. O altă alternativă de determinare a grosimilor straturilor de ranforsare o reprezintă măsurători de capacitate portantă efectuate pe structuri rutiere aflate în exploatare.

În România, calculul grosimii straturilor de ranforsare se poate efectua prin mai multe metode, care se pot alege pornind de la datele cunoscute despre complexul rutier existent, de la factorii de trafic și climaterici, de la condițiile hidrologice și tehnicile de măsurare a capacității portante efective a complexului rutier care urmează să fie ranforsat etc.

Metoda analitică de calcul al grosimii de ranforsare a straturilor rutiere bituminoase se aplică în cazul structurilor rutiere suplă și mixte, iar principiile de calcul sunt aceleași cu cele folosite în cazul dimensionării complexelor rutiere noi și se bazează pe verificarea stării de solicitare a noii structuri rutiere sub acțiunea traficului de calcul, astfel încât să fie îndeplinite concomitent următoarele criterii:

- deformația specifică de întindere la baza straturilor bituminoase ( $\epsilon_r$ ) să fie mai mică sau cel mult egală cu cea admisibilă;
- deformația specifică de compresiune la nivelul patului drumului ( $\epsilon_z$ ) să fie mai mică sau cel mult egală cu cea admisibilă;

- tensiunea de întindere la baza stratului (straturilor) din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolani ( $\sigma_r$ ) să fie mai mică sau cel mult egală cu cea admisibilă.

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

$$\sigma_i \leq \sigma_{adm} \quad (4.3)$$

în care:

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

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

În ceea ce privește calculul ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte pe baza măsurătorilor de deflexiuni sub sarcină dinamică este important de subliniat faptul că în România există două tipuri de deflectometre cu sarcină dinamică (PHONIX FWD și DYNATEST FED), care permit determinarea capacității portante a complexelor rutiere existente pe baza deflexiunilor măsurate.

Fiecare aparat cu sarcină dinamică dispune de o metodă proprie de măsurare și interpretare a deflexiunilor măsurate, precum și de un program de calcul specific.

Ca principiu general se măsoară față de un sistem de referință deplasările pe verticală (deflexiunile) ale structurii rutiere deformată sub solicitarea dinamică a unei greutăți care cade pe o placă. Măsurarea se face în centrul plăcii și în alte cinci puncte situate la distanțe prestabilite (prin construcția echipamentului) față de centrul plăcii, pe o direcție paralelă cu axa drumului cu ajutorul unor geofoni.

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

Referitor la calculul ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte pe baza măsurătorilor de deflexiuni sub sarcină statică, se precizează faptul că aparatele cel mai des folosite pe plan mondial și în țara noastră pentru determinarea deflexiunilor sub sarcină statică sunt deflectometrul Benkelman și deflectograful Lacroix.

Determinarea deformabilității cu ajutorul deflectometrului cu pârghie Benkelman sau deflectografului Lacroix constituie metode nedistructive de măsurare rapidă a deformațiilor elastice reversibile ale complexelor rutiere suple și mixte. Principiul metodelor constă în măsurarea față de un sistem de referință a deplasării pe verticală a suprafeței complexului rutier, deformată sub solicitarea roților duble ale osiei din spate a vehiculului de măsurare, după îndepărtarea acestuia (revenirea elastică a suprafeței complexului rutier).

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

Algoritmul privind calculul de dimensionare al straturilor de ranforsare pentru structurile rutiere suple și mixte este prezentat în figura 4.5.

După dimensionarea structurilor rutiere noi sau după dimensionarea straturilor de ranforsare a structurilor rutiere existente este necesar calculul de verificare a rezistenței la îngheț-dezghet a complexului rutier. Verificarea structurilor rutiere la acțiunea îngheț-dezghet constă în determinarea gradului de asigurare ( $k$ ) la pătrunderea înghețului în complexul rutier.

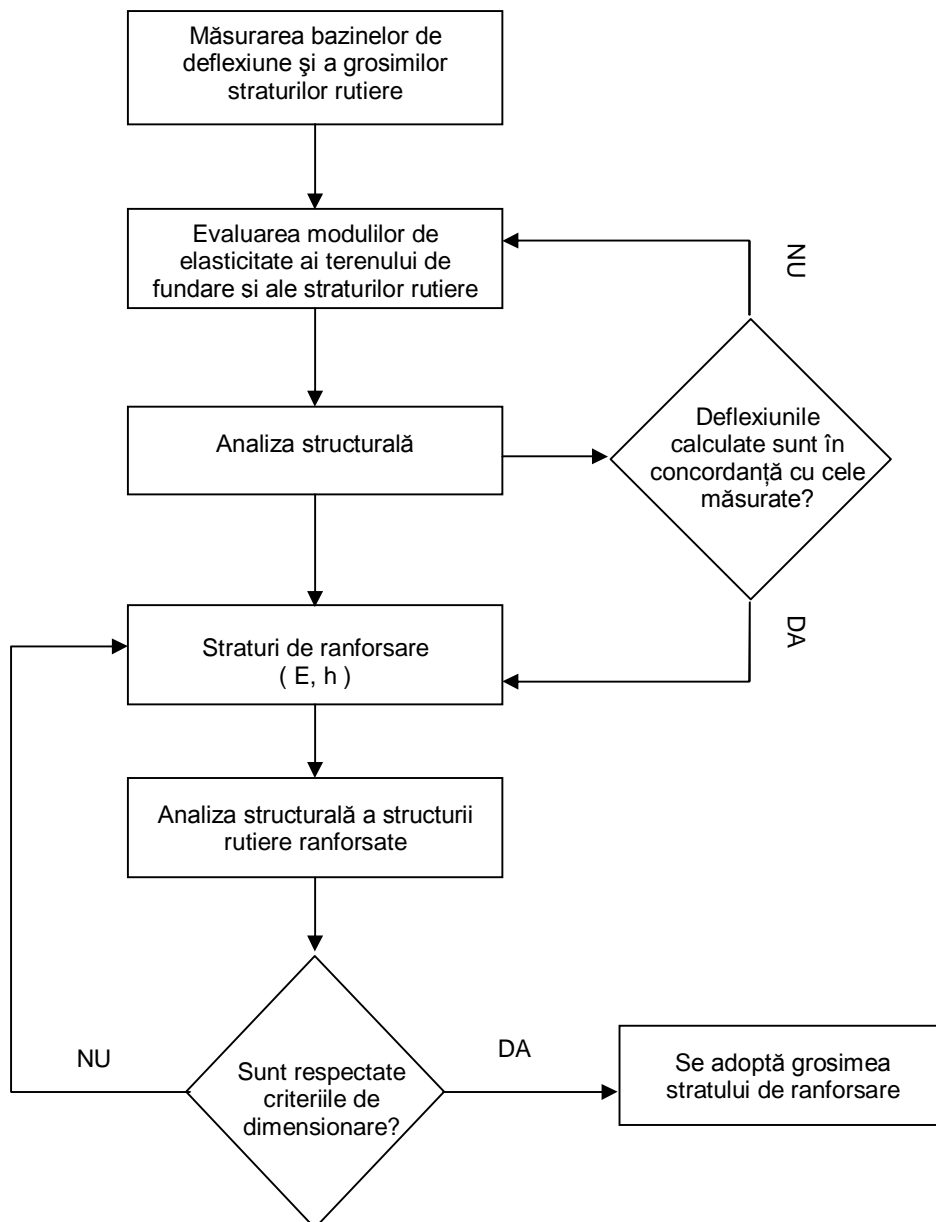


Fig. 4.5. Algoritm de dimensionare al straturilor de ranforsare

În acest sens 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) astfel:

$$Z_{cr} = Z + \Delta Z \text{ [cm]} \quad (4.4)$$

$$\Delta Z = H_{st} - H_e \text{ [cm]} \quad (4.5)$$

în care:

$Z$  este adâncimea de îngheț în pământul din terasament în condiții de porozitate și umiditate specifice acestuia;

$\Delta Z$  - spor al adâncimii de îngheț calculat cu relația 4.5;

$H_{st}$  - 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:

$$H_e = \sum_{i=1}^n h_i x c_i \text{ [cm]} \quad (4.6)$$

în care:

$h_i$  este grosimea stratului rutier luat în calcul, în cm;

$c_i$  - coeficient de echivalare a capacității de transmitere a căldurii specifice fiecărui material din alcătuirea structurii rutiere luate în calcul;

$n$  - numărul de straturi din materiale rezistente la îngheț-dezghet.

Gradul de asigurare la pătrunderea înghețului în complexul rutier se determină cu relația:

$$k = \frac{H_e}{Z_{cr}} \text{ [-]} \quad (4.7)$$

O structură rutieră este rezistentă la îngheț-dezghet dacă gradul de asigurare la pătrunderea înghețului în complexul rutier,  $k$ , calculat cu relația 4.7, are o valoare superioară valorilor prestabilite pentru complexele rutiere, funcție de gradul de sensibilitate la îngheț a pământului din terenul de fundare, tipul pământului, tipul climateric, tipul și alcătuirea structurii rutiere.

Când gradul de asigurare,  $k$ , la pătrunderea înghețului în complexul rutier are o valoare inferioară celor prestabilite se adoptă măsuri pentru prevenirea și remedierea degradărilor din îngheț-dezghet.

### 4.3. Definirea și analiza parametrilor folosiți în calculul structurilor rutiere

Calculul de dimensionare al structurilor rutiere suple și mixte, noi sau ranforsate, se face luând în considerare solicitările datorate traficului rutier. Având în vedere diversitatea categoriilor de vehicule care circulă pe drumurile publice, pentru cuantificarea solicitărilor produse de acestea, se definește un vehicul etalon cu care se echivalează toate categoriile de vehicule și în funcție de care se exprimă compoziția și intensitatea traficului. Astfel, s-a definit osia standard caracterizată prin tipul ei (simplă, dublă), numărul de roți, sarcina pe osie, presiunea de contact pneu-îmbrăcămintă, raza suprafeței circulare echivalente suprafeței de contact.

Pentru România osia standard, adoptată încă din anul 1985, are sarcina de 115 kN (o.s.115) și are următoarele caracteristici:

- sarcina pe roțile duble: 57,5 kN;



- presiunea de contact pneu-îmbrăcăminte: 0,625 MPa;
- raza suprafeței circulare de contact pneu-îmbrăcăminte: 17,1 cm.

Sarcina pe osie de 115 kN reprezintă sarcina maximă pentru osia motoare, autorizată pentru traficul internațional, în cadrul Comunității Europene.

Coefficienții de echivalare în osii standard de 115 kN sunt dați în tabelul 4.2, pentru vehiculele reprezentative fiecărei grupe de vehicule luate în calculul de dimensionare al structurilor rutiere.

Osia standard se folosește la metodele analitice de dimensionare ale structurilor rutiere suple și mixte, noi sau ranforsate, pentru stabilirea traficului de calcul care corespunde unei perioade de perspectivă (perioadă de timp), exprimată în ani. 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.

Tabelul 4.2.

Coefficienți de echivalare în osii standard de 115 kN

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

\* Vehicul reprezentativ pentru echivalarea traficului pe drumurile naționale europene

Perioada de perspectivă reprezintă perioada de timp, exprimată în ani, pentru care se stabilește traficul de calcul al structurii rutiere.

Traficul de calcul reprezintă numărul de osii standard, pe banda de circulație cea mai solicitată, echivalent vehiculelor care vor circula pe drum pe perioada de perspectivă [97].

În cazul materialelor elastice tensiunea ( $\sigma$ ) este legată de deformația specifică ( $\varepsilon$ ) prin intermediul modului de elasticitate,  $E_0$ . Pentru o curbă, tensiune( $\sigma$ )-deformație( $\varepsilon$ ) obținută pentru o mixtură asfaltică (figura 4.6.) se poate determina modulul tangent în origine pe zona de început în care deformațiile sunt mici și aproximativ proporționale cu tensiunea.

$$E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_{el}} \text{ [MPa]} \quad (4.8)$$

Acest modul pune în evidență stadiul elastic al mixturii asfaltice, atunci când solicitarea are valoare mică sau viteza de încărcare este foarte mare.

Într-un punct oarecare de pe curba tensiune-deformație se mai pot determina modulul tangent ( $E_t$ ) și modulul secant ( $E_s$ ). Modulul tangent pune în evidență starea de tensiune-deformație în acel punct în care materialul se comportă

vâsco-elastic, iar modulul secant reprezintă raportul dintre tensiunea în punct și deformația specifică corespunzătoare. Cei doi moduli pot fi exprimați în funcție de tensiuni și deformații specifice, dar modulul tangent se poate exprima numai sub formă diferențială:

$$E_t = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \text{ [MPa]} \quad (4.9)$$

$$E_s = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon(t)} \text{ [MPa]} \quad (4.10)$$

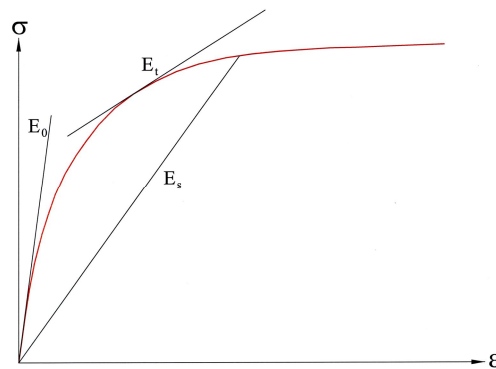


Fig. 4.6. Modulul de elasticitate, modulul tangent și modulul secant

Modulul elastic pentru caracterizarea materialelor folosit în teoria elasticității este modulul rezilient,  $M_R$ . Acest modul este de fapt modulul elastic bazat pe deformația recuperată sub încărcări repetate și se poate exprima astfel:

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r} \text{ [MPa]} \quad (4.11)$$

în care:

$\sigma_d$  este efortul deviator (efortul axial din încercarea de compresiune triaxială);

$\varepsilon_r$  - deformația recuperată.

Cele mai multe materiale rutiere nu sunt elastice și suferă câte o deformație permanentă după fiecare încărcare. Dacă încărcarea este mică, comparabilă cu rezistența materialului și se repetă de un număr însemnat de ori, deformația după fiecare repetare a încărcării este aproape complet recuperată și proporțională cu încărcarea, iar în această situație deformația poate fi considerată ca fiind elastică.

În prima fază a aplicării încărcării apare o anumită deformație permanentă, iar odată cu creșterea numărului de repetări a încărcării, deformația plastică datorată fiecărei încărcări scade, astfel că după 100...200 repetări ale încărcării, deformația este practic total recuperată.

În timp ce un material pur elastic poate fi caracterizat cantitativ prin două constante,  $E$  (modul de elasticitate) și  $\mu$  (coeficientul lui Poisson), materialele cu lianți hidrocarbonați (de exemplu mixturile asfaltice) nu pot fi definite așa simplu. Prezența liantului conferă materialului un comportament vâscoelastic și termoplastic, deci caracteristica esențială este aceea că proprietățile atât elastice cât și vâscoase depind de temperatură și de viteza de aplicare a încărcării exterioare.

Astfel, caracterizarea acestor tipuri de materiale se face prin modulul complex și coeficientul lui Poisson.

Modulul complex este un număr complex ce definește relația tensiune-deformație pentru un material vâscoelastic liniar supus unei încărcări sinusoidale. Modulul complex se determină plecând de la o încărcare dinamică obținându-se raportul dintre tensiunea impusă și deformația rezultantă care, datorită caracterului vâscoelastic al materialului, apare cu o întârziere față de acțiunea tensiunii, întârziere numită defazaj și exprimată de unghiul de defazaj,  $\varphi$  (figura 4.7.) [61].

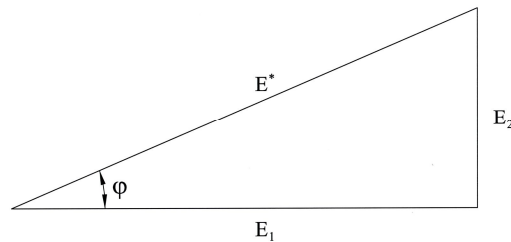


Fig. 4.7. Modulul complex al materialelor vâscoelastice

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{E_2}{E_1} \quad [-] \quad (4.12)$$

în care:

$E_1$  este componenta elastică a materialului;

$E_2$  - componenta vâscoasă a materialului.

Din expresia tangentei, se poate observa că, pentru materialele elastice  $E_2 = 0$  și  $\varphi = 0^\circ$ , iar pentru materialele vâscoase  $E_1 = 0$  și  $\varphi = 90^\circ$ . Pentru un material vâscoelastic domeniul unghiului de defazaj este  $\varphi = 0 \dots \pi/2$ .

Valoarea modulului complex scade considerabil dacă temperatura crește și frecvența scade. La temperaturi scăzute, valoarea acestui modul este influențată de procentul de bitum. Dacă procentul de bitum crește, efectul temperaturii devine semnificativ și valoarea modulului complex devine din ce în ce mai puțin influențată de frecvență.

Pentru definirea coeficientului lui Poisson se presupune un corp cu o secțiune circulară sau pătrată care este supus întinderii și care se va alungii de „ $\lambda$ ” ori. Dacă se admite faptul că deformația apare uniform de-a lungul întregii lungimi a corpului, atunci întinderea specifică (alungirea pe unitatea de lungime), figura 4.8., poate fi exprimată astfel:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \lambda^{-1} \quad [-] \quad (4.13)$$

în care:

$\varepsilon$  este întinderea specifică a probei;

$l_0$  - lungimea inițială a probei;

$\Delta l$  - creșterea în lungime după întinderea uniaxială.

Întinderea specifică,  $\varepsilon$  și raportul de întindere  $\lambda$  sunt caracteristici ale stării deformate a corpului. Față de întinderea în direcție uniaxială, va apărea compresiunea pe direcții laterale. Este imposibilă, pentru moment, stabilirea unei relații între schimbările de dimensiune, în direcții laterale și axială ale corpului,

deoarece raportul între compresiunea specifică laterală,  $\varepsilon_l$  și întinderea specifică uniaxială,  $\varepsilon$ , este guvernat de proprietățile materialului. Pentru caracterizarea acestor proprietăți se definește coeficientul lui Poisson,  $\mu$ , ca fiind raportul între compresiunea specifică laterală,  $\varepsilon_l$  și întinderea specifică uniaxială,  $\varepsilon$ :

$$\mu = \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon} \quad [-] \quad (4.14)$$

Valorile coeficientului lui Poisson, variază pentru fiecare material, funcție de întinderea specifică,  $\varepsilon$  și raportul de întindere  $\lambda$ , în ipoteza întinderii fără modificare de volum al materialului.

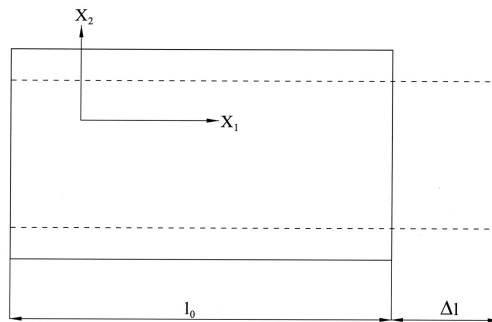


Fig. 4.8. Alungirea uniaxială

Pentru definirea noțiunii de tensiune, se consideră un corp supus acțiunii diferitelor forțe exterioare. Se presupune o suprafață inclusă,  $S$ , în interiorul acestui corp și se consideră o arie elementară,  $\Delta S$ , pe această suprafață. Pe suprafața  $\Delta S$  se consideră un vector normal,  $n$ , și o forță,  $\Delta F$  (figura 4.9.).

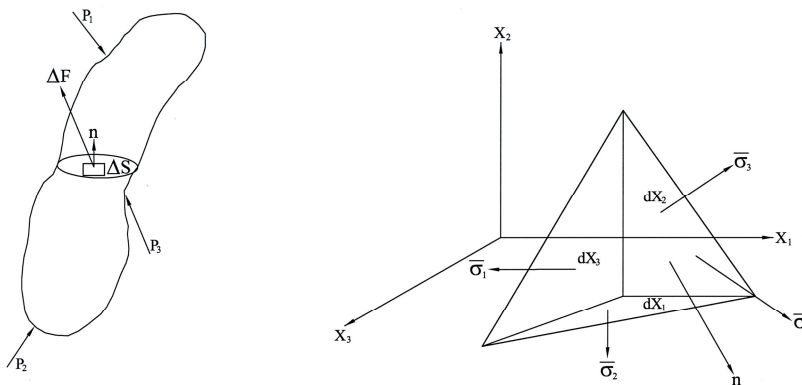


Fig. 4.9. Starea de tensiuni pentru un element de volum de formă tetraedrică

$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta S} = \frac{dF}{dS} \quad (4.15)$$

în care:

$\sigma$  este vectorul ce caracterizează acțiunea forței exterioare asupra corpului considerat;

$\Delta F, \Delta S$  - semnificațiile din figura 4.9.

Volumul sub formă de tetraedru din figura 4.9. are una din fețe orientată arbitrar în spațiu, caracterizată prin vectorul  $n$ , iar celelalte trei fețe sunt orientate de-a lungul axelor de coordonate. Tetraedrul este în echilibru, adică suma vectorilor forțelor ce acționează asupra sa este egală cu zero.

Vectorul  $\sigma$  poate fi exprimat ca o funcție de vectorul  $n$  prin intermediul a trei mărimi  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , fiecare dintre acestea fiind definite de proiecția pe axele de coordonate:  $\sigma_1(\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}), \sigma_2(\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}), \sigma_3(\sigma_{31}, \sigma_{32}, \sigma_{33})$ . Primul indice specifică orientarea planului, iar cel de-al doilea indice specifică axele pe care vectorul este proiectat.

Tensiunea este definită de setul celor nouă mărimi  $\sigma_{ij}$ , iar totalitatea componentelor tensiunii alcătuiesc un tensor:

$$\{\sigma\} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

Termenii diagonali se numesc tensiuni normale, în timp ce restul termenilor sunt cunoscuți ca tensiuni tangențiale. Se vorbește de o stare uniformă de tensiuni atunci când componentele tensorului tensiune sunt constante în orice punct din elementul de volum considerat. Dacă toate componentele pe orice rând din tensorul tensiune sunt egale cu zero, adică unul din vectorii  $\sigma_i$  este nul, atunci se vorbește de o stare plană (biaxială) de tensiuni. Dacă toate componentele pe două rânduri sunt egale cu zero atunci se vorbește despre o stare uniaxială de tensiuni, iar dacă cel puțin o componentă a tensorului este diferită de zero pe fiecare rând, atunci se tratează starea de tensiuni ca o stare triaxială.

Deformația poate fi interpretată geometric prin considerarea a două puncte, A și B, într-un element de volum dat (figura 4.10.). Poziția punctelor A și B se schimbă în spațiu, astfel deplasările punctului B pot fi privite ca mișcări ale punctului A la care se adaugă mișcarea lui B față de A. Mișcarea punctului B față de punctul A se poate efectua, mai întâi prin rotirea părții BA față de A (centru de rotație) și apoi prin schimbarea segmentului BA.

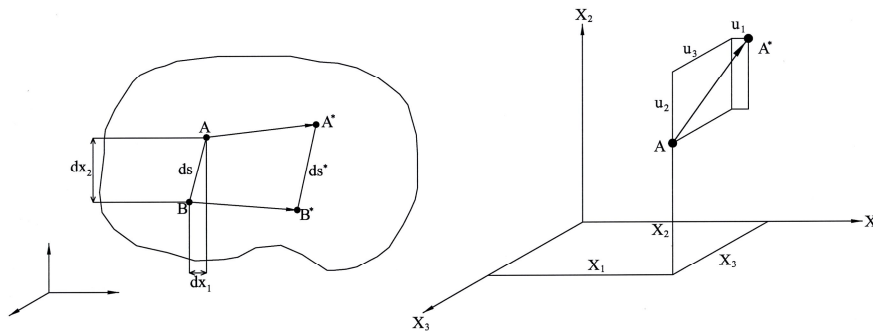


Fig. 4.10. Conceptul de deformație

Astfel, mișcarea punctelor unui corp în spațiu este compusă dintr-o mișcare de translație a corpului ca un tot unitar, o rotație relativă a corpului față de un anumit punct și o deformație (schimbarea distanțelor între punctele din interiorul corpului). Practic, pentru caracterizarea stării de tensiuni și deformații din structurile

rutiere, deformațiile care interesează sunt cele corespunzătoare deplasărilor relative ale punctelor din corp, neglijându-se mișcarea corpului ca un tot unitar și rotirea sa relativă față de orice punct.

Dacă punctele A și B ajung, ca un rezultat al mișcării, în pozițiile A\* și B\*, atunci pentru punctul A, notând deplasările sale prin  $u_1$ ,  $u_2$  și  $u_3$  obținem coordonatele A\* ( $x_1+u_1$ ,  $x_2+u_2$ ,  $x_3+u_3$ ). Mărimea deplasărilor  $u_i$  este funcție de coordonatele punctului A înainte de producerea deformației atâta timp cât mișcarea în spațiu depinde de poziția inițială.

Starea deformată se descrie folosind tensorul deformației finite,  $\{\gamma\}$ , a cărui componente sunt:

$$\gamma_{ij} = \begin{cases} \varepsilon_{ij} \rightarrow i = j \\ \frac{1}{2} \varepsilon_{ij} \rightarrow i \neq j \end{cases} \quad (4.17)$$

în care:

$\varepsilon_{ij}$  sunt mărimi caracteristice deformației corpului în vecinătatea unui punct dat.

Dacă  $\gamma_{12} = \gamma_{21} \neq 0$  deformația este unidimensională,  $\gamma_{12} = \gamma_{21} \neq 0$  și  $\gamma_{13} = \gamma_{31} \neq 0$  deformația este bidimensională, iar dacă toate componentele ne-diagonale ale tensorului sunt diferite de zero atunci deformația este tridimensională. Vorbim despre o deformație uniaxială dacă  $\gamma_{11} \neq 0$ .

Problema mecanică în metoda analitică de dimensionare constă în verificarea echilibrului, sub o sarcină exterioară, a unui solid elastic, liniar, izotrop care presupune următoarele:

- cunoașterea relațiilor între tensiuni și deformații specifice, conform mecanicii mediilor continue;
- verificarea ecuațiilor de echilibru într-un punct.

Astfel, ținând cont de condițiile privind verificarea echilibrului și de ipotezele lui Love și Henkel, în coordonate axisimetrice, pentru sarcina de calcul, se obțin următoarele rezultate:

- tensiunile:  $\sigma_r(r,z)$ ,  $\sigma_\theta(r,z)$ ,  $\sigma_z(r,z)$  și  $\tau_{rz}(r,z)$  (figura 4.11.);
- deplasările orizontale  $u(r,z)$  și verticale  $v(r,z)$ ;
- deformațiile specifice corespunzătoare.

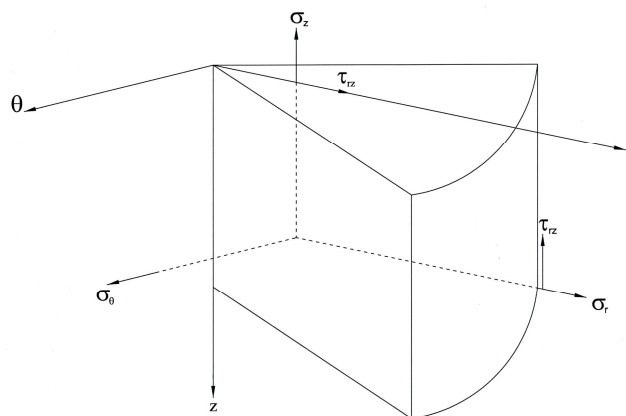


Fig. 4.11. Rezultatele tensiunilor în reper axisimetric

Componentele tensorului de tensiune  $\sigma$  și de deformație specifică  $\varepsilon$  în  $r\theta$  și  $\theta z$  sunt nule și deci, nu se calculează.

Ipoteza elasticității liniare a modelului, permite să se suprapună, într-un reper axisimetric, efectele diferitelor sollicitări în termeni de:

- tensiune:  $\sigma_r, \sigma_z$ ;
- deformație specifică:  $\varepsilon_r, \varepsilon_z$ .

Deși comportarea materialelor din straturile rutiere nu este una elastică, ci mai degrabă una vâscoelastică (materialele bituminoase), totuși, pentru simplificare, calculele de dimensionare se fac în ipoteza elasticității liniare. Astfel straturile rutiere pot fi considerate corpuri elastice, care după îndepărtarea încărcării suferă schimbări de formă sub acțiunea energiei elastice stocate, schimbări care pot fi numite reveniri elastice.

Elasticitatea reprezintă tendința unui corp de a-și recăpăta, după îndepărtarea sarcinii, forma și dimensiunile inițiale încărcării.

Legătura între tensiunile exercitate și deformațiile produse de acestea poate fi materializată printr-o curbă caracteristică. Pentru un material elastic poate exista o relație liniară între tensiune și deformație, în acest caz elasticitatea fiind liniară sau, poate exista o relație neliniară, dar unică, iar în această situație elasticitatea este neliniară (figura 4.12.).

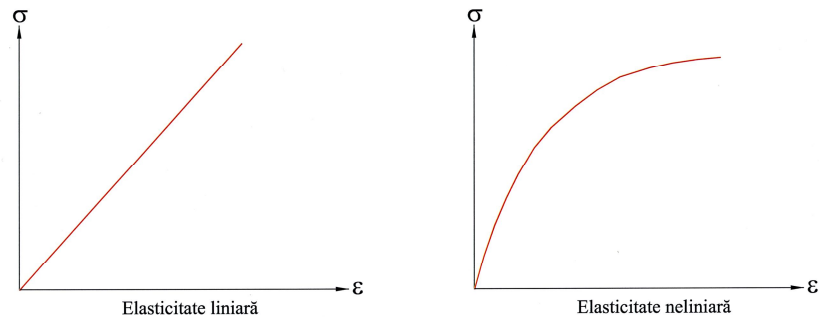


Fig. 4.12. Dependenta între tensiuni și deformații

Atunci când o parte din deformația elastică nu revine instantaneu la îndepărtarea încărcării, dar revine după un anumit timp, elasticitatea se numește elasticitate întârziată, sau elasticitate completă (figura 4.13.).

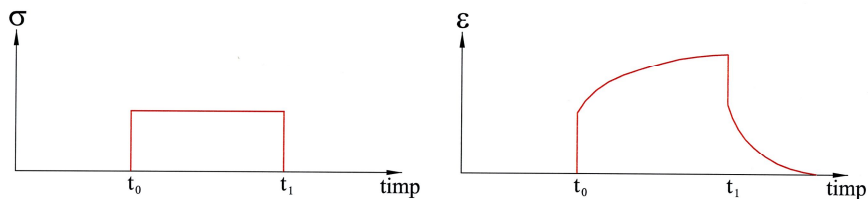


Fig. 4.13. Elasticitate completă

În cazul corpurilor elastice, deformația dispăre complet după îndepărtarea cauzei care o produce. În acest caz deformația este elastică, reversibilă. Un corp

este ideal elastic atunci când materialul revine instantaneu la starea inițială când sarcina este îndepărtată. În acest caz elasticitatea este ideală.

Un corp elastic se supune legii lui Hooke. Tensiunile normale și cele tangențiale (de forfecare) sunt proporționale cu deformațiile corespunzătoare. Factorii de proporționalitate sunt modulul de elasticitate (modulul lui Young) și modulul de forfecare:

$$E = \frac{\sigma_0}{\varepsilon} \text{ [MPa]} \quad (4.18)$$

în care:

E este modulul de elasticitate (modulul lui Young);

$\sigma_0$  - tensiunea normală aplicată;

$\varepsilon$  - deformația specifică rezultată din întinderea uniaxială.

$$G = \frac{\tau_0}{\gamma} \text{ [MPa]} \quad (4.19)$$

în care:

G este modulul de forfecare;

$\tau_0$  - tensiunea de forfecare aplicată;

$\gamma$  - deformația de forfecare rezultată.

În urma solicitării de întindere uniaxială apare o deformație omogenă însoțită de creșterea volumului. Această creștere de volum este dată de coeficientul lui Poisson.

În cazul compresiunii, proprietățile elastice ale materialului sunt caracterizate prin modulul de compresibilitate, K.

Între cele patru constante care caracterizează materialele elastice, modulul de elasticitate, E, modulul de forfecare G, modulul de compresibilitate, K și coeficientul lui Poisson,  $\mu$ , există următoarele relații [61]:

$$E = 3K(1 + 2\mu) = 2G(1 + \mu) = \frac{9KG}{3K + G} \text{ [MPa]} \quad (4.20)$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} = \frac{3K(1 - 2\mu)}{2(1 + \mu)} = \frac{3EK}{9K - E} \text{ [MPa]} \quad (4.21)$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\mu)} = \frac{2G(1 + \mu)}{3(1 - 2\mu)} = \frac{EG}{9G - 3K} \text{ [MPa]} \quad (4.22)$$

$$\mu = \frac{1}{2} - \frac{E}{6K} = \frac{E}{2G} - 1 = \frac{3K - 2G}{6K + 2G} \text{ [-]} \quad (4.23)$$

Structurile rutiere supuse calculului analitic de dimensionare sunt caracterizate prin grosimea fiecărui strat rutier și prin caracteristicile de deformabilitate ale materialelor din straturile rutiere și ale terenului de fundare (modulul de elasticitate dinamic, E, în MPa și coeficientul lui Poisson,  $\mu$ ).

Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate ale materialelor din suportul structurii rutiere (terenul de fundare) sunt cele corespunzătoare materialelor din terasamente, iar 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, grosimea acestuia și de valoarea modulului de elasticitate dinamic al terenului de fundare.

Caracteristicile de deformabilitate ale balastului sau ale materialelor din pietruirea existentă se stabilesc în funcție de cele ale materialelor din stratul suport.



Valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate pentru materialele necoezive din straturile de bază și de fundație, pentru agregatele naturale stabilizate cu lianți hidraulici și puzzolanici și pentru mixturile asfaltice din stratul de bază și din straturile îmbrăcăminte bituminoase sunt prestabilite și pot fi direct utilizate în calculul de dimensionare.

În cazul în care compoziția mixturii asfaltice dintr-un strat va fi diferită de cea din prescripțiile tehnice legale în vigoare, valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic vor fi stabilite utilizând testul de întindere indirectă prin solicitare repetată pe probe cilindrice din mixtură asfaltică preparate în laborator sau prelevate din teren, care se realizează prin aplicarea unei sarcini verticale de compresiune pe generatoare și măsurarea deformației orizontale totală a probei [86].

Referitor la dimensionarea ranforsărilor complexelor rutiere bazate pe măsurători de deflexiuni sub sarcină dinamică sau sub sarcină statică, se definește capacitatea portantă a complexului rutier, care reprezintă o caracteristică structurală a drumului exprimată prin valorile deformației elastice (deflexiunea) caracteristică. Parametrul de portantă al complexului rutier reprezintă totodată unul din parametrii stării tehnice a drumurilor și este definit în acest sens ca raportul dintre valoarea deflexiunii caracteristice și cea a deflexiunii admisibile [89].

STAS-ul 4032/1-90 „Lucrări de drumuri. Terminologie” definește capacitatea portantă a drumului ca fiind o caracteristică de bază, cuantificată, a complexului rutier, de a prelua încărcările din trafic în condiții climatice date, fără a suferi deformații permanente, iar deflexiunea ca fiind deformația verticală elastică a complexului rutier sub acțiunea încărcării dată de un vehicul. Capacitatea portantă a unui drum nu este deci o caracteristică intrinsecă a complexului rutier, criteriile de apreciere trebuind să fie corelate cu solicitările din trafic, pe care acesta le poate prelua.

Deflexiunea este în general utilizată ca o măsură a capacității portante. Logica acestei opțiuni este faptul că mecanismul principal de degradare al structurii rutiere este determinat de tensiunile și deformațiile specifice din diferitele straturi rutiere și că valorile acestora sunt într-o corelație strânsă cu deflexiunea, care reprezintă de asemenea, răspunsul la solicitare a complexului rutier. Implicarea deflexiunii în aprecierea capacității portante a drumurilor în metodologia în vigoare din țara noastră a impus analizarea rezultatelor măsurătorilor de deformabilitate, o analiză cu atât mai necesară, cu cât pentru majoritatea specialiștilor din domeniul rutier din țara noastră, conceptul de capacitate portantă se identifică cu cel de deflexiune [14].

Deși literatura de specialitate menționează că pentru complexe rutiere, privite ca niște sisteme stratificate, deflexiunea nu poate constitui un substitut al capacității portante, există stabilite dependențe semnificative între deformația specifică verticală de compresiune la nivelul terenului de fundare sau între deformația specifică orizontală de întindere la baza straturilor bituminoase și deflexiunea complexului rutier, ceea ce a permis evaluarea numărului de solicitări admisibil pe care îl poate prelua un drum, dacă se cunoaște deflexiunea complexului rutier.

În metoda franceză de dimensionare a structurilor rutiere, osia standard este definită ca fiind una simplă cu roți duble și o sarcină de 130 kN. Echivalarea vehiculelor în osii standard se face utilizând relația 4.24. Numărul de osii standard corespunde numărului de încărcări repetate la care este supusă structura rutieră pe perioada de perspectivă.

$$A = k \left( \frac{P}{P_0} \right)^a \quad [-] \quad (4.24)$$

în care:

A este coeficientul de agresivitate (echivalare);

P - sarcina pe osia vehiculului care se echivalează;

$P_0$  - sarcina pe osia standard;

k și a - coeficienți care țin seama de structura, tipul și forma osiei care se echivalează.

Încărcările în interiorul structurii rutiere sunt evaluate pe baza unui model elastic multi-strat de tip Burminster folosind programe de calcul adecvate (ALIZÉ, ECOROUTE etc.).

Metoda franceză de dimensionare este o metodă analitică complexă care utilizează un număr semnificativ de parametri (legi de oboseală, riscuri, eficiență, etc.).

Metoda engleză ia în calcul numai vehiculele grele, fiecare categorie de vehicule este echivalată în osii standard, care la această metoda este osia de 80 kN simplă cu roți duble.

Indicele de capacitate portantă C.B.R. (Californian Bearing Ratio), este utilizat pentru definirea capacității portante la nivelul terenului de fundare. În cazul în care valoarea C.B.R. nu depășește 15 %, se recurge la proiectarea unui strat de formă.

În metoda americană (AASHTO) traficul de calcul se exprimă în osia standard, care este definită ca fiind osie simplă cu roți duble cu o sarcină de 18 kip (kilopound), adică 8,164 tone.

Factorul de fiabilitate ia în calcul incertitudinea traficului de perspectivă și performanțelor materialelor rutiere.

Calitatea terenului de fundare este dată de modulul său de elasticitate, legat în general de indicele de capacitate portantă C.B.R. determinat în situ.

Originalitatea metodei de dimensionare americană AASHTO constă în definirea conceptului de indice de serviciu (Present Serviceability Index - PSI). Acest indice corespunde unui nivel de deteriorare al structurii rutiere și efectului de percepție al utilizatorului.

Numărul structural SN, corespunde sumei ponderate a grosimilor straturilor structurii rutiere și se calculează cu relația:

$$SN = a_1 \times D_1 \times m_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 \quad [\text{cm}] \quad (4.25)$$

în care:

$a_i$  este un coeficient care ține seama de materialul din care este alcătuit stratul rutier;

$D_i$  - grosimea stratului;

$m_i$  - coeficient care țin seama de condițiile de drenare ale fiecărui strat.

În metoda Shell (SPDM) Osia standard este definită ca fiind osia simplă cu roți duble și sarcina de 80 kN.

Caracteristicile straturilor sunt obținute prin teste de laborator sau pot fi estimate cu ajutorul programului de calcul BANDS, care de fapt reproduce nomogramele lui Van der Poel și Ugé-Bonnaure.

Dimensionarea implică utilizarea software-ului BISAR care se bazează pe modelarea Burminster.

Mărimile folosite în metodele analitice reprezentative de dimensionare sus-menționate sunt prezentate sintetic în tabelul 4.3 [81].

Tabelul 4.3  
Mărimi caracteristice metodelor de dimensionare analitice ale structurilor rutiere  
suple

	<b>METODA ENGLEZĂ</b>	<b>METODA NOTTINGHAM</b>	<b>METODA SHELL</b>	<b>METODA FRANCEZĂ</b>	<b>METODA ASPHALT INSTITUTE</b>
<b>Condiții de încărcare</b>					
<b>Configurația roții</b>	Simplă	Dublă	Dublă	Dublă	Dublă
<b>Încărcarea</b>	40 kN	20 kN pe fiecare roată	20 kN pe fiecare roată	32,5 kN pe fiecare roată	20 kN pe fiecare roată
<b>Raza suprafeței de contact</b>	151 mm	113 mm	105 mm	125 mm	115 mm
<b>Spațiul dintre roți</b>	-	376 mm	210 mm	375 mm	345 mm
<b>Frecvența/timpul de încărcare</b>	5 Hz	$t = f(h, v)$ t-timpul h-grosime strat v-viteza	0,02 sec	10 Hz	10 Hz
<b>Sarcina osiei standard</b>	80 kN	80 kN	80 kN	130 kN	80 kN
<b>Proprietățile materialelor (mixturi asfaltice)</b>					
<b>Modul de rigiditate</b>	Măsurat sau evaluat pentru materiale standard	Măsurat sau determinat pe nomograme	Măsurat sau determinat pe nomograme	Măsurat sau evaluat pentru materiale standard	Măsurat sau evaluat pentru materiale standard
<b>Coefficientul lui Poisson</b>	0,35	0,40	0,35	0,35	0,35
<b>Temperatura la oboseală, °C</b>	20	1,92 x temperatura medie anuală	Calculată funcție de temperatura medie lunară	15	Temperatura medie lunară a aerului
<b>Temperatura la deformare, °C</b>	20	1,47 x temperatura medie anuală	Calculată funcție de temperatura medie lunară	15	Temperatura medie lunară a aerului
<b>Proprietățile materialelor (materiale granulare)</b>					
<b>Modul de rigiditate</b>	De 3 ori modulul terenului de fundare, dar maxim 150 MPa	Variabil, nu mai mult de 100 MPa	$0,2 * h^{0,45} * E_{SG}$ h-grosime strat $E_{SG}$ -modul teren fundare	Dependent de tipul terenului de fundare și capacitatea portantă a acestuia	Calculat funcție de grosimea asfaltului, modulul terenului
<b>Coefficientul lui Poisson</b>	0,45	0,30	0,35	0,35	0,35
<b>Proprietățile materialelor (terenul de fundare)</b>					
<b>Modul de rigiditate</b>	$17,6 * CBR^{0,64}$	$10,0 * CBR$	$10,0 * CBR$	Dependent de tipul terenului de fundare și capacitatea portantă a acestuia	$10,0 * CBR$ sau valoarea măsurată a modulului de elasticitate
<b>Coefficientul lui Poisson</b>	0,45	0,40	0,35	0,35	0,45

#### 4.4 Calculul structurilor rutiere

Analizarea metodelor de dimensionare a structurilor rutiere noi, sau ranforsarea celor existente, suple sau mixte (semirigide) se bazează pe considerentele prezentate la începutul acestui capitol, de asemenea, analiza se va restrânge, ținând cont de studiile și încercările experimentale efectuate care se prezintă în capitolul 5, privind metoda analitică de dimensionare a structurilor rutiere noi suple sau mixte, metoda analitică de dimensionare și de calcul a ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte existente, și a ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte (semirigide) pe baza măsurătorilor de deflexiuni sub sarcină dinamică (deflectometrul Phonix FWD MLY 10000) și sub sarcină statică (deflectometrul Benkelman).

##### 4.4.1 Calculul structurilor rutiere suple și mixte noi

Metoda analitică de dimensionare a structurilor rutiere suple și mixte noi se aplică conform Normativului pentru dimensionarea structurilor rutiere suple și semirigide, indicativ PD 177-2001, și se bazează pe îndeplinirea concomitentă a criteriilor menționate și anume:

- 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 mixte:
  - 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 alcătuirii 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.

La dimensionarea structurilor rutiere suple și mixte (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.

La stabilirea traficului de calcul de perspectivă se vor avea în vedere atât componența 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 perioade de timp.

Traficul de calcul se stabilește cu relația:

$$N_c = 365 \times p_p \times c_{rt} \times \sum_{k=1}^5 \left[ n_{ki} \times \frac{P_{kR} + P_{kF}}{2} \times f_{ek} \right] \text{ [o.s.]} \quad (4.26)$$

în care:

365 este numărul de zile calendaristice dintr-un an;

$p_p$  - perioada de perspectivă, în ani

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

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

- pentru drumuri cu trei sau mai multe benzi de circulație,  $c_{rt} = 0,45$ ;

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

$P_{kR}$  - coeficientul de evoluție al vehiculelor din grupa k, corespunzător anului de dare în exploatare a lucrării (anul R), stabilit prin interpolare;

$P_{kF}$  - coeficientul de evoluție al vehiculelor din grupa k, corespunzător anului care marchează sfârșitul duratei de exploatare a lucrării (anul F), stabilit prin interpolare;

$f_{ek}$  - coeficientul de echivalare în osii standard de 115 kN.

În cazul în care se dispune de valori ale MZA, actual și de perspectivă, exprimate în osii standard de 115 kN, traficul de calcul se stabilește cu relația:

$$N_c = 365 \times p_p \times c_{rt} \times \frac{n_{o.s.115R} + n_{o.s.115F}}{2} \text{ [o.s.]} \quad (4.27)$$

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 lucrării (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 metoda analitică de dimensionare a straturilor bituminoase de ranforsare a structurilor rutiere suple și mixte, conform normativului indicativ AND 550, traficul de calcul se exprimă în milioane de osii standard de 115 kN (m.o.s) și se obține prin împărțirea la  $10^6$  a traficului de calcul calculat cu relațiile 4.26 sau 4.27.

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

Caracteristicile de deformabilitate ale terenului 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 fiind prezentate în tabelul 4.5. Tipurile de pământuri, din care poate fi alcătuit terenul de fundare, conform STAS 1243-88, sunt prezentate în tabelul 4.4.

Repartiția tipurilor climaterice pe teritoriul României este dată în fig. 4.13.

Regimul hidrologic se diferențiază astfel:

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

- regimul hidrologic 2, corespunzător condițiilor hidrologice MEDIOCRE și DAFAVORABILE, 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.

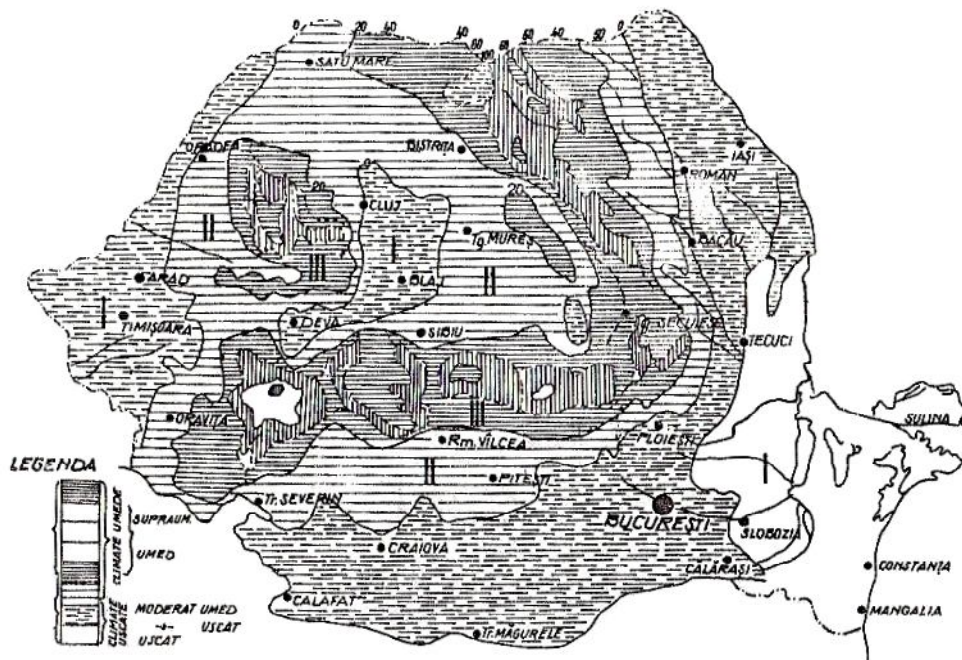


Fig. 4.13. Harta cu repartiția tipurilor climaterice pe teritoriul României

Tabelul 4.4

Tipurile de pământ din terenul de fundare

Categoria pământului	Tipul de pământ	Clasificarea pământurilor	Indicele de plasticitate $I_p$ [%]	Compoziția granulometrică:		
				Argilă [%]	Praf [%]	Nisip [%]
Necoezive	P <sub>1</sub>	Pietriș cu nisip	Sub 10	Cu sau fără fracțiuni sub 0,5 mm		
	P <sub>2</sub>		10...20	Cu fracțiuni sub 0,5 mm		
Coezive	P <sub>3</sub>	Nisip prăfos Nisip argilos	0...20	0...30	0...20	0...30
	P <sub>4</sub>	Praf, praf nisipos, praf argilos, praf argilos nisipos	0...25	0...30	0...25	0...30
	P <sub>5</sub>	Argilă, argilă prăfoasă, argilă nisipoasă, argilă prăfoasă nisipoasă	Peste 15	30...100	Peste 15	30...100

Tabelul 4.5

Caracteristicile de deformabilitate ale terenului de fundare

Tipul climateric	Regimul hidrologic	Tipul pământului					
		P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	
		<b>E<sub>p</sub>, [MPa]</b>					
I	1	100	90	70	80	80	
	2a			65		75	
	2b				70		
II	1			80	65	80	80
	2a						70
	2b					70	
III	1	90	60	55	80		
	2a				50	65	
	2b			65			
Coeficientul lui Poisson, $\mu$		0,27	0,30	0,30	0,35	0,42	

Îmbunătățirea capacității portante la nivelul patului drumului se poate face prin prevederea unui strat de formă a cărui caracteristici de deformabilitate sunt în funcție de tipul stratului de formă 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:

$$E_{s.f.} = 0,20 \times h_{sf}^{0,45} \times E_p \text{ [MPa]} \quad (4.28)$$

în care:

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

$E_p$  - modulul de elasticitate dinamic al terenului natural de fundare;

- coeficientul lui Poisson are valoarea de 0,27.

- pentru strat de formă, alcătuit din pământuri coezive și agregate naturale stabilizate, valorile de calcul ale caracteristicilor de deformabilitate sunt prezentate în tabelul 4.6.

Tabelul 4.6

Caracteristicile de deformabilitate ale stratului de formă

Denumirea materialului	Modulul de elasticitate dinamic $E_{s.f.}$ [MPa]	Coeficientul lui Poisson, $\mu$
Pământuri coezive tratate cu var:		
- tip P <sub>3</sub> și P <sub>4</sub>	150	0,35
- tip P <sub>5</sub>	200	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

Pentru folosirea rațională a agregatelor naturale în straturile de fundație se recomandă să se asigure la nivelul patului drumului o capacitate portantă minimă, caracterizată prin valoarea modulului de elasticitate dinamic echivalent al sistemului bistrat (strat de formă - teren de fundare) de minim 80 MPa. Grosimea stratului de formă necesară realizării acestei capacități portante se stabilește cu ajutorul unor diagrame [97], în funcție de modulul de elasticitate dinamic al materialului respectiv.

Tipul de structură rutieră se stabilește în funcție de materialele preponderente în regiune, iar alcătuirea acesteia se stabilește luând în considerare următoarele:

- grosimile minime ale diferitelor straturi rutiere, conform tabelelor 4.7 și 4.8;
- 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.

Structura rutieră supusă analizei este caracterizată prin grosimea fiecărui strat rutier și prin caracteristicile de deformabilitate ale materialelor din straturile rutiere și ale pământului din terasament (modulul de elasticitate dinamic,  $E$ , în MPa și coeficientul lui Poisson,  $\mu$ ).

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 terenului de fundare [97];
- valoarea de calcul al coeficientului lui Poisson este cea corespunzătoare materialelor din stratul superior al terasamentelor 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 4.28;
- 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 4.7.

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 4.8.



Tabelul 4.7  
Caracteristicile de deformabilitate ale materialelor rutiere necoezive din straturile de bază și de fundație

Denumirea materialului	E, [MPa]	$\mu$
Macadam semipenetrat sau penetrat	1000	0,27
Macadam	600	0,27
Piatră spartă mare sort 63- 80	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 4.28

Tabelul 4.8  
Caracteristicile de deformabilitate ale agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici

Denumirea materialului	Modulul de elasticitate dinamic (E), [MPa]	Coefficientul lui Poisson ( $\mu$ )
Agregate naturale stabilizate cu ciment: - strat de bază - strat de fundație	1200 1000	0,25
Agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici: • zgură granulată: - strat de bază - strat de fundație • cenușă de termocentrală: - strat de bază - strat de fundație • tuf vulcanic: - strat de bază - strat de fundație	1200 700 1800 1100 1200 750	

În cazurile în care structura rutieră are mai mult de 4 straturi rutiere, 2 sau 3 straturi, alcătuite din același tip de materiale (mixture asphaltică, 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:

$$E_m = \left[ \frac{\sum \left( E_i^{\frac{1}{3}} \times h_i \right)}{\sum h_i} \right]^3 \text{ [MPa]} \quad (4.29)$$

în care:

$E_i$  este modulul de elasticitate dinamic al mixturii asfaltice din stratul  $i$ , în MPa;

$h_i$  - grosimea stratului  $i$ , în cm.

Valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice din stratul de bază și din straturile îmbrăcăminte bituminoase sunt funcție de tipul climateric al zonei în care se încadrează drumul și se stabilesc conform tabelului 4.9.

Tabelul 4.9

Caracteristicile de deformabilitate ale agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici

Tipul mixturii asfaltice	Tipul stratului	Tip climateric I și II	Tip climateric III	Coeficientul lui Poisson ( $\mu$ )
		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 - tip MASF 8	uzură	3300	4000	
		3000	3600	

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

Analiza structurii rutiere la solicitarea osiei standard necesită calculul cu programul CALDEROM 2000, care urmărește determinarea analitică, cu ajutorul modelului Burmister, a stării de tensiuni și de deformații în complexul rutier considerat ca un mediu multistrat (maximum cinci straturi). Fiecare strat este considerat un solid elastic liniar, omogen și izotrop, infinit în plan orizontal și cu grosime cunoscută în plan vertical, cu excepția terenului de fundare care este considerat semiinfinit în plan vertical.

În cazul structurilor rutiere suple se calculează următoarele:

- deformația specifică orizontală de întindere la baza straturilor bituminoase ( $\epsilon_r$ ), în microdeformații;
- deformația specifică verticală de compresiune, la nivelul patului drumului ( $\epsilon_z$ ), în microdeformații.

În cazul structurilor rutiere mixte se calculează următoarele:

- deformația specifică orizontală de întindere la baza straturilor bituminoase ( $\epsilon_r$ ), în microdeformații;
- tensiunea orizontală de întindere ( $\sigma_r$ ), la baza stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în MPa;
- deformația specifică verticală de compresiune, la nivelul patului drumului ( $\epsilon_z$ ), în microdeformații.

Stabilirea comportării sub trafic a structurii rutiere 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.

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:

$$RDO = \frac{N_c}{N_{adm}} \quad [-] \quad (4.30)$$

în care:

$N_c$  este 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 următoarele relații:

$$N_{adm} = 4,27 \times 10^8 \times \epsilon_r^{-3,97} \quad [\text{m.o.s}], \quad (4.31)$$

pentru:

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

$$N_{adm} = 24,5 \times 10^8 \times \epsilon_r^{-3,97} \quad [\text{m.o.s}], \quad (4.32)$$

115 kN). pentru drumuri și străzi cu trafic de calcul cel mult egal cu 1 m.o.s. ( $1 \times 10^6$  o.s. 115 kN).

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

$$RDO < RDO_{adm} \quad (4.33)$$

în care:  $RDO_{adm}$  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 4.33 nu este satisfăcută se repetă calculul ratei de degradare prin oboseală pentru o grosime mai mare a straturilor bituminoase, până la satisfacerea condiției.

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

$$\epsilon_z \leq \epsilon_{zadm} \quad (4.34)$$

în care:

$\epsilon_z$  este deformația specifică verticală de compresiune la nivelul terenului de fundare, în microdeformații, calculată cu programul CALDEROM;

$\epsilon_{zadm}$  - deformația specifică verticală admisibilă, care se calculează cu următoarele relații:

$$\epsilon_{zadm} = 329 \times N_c^{-0,27} \quad [\text{microdef}], \quad (4.35)$$

pentru:

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

$$\varepsilon_{zadm} = 600 \times N_c^{-0,28} \text{ [microdef]}, \quad (4.36)$$

pentru drumuri și străzi cu trafic de calcul cel mult egal cu 1 m.o.s. ( $1 \times 10^6$  o.s. 115 kN).

Dacă condiția 4.34 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.

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

$$\sigma_r \leq \sigma_{r adm} \quad (4.37)$$

în care:

$\sigma_r$  este tensiunea orizontală de întindere la baza stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în MPa;

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

Tensiunea de întindere admisibilă se calculează cu relația:

$$\sigma_{r adm} = R_t \times (0,60 - 0,056 \times \log N_c) \text{ [MPa]} \quad (4.38)$$

în care:

$R_t$  este rezistența la întindere a agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în MPa, prezentată în tabelul 4.13;

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

Rezistența la întindere a agregatelor stabilizate cu lianți hidraulici sau/și puzzolanici (la 360 zile de la confecționare) se stabilește cu ajutorul tabelului 4.10.

Tabelul 4.10

Rezistența la întindere a agregatelor naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau/și puzzolanici

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 condiția 4.37, se reface calculul pentru o grosime mai mare a stratului stabilizat.

#### 4.4.2 Calculul structurilor rutiere suple și mixte ranforsate

Metoda analitică de calcul a grosimii straturilor rutiere de ranforsare se aplică în cazul structurilor rutiere suple și mixte (semirigide), iar principiile de calcul sunt aceleași cu cele folosite în cazul dimensionării complexelor rutiere noi și se

bazează pe verificarea stării de solicitare a noii structuri rutiere sub acțiunea traficului de calcul, astfel încât să fie îndeplinite concomitent următoarele criterii:

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

Pentru dimensionarea ranforsărilor la structuri rutiere suple și mixte este necesar să se efectueze în prealabil studii de teren pentru determinarea stării de degradare a îmbrăcămintei bituminoase, alcătuirii structurii rutiere existente, caracteristicilor geotehnice ale terenului de fundare și ale celei regimului hidrologic al complexului rutier [95], [96].

Traficul de calcul, ca și în cazul metodei de dimensionare a complexelor rutiere noi, reprezintă numărul total de osii standard cu sarcina de 115 kN, care circulă pe banda de circulație cea mai solicitată, echivalent vehiculelor care vor circula pe drumul proiectat pe perioada de perspectivă care este de 10...15 ani, funcție de importanța drumului, starea lui tehnică și volumul traficului actual și de perspectivă și se determină pe baza traficului mediu zilnic anual în postul de recensare aferent sectorului de drum proiectat, cu una din relațiile 4.26 sau 4.27.

Determinarea caracteristicilor de deformabilitate a terenului de fundare (cu sau fără strat de formă) și al celorlalte materiale folosite în straturile rutiere vechi sau noi ale structurii de rezistență se va efectua ca și în cazul structurilor rutiere noi (tabelele 4.6, 4.7 și 4.8, respectiv relația 4.28).

Excepție fac mixturile asfaltice din straturile rutiere existente pentru care valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic se determină funcție de starea de degradare a îmbrăcămintei rutiere vechi (tabelul 4.11).

Tabelul 4.11

Caracteristici de deformabilitate ale mixturilor asfaltice din straturile existente

Parametrul de degradare a îmbrăcămintei bituminoase, conform CD 155-2001	Indicele global de degradare, conform AND 540-1998	Tip climateric		Coeficientul lui Poisson, $\mu$
		I și II	III	
		E, [MPa]		
< 0,10	> 85	3300	4700	0,35
0,10...0,30	65...85	3000	3800	0,35
> 0,30	< 65	2500	3000	0,35

Valorile de calcul ale modulilor de elasticitate dinamici ai materialelor din straturile rutiere existente și din terenul de fundare sunt valori minime, corespunzătoare unei probabilități de 85 %. În vederea stabilirii valorilor acestor caracteristici, specifice sectorului de drum analizat, se recomandă determinarea lor pe baza rezultatelor măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină dinamică, utilizând programe de calcul adecvate.

Pentru straturile de ranforsare se estimează grosimea acestora, astfel încât aceasta să corespundă condițiilor constructive și tehnologice specifice. Valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic și ale coeficientului lui Poisson pentru materialele din straturile pentru ranforsare sunt prezentate în tabelul 4.12.

Analiza complexului rutier la acțiunea osiei standard se efectuează cu ajutorul programului de calcul CALDEROM 2000, în aceleași ipoteze ca și în cazul structurilor rutiere noi.

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

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

Tabelul 4.12  
Caracteristicile de deformabilitate ale straturilor pentru ranforsare

Material	Tip strat rutier	Rezistența la întindere, $R_t$ , [MPa]	Tip climateric		Coeficientul lui Poisson, $\mu$
			I și II	III	
			E, [MPa]		
Mixturi asfaltice preparate cu bitum D 80/100	Uzură	-	3600	4200	0,35
	Legătură	-	3000	3600	0,35
	Bază	-	5000	5600	0,35
Mixturi asfaltice cu bitum modificat	Uzură	-	4000	4500	0,35
	Legătură	-	3500	4000	0,35
Betoane asfaltice stabilizate cu fibre, (B.A.S.F. 16)	Uzură	-	3300	4000	0,35
Betoane asfaltice stabilizate cu fibre, (B.A.S.F. 8)	Uzură	-	3000	3600	0,35
Agregate naturale stabilizate cu ciment	Bază	0,40	1200		0,25
	Fundație	0,35	1000		0,25
Agregate naturale stabilizate cu zgură granulată	Bază	0,35	1200		0,25
	Fundație	0,20	700		0,25
Agregate naturale stabilizate cu cenușă de termocentrală	Bază	0,50	1800		0,25
	Fundație	0,30	1100		0,25
Agregate naturale stabilizate cu tuf vulcanic	Bază	0,55	1200		0,25
	Fundație	0,35	750		0,25

Stabilirea comportării sub trafic a complexului rutier ranforsat urmărește calcularea grosimii straturilor de ranforsare (straturi bituminoase și eventual straturi stabilizate) pentru care sunt respectate criteriile de dimensionare.

Criteriul deformației specifice de întindere admisibile la baza straturilor bituminoase este îndeplinit dacă rata de degradare prin oboseală (RDO) are o valoare mai mică sau cel mult egală cu cea admisibilă ( $RDO_{adm}$ ), care are valori

cuprinse între 0,80 (autostrăzi și drumuri expres) și 1,00 (drumuri județene, comunale și vicinale), (relația 4.33).

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

$$RDO = \frac{N_c}{N_{adm}} [-] \quad (4.39)$$

în care:

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

$N_{adm}$  - numărul admisibil de solicitări, în milioane osii standard, care poate fi preluat de straturile bituminoase, corespunzător stării de deformație la baza acestora. Se calculează, funcție de importanța drumului proiectat, cu una din relațiile 4.31; 4.32.

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

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

$$\varepsilon_z \leq \varepsilon_{zadm} \quad (4.40)$$

în care:

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

$\varepsilon_{zadm}$  - deformația specifică verticală admisibilă la nivelul terenului de fundare, în microdeformații, calculată cu una din următoarele relații: 4.35 și 4.36, funcție de importanța drumului proiectat.

Dacă relația 4.40 nu este îndeplinită, se repetă calculul cu sporirea grosimii stratului (straturilor) din agregate naturale stabilizate (dacă ranforsarea implică folosirea unor astfel de straturi), respectiv a grosimii straturilor bituminoase, dacă ranforsarea se face numai cu straturi din mixturi asfaltice.

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

$$\sigma_r \leq \sigma_{radm} \quad (4.41)$$

în care:

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

$\sigma_{radm}$  - tensiunea de întindere admisibilă, în MPa, calculată cu relația 4.38.

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

#### 4.5 Tehnici de determinare a deflexiunilor prin măsurători și calculul grosimilor straturilor de ranforsare

Pe baza măsurătorilor efectuate cu ajutorul deflectometrelor cu sarcină statică (Benkelman, Lacroix) sau dinamică (PHONIX FWD MLY 10000, DYNATEST FED), se pot calcula grosimile straturilor de ranforsare ale structurilor rutiere.

#### 4.5.1 Deflectometrul cu sarcină statică

Calculul ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte (semirigide) pe baza măsurătorilor de deflexiuni sub sarcină statică cu ajutorul deflectometrului cu pârghie Benkelman constituie o metodă nedistructivă de măsurare rapidă a deformațiilor elastice reversibile ale complexelor rutiere suple și mixte [85].

Deflectometrul Benkelman se utilizează pentru determinarea capacității portante pe drumuri naționale secundare, drumuri județene și comunale. Deflectometrul cu pârghie tip Benkelman are părțile componente precizate în figura 4.14.

La efectuarea măsurătorilor se utilizează un vehicul de măsurare cu osie din spate simplă și cu roți duble. Sarcina pe osia respectivă trebuie să fie de 65...115 kN, iar presiunea de umflare a pneurilor de 6,25...6,75 atm. Se recomandă utilizarea autocamioanelor care să aibă sarcina pe osia din spate cât mai apropiată de 115 kN. Măsurarea deformabilității unui sector de drum în studiu se face pe sectoare omogene, delimitate astfel încât să se poată sesiza orice variație de capacitate portantă a complexului rutier. Pe fiecare sector omogen se efectuează măsurători pe două fire de măsurare situate la distanța de cca. 1,00 m de marginea părții carosabile. Măsurătorile efectuate pe un fir de măsurare trebuie să fie echidistante (distanțe cât mai mici și nu mai mari de 20 m), iar numărul punctelor de măsurare nu trebuie să fie mai mic de 20.

Înainte de efectuarea măsurătorilor, se procedează la etalonarea deflectometrului Benkelman, urmărindu-se stabilirea corelației între valoarea deplasării verticale a vârfului de contact și citirea deflexiunii pe microcomparatorul aparatului. Legea de corelație obținută se folosește la corectarea deflexiunilor măsurate pe teren.

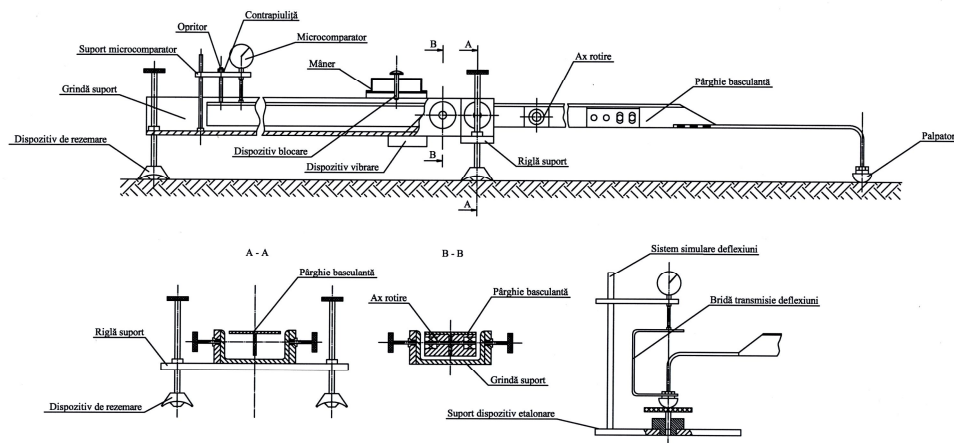


Fig. 4.14. Deflectometrul cu pârghie Benkelman

Măsurarea deformației elastice reversibile se efectuează în modul următor:

- se assemblează deflectometrul Benkelman și se blochează;
- se aduce autocamionul cu una din roțile duble din spate deasupra punctului în care se realizează măsurarea;
- se introduce vârful de contact al deflectometrului între pneurile roților duble astfel ca acesta să fie plasat în centrul suprafeței de contact dintre pneuri (figura 4.15);



- se aduce suportul aparatului în poziția orizontală, manevrând cele două șuruburi reglabile în sensul cerut de aducerea bulei de aer între repere;
- se aduce partea posterioară a pârgiei basculante în contact cu microcomparatorul și se pun indicatoarele acestuia la poziția zero. Se recomandă ca timpul total pentru staționarea autocamionului pe punctul de măsurare să fie de max. 30 s, timpul total admis pentru efectuarea primei citiri fiind de 60 s;
- se îndepărtează autocamionul de pe punctul de măsurare (fără șocuri) și se face citirea pe microcomparator în momentul în care axa roților duble se găsește la 2,40 m ( $C_{2,40}$ ) și apoi la 5,0 m ( $C_{5,0}$ ), această citire efectuându-se la 60 s de la îndepărtarea autocamionului de pe punctul de măsurare.

Datele obținute pentru fiecare punct de măsurare se trec în formulare speciale, după care în se face interpretarea măsurărilor, înscriindu-se următoarele date:

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

$$d_{2,4} = A + B \times C_{2,4} \text{ [1/100 mm]} \quad (4.42)$$

în care:

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

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

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

$$d_{5,0} = A + B \times C_{5,0} \text{ [1/100 mm]} \quad (4.43)$$

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

$$d = 2 \times d_{5,0} - d_{2,4} \text{ [1/100 mm]} \quad (4.44)$$

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

$$d_i = 115 \times \frac{d}{P} \text{ [1/100 mm]} \quad (4.45)$$

în care:

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

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

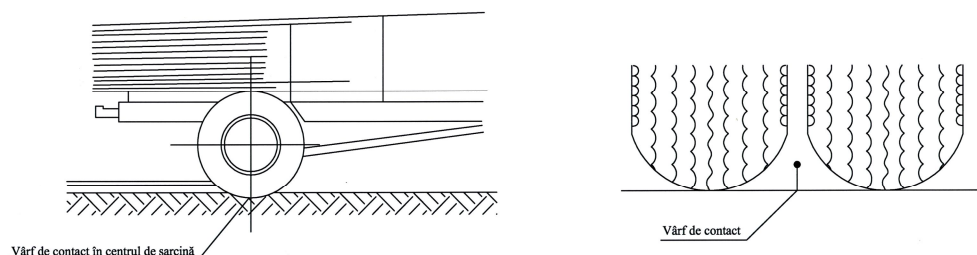


Fig. 4.15. Deflectometrul instalat pentru măsurători

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

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

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

Rezultatele obținute se prelucrează statistic calculându-se următoarele caracteristici:

- valoarea deflexiunii medii cu relația:

$$d_{BM} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (4.46)$$

în care:

$d_{BM}$  este media aritmetică a valorilor deflexiunilor Benkelman, în 1/100 mm;

$d_i$  - valorile individuale ale deflexiunilor determinate cu relația 4.45;

$n$  - numărul valorilor individuale luate în calcul;

- abaterea medie pătratică a șirului de valori cu relația:

$$S_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - n \times d_{BM}^2}{n}} \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (4.47)$$

în care:

$S_B$  este abaterea medie pătratică, în 1/100 mm;

$d_{BM}$ ,  $d_i$  și  $n$  - aceleași semnificații ca mai sus;

- coeficientul de variație ( $C_V$ ) cu relația:

$$C_V = \frac{S_B}{d_{BM}} \times 100 \quad [\%] \quad (4.48)$$

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

$$d_{BM20} = d_{BM} + c (20 - t) \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (4.49)$$

în care:

$d_{BM20}$  este deflexiunea medie normală, în 1/100 mm;

$d_{BM}$  - deflexiunea medie corespunzătoare temperaturii medii în timpul măsurătorii, în 1/100 mm;

$c = 1$  - coeficient de variație a deflexiunii pentru variația cu 1 °C a temperaturii medii;

$t$  - temperatura medie a straturilor bituminoase în timpul măsurării, în °C.

Pentru structuri rutiere mixte (semirigide) valoarea deflexiunii medii normale este:

$$d_{BM20} = c(t) \times d_{BM} \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (4.50)$$

în care:

$d_{BM20}$  și  $d_{BM}$  au semnificațiile din relația anterioară;

$c(t) = 1,2...0,01 \times t$  și este un factor de transformare a deflexiunii medii corespunzătoare temperaturii  $t$  în deflexiune medie normală, stabilit în funcție de temperatura medie în perioada măsurării;

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

$$S_{B20} = C_v \times d_{BM20} \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (4.51)$$

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

$$d'_{BM20} = C_1 \times d_{BM20} \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (4.52)$$

$$S'_{B20} = d'_{BM20} \times C_v \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (4.53)$$

în care:

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

$C_1$  - coeficient mediu ponderat de corecție, în funcție de tipul structurii rutiere, zone climatice și tipul profilului transversal, conform tabelului 4.13;

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

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

$C_v$  - coeficientul de variație calculat cu relația 4.48.

Tabelul 4.13

Coeficientul mediu ponderat de corecție

Tipul structurii rutiere	Tipul climateric					
	I		II		III	
	Tipul profilului transversal					
	Rambleu	Debleu, mixt	Rambleu	Debleu, mixt	Rambleu	Debleu, mixt
Suplă	1,00	1,10	1,30	1,50	1,50	1,60
Mixtă	1,10	1,20	1,10	1,20	1,10	1,20

Valoarea deflexiunii caracteristice se determină cu relația următoare:

$$d_{CB} = d_{BM20} + t_a \times S_{B20} \quad [1/100 \text{ mm}] \quad (4.54)$$

în care:

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

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

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

$t_a$  - coeficient care depinde de probabilitatea apariției unor valori de deflexiuni mai mari decât deflexiunea caracteristică, de numărul de valori ale deflexiunii ( $n$ ) și de clasa tehnică a drumului, conform tabelului 4.14.

Tabelul 4.14

Coeficientul  $t_a$ 

Numărul de valori ale deflexiunii, $n$	Clasa tehnică	
	IV, V	I, II, III
$\leq 20$	2,09	2,34
$> 20$	1,96	2,20

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

$$d_{CL} = 0,75 \times d_{CB} \text{ [1/100 mm]} \quad (4.55)$$

Volumul de trafic de clacul este definit ca fiind numărul de osii standard de 115 kN pe banda de circulație cea mai solicitată, echivalent vehiculelor care vor circula după ranforsare o perioadă de perspectivă de 10 ani.

Grosimea straturilor bituminoase de ranforsare se stabilește pentru fiecare bandă de circulație pe sectoare omogene astfel:

$$h = k \times \log \frac{d_c}{d_{adm}} \text{ [cm]} \quad (4.56)$$

în care:

h este grosimea straturilor bituminoase de ranforsare, în cm;

$d_c$  - deflexiunea caracteristică, în 1/100 mm, stabilită cu relația 4.55;

$d_{adm}$  - deflexiunea admisibilă, în 1/100 mm, stabilită funcție de volumul de trafic conform tabelului 4.15;

k - coeficient a cărei valoare se stabilește în funcție de clasa de trafic a drumului, în cm, conform tabelului 4.15.

Tabelul 4.15

Valorile deflexiunii admisibile și a coeficientului k

Clasa de trafic	$N_c$ pe o bandă de circulație, [m.o.s.]	k, [cm]	$d_{adm}$ , [1/100 mm]
FOARTE UȘOR	< 0,03	40	75
UȘOR	0,03...0,10	40	70
MEDIU	0,10...0,30	50	65
GREU	0,30...1,00	60	60
FOARTE GREU	1,00...3,00	70	45
EXCEPȚIONAL	> 3,00	90	40

Grosimea minimă constructivă a straturilor de ranforsare este de 8,0 cm, iar în același profil transversal se adoptă valoarea maximă a grosimii straturilor de ranforsare calculată pentru cele două benzi de circulație.

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

- la nivelul terenului de fundare, când nu este prevăzut strat de formă, sau la nivelul inferior al stratului de formă, se consideră realizată capacitatea portantă necesară dacă deflexiunea are valori mai mari decât cea admisibilă în cel mult 10 % din numărul punctelor de măsurare;
- la nivelul superior al stratului de formă, valoarea deflexiunii admisibile este de 200 1/100 mm;
- uniformitatea execuției se consideră satisfăcătoare dacă valoarea coeficientului de variație este de maxim 40 %;
- la nivelul superior al stratului de fundație din balast, valoarea admisibilă a deflexiunii este, funcție de grosimea stratului de fundație din balast și de modul de alcătuire a stratului superior al terasamentelor;
- la nivelul superior al stratului de fundație sau de bază din materiale granulare se consideră că uniformitatea execuției este corespunzătoare dacă valoarea coeficientului de variație este de maximum 35 %.

#### 4.5.2 Deflectometrul cu sarcină dinamică

În România dimensionarea straturilor de ranforsare pentru structurilor rutiere suple și mixte pe baza măsurătorilor de deflexiuni sub sarcină dinamică se face utilizând deflectometrul PHONIX FWD MLY 10000 sau deflectometrul DYNATEST FED.

Cu ajutorul acestor aparate se pot determina capacitatea portantă a structurilor rutiere existente, durata de exploatare reziduală și grosimea straturilor necesare ranforsării. Fiecare aparat cu sarcină dinamică dispune de o metodă proprie de măsurare și interpretare a deflexiunilor măsurate, precum și de un program de calcul specific. Numărul acestor aparate este limitat la nivel național (trei în prezent), iar interpretarea datelor obținute se efectuează de echipe specializate în acest domeniu.

Măsurătorile efectuate cu deflectometrul cu sarcina dinamică PHONIX FWD MLY 10000 se utilizează la stabilirea capacității portante pe toate categoriile de drumuri publice pentru următoarele scopuri:

- determinarea stării tehnice a drumurilor, în conformitate cu instrucțiunile CD 155;
- verificarea capacității portante a structurilor rutiere executate pe drumuri noi;
- dimensionarea straturilor de ranforsare, din materiale bituminoase, a structurilor rutiere suple și mixte;
- controlul calității execuției lucrărilor în cazul drumurilor noi și modernizarea celor existente.

Principiul metodei constă în măsurarea față de un sistem de referință a deplasărilor pe verticală (deflexiunilor) ale structurii rutiere deformate sub solicitarea dinamică a unei greutate care cade pe o placă. Măsurarea se face în centrul plăcii și în alte cinci puncte situate la distanțe prestabilite (prin construcția echipamentului) față de centrul plăcii, pe o direcție paralelă cu axa drumului cu ajutorul unor geofoni [90].

Pentru simularea solicitării roților osiei standard de 100 kN (10 tf) sau 115 kN (11,5 tf), se adoptă următorii parametri de încărcare:

- masa greutății care cade: 240...300 kg;
- solicitarea maximă: 100...115 kN;
- înălțimea de cădere: 25...30 cm;
- diametrul plăcii de încărcare: 30 cm;
- durata de solicitare: 25...30 ms (0,025...0,030 s).

Înregistrarea măsurătorilor se face cu un computer, dotat cu: program de control MS-DOS, limbaj de programare BASIC și program de colectare a datelor pentru FWD (FWD COLLECT).

Pentru dimensionarea straturilor de ranforsare pe baza măsurărilor efectuate cu deflectometrul PHONIX FWD MLY 10000 sunt necesare următoarele date referitoare la:

- modul de alcătuire al structurii rutiere (grosimea straturilor rutiere și a caracteristicilor materialelor folosite pentru alcătuirea acestora) stabilit prin sondaje;
- caracteristicile geotehnice ale terenului din terenul de fundare;
- starea de degradare a îmbrăcăminții bituminoase.

Măsurătorile cu deflectometrul PHONIX FWD MLY 10000 se efectuează în perioadele în care complexul rutier lucrează în cele mai defavorabile condiții hidrologice și anume:

- primăvara, imediat după dezgheț și până la cel mult 15 zile după perioada ploilor de primăvară (aprilie-mai);
- toamna, după un număr suficient de zile (aproximativ 10-15 zile) de ploi care au condus la crearea condițiilor hidrologice defavorabile.

Temperatura medie a mixturii asfaltice nu trebuie să fie sub 5 °C și nu trebuie să depășească 35 °C. Calculul de dimensionare a grosimii straturilor de ranforsare prin utilizarea soft-ului Design Program este limitat pentru grosimea minimă de 5,5 cm a straturilor bituminoase existente.

Dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare se bazează pe următoarele criterii:

- criteriul deformației de întindere admisibilă a straturilor bituminoase noi;
- criteriul deformației de întindere admisibilă a straturilor bituminoase vechi;
- criteriul efortului de compresiune admisibil la partea superioară a stratului din materiale granulare;
- criteriul efortului de compresiune admisibil la nivelul terenului de fundare.

Metoda de dimensionare permite stabilirea grosimii totale a straturilor de ranforsare pe baza unui calcul iterativ, astfel încât să fie satisfăcute criteriile de dimensionare. Prezenta metodă se aplică numai în cazurile în care solicitarea structurii rutiere ranforsate, ca urmare a circulației vehiculelor, justifică următoarele ipoteze de calcul:

- fisurarea prin oboseală a straturilor bituminoase;
- deformarea permanentă a terenului de fundare.

Dimensionarea straturilor de ranforsare cu programul de calcul Phonix Design Program implică următoarele faze:

- calculul modulilor de elasticitate dinamici, corespunzători fiecărui strat rutier;
- determinarea duratei de viață reziduală;
- calculul grosimii totale a straturilor de ranforsare.

Programul de calcul Phonix Design Program permite calcularea modulilor de elasticitate pentru structuri rutiere compuse din unu până la patru straturi.

Modulul de elasticitate al terenului de fundare ( $E_m$ ), se calculează cu formula:

$$E_m = C \left( \frac{\sigma}{\sigma_r} \right)^n \quad [\text{MPa}] \quad (4.57)$$

în care:

C este constanta materialului, numită "constantă";

n - constanta materialului, numită "exponent";

$\sigma_r$  - efort de referință;

$\sigma$  - efortul actual.

Plecând de la valoarea modului de elasticitate dinamic al terenului de fundare, prin iterații succesive, se calculează modulii de elasticitate dinamici ai celorlalte straturi rutiere cu relația:

$$E = \frac{1 - (1 - \nu^2) \times \sigma_0 \times a^2}{r_i \times d_i} \quad [\text{MPa}] \quad (4.58)$$

în care:

$\nu$  este coeficientul lui Poisson ;

$\sigma_0$  - sarcina uniform distribuită pe placa de încărcare;

a - raza plăcii de încărcare;

$d_i$  - deflexiunea măsurată de geofonul „i”;

$r_i$  - distanța de la centrul plăcii de încărcare la geofonul „i”.

Programul efectuează un număr de iterații (max.50) până când între curba teoretică trasată pe baza unor valori teoretice  $E_1, E_2, E_3, E_m$ , obținute pe baza datelor privind structura rutieră și a valorii modulului de elasticitate al pământului și curba rezultată în urma măsurărilor, există o diferență mai mică de 2%.

Durata de viață reziduală este definită drept numărul de ani în care structura rutieră poate prelua solicitările datorate traficului de perspectivă. Pentru determinarea duratei de viață reziduală se calculează mai întâi modulul de elasticitate al straturilor bituminoase existente, corespunzător temperaturii de proiectare de 20°C.

$$E_{20} = \frac{E}{1 - 2 \left( \frac{\log \frac{t}{t_0}}{\log 2,718} \right)} \text{ [MPa]} \quad (4.59)$$

în care:

$E_{20}$  este modulul de elasticitate al straturilor bituminoase existente corespunzător temperaturii de 20 °C;

$E$  - modulul de elasticitate al stratului;

$t$  - temperatura de măsurare;

$t_0$  - temperatura de proiectare.

Apoi se calculează un modul de elasticitate echivalent pentru straturile bituminoase existente și cele de ranforsare:

$$E_{ech} = \frac{E_{100} \times 100 + E_{h \geq 100} \times h \geq 100}{100 + h \geq 100} \text{ [MPa]} \quad (4.60)$$

în care:

$E_{100}$  este modulul de elasticitate pentru straturile bituminoase cu grosime totală mai mică de 100 mm;

$E_{h > 100}$  - modulul de elasticitate pentru straturile bituminoase ce depășesc 100 mm;

$h_{>100}$  - grosimea totală a straturilor bituminoase minus 100 mm.

Deformația specifică de întindere la baza straturilor bituminoase ( $\varepsilon$ ) se calculează cu relația:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_r + \sigma_z}{2 \times E_1} \text{ [microdeformații]} \quad (4.61)$$

în care:

$\sigma_r$  este efortul radial de întindere;

$\sigma_z$  - efortul vertical;

$E_1$  - modulul de elasticitate al straturilor bituminoase.

Deformația specifică de întindere ( $\varepsilon$ ) este funcție de volumul de trafic, exprimat în osii standard și se determină astfel:

$$\varepsilon = 10^{\log(B) - 0,176 \log(N) + 2,533} \text{ [microdeformații]} \quad (4.62)$$

în care:

$B$  este conținutul de bitum, în %;

$N$  - volumul de trafic de calcul ( $N_c$ ) pentru perioada de proiectare, exprimat în osii standard (m.o.s.).

Pentru verificarea criteriului efortului vertical admisibil la nivelul stratului din materiale granulare se utilizează următoarele legi, funcție de valoarea modului de elasticitate al materialului:

- pentru  $E \leq 160$  MPa:

$$\sigma = 10^{-0,307 \log(N) + 1,161 \log(E) - 1,638} \text{ [MPa]} \quad (4.63)$$

- pentru  $E > 160$  MPa:

$$\sigma = 10^{-0,307 \log(N) + 0,978 \log(E) - 1,234} \text{ [MPa]} \quad (4.64)$$

în care:

$E$  este modulul de elasticitate al materialului granular;

$N$  - volumul de trafic de calcul pentru perioada de proiectare exprimat în osii standard, (m.o.s.).

Grosimea straturilor bituminoase de ranforsare se calculează în funcție de perioada de proiectare dacă durata de viață reziduală este mai mică decât perioada de proiectare. La dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare se ia în considerare volumul de trafic de calcul, corespunzător perioadei de perspectivă, care poate varia între 10 ani și 15 ani.

În urma calculului de dimensionare sunt prezentate:

- valorile modurilor de elasticitate dinamici pentru straturile asfaltice ( $E_1$ ), straturilor granulare ( $E_2$ ), stratului de nisip ( $E_3$ ), și a terenului de fundare ( $E_{sub}$ );
- stratul rutier critic;
- durata de viață reziduală;
- grosimea totală a straturilor de ranforsare.

Pentru straturile asfaltice se calculează o valoare medie a modurilor de elasticitate și se aplică o corecție de temperatură.

Durata de viață reziduală se calculează pentru fiecare strat rutier, iar stratul pentru care durata de viață reziduală este cea mai mică este numit "strat critic". Durata de viață reziduală afișată este pentru stratul critic.

Grosimea straturilor de ranforsare este calculată în fiecare punct de măsurare urmând să se adopte grosimea cea mai mare rezultată pe un sector omogen.

#### 4.6 Concluzii privind analiza metodelor de calcul al structurilor rutiere suple și mixte

Metodele analitice de dimensionare ale structurilor rutiere suple și mixte noi și a ranforsărilor celor existente se bazează pe îndeplinirea concomitentă a următoarelor criterii:

- pentru structuri rutiere suple noi și structuri rutiere suple și mixte (semirigide) ranforsate:
  - deformația specifică de întindere admisibilă la baza straturilor bituminoase;
  - deformația specifică de compresiune admisibilă la nivelul patului drumului;
- pentru structuri rutiere mixte noi:
  - 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.

Traficul de calcul corespunde perioadei de perspectivă, este exprimat în osii standard de 115 kN, și este echivalent vehiculelor care vor circula pe sectorul de drum supus dimensionării. La stabilirea traficului de calcul de perspectivă se vor avea în vedere atât componența 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 perioade de timp.

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: 0,171 m.

Stabilirea comportării sub trafic a structurii rutiere 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.

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

Determinarea caracteristicilor de deformabilitate a terenului de fundare (cu sau fără strat de formă) și al celorlalte materiale folosite în straturile rutiere vechi sau noi ale structurii de rezistență se efectuează la fel în cazul ambelor metode, excepție fac mixturile asfaltice din straturile rutiere existente pentru care valorile de calcul ale modulului de elasticitate dinamic se determină funcție de starea de degradare a îmbrăcămintei rutiere vechi în cazul ranforsărilor.

În vederea stabilirii valorilor caracteristicilor de deformabilitate ale straturilor rutiere existente, în cazul ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte, se recomandă determinarea lor pe baza rezultatelor măsurărilor cu deflectometrul cu sarcină dinamică, utilizând programe de calcul adecvate.

Analiza complexului rutier la acțiunea osiei standard, atât în cazul structurilor rutiere noi cât și în cazul ranforsărilor celor existente, se efectuează cu ajutorul programului de calcul CALDEROM 2000, iar punctele de calcul al stării de tensiune și de deformație se situează pe o verticală dusă prin centrul sarcinii, la niveluri solicitate, care sunt interfețele dintre straturi de naturi diferite astfel încât să se poată determina deformațiile specifice și, după caz, tensiunile în punctele critice ale complexului rutier, și anume:

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

Metodele analitice de dimensionare prezintă o serie de dezavantaje (lipsuri) dintre care se menționează următoarele:

- materialele rutiere sunt considerate ca fiind liniar elastice, omogene, continui și izotrope;
- straturile sunt considerate ca fiind infinite în plan orizontal, cu o grosime constantă, neglijându-se prezența discontinuităților locale (fisuri);
- nu se ține seama de comportarea vâsco-elastică a materialelor bituminoase, de efectele sarcinilor dinamice induse de vehicule;
- nu se iau în calcul procesele de fisurare inițiate la suprafața îmbrăcăminților și procesele de transmitere la suprafața a fisurilor de contracție ale straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici;
- nu se iau în considerare modificările în timp ale proprietăților materialelor rutiere, pe durata de serviciu a drumului, sub efectele mediului înconjurător sau ale traficului.

O metodă analitică de dimensionare ideală ar trebui să permită descrierea comportării materialelor bituminoase, granulare, stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici și a pământurilor, în diferite condiții climaterice sub sarcini dinamice produse de trafic, cu o distribuție complexă a presiunilor pe suprafața de contact dintre pneu și îmbrăcămintă. Aceste aspecte ar presupune necesitatea stabilirii unor modele avansate de degradare ale structurilor rutiere bazate pe o cunoaștere aprofundată a comportării materialelor din straturile rutiere. În acest sens, în ceea ce privește traficul rutier, ar trebui incluse în modelele de dimensionare efectele dinamice ale acestuia.

Referitor la factorii climaterici sunt necesare luarea în considerare a variației capacității portante a terenului de fundare, datorită influenței condițiilor hidrologice în diferite zone climaterice și a modificărilor proprietăților materialelor rutiere ca urmare a variațiilor condițiilor climaterice. De asemenea, nu trebuie neglijat fenomenul de degradare, datorat îngheț-dezghețului, al terenului de fundare și al materialelor granulare, astfel că acesta ar putea fi inclus în modelele de degradare.

Luând în discuție materialele rutiere, ar trebui să se țină seama, pe lângă comportarea lor elastică, și de comportarea vâscoasă sau plastică care poate caracteriza mai mult sau mai puțin anumite categorii de materiale rutiere.

Principiul metodei de calcul a ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte (semirigide), pe baza măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină statică Benkelman, constă în măsurarea față de un sistem de referință a deplasării pe verticală a suprafeței complexului rutier, deformată sub solicitarea roților duble ale osiei din spate a vehiculului de măsurare, după îndepărtarea acestuia (revenirea elastică a suprafeței complexului rutier).

Principiul metodei de calcul a ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte, pe baza măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină dinamică PHONIX FWD MLY 10000, constă în măsurarea față de un sistem de referință a deplasărilor pe verticală (deflexiunilor) ale structurii rutiere deformate sub solicitarea dinamică a unei greutăți care cade pe o placă.

Măsurătorile, pentru ambele metode sus menționate, se efectuează în perioadele în care complexul rutier lucrează în cele mai defavorabile condiții hidrologice și anume:

- primăvara, imediat după dezgheț și până la cel mult 15 zile după perioada ploilor de primăvară (aprilie-mai);
- toamna, după un număr suficient de zile (aproximativ 10...15 zile) de ploi care au condus la crearea condițiilor hidrologice defavorabile.

În cazul deflectometrului Benkelman, volumul de trafic de calcul este definit ca fiind numărul de osii standard de 115 kN pe banda de circulație cea mai

solicitată, echivalent vehiculelor care vor circula după ranforsare o perioadă de perspectivă de 10 ani, iar în cazul deflectometrului PHONIX FWD MLY 10000, la stabilirea traficului de calcul de perspectivă (perioada de perspectivă poate fi de 10...15 ani) se vor avea în vedere atât componența 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 perioade de timp.

Măsurătorile deformabilității unui sector de drum în studiu se face pe sectoare omogene, delimitate astfel încât să se poată sesiza orice variație de capacitate portantă a complexului rutier, indiferent de deflectometrul utilizat.

Grosimea minimă constructivă a straturilor de ranforsare, în cazul metodei de calcul a ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte, pe baza măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină statică Benkelman, este de 9,0 cm, iar în același profil transversal se adoptă valoarea maximă a grosimii straturilor de ranforsare calculată pentru cele două benzi de circulație. În cazul metodei de calcul a ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte, pe baza măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină dinamică PHONIX FWD MLY 10000 grosimea straturilor de ranforsare este calculată în fiecare punct de măsurare urmând să se adopte grosimea cea mai mare rezultată pe un sector omogen.

Rezultatele măsurătorilor efectuate cu pârgă Benkelman pot servi la:

- stabilirea grosimii totale a straturilor de ranforsare;
- stabilirea calificativului din punct de vedere al capacității portante minime a unui sector de drum nemodernizat;
- controlul calității execuției lucrărilor de drumuri, în ceea ce privește capacitatea portantă a diferitelor straturi rutiere la diferite faze ale execuției.

În urma calculului de dimensionare pe baza măsurătorilor cu deflectometrul PHONIX FWD MLY 10000 sunt prezentate:

- grosimea totală a straturilor de ranforsare;
- valorile modulilor de elasticitate dinamici pentru straturile rutiere;
- stratul rutier critic;
- durata de viață reziduală.

## **5. STUDII TEORETICE ȘI CERCETĂRI EXPERIMENTALE ASUPRA COMPORTĂRII ÎN EXPLOATARE A UNOR STRUCTURI RUTIERE**

Studiile teoretice și cercetările experimentale asupra comportării în exploatare a structurilor rutiere au la bază contractul de cercetare încheiat între Departamentul de Căi de Comunicație Terestre, Fundații și Cadastru din cadrul Facultății de Construcții al Universității "Politehnica" din Timișoara, a cărui responsabil este autorul prezentei teze de doctorat și Centrul de Studii Tehnice Rutiere și Informatică (CESTRIN) București: "Verificarea și corelarea rezultatelor obținute prin diferitele metode românești de dimensionare a ranforsărilor complexelor rutiere (metoda analitică, metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometrul Benkelman și metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometre cu sarcină dinamică), prin încercări pe drumuri naționale din cadrul D. R. D. P. Timișoara", indicativ CESTRIN A4.4.T14.

### **5.1 Tipul și alcătuirea structurilor rutiere luate în studiu**

Studiile s-au efectuat pe câte trei sectoare de drum omogene, pentru fiecare tip climateric (I, II, III) și tip de structură (suplă și mixtă), fiecare sector având lungimea de 200 m. Aceste sectoare experimentale se găsesc pe raza administrativă a Direcției Regionale de Drumuri și Poduri (D.R.D.P.) Timișoara și sunt prezentate sintetic în tabelul 5.1.

Pe teritoriul județului Timiș au fost investigate drumul național DN 59C corespunzător tipului climateric I, respectiv drumul național DN 58A corespunzător tipului climateric III, ambele sectoare având structuri rutiere suplă pe sectoarele experimentale (figura 5.1.).

Pe teritoriul județului Caraș - Severin a fost investigat drumul național DN 58 corespunzător tipului climateric III, având pe sectoarele experimentale o structură rutieră mixtă (figura 5.2.).

În județul Arad au fost investigate drumurile naționale DN 79A și DN 7B. Drumul național 7B corespunde tipului climateric I și are o structură rutieră mixtă în zona sectoarelor experimentale. Pe drumul național 79A sunt două sectoarele experimentale alese astfel încât să corespundă tipului climateric II și să prezinte ambele tipuri de structuri rutiere (suplă și mixte). Sectoarele experimentale de pe raza județului Arad sunt prezentate în figura 5.3.

Alcătuirea structurilor rutiere luate în considerare s-a determinat pe baza sondajelor deschise efectuate de către Departamentul C.C.T.F.C. pe fiecare dintre sectoarele omogene (același complex rutier) din tabelul 5.1. În urma acestor investigații au fost interceptate structurile rutiere prezentate în tabelele 5.2 și 5.3 [79].



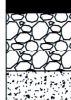





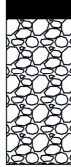
Tabelul 5.1

Elemente caracteristice metodelor de dimensionare analitice ale structurilor suple

Nr. crt.	Drum național	Sectoare experimentale	Tip structură rutieră	Tip climateric
1	59C	km 3+000...3+200	Suplă	I
		km 4+000...4+200		
		km 5+000...5+200		
2	79A	km 40+800...41+000	Suplă	II
		km 42+100...42+300		
		km 43+800...44+000		
3	58A	km 3+000...3+200	Suplă	III
		km 6+000...6+200		
		km 7+000...7+200		
4	7B	km 5+600...5+800	Mixtă	I
		km 6+000...6+200		
		km 6+400...6+600		
5	79A	km 77+100...77+300	Mixtă	II
		km 78+000...78+200		
		km 79+000...79+200		
6	58	km 72+000...72+200	Mixtă	III
		km 72+400...72+600		
		km 72+800...73+000		

Tabelul 5.2

Alcătuirea structurilor rutiere suple supuse cercetărilor experimentale

DN 59C	km. 3+000 - 3+200	km. 4+000 - 4+200	km. 5+000 - 5+200
	 <p>7 cm mixtură asfaltică 15 cm balast 10 cm pietruire veche</p>	 <p>7 cm mixtură asfaltică 15 cm balast 10 cm pietruire veche</p>	 <p>5 cm mixtură asfaltică 20 cm balast 10 cm pietruire veche</p>
	km. 40+800 - 41+000	km. 42+100 - 42+300	km. 43+800 - 44+000
DN 79A	 <p>9 cm mixtură asfaltică 7 cm piatră spartă 40 cm balast 20 cm blocaj din bolovani 15 cm balast</p>	 <p>10 cm mixtură asfaltică 20 cm piatră spartă 30 cm balast</p>	 <p>15 cm mixtură asfaltică 20 cm piatră spartă 40 cm balast</p>
	km. 3+000 - 3+200	km. 6+000 - 6+200	km. 7+000 - 7+200
	 <p>15 cm mixtură asfaltică 70 cm balast</p>	 <p>6 cm mixtură asfaltică 30 cm balast</p>	 <p>9 cm mixtură asfaltică 50 cm balast</p>

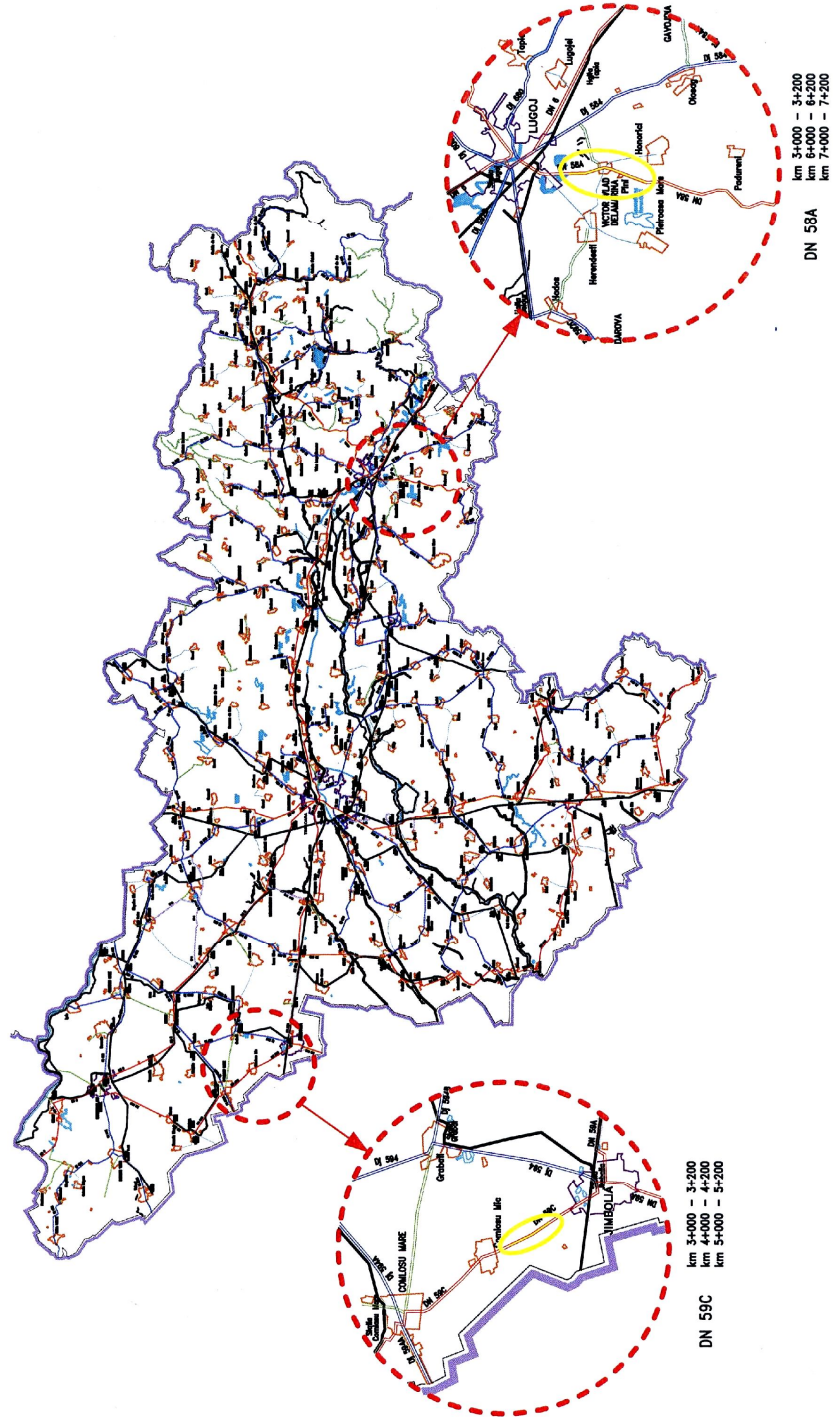


Fig. 5.1. Sectoarele experimentale aflate pe raza județului Timiș

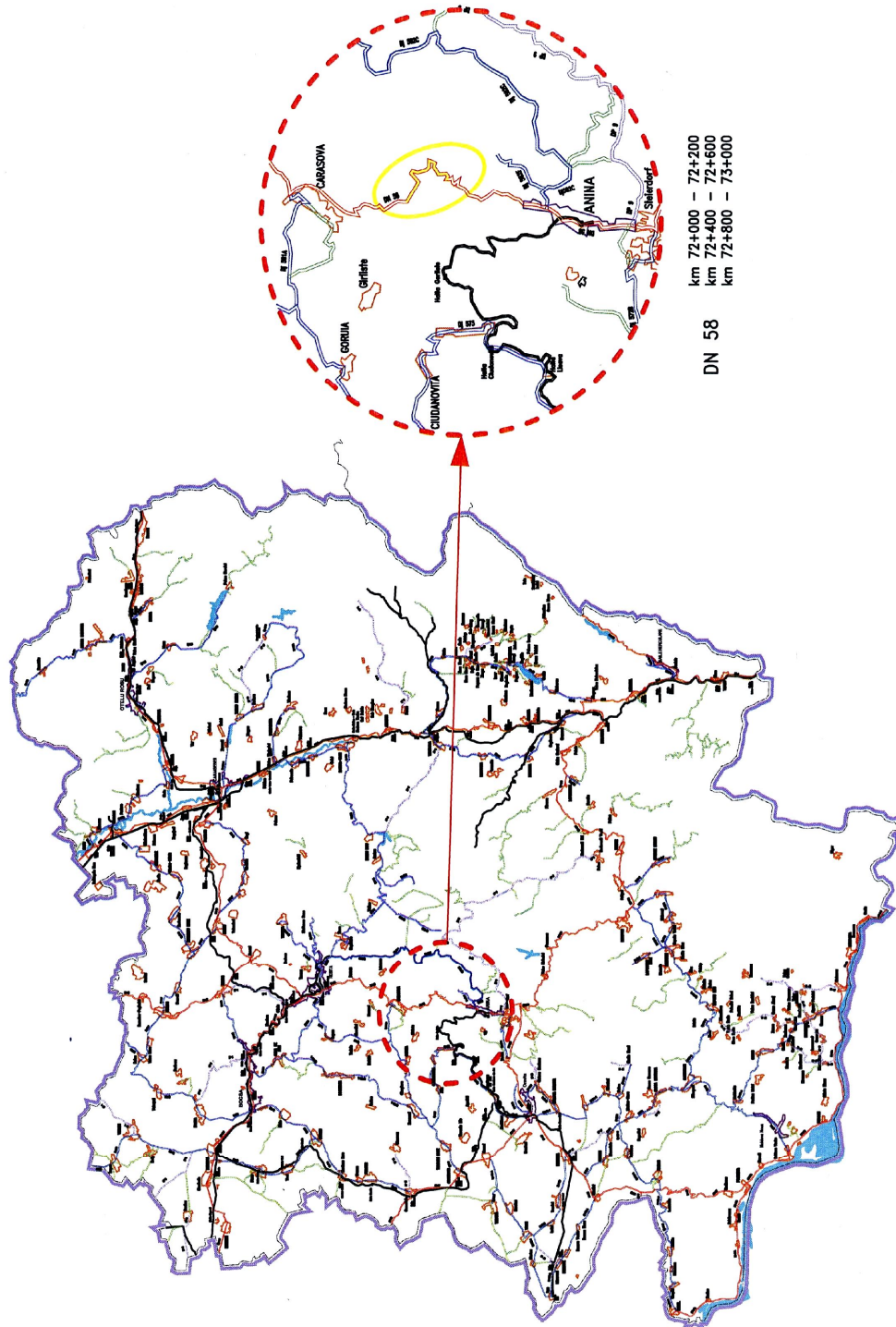


Fig. 5.2. Sectoarele experimentale aflate pe raza județului Caraș - Severin

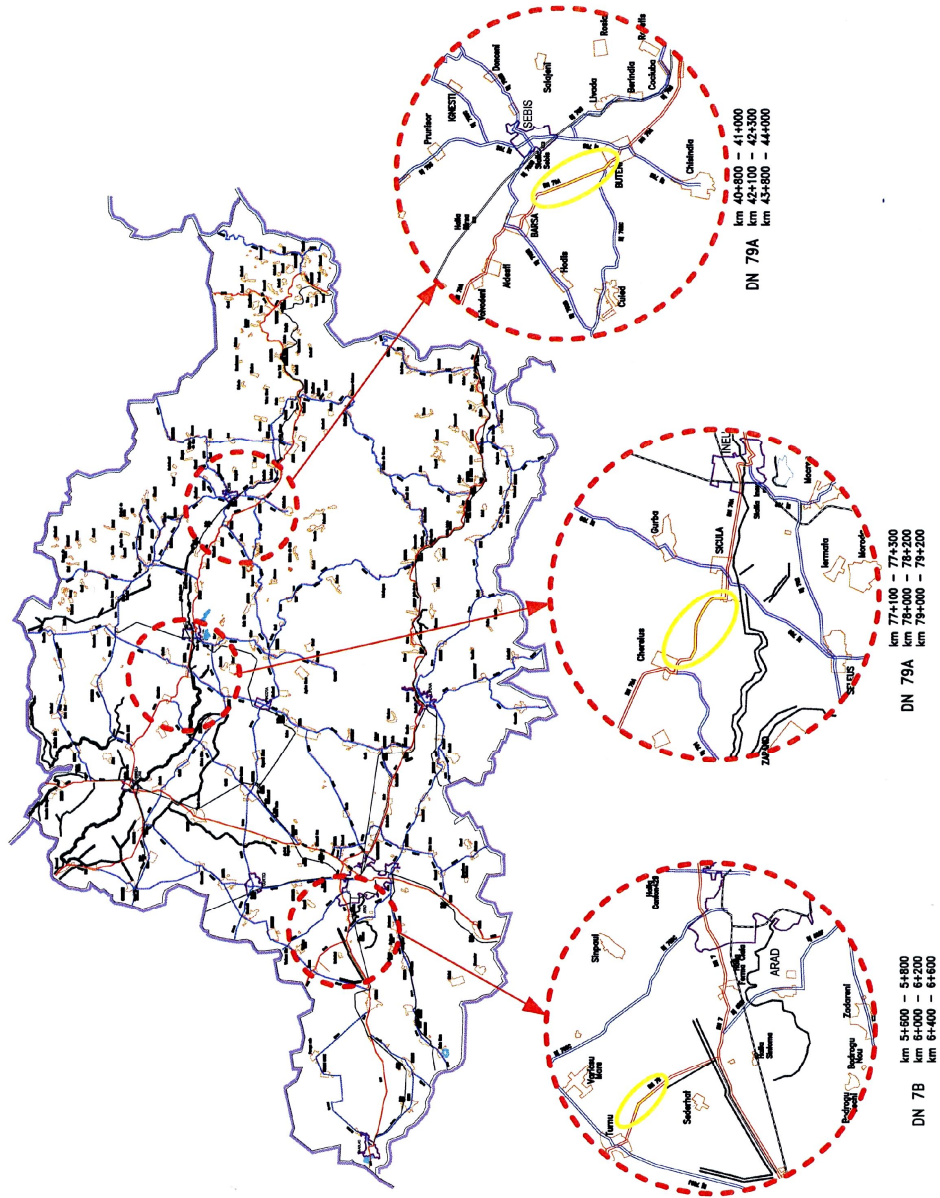











Fig. 5.3. Sectoarele experimentale aflate pe raza județului Arad

Se remarcă faptul că sectoarele experimentale de pe drumul național DN 79A la km. 77+100...77+300 și km. 78+000...78+200 nu corespund tipului de structură rutieră ales. Se menționează faptul că alegerea sectoarelor experimentale s-a făcut înainte de efectuarea sondajelor utilizând baza de date a D.R.D.P. Timișoara, cu această ocazie constatându-se neconcordanțe între baza de date și situația reală din teren în ceea ce privește alcătuirea structurilor rutiere.



Tabelul 5.3

Alcătuirea structurilor rutiere mixte (semirigide) supuse cercetărilor experimentale

DN 7B	km. 5+600 - 5+800	km. 6+000 - 6+200	km. 6+400 - 6+600
	 <p>16 cm mixtură asfaltică 18 cm balast stabilizat 15 cm balast 20 cm piatră spartă 15 cm balast</p>	 <p>18 cm mixtură asfaltică 30 cm balast stabilizat 15 cm balast</p>	 <p>18 cm mixtură asfaltică 30 cm balast stabilizat 15 cm balast</p>
	DN 79A	km. 77+100 - 77+300	km. 78+000 - 78+200
	 <p>30 cm mixtură asfaltică 15 cm piatră spartă 20 cm balast</p>	 <p>22 cm mixtură asfaltică 15 cm piatră spartă 10 cm balast</p>	 <p>15 cm mixtură asfaltică 10 cm balast stabilizat 20 cm balast</p>
DN 58	km. 72+000 - 72+200	km. 72+400 - 72+600	km. 72+800 - 73+000
	 <p>18 cm mixtură asfaltică 20 cm piatră spartă 20 cm balast stabilizat 15 cm balast</p>	 <p>8 cm mixtură asfaltică 20 cm beton de ciment rutier</p>	 <p>8 cm mixtură asfaltică 20 cm beton de ciment rutier</p>

## 5.2 Studii teoretice privind comportarea în exploatare a structurilor rutiere

Studiile asupra factorilor de influență asupra comportării în exploatare a complexelor rutiere sunt prezentate pe larg în capitolul 3 al tezei de doctorat, și, au fost completate cu modelarea matematică a structurilor rutiere supuse studiilor și cercetărilor experimentale pe baza metodei elementului finit.

### 5.2.1 Ipotezele și principiile aplicate în modelarea matematică

Pentru modelarea terenului de fundare, determinarea adâncimii până la care sarcinile din trafic produc tensiuni și deformații semnificative în terasament, s-a studiat distribuția tensiunilor în terenul de fundare pe baza calculului distribuției tensiunilor în cadrul problemei spațiale, în ipoteza unui semispațiu încărcat cu sarcină uniform distribuită pe suprafața de contact dintre pneu și îmbrăcăminte.

Osia standard de 115 kN (o.s. 115) utilizată în calculul de dimensionare a structurilor rutiere din România prezintă următoarele caracteristici: sarcina pe roțile duble: 57,5 kN, presiunea de contact: 0,625 MPa și raza suprafeței circulare echivalente suprafeței de contact pneu-cale: 0,171 m.

Astfel, se poate considera situația prezentată în figura 5.4., când încărcarea este uniform distribuită, având valoarea de  $6,25 \text{ daN/cm}^2$ , pe o suprafață circulară cu raza de  $17,1 \text{ cm}$ . Distribuția încărcărilor prin structura rutieră se face sub un unghi de  $45^\circ$ , astfel că la nivelul superior al terenului de fundare (patul drumului) s-au calculat sarcinile uniform distribuite și suprafețele echivalente, pentru fiecare dintre sectoarele experimentale analizate.

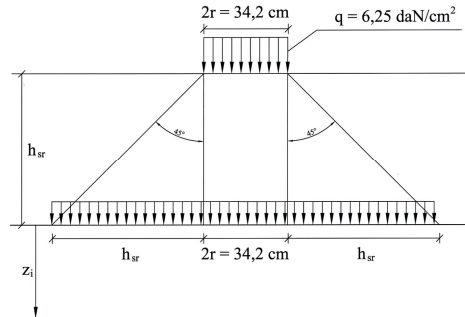


Fig. 5.4. Determinarea sarcinii uniform distribuite la nivelul terenului de fundare

Sarcina la nivelul terenului de fundare se poate exprima astfel:

$$p_k = \frac{q \times \pi \times r^2}{\pi \times (r + h_{sr})^2} \quad [\text{daN/cm}^2] \quad (5.1)$$

în care:

$p_h$  este sarcina uniform distribuită la nivelul terenului de fundare;

$q$  - sarcina uniform distribuită din trafic la suprafața îmbrăcămintei ( $6,25 \text{ daN/cm}^2$ );

$r$  - raza suprafeței circulare echivalente suprafeței de contact pneu-îmbrăcămintă ( $17,1 \text{ cm}$ );

$h_{sr}$  - grosimea structurii rutiere.

Valorile obținute sunt centralizate în tabelul 5.4.

Relația de calcul a tensiunii verticale  $\sigma_z$  poate fi scrisă simplificat astfel [38]:

$$\sigma_z = k_c \times p_h \quad [\text{daN/cm}^2] \quad (5.2)$$

în care:

$k_c$  este un coeficient adimensional a cărui valoare este funcție de rapoartele  $z/R_0$  și  $R/R_0$  (tabelul 5.5);

$p_h$  - sarcina uniform distribuită pe suprafața de rază  $R_0$ , (figura 5.5.).

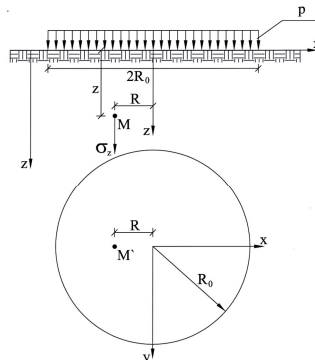


Fig. 5.5. Suprafață circulară încărcată cu o sarcină uniform distribuită

Tabelul 5.4

Nr. crt.	Drum național	Sectoare experimentale	Sarcina uniform distribuită la nivelul patului drumului		
			Grosimea structurii rutiere, $h_{sr}$ [cm]	Sarcina la nivelul patului drumului, $p_h$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	Raza suprafeței la nivelul patului drumului, $R_0$ [cm]
1	59C	km 3+000...3+200	32	0,76	49,1
		km 4+000...4+200	32	0,76	49,1
		km 5+000...5+200	35	0,67	52,1
2	79A	km 40+800...41+000	91	0,16	108,1
		km 42+100...42+300	60	0,31	77,1
		km 43+800...44+000	75	0,22	92,1
3	58A	km 3+000...3+200	85	0,18	102,1
		km 6+000...6+200	36	0,65	53,1
		km 7+000...7+200	59	0,32	76,1
4	7B	km 5+600...5+800	84	0,18	101,1
		km 6+000...6+200	63	0,28	80,1
		km 6+400...6+600	63	0,28	80,1
5	79A	km 77+100...77+300	65	0,27	82,1
		km 78+000...78+200	47	0,44	64,1
		km 79+000...79+200	45	0,47	62,1
6	58	km 72+000...72+200	73	0,23	90,1
		km 72+400...72+600	28	0,90	45,1
		km 72+800...73+000	28	0,90	45,1

Tabelul 5.5

Valorile coeficientului  $k_c$  pentru calculul tensiunilor verticale  $\sigma_z$  sub o sarcină uniform distribuită circular

$k_c$	1,00	0,99	0,95	0,86	0,76	0,65	0,46	0,33	0,25	0,19	0,15	0,12
$R/R_0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$z/R_0$	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4

Valorile tensiunilor verticale  $\sigma_z$  sunt prezentate în tabelul 5.6.

Este de notorietate faptul că tensiunile verticale din terenul de fundare, determinate pe baza modelului Boussinesq, scad odată cu creșterea adâncimii, lucru care se poate observa și din rezultatele obținute prin calcul și centralizate în tabelul 5.6.

Tabelul 5.6

Valorile adâncimii active a terasamentelor,  $z$  [cm], măsurate sub nivelul patului drumului și a tensiunilor verticale  $\sigma_z$  [daN/cm<sup>2</sup>]

$k_c$	1,00	0,99	0,95	0,86	0,76	0,65	0,46	0,33	0,25	0,19	0,15	0,12
$z/R_0$	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>DN 59C, km 3+000...3+200 (<math>h_{sr} = 32</math> cm)</b>												
$z$	0	10	20	29	39	49	69	88	108	128	147	167
$\sigma_z$	0,76	0,75	0,72	0,65	0,58	0,49	0,35	0,25	0,19	0,14	0,11	0,09
<b>DN 59C, km 4+000...4+200 (<math>h_{sr} = 32</math> cm)</b>												
$z$	0	10	20	29	39	49	69	88	108	128	147	167
$\sigma_z$	0,76	0,75	0,72	0,65	0,58	0,49	0,35	0,25	0,19	0,14	0,11	0,09

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>DN 59C, km 5+000...5+200 (<math>h_{sr} - 35</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	10	21	31	42	52	73	94	115	135	156	177
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,67	0,66	0,64	0,58	0,51	0,44	0,31	0,22	0,17	0,13	0,10	0,08
<b>DN 79A, km 40+800...41+000 (<math>h_{sr} - 91</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	22	43	65	86	108	151	195	238	281	324	368
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,16	0,16	0,15	0,14	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
<b>DN 79A, km 42+100...42+300 (<math>h_{sr} - 60</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	15	31	46	62	77	108	139	170	200	231	262
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,31	0,31	0,29	0,27	0,24	0,20	0,14	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04
<b>DN 79A, km 43+800...44+000 (<math>h_{sr} - 75</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	18	37	55	74	92	129	166	203	239	276	313
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,22	0,22	0,21	0,19	0,17	0,14	0,10	0,07	0,06	0,04	0,03	0,03
<b>DN 58A, km 3+000...3+200 (<math>h_{sr} - 85</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	20	41	61	82	102	143	184	225	265	306	347
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,18	0,18	0,17	0,15	0,14	0,12	0,08	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02
<b>DN 58A, km 6+000...6+200 (<math>h_{sr} - 36</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	11	21	32	42	53	74	96	117	138	159	181
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,65	0,64	0,62	0,56	0,49	0,42	0,30	0,21	0,16	0,12	0,10	0,08
<b>DN 58A, km 7+000...7+200 (<math>h_{sr} - 59</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	15	30	46	61	76	107	137	167	198	228	259
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,32	0,32	0,30	0,28	0,24	0,21	0,15	0,11	0,08	0,06	0,05	0,04
<b>DN 7B, km 5+600...5+800 (<math>h_{sr} - 84</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	20	40	61	81	101	142	182	222	263	303	344
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,18	0,18	0,17	0,15	0,14	0,12	0,08	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02
<b>DN 7B, km 6+000...6+200 (<math>h_{sr} - 63</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	16	32	48	64	80	112	144	176	208	240	272
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,28	0,28	0,27	0,24	0,21	0,18	0,13	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03
<b>DN 7B, km 6+400...6+600 (<math>h_{sr} - 63</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	16	32	48	64	80	112	144	176	208	240	272
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,28	0,28	0,27	0,24	0,21	0,18	0,13	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03
<b>DN 79A, km 77+100...77+300 (<math>h_{sr} - 65</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	16	33	49	66	82	115	148	181	213	246	279
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,27	0,27	0,26	0,23	0,21	0,18	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03
<b>DN 79A, km 78+000...78+200 (<math>h_{sr} - 47</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	13	26	38	51	64	90	115	141	167	192	218
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,44	0,44	0,42	0,38	0,33	0,29	0,20	0,15	0,11	0,08	0,07	0,05
<b>DN 79A, km 79+000...79+200 (<math>h_{sr} - 45</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	12	25	37	50	62	87	112	137	161	186	211
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,47	0,47	0,45	0,40	0,36	0,31	0,22	0,16	0,12	0,09	0,07	0,06
<b>DN 58, km 72+000...72+200 (<math>h_{sr} - 73</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	18	36	54	72	90	126	162	198	234	270	306
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,23	0,23	0,22	0,20	0,17	0,15	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,03
<b>DN 58, km 72+400...72+600 (<math>h_{sr} - 28</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	9	18	27	36	45	63	81	99	117	135	153
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,90	0,89	0,86	0,77	0,68	0,59	0,41	0,30	0,23	0,17	0,14	0,11
<b>DN 58, km 72+800...73+000 (<math>h_{sr} - 28</math> cm)</b>												
<b>z</b>	0	9	18	27	36	45	63	81	99	117	135	153
<b><math>\sigma_z</math></b>	0,90	0,89	0,86	0,77	0,68	0,59	0,41	0,30	0,23	0,17	0,14	0,11

Pe baza acestora se pot formula câteva concluzii, care vor fi luate în considerare în modelarea matematică a structurilor rutiere, în special a terenului de fundare a acestora:

- se constată că pentru structuri rutiere cu grosimea de 30...50 cm, tensiunile verticale  $\sigma_z$  ating valori de sub 0,10 daN/cm<sup>2</sup> la adâncimea de 1,50...1,80 m, măsurată sub nivelul patului drumului;
- pentru structuri rutiere cu grosimi de 50...75 cm, tensiunile verticale  $\sigma_z$  ating valori de sub 0,10 daN/cm<sup>2</sup> la adâncimea de 1,30...1,60 m, măsurată sub nivelul patului drumului;
- pentru structuri rutiere cu grosimi de mai mari de 75 cm, dar nu mai mult de 91 cm (cazul sectorului de pe DN 79A, km 40+800...41+000) tensiunile verticale  $\sigma_z$  ating valori de sub 0,10 daN/cm<sup>2</sup> la adâncimea de 1,00...1,35 m, de asemenea măsurată sub nivelul patului drumului.

Practic valorile adâncimilor  $z$ , pentru care valorile tensiunilor verticale  $\sigma_z$  coboară sub valoarea de 0,10 daN/cm<sup>2</sup> se consideră ca fiind corespunzătoare adâncimii active a terenului de fundare, lucru ce reiese și din studiul pe baza modelării matematice, deși la modelarea terenului de fundare pentru sectoarele experimentale acesta a fost modelat ca un spațiu semifinit.

Dacă încercăm să definim în adâncime zona complexului rutier (structură rutieră + zona activă a terasamentului) care poate fi influențată de încărcările din trafic, aceasta se poate extinde până la adâncimi de circa 1,80...2,30 m măsurate de la nivelul suprafeței de rulare.

Una dintre posibilitățile de modelare numerică utilizate pe scară largă în domeniul structurilor rutiere are la bază metoda elementelor finite (M.E.F.). Aceasta este o metodă generală de rezolvare aproximativă a ecuațiilor diferențiale cu derivate parțiale care descriu sau nu fenomene fizice. Metoda Elementului Finit a devenit unul dintre cele mai "puternice" instrumente în rezolvarea problemelor ingineresti [69].

Principial Metoda Elementului Finit constă în parcurgerea a trei etape principale. În prima etapă se realizează descompunerea domeniului de analiză în porțiuni de formă geometrică simplă, etapa următoare presupune analiza porțiunilor geometrice create în prima etapă, iar în ultima etapă se realizează recompunerea domeniului respectând anumite cerințe matematice. Din punct de vedere al domeniilor de aplicație, metoda poate fi extinsă în orice domeniu de activitate care descrie un fenomen cu ajutorul unor ecuații diferențiale.

În cadrul tezei a fost folosit programul ABAQUS 6.8-3, pentru care Universitatea "Politehnica" din Timișoara deține licență de utilizare. ABAQUS, este un program comercial de modelare care are la bază metoda elementelor finite și care a fost aplicat pe scară largă la analiza structurilor rutiere. În scopul validării programului au fost efectuate numeroase studii parametrice, disponibile în literatura de specialitate, ce au cuprins o gamă largă de structuri rutiere utilizând diferite programe de calcul. Rezultatele obținute pe baza analizelor utilizând programul ABAQUS au arătat că acestea sunt comparabile cu cele obținute pe baza analizelor cu programe dedicate și a rezultatelor experimentale. Principalele avantaje pe care le oferă programul ABAQUS în rezolvarea problemelor legate de structuri, în general, și de structuri rutiere, în particular, sunt următoarele:

- modelarea liniară și neliniară elastică, vâsco-elastică și vâsco-plastică a materialelor rutiere;
- calculul bidimensional și tridimensional;
- aplicarea încărcării statice și dinamice;
- modelarea interfețelor cu sau fără frecare (interfețe libere, interfețe legate);
- modelarea propagării fisurilor;
- calculul termic.

ABAQUS include de asemenea o serie de modele de material cum ar fi cel elastic, vâsco-elastic, elasto-plastic, introducând funcție de tipul materialului diverse criterii de cedare.

ABAQUS furnizează multe tipuri de elemente finite. Pentru modelarea semi-planului infinit sunt disponibile elemente infinite folosite la definirea condițiilor de margine în direcțiile orizontală și verticală în terenul de fundare. Modelarea structurilor rutiere s-a făcut utilizând elemente CAXA parabolice (elemente „shell” cu opt noduri în care variația câmpului necunoscutelor s-a considerat de ordinul II, sau elemente „shell” cu patru noduri în care variația câmpului necunoscutelor s-a considerat de ordinul I). Elementele CAXA au fost utilizate la analiză deoarece dau rezultate foarte bune la modelele încărcate axial simetric. Acest tip de elemente sunt folosite pentru a simula răspunsul tridimensional prin rezolvarea unei suprafețe bidimensionale generată în jurul unei axe centrale de simetrie. Folosirea elementelor CAXA crește eficiența modelelor, comparativ cu un model tridimensional, și menține acuratețea rezultatelor.

Discretizarea domeniului în elemente finite folosite în analiză este prezentată în figura 5.6.

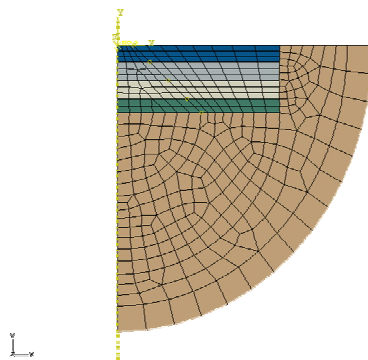


Figura 5.6. Discretizarea domeniilor în elemente finite

Răspunsul tridimensional a fost simulat utilizând elementele finite „axisymmetric deformable” de tip CAXA, ce fac parte integrantă din programul ABAQUS. Modelul numeric se definește simplificat, utilizând o axă de revoluție, axa y-y, și introducerea condițiilor de simetrie corespunzătoare (adică  $U1=UR2=UR3=0$ ) (ABAQUS Documentation) [1].

Elementele utilizate au fost în legătură cu elemente finite standard, care au modelat zona de interes a complexelor rutiere, iar pentru modelarea terenului de fundare ca un spațiu semiinfinit s-au utilizat elemente infinite (CINAX5R).

### 5.2.2 Factori de influență considerați

Factorii de influență asupra comportării complexelor rutiere, implicat asupra stării tehnice a drumurilor, luați în studiu pentru modelarea a două dintre structurile rutiere experimentale (structură rutieră suplă, DN 59C km 4+000...4+200, respectiv structură rutieră mixtă DN 58 km 72+000...72+200), se referă la traficul rutier (sarcina maximă), ipotezele legăturii dintre straturile rutiere, condițiile climaterice și terenul de fundare. În acest sens s-a studiat comportarea acestor structuri rutiere la solicitările standard, în condiții normale de exploatare și prin variații ale diferiților parametri considerați (factori).

Una dintre problemele actuale referitoare la analiza structurilor rutiere la comportarea lor în exploatare, sub acțiunea sarcinilor datorate traficului, o reprezintă conlucrarea între straturi. În majoritatea covârșitoare a metodelor de dimensionare, inclusiv în cele românești, legătura dintre straturile rutiere este considerată ca fiind perfectă. Este greu de calificat cât este de adevărat acest deziderat, însă, se apreciază faptul că această legătură este puțin probabil una „perfectă” pe toată durata de exploatare a structurii.

O structură rutieră este dimensionată în funcție de un anumit număr de parametri (trafic, capacitatea portantă a terenului de fundare, caracteristicile materialelor din alcătuirea structurii rutiere etc.) astfel încât fiecare strat rutier să nu fie solicitat decât la nivelul său propriu de capacitate portantă. Solicitățile aplicate la fiecare trecere a vehiculelor grele provoacă o deformare a structurii. Tensiunile și deformațiile specifice se transmit în diferitele straturi în funcție de caracteristicile materialelor care le compun și a legăturii dintre acestea.

Acumularea de solicitări peste cele admise se transformă într-o deformare permanentă în cazul materialelor netratate (alterarea profilului și uniformității) și printr-o oboseală a materialelor tratate care poate merge până la ruperea acestora. Atunci când straturile sunt legate între ele, structura de rezistență constă într-un ansamblu „monolit”, fiecare strat se deformează, dar nu independent, în funcție de caracteristicile sale (modul, capacitate de deformare, grosime etc.), dar și în funcție de celelalte straturi de care este legat. Atunci când nu există legătură între straturi, fiecare strat rutier lucrează independent în funcție de proprietățile sale. În această ipoteză deformațiile și tensiunile la interfețe (compresiune la partea superioară, întindere la baza stratului) sunt sensibil mai importante decât în ipoteza straturilor legate. Procesul de deformare sau oboseală a straturilor va fi mai rapid și durata de exploatare a structurii rutiere mai scurtă.

Dintre metodele de dimensionare la nivel mondial, metoda franceză de dimensionare a structurilor rutiere suple și mixte (semirigide), pe baza modelului elastic ALIZE, consideră legătură perfectă între straturile rutiere, parțială sau le consideră nelegate. În acest sens, studii efectuate pe anumite structuri rutiere au arătat faptul că în funcție de conlucrarea dintre straturile rutiere, durata de viață a unei structuri rutiere poate varia în limite foarte mari. Studiile s-au efectuat pe o structură rutieră suplă a cărei alcătuire este prezentată în figura 5.7. [91].

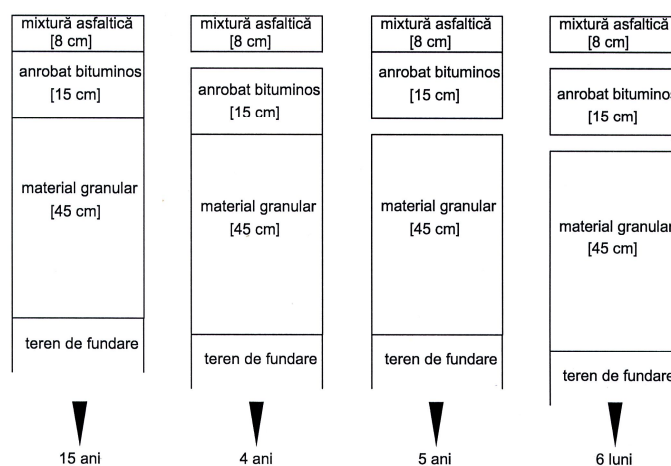


Fig. 5.7. Durata de exploatare teoretică a structurii rutiere

În plus există riscul de lunecare a straturilor unul pe altul sub acțiunea solicitărilor din trafic (figura 5.8.). Nelegarea straturilor are ca rezultat necesitatea acceptării unei structuri rutiere mai puțin durabile sau a unor activități de întreținere suplimentare.

Într-adevăr apariția defecțiunilor datorate unei slabe legături între straturi va conduce la necesitatea unei întrețineri costisitoare, deoarece fie va trebui aplicat un strat de ranforsare, fie va fi necesară frezarea straturilor slab legate și înlocuirea acestora. Astfel, pe baza celor prezentate, se poate constata importanța deosebită, tehnică și economică, a legăturii interfețelor.

Pornind de la aceste observații, studiul efectuat cu ajutorul modelării structurilor rutiere prin metoda elementului finit, a fost elaborat în ipoteza legăturii perfecte între straturi (structură rutieră nedeteriorată) și în baza ipotezei nelegăturii între interfețe (structură rutieră deteriorată). În figura 5.9. este prezentată starea de deformații în structura rutieră suplă supusă modelării în ipoteza legăturii perfecte între straturile rutiere, iar în figura 5.10. în ipoteza straturilor nelegate.

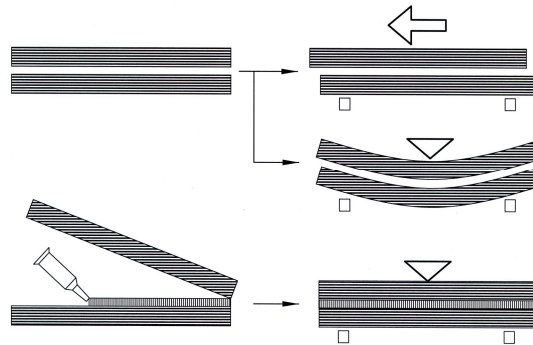


Fig. 5.8. Représentarea schematică a efectului lunecării straturilor

Structura rutieră suplă a fost modelată cu ajutorul următoarelor caracteristici inițiale, utilizate și la calculul ranforsării prin cele trei metode:

- îmbrăcămintea bituminoasă, grosime 7 cm,  $E = 3000$  MPa,  $\mu = 0,35$ ;
- strat de fundație din balast, grosime 15 cm,  $E = 667$  MPa,  $\mu = 0,27$ ;
- strat fundație obținut din pietruire inițială, grosime 10 cm,  $E = 350$  MPa,  $\mu = 0,27$ ;
- teren de fundare, grosime semifinită,  $E = 65$  MPa,  $\mu = 0,30$ .

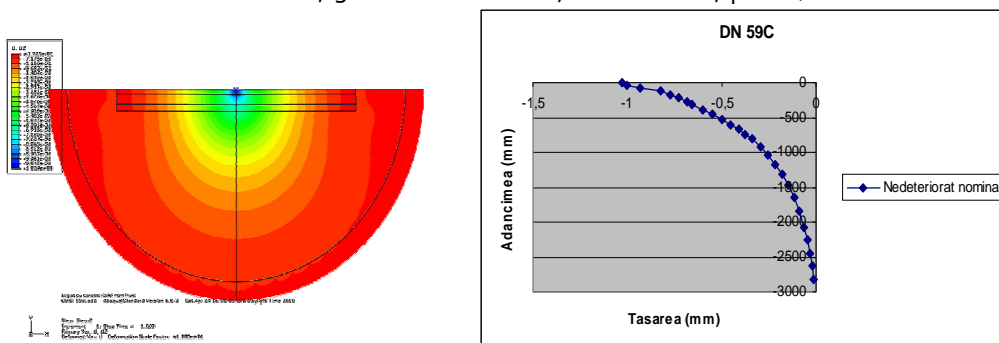


Fig. 5.9. Ipoteza straturilor rutiere perfect legate (structură rutieră suplă)



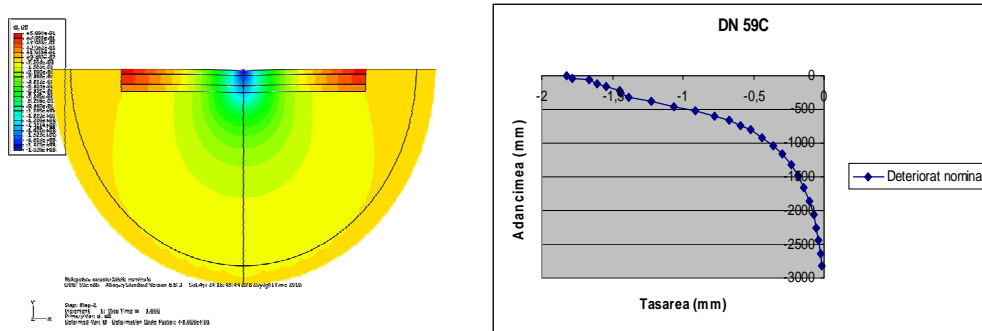


Fig. 5.10. Ipoteza straturilor rutiere fără legătură între ele (structură rutieră suplă)

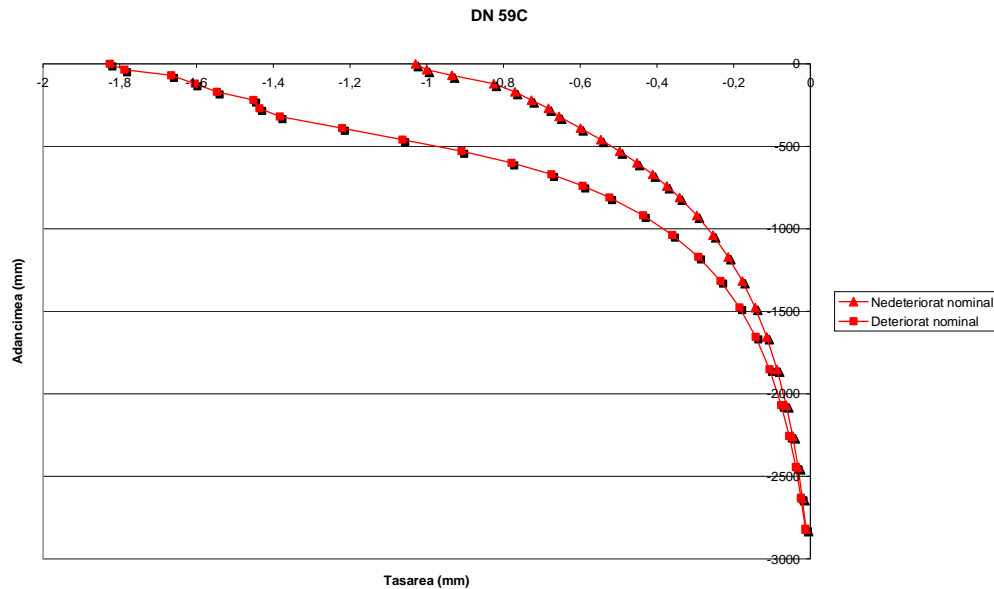


Fig. 5.11. Starea de deformații în ipoteza interfețelor legate și nelegate (structură rutieră suplă)

Vizualizând rezultatele obținute se observă faptul că deformațiile în structura rutieră suplă sunt de cca două ori mai mari în cazul ipotezei interfețelor libere față de ipoteza straturilor perfect legate. La baza straturilor bituminoase deplasările sunt mai mari cu cca 75 %, iar la nivelul patului drumului acestea sunt mai mari cu cca 105 %. Acest raport începe să scadă sensibil de la nivelul patului drumului, iar în jurul adâncimii de 2,00...2,50 m deplasările sunt sensibil egale în ambele ipoteze considerate.

Structura rutieră mixtă a fost modelată cu ajutorul următoarelor caracteristici inițiale, utilizate și la calculul ranforsării prin cele trei metode:

- strat bituminos, grosime 18 cm,  $E = 3800$  MPa,  $\mu = 0,35$ ;
- strat din piatră spartă, grosime 20 cm,  $E = 400$  MPa,  $\mu = 0,27$ ;
- strat din balast stabilizat, grosime 20 cm,  $E = 600$  MPa,  $\mu = 0,27$ ;
- strat fundație din balast, grosime 15 cm,  $E = 114$  MPa,  $\mu = 0,27$ ;

- teren de fundare, grosime semifinită,  $E = 60 \text{ MPa}$ ,  $\mu = 0,30$ .

În figura 5.12. este prezentată starea de deformații în structura rutieră mixtă supusă modelării în ipoteza legăturii perfecte între straturile rutiere, iar în figura 5.13. în ipoteza straturilor nelegate.

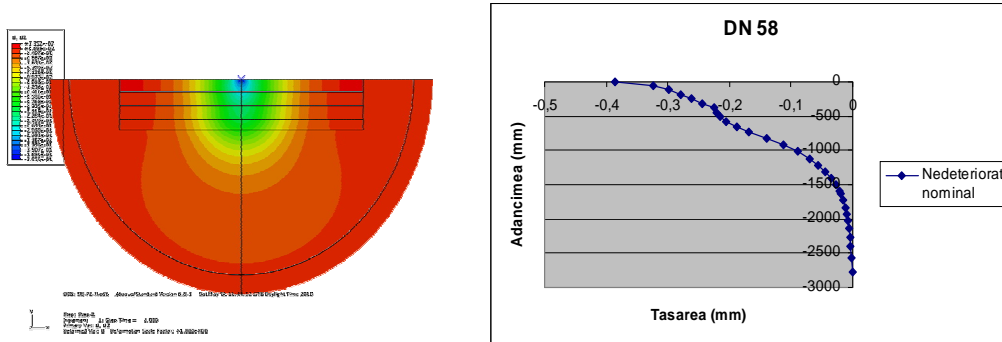


Fig. 5.12. Ipoteza straturilor rutiere perfect legate (structură rutieră mixtă)

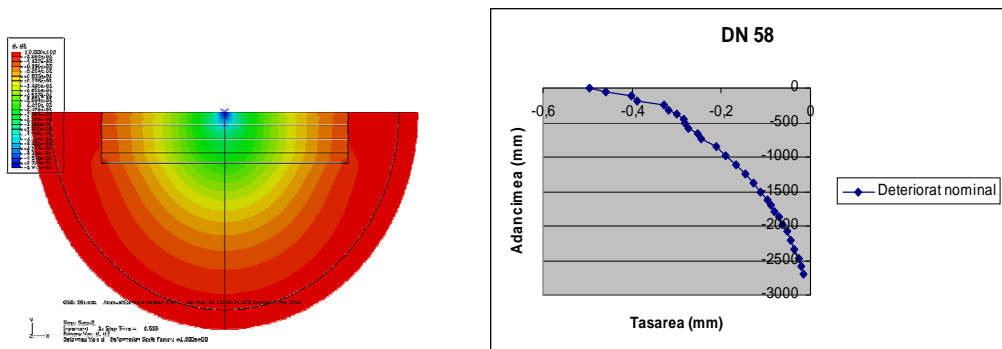


Fig. 5.13. Ipoteza straturilor rutiere fără legătură între ele (structură rutieră mixtă)

Se observă faptul că deformațiile în structura rutieră mixtă diferă semnificativ față de cele din structura rutieră suplă (figura 5.14.), atât prin faptul că solicitările se face resimțite până la adâncimi mai mari în terenul de fundare și sunt mai importante în zona activă a terasamentului, dar și prin faptul că raportul dintre valorile deplasărilor este unul mai redus decât în cazul structurilor rutiere suple, astfel că la baza straturilor bituminoase deformațiile sunt mai mari cu cca 40 %, iar la nivelul patului drumului cu cca 50 % în ipoteza interfețelor libere față de cea a interfețelor legate.

Diferențe foarte mari între aceste deplasări, (valori de până la trei ori mai mari), în ipotezele legăturii între straturi considerate, se întâlnesc în zona activă a terasamentelor, pe adâncimea terenului de fundare, cu ecart maxim în jurul adâncimii de 1,50...2,00 m. Situația comparativă a ipotezelor privind legătura între straturile rutiere (interfețe legate, interfețe libere) pentru cele două tipuri de structuri rutiere modelate este prezentată în figura 5.15.

Raportându-ne la cele două ipoteze a legăturii dintre straturile rutiere, se observă diferențe semnificative între comportarea structurilor rutiere suple și comportarea celor mixte. Alura curbelor de variație a deplasărilor este diferită pentru cele două structuri rutiere, iar curbele în cazul structurilor rutiere mixte

(semirigide) prezintă trei puncte de inflexiune, în timp ce cele corespunzătoare structurilor rutiere suple nu prezintă astfel de puncte.

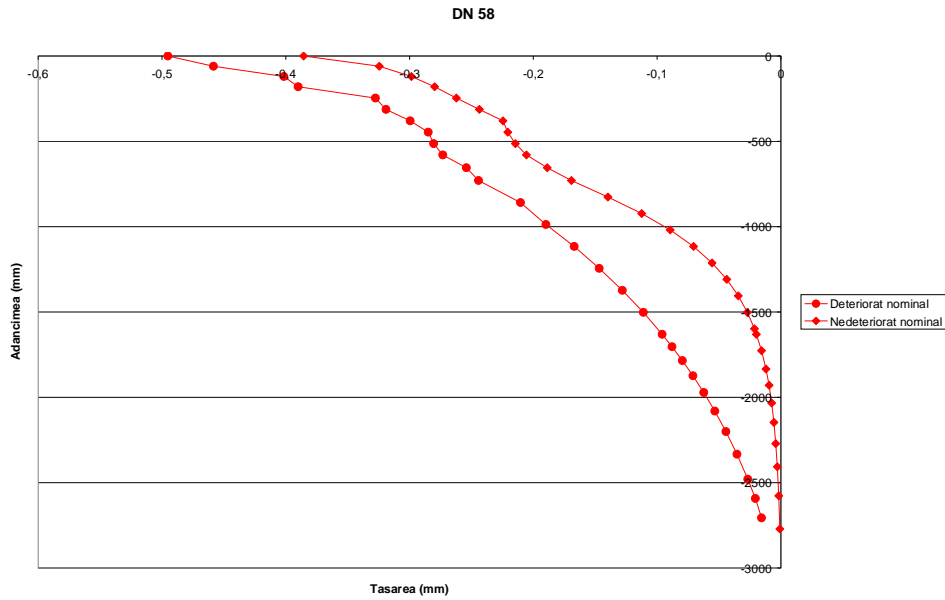


Fig. 5.14. Starea de deformații în ipoteza interfețelor legate și nelegate (structură rutieră mixtă)

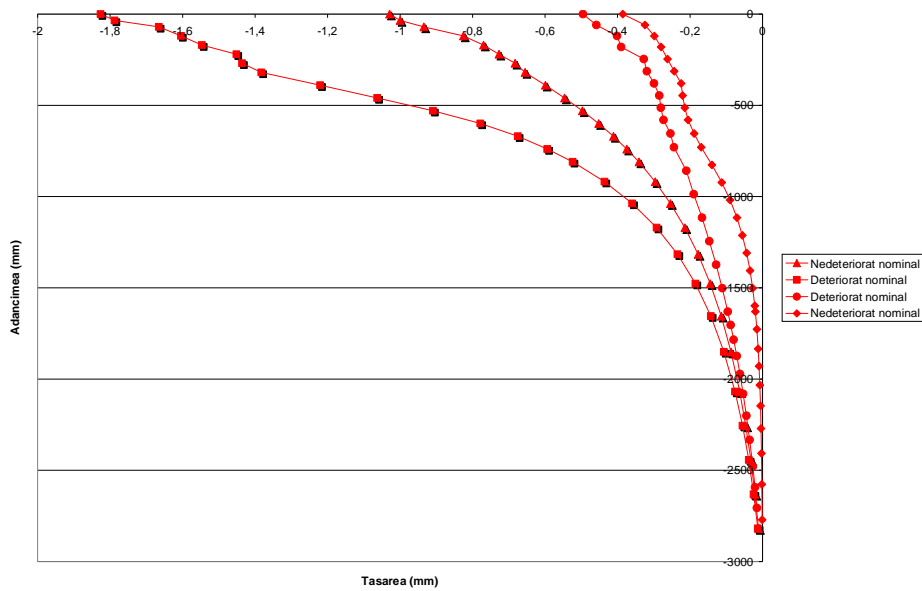


Fig. 5.15. Influența legăturii interfețelor asupra stării de deformație

Valorile deplasărilor în cazul structurilor rutiere suple sunt sensibil mai mari decât în cazul celor mixte, fapt explicat prin comportarea elastică a acestora și o

rigiditate mai redusă a straturilor utilizate și prin prezența în alcătuirea structurilor rutiere mixte a stratului din materiale stabilizate care conferă o oarecare rigiditate structurii. De asemenea, este de remarcat faptul că dacă în cazul structurilor rutiere suple valorile deformațiilor pe verticală ale terenului de fundare sunt relativ apropiate începând cu adâncimea de 2,00 m, în cazul structurilor rutiere suple acestea diferă semnificativ chiar și la adâncimi de peste 2,50 m. Acest lucru se explică tot prin prezența stratului stabilizat, care asigură o protecție mai bună a terenului de fundare împotriva solicitărilor care pot depăși valorile admisibile.

Variațiile climatice, oboseala materialelor, proprietățile terenului de fundare și comportarea diferită a acestora în anumite stadii de exploatare etc., determină modificarea proprietăților materialelor rutiere și a pământului din alcătuirea terenului de fundare, astfel încât valorile ce caracterizează comportarea elastică a acestora (modulul de elasticitate dinamic,  $E$ , coeficientul lui Poisson,  $\mu$ ) sunt supuse unor variații. În acest sens, s-a propus studierea comportării structurilor rutiere în funcție de variațiile caracteristicilor materialelor rutiere, inclusiv a terenului de fundare. Pentru a studia comportarea complexelor rutiere la variații climatice s-a propus studierea comportării complexelor rutiere în patru situații distincte: cazul celui mai bun teren de fundare ( $E = 100$  MPa,  $\mu = 0,27$ ), respectiv cel mai slab teren de fundare ( $E = 50$  MPa,  $\mu = 0,35$ ) și de asemenea pentru mixturile asfaltice s-a propus modificarea modulului de elasticitate dinamic prin dublare, respectiv înjumătățire. Teoretic, modulul de elasticitate dinamic al materialelor bituminoase, suferă modificări radicale în funcție de temperatură așa cum se arată în tabelul 5.7 [106], astfel că pentru modelare s-au utilizat două valori ale modulului de elasticitate dinamic al stratului din mixtură asfaltică ( $E = 1500$  MPa, corespunzător unei temperaturi mai ridicate, respectiv 6000 MPa, corespunzător unei temperaturi mai coborâte pentru structura rutieră suplă, respectiv  $E = 1900$  MPa și  $E = 7600$  MPa pentru structura rutieră mixtă).

Tabelul 5.7

Valorile modulului de elasticitate pentru un beton asfaltic funcție de temperatură

Temperatura, °C	-10	0	10	20	30	40
Modul de elasticitate dinamic, MPa	14800	12000	7200	3600	1300	1000

În figura 5.16. este prezentată starea de deformații în complexul rutier, pentru cazul structurii rutiere suple, cu un teren de fundare total defavorabil în ipoteza legăturii perfecte între straturi, iar în figura 5.17. în ipoteza straturilor nelegate.

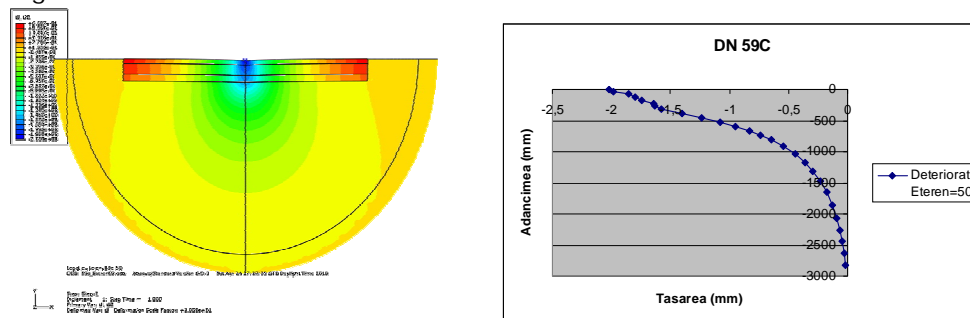


Fig. 5.16. Ipoteza straturilor rutiere fără legătură între ele, teren de fundare slab (structură rutieră suplă)

În figura 5.18. este prezentată starea de deformații în complexul rutier, cazul structurii rutiere suple, DN 59C, cu un teren de fundare favorabil în ipoteza legăturii perfecte între straturi, iar în figura 5.19. în ipoteza straturilor nelegate.

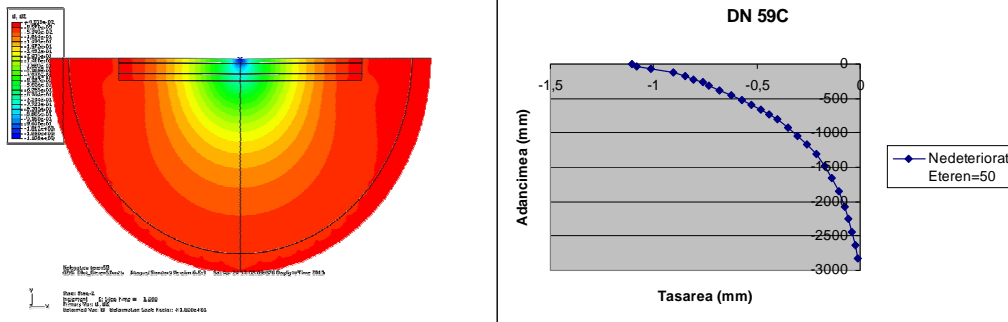


Fig. 5.17. Ipoteza straturilor rutiere perfect legate, teren de fundare slab (structură rutieră suplă)

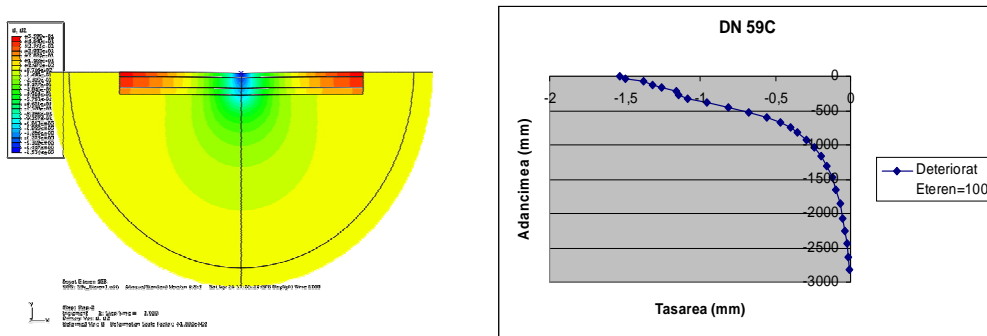


Fig. 5.18. Ipoteza straturilor rutiere fără legătură între ele, teren de fundare bun (structură rutieră suplă)

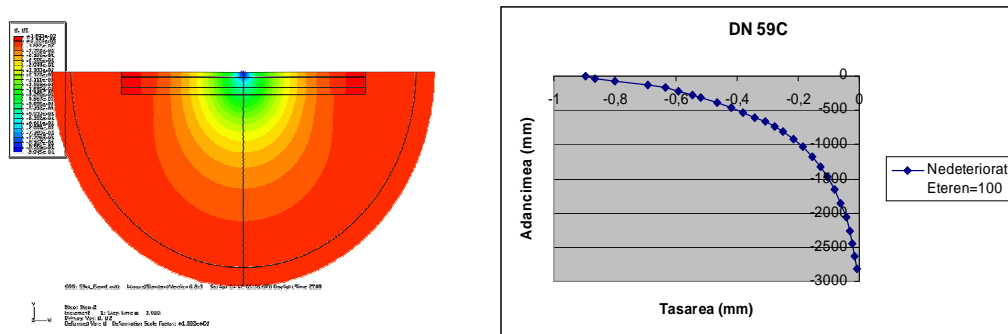


Fig. 5.19. Ipoteza straturilor rutiere perfect legate, teren de fundare bun (structură rutieră suplă)

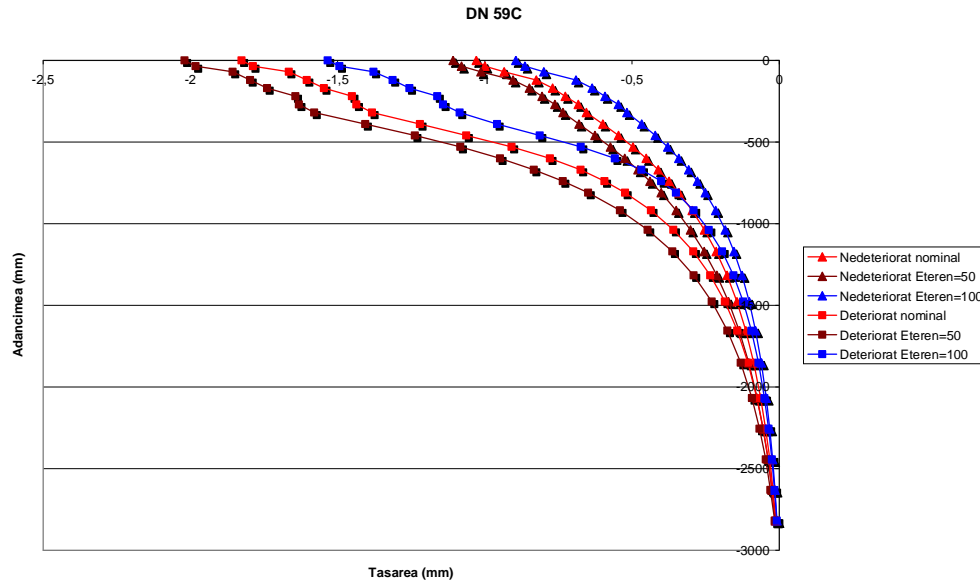


Fig. 5.20. Starea de deformații la variații ale caracteristicilor terenului de fundare (structură rutieră suplă)

Calitatea terenului de fundare influențează deformațiile pe verticală ale complexului rutier pentru structurile suple în proporție mai mică la nivelul inferior al straturilor bituminoase și o proporție mai mare la nivelul patului drumului. Astfel, se constată, în ambele ipoteze a legăturii dintre straturi, că un teren bun de fundare reduce deformațiile specifice cu cca 15 % la baza straturilor bituminoase și cu cca 25 % la nivelul patului drumului. Un teren slab de fundare determină o creștere a deformațiilor verticale cu cca 10 % la baza straturilor bituminoase și cu cca 15 % la nivelul patului drumului. De la o adâncime de cca 2,00 m în terenul de fundare influența calității acestuia nu se mai face resimțită. Figurile 5.21., 5.22. prezintă tasările în complexul rutier pentru structura rutieră modelată mixtă, în ipoteza interfețelor libere (straturi fără legătură), iar figurile 5.23., 5.24. prezintă aceleași elemente în ipoteza legăturii perfecte între straturi.

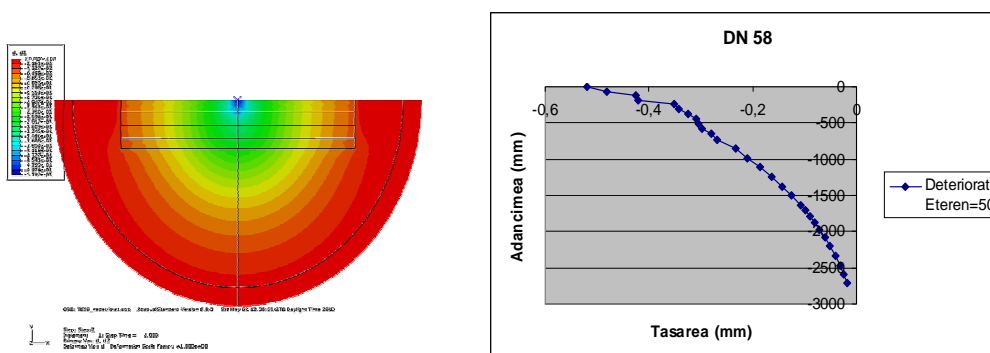


Fig. 5.21. Ipoteza straturilor rutiere fără legătură între ele, teren de fundare slab (structură rutieră mixtă)

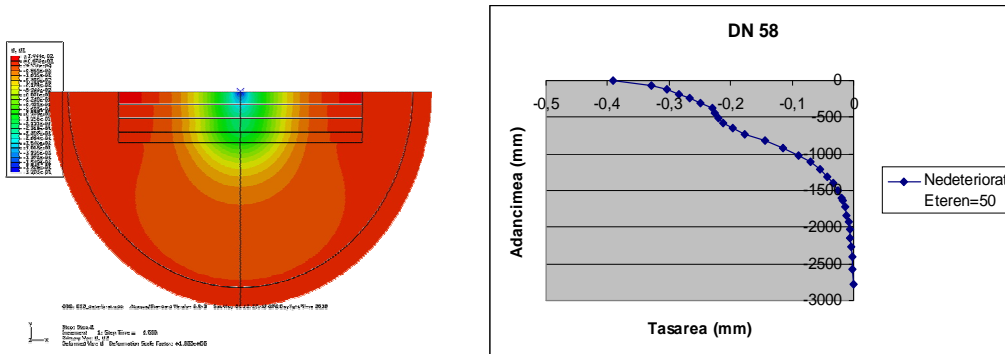


Fig. 5.22. Ipoteza straturilor rutiere perfect legate, teren de fundare slab (structură rutieră mixtă)

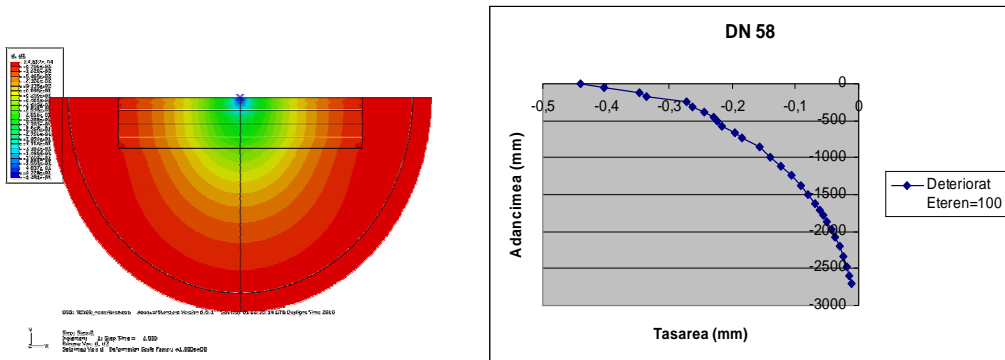


Fig. 5.23. Ipoteza straturilor rutiere fără legătură între ele, teren de fundare bun (structură rutieră mixtă)

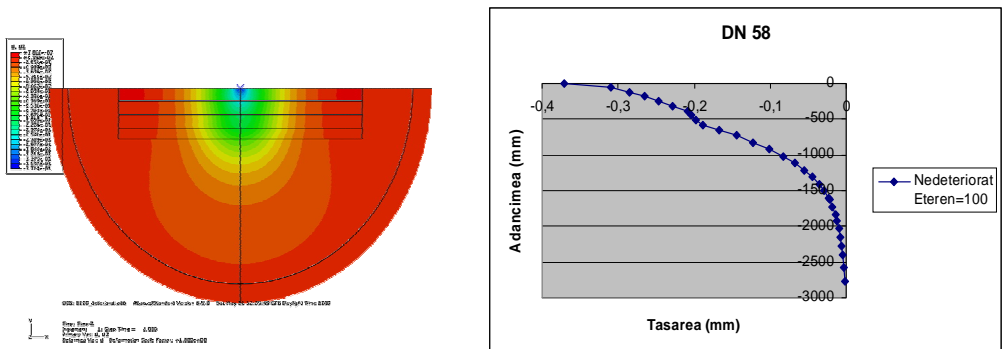


Fig. 5.24. Ipoteza straturilor rutiere perfect legate, teren de fundare bun (structură rutieră mixtă)

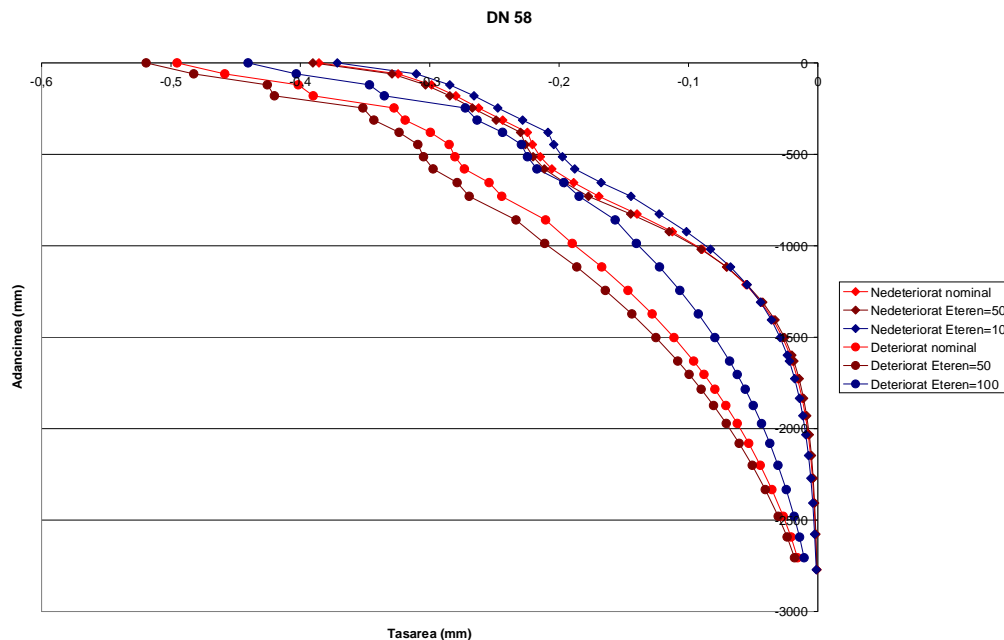


Fig. 5.25. Starea de deformații la variații ale caracteristicilor terenului de fundare (structură rutieră mixtă)

În ceea ce privește influența calității terenului de fundare asupra comportării în exploatare a structurilor rutiere mixte, remarcăm faptul că aceasta, în ipoteza legăturii perfecte între straturile rutiere, nu pare a avea o influență semnificativă, în timp ce în ipoteza interfețelor libere se remarcă faptul că un teren bun de fundare reduce deformațiile la baza straturilor bituminoase cu cca 18 % și la nivelul patului drumului cu 30 %, în schimb cu un teren slab de fundare face ca aceste deformații să crească cu cca 8 % la baza straturilor bituminoase și cu 10 % la nivelul patului drumului. De asemenea, se remarcă faptul că influența calității terenului de fundare se face resimțită în adâncime în ipoteza straturilor fără legătură și este ca și inexistentă în ipoteza interfețelor legate începând cu adâncimi de peste 1,00 m.

Influența caracteristicilor pământului din terenul de fundare (calitatea terenului de fundare) asupra comportării în exploatare (deformații) a complexelor rutiere suple și mixte (semirigide) rezultate în urma modelării celor două structuri experimentale este prezentată în figura 5.26.

Analizând situația din figura 5.26. se poate observa faptul că influența calității terenului de fundare se face resimțită mai accentuat în cazul structurilor rutiere suple și a celor cu o grosime mai mică decât în cazul unor structuri rutiere mixte și a unor structuri rutiere cu o grosime mai mare. Influența calității terenului de fundare se face resimțită pe adâncimi mai mari ale zonei active a terasamentelor în cazul structurilor rutiere mixte față de cel al structurilor rutiere suple unde calitatea terenului influențează comportarea complexelor rutiere până la adâncimi de cca 2,00 m. O calitate mai bună a terenului de fundare face ca deformațiile verticale ale complexului rutier să se reducă mai semnificativ la nivelul patului drumului și în corpul terasamentelor față de cele din structura rutieră.



Un teren de fundare de calitate slabă face ca deformațiile complexelor rutiere să crească mai mult în cazul structurilor rutiere suple, iar un teren de fundare de bună calitate face ca deformațiile în complexele rutiere să scadă mai mult în cazul structurilor rutiere mixte (semirigide).

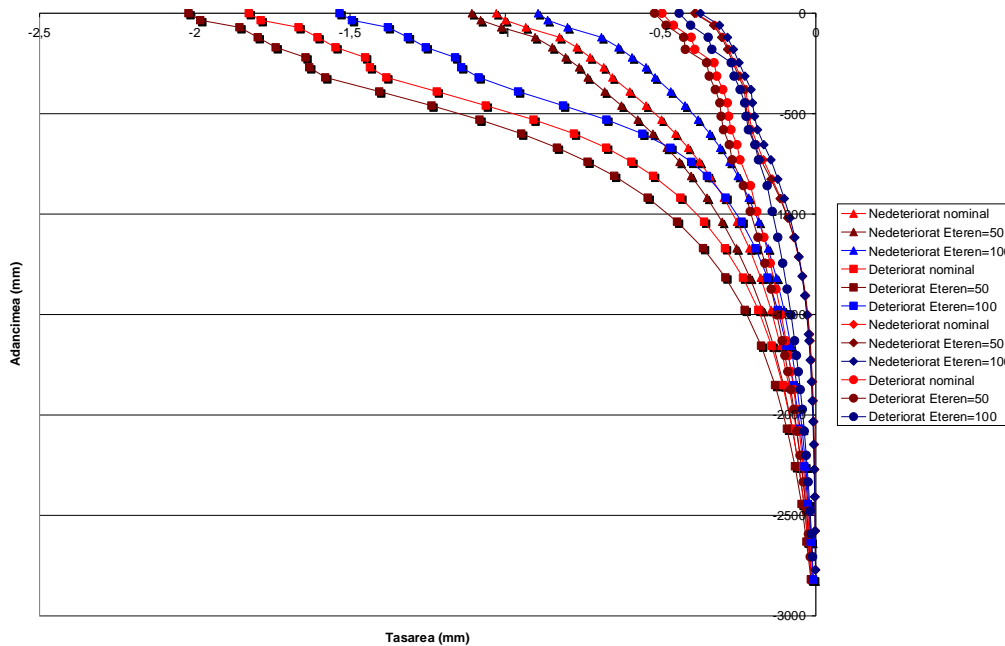


Fig. 5.26. Influența caracteristicilor terenului de fundare asupra stării de deformație

Figura 5.27. prezintă starea de deformații în complexul rutier în situația unei mixturi asfaltice la o temperatură mai ridicată, peste temperatura de referință de 20 °C, ceea ce a impus alegerea unui modul de elasticitate dinamic pentru stratul bituminos de 1500 MPa, pentru structura rutieră corespunzătoare sectorului experimental de pe DN 59C, jumătate din cel de referință, în situația legăturii perfecte între straturi, iar figura 5.28. prezintă aceeași situație în ipoteza interfețelor libere (straturi nelegate).

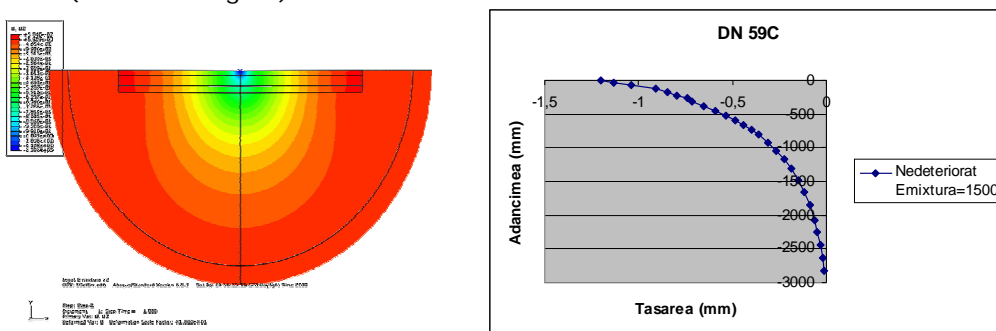


Fig. 5.27. Ipoteza straturilor rutiere perfect legate,  $E_{\text{mixtură}} = 1500 \text{ MPa}$  (structură rutieră suplă)

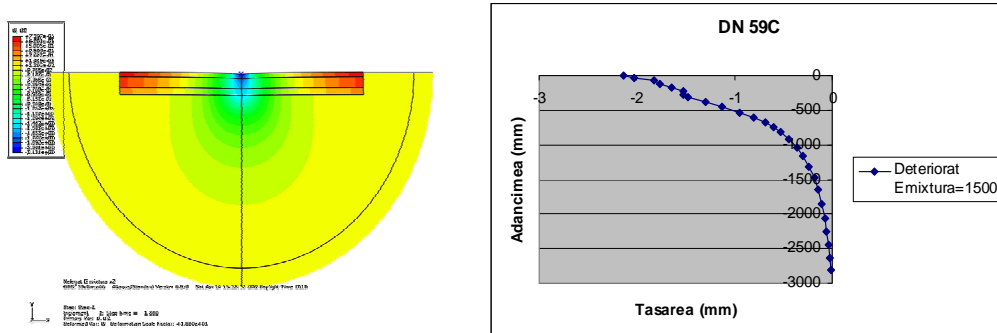


Fig. 5.28. Ipoteza straturilor rutiere cu interfețe libere,  $E_{\text{mixtură}} = 1500 \text{ MPa}$  (structură rutieră suplă)

Coborând valoarea temperaturii, sub cea de referință, de exemplu la cca  $10^\circ\text{C}$ , modificarea modului de elasticitate dinamic implică creșterea acestuia, astfel că în figura 5.29. se prezintă starea de deformații a complexului rutier în ipoteza legăturii perfecte dintre straturi pentru un modul de elasticitate dinamic al stratului bituminos de  $6000 \text{ MPa}$  (dublul valorii nominale) pentru structura rutieră suplă, iar figura 5.30. prezintă ipoteza interfețelor libere.

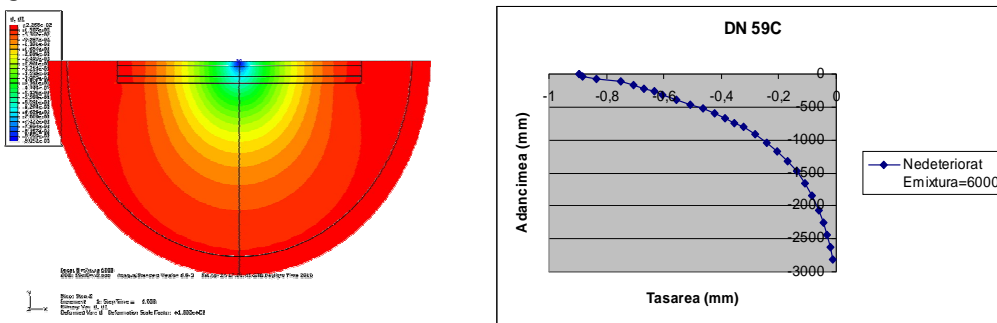


Fig. 5.29. Ipoteza straturilor rutiere perfect legate,  $E_{\text{mixtură}} = 6000 \text{ MPa}$  (structură rutieră suplă)

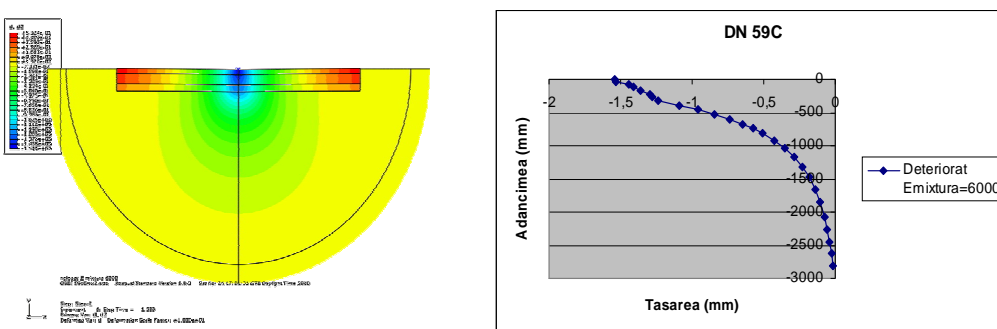


Fig. 5.30. Ipoteza straturilor rutiere cu interfețe libere,  $E_{\text{mixtură}} = 6000 \text{ MPa}$  (structură rutieră suplă)

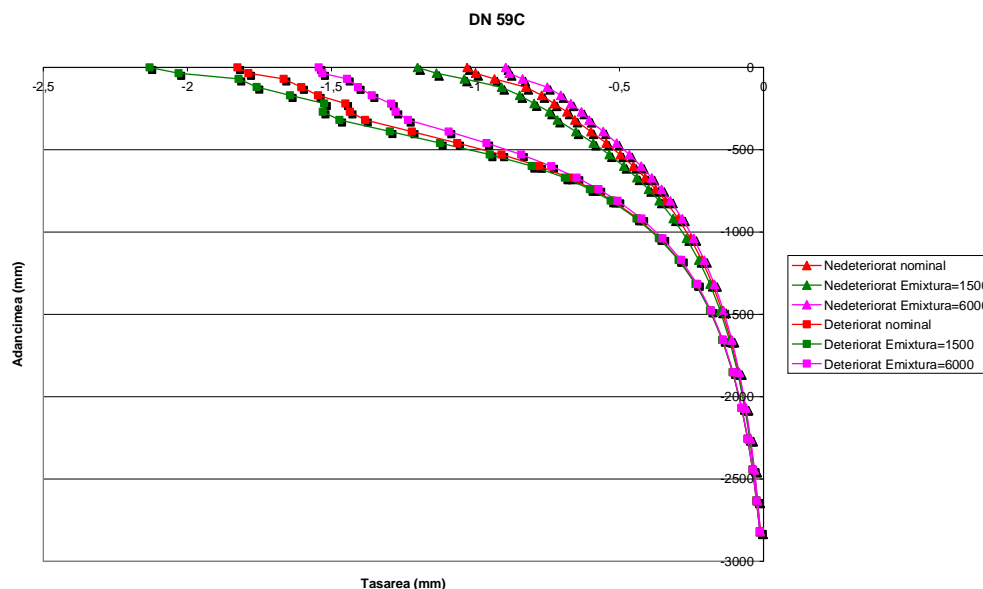


Fig. 5.31. Starea de deformații la variații ale caracteristicilor mixturilor asfaltice (structură rutieră suplă)

Variațiile caracteristicilor de deformabilitate ale mixturilor asfaltice datorate variațiilor de temperatură, umiditate, fenomenelor de oboseală, aduc modificări ale comportării complexelor rutiere în structură și puțin sub nivelul patului drumului. Astfel, se constată că variațiile modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice nu modifică comportarea zonei active a a terasamentelor decât până la adâncimi de cca 0,75 m în ipoteza interfețelor libere și 1,25 m în ipoteza legăturii perfecte între straturile rutiere.

La nivelul inferior al straturilor bituminoase, o scădere a modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice implică o creștere a deformațiilor cu cca 10 %, iar la nivelul patului drumului cu cca 7 % în ipoteza interfețelor libere. În aceeași ipoteză, o creștere a modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice determină o scădere a deformațiilor verticale cu cca 20 %, iar la nivelul patului drumului cu cca 14 %.

În ipoteza legăturii perfecte între straturi, variația modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice implică variații ale deformațiilor de cca 7 % la baza straturilor bituminoase și de cca 6 % la nivelul terenului de fundare.

Pentru structura rutieră mixtă aleasă pentru modelare, modificarea temperaturii de referință prin creștere respectiv descreștere a impus alegerea unui modul de elasticitate dinamic pentru straturile bituminoase de 1900 MPa, jumătate din valoarea celui de referință ținând cont și de tipul climateric (III), în ipoteza legăturii perfecte dintre straturi (figura 5.32.), respectiv a straturilor nelegate (figura 5.33.).

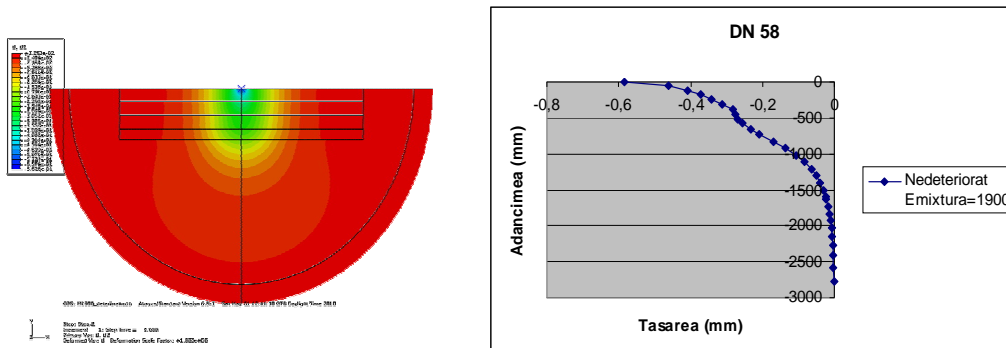


Fig. 5.32. Ipoteza straturilor rutiere perfect legate,  $E_{\text{mixtură}} = 1900 \text{ MPa}$  (structură rutieră mixtă)

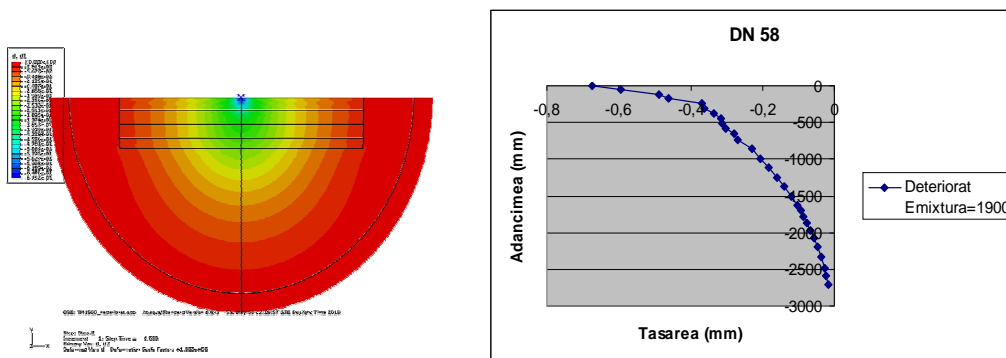


Fig. 5.33. Ipoteza straturilor rutiere cu interfețe libere,  $E_{\text{mixtură}} = 1900 \text{ MPa}$  (structură rutieră mixtă)

Coborând valoarea temperaturii de referință, modificarea modului de elasticitate dinamic implică dublarea acestuia, astfel că în figura 5.34. se prezintă starea de deformații a complexului rutier în ipoteza legăturii perfecte dintre straturi pentru un modul de elasticitate dinamic al straturilor bituminoase de 7600 MPa pentru structura rutieră mixtă, tip climateric III, iar figura 5.35. prezintă ipoteza interfețelor libere.

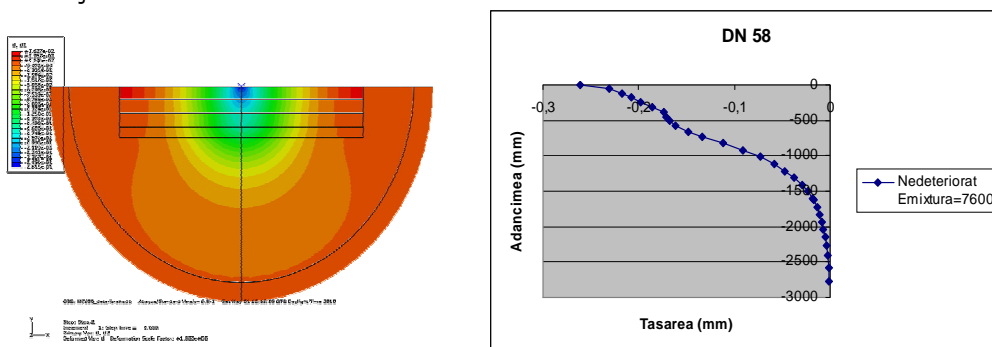


Fig. 5.34. Ipoteza straturilor rutiere perfect legate,  $E_{\text{mixtură}} = 7600 \text{ MPa}$  (structură rutieră mixtă)

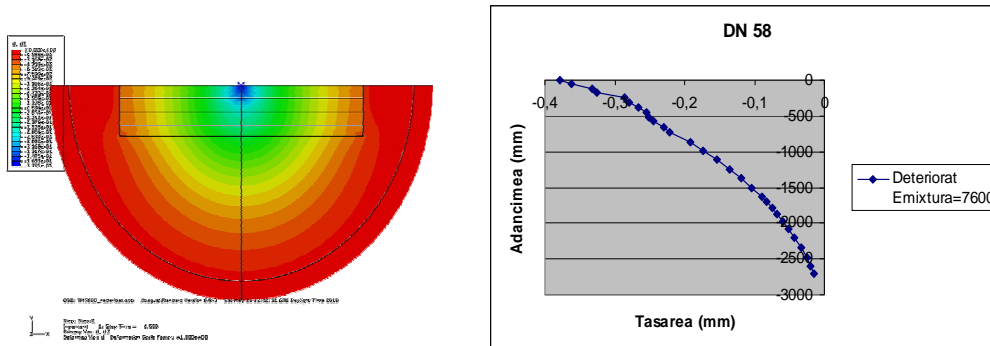


Fig. 5.35. Ipoteza straturilor rutiere cu interfețe libere,  $E_{\text{mixtură}} = 7600$  MPa (structură rutieră mixtă)

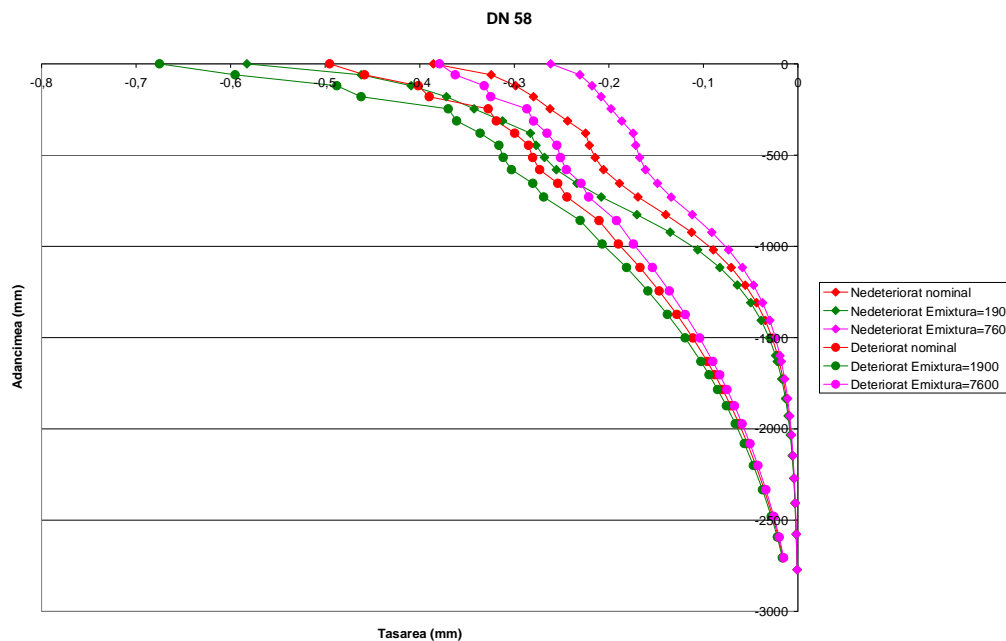


Fig. 5.36. Starea de deformații la variații ale caracteristicilor mixturilor asfaltice (structură rutieră mixtă)

Variațiile caracteristicilor de deformabilitate ale mixturilor asfaltice pe durata exploatării complexelor rutiere cu structuri mixte (semirigide) nu aduc modificări în comportarea zonei active a terasamentelor decât până la adâncimi de cca 1,50 m în ipoteza legăturii perfecte între straturi și de cca 2,00 m în ipoteza interfețelor libere. Modificările mai importante, privind deformațiile complexului rutier, în special în partea superioară (la baza straturilor rutiere), sunt aduse de scăderea modului de elasticitate dinamic în sens negativ decât creșterea acestuia în sens pozitiv.

Astfel, se poate observa că la baza straturilor bituminoase deformațiile cresc și scad cu cca 30 %, iar la nivelul patului drumului cu cca 20 % în ipoteza straturilor perfect legate, variază cu cca 10 % la nivelul inferior al straturilor bituminoase și cu cca 7 % la nivelul patului drumului în ipoteza interfețelor libere.

Influența caracteristicilor straturilor bituminoase asupra comportării în exploatare (deformații) a complexelor rutiere suple și mixte rezultate în urma modelării celor două structuri experimentale, variind temperatura de referință prin creștere și descreștere, modificând valorile modurilor de elasticitate dinamici ai mixturilor asfaltice conform tabelului 5.7 [106], este prezentată în figura 5.37.

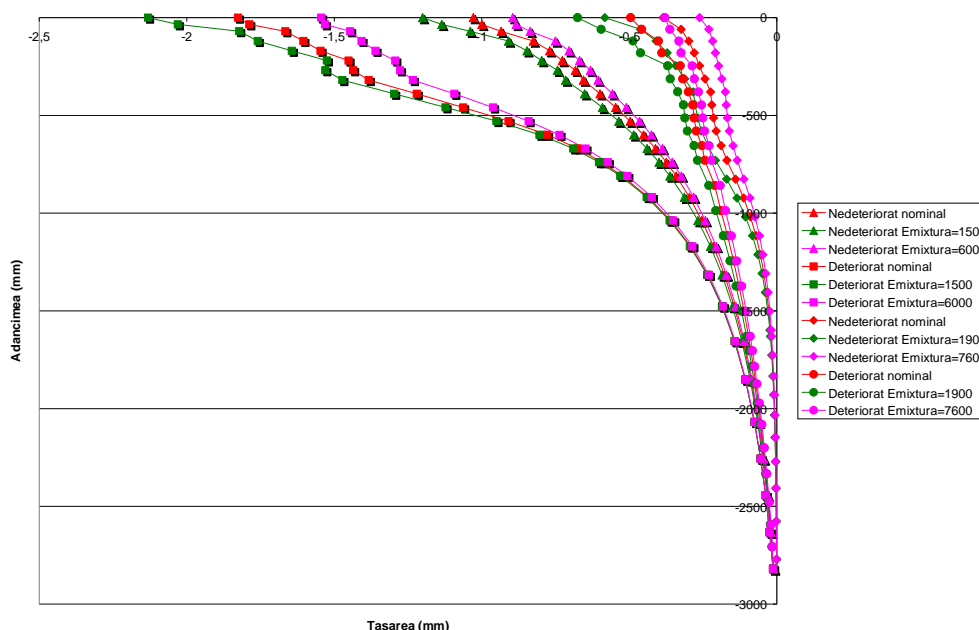


Fig. 5.37. Influența caracteristicilor mixturilor asfaltice asupra stării de deformație

Modificările caracteristicilor mixturilor asfaltice determină modificări ale comportării în exploatare ale complexelor rutiere diferite în funcție de tipul structurii rutiere. Astfel, la structurile rutiere mixte, deformațiile complexului rutier, sunt proporționale la scăderea modului de elasticitate dinamic (creșterea deformațiilor) cu cele de la creșterea modului (scăderea deformațiilor). La structurile rutiere suple, modificările mai importante, privind deformațiile complexului rutier, sunt aduse de creșterea modului de elasticitate dinamic (scăderea deformațiilor) decât scăderea acestuia (creșterea deformațiilor).

De asemenea, odată cu creșterea adâncimii în complexul rutier, starea de deformare a acestuia diferă semnificativ la structurile rutiere suple și mixte, în sensul în care la cele suple începând cu adâncimi de cca 1,00 m influența este aproape inexistentă, în timp ce în cazul structurilor rutiere mixte (semirigide) această influență se resimte până la adâncimi în jurul valorii de 2,00 m.

Influența variațiilor modului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice în cazul structurilor rutiere mixte aduce modificări mai importante în deformarea complexelor rutiere, atât în structura rutieră cât și în zona activă a terasamentelor, decât în cazul structurilor rutiere suple. Activitățile intense de transport rutier, în special a celui de marfă, determină în dese situații ca sarcina maximă admisă pe osie (115 kN) să fie depășită, chiar și cu bună știință. Având în vedere importanța și frecvența acestui aspect, pornind de la studiile efectuate de INCERTRANS București, asupra efectului pe care îl au transporturile de marfă asupra structurilor rutiere dimensionate pentru 100 kN pe osie simplă, prin care s-a constatat faptul că

agresivitatea osiei de 115 kN este de 1,6...4,5 ori mai mare decât cea a osiei de 100 kN, deși sarcina este de doar 1,15 ori mai mare, s-a analizat comportarea în exploatare a structurilor rutiere la acțiuni ale unor sarcini mai mari decât sarcina la care au fost dimensionate, respectiv sarcina osiei standard de 115 kN.

În acest sens, s-a studiat comportarea la deformații a complexelor rutiere, în cazul depășirii sarcinii admise, de 115 kN, sarcină utilizată în calculul de dimensionare al structurilor rutiere. Menținând caracteristicile osiei standard (amprenta, configurația), s-a studiat comportarea complexelor rutiere în cazul unei sarcini de 130 kN, în ipoteza interfețelor legate (figura 5.38.) și interfețelor libere (figura 5.39.) și în cazul unei sarcini de 150 kN, în aceleași ipoteze (figurile 5.40., 5.41.) pentru structura rutieră suplă modelată.

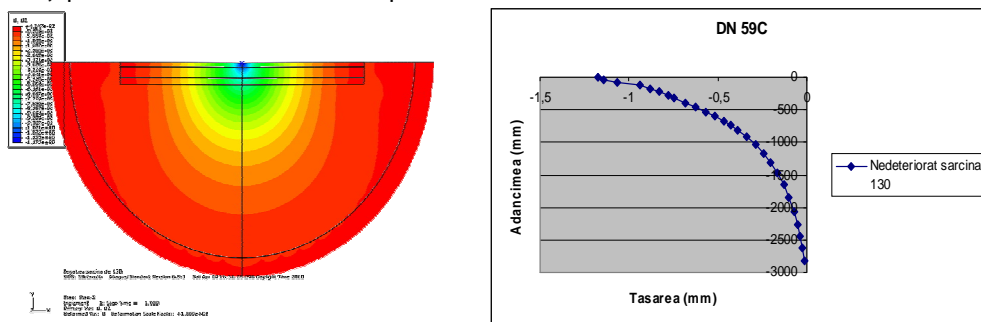


Fig. 5.38. Ipoteza straturilor rutiere cu interfețe legate, sarcina de 130 kN (structură rutieră suplă)

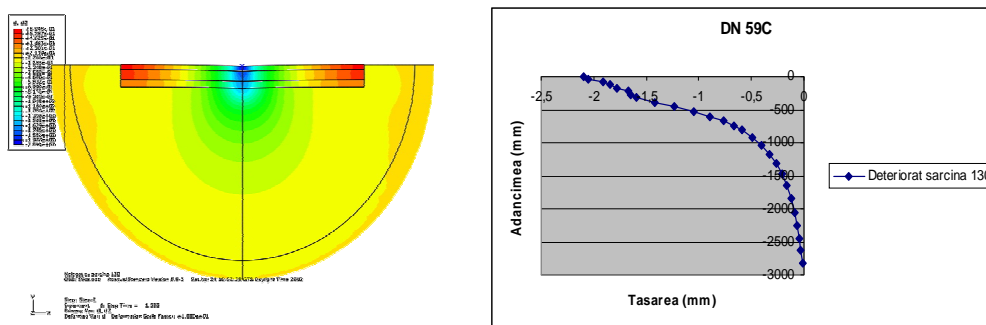


Fig. 5.39. Ipoteza straturilor rutiere cu interfețe libere, sarcina 130 kN (structură rutieră suplă)

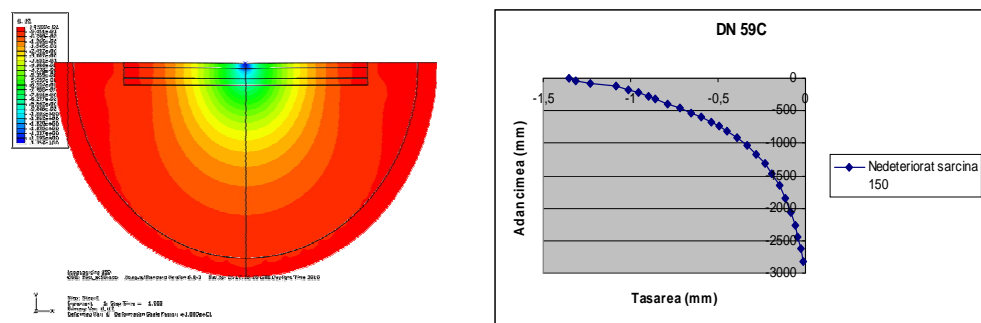


Fig. 5.40. Ipoteza straturilor rutiere perfect legate, sarcina 150 kN (structură rutieră suplă)

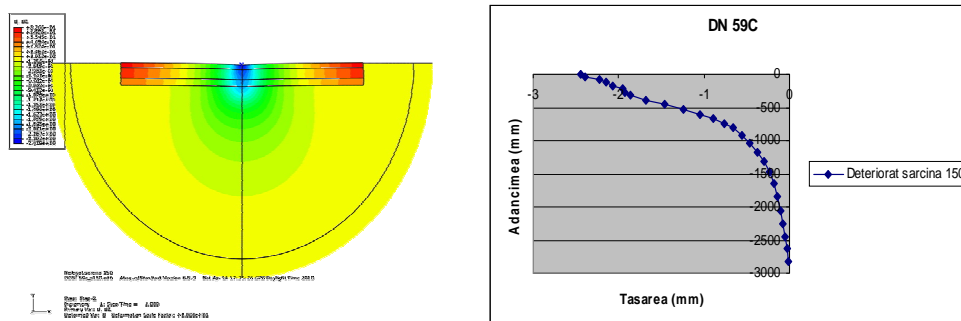


Fig. 5.41. Ipoteza straturilor rutiere nelegate, sarcina 150 kN (structură rutieră suplă)

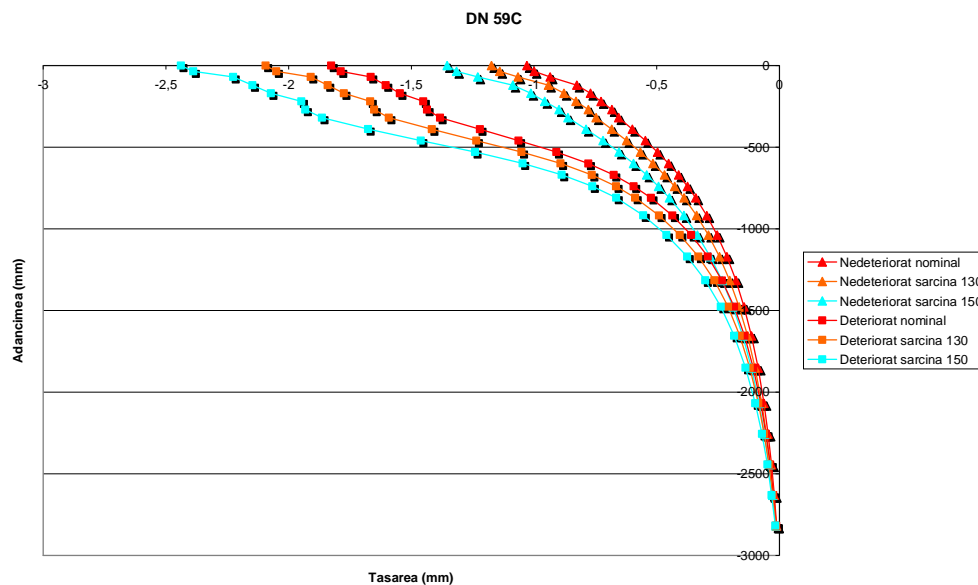


Fig. 5.42. Starea de deformații la variații ale sarcinii osiei standard (structură rutieră suplă)

Creșterea sarcinii pe osie atrage după sine creșterea evidentă a deformațiilor complexelor rutiere, iar în cazul structurilor rutiere suple acesta se face resimțită în zona activă a terasamentelor până la adâncimi de cca 2,50 m. Este de remarcat faptul că sarcina este singurul factor care determină variația deplasărilor direct proporțional cu creșterea sarcinilor în ambele ipoteze ale legăturii dintre straturi. Astfel o creștere a sarcinii cu 13 % (de la 115 kN la 130 kN) determină o creștere a deformațiilor verticale la baza straturilor bituminoase cu cca 15 % și la nivelul patului drumului cu 13 %, iar o creștere a sarcinii cu 30 % a sarcinii pe osia standard (de la 115 kN la 150 kN) determină o creștere a deformațiilor verticale la baza straturilor bituminoase cu cca 34 % și la nivelul patului drumului cu 35 %.

Proportionalitatea dintre creșterea sarcinii și deformații este aproximativă, mai ales în cazul unei sarcini cu mult mai mare decât cea admisă (sarcina osiei standard de 115 kN), fapt explicabil prin prisma atingerii probabile a presiunii limită de proporționalitate a terenului de fundare de la o anumită valoare a sarcinii solicitante.



Comportarea complexelor rutiere, pentru structura rutieră mixtă modelată, corespunzătoare sectorului experimental de pe drumul național 58 în cazul unei sarcini de 130 kN, în ipoteza interfețelor legate este prezentată în figura 5.43., iar în cazul interfețelor libere în figura 5.44. În cazul unei sarcini de 150 kN, în aceleași ipoteze starea de deformație pe verticală a complexelor rutiere este prezentată în figurile 5.45. și 5.46.

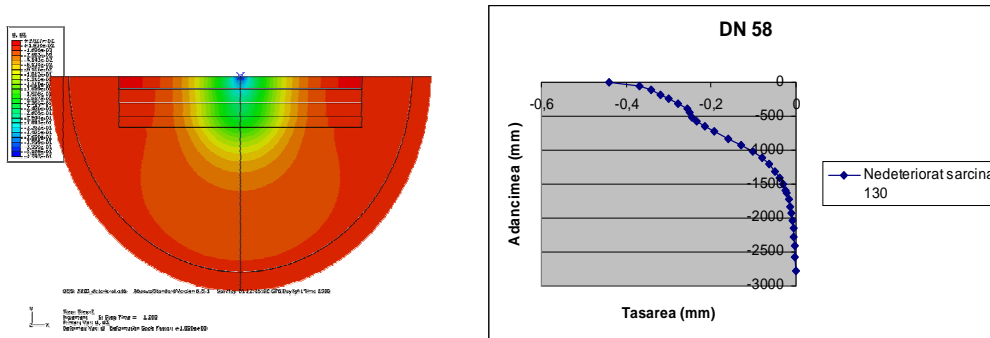


Fig. 5.43. Ipoteza straturilor rutiere cu interfețe legate, sarcina de 130 kN (structură rutieră mixtă)

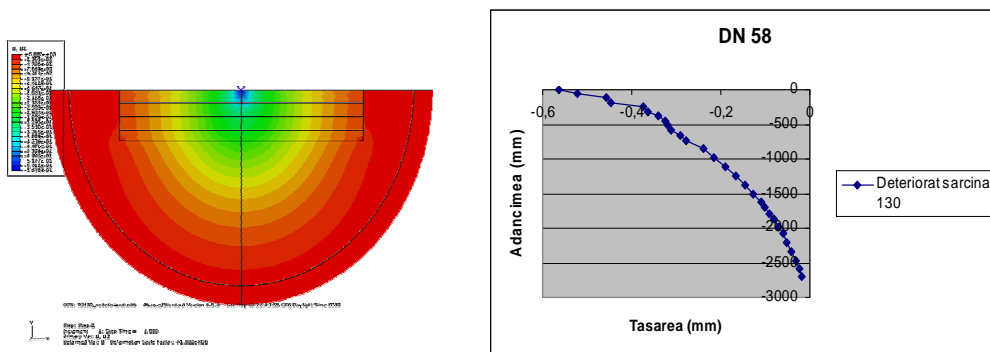


Fig. 5.44. Ipoteza straturilor rutiere cu interfețe libere, sarcina 130 kN (structură rutieră mixtă)

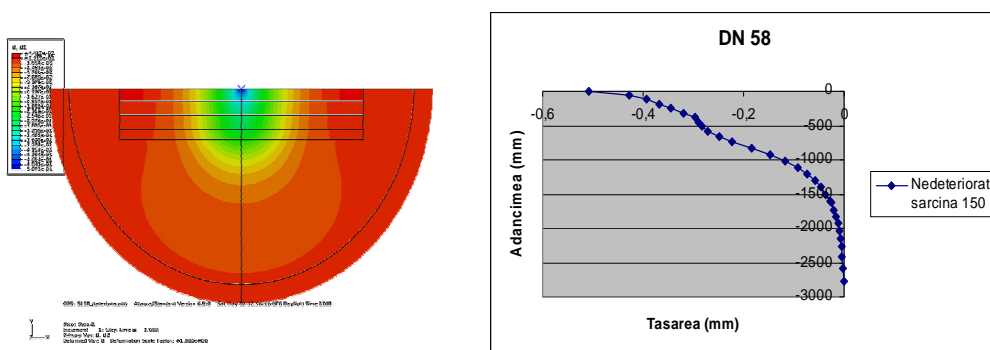


Fig. 5.45. Ipoteza straturilor rutiere perfect legate, sarcina 150 kN (structură rutieră mixtă)

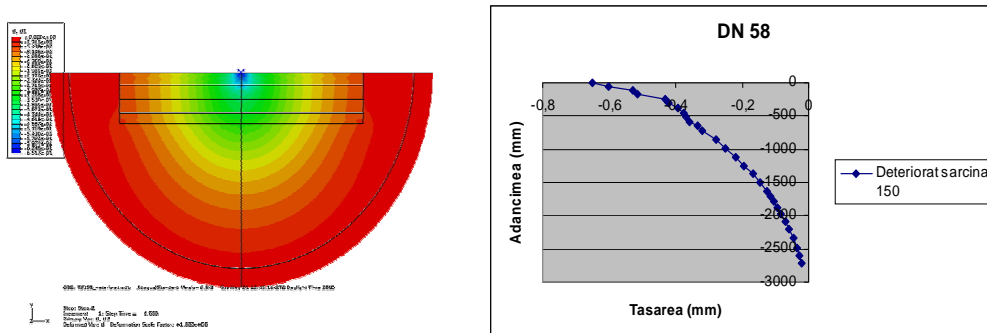


Fig. 5.46. Ipoteza straturilor rutiere nelegate, sarcina 150 kN (structură rutieră mixtă)

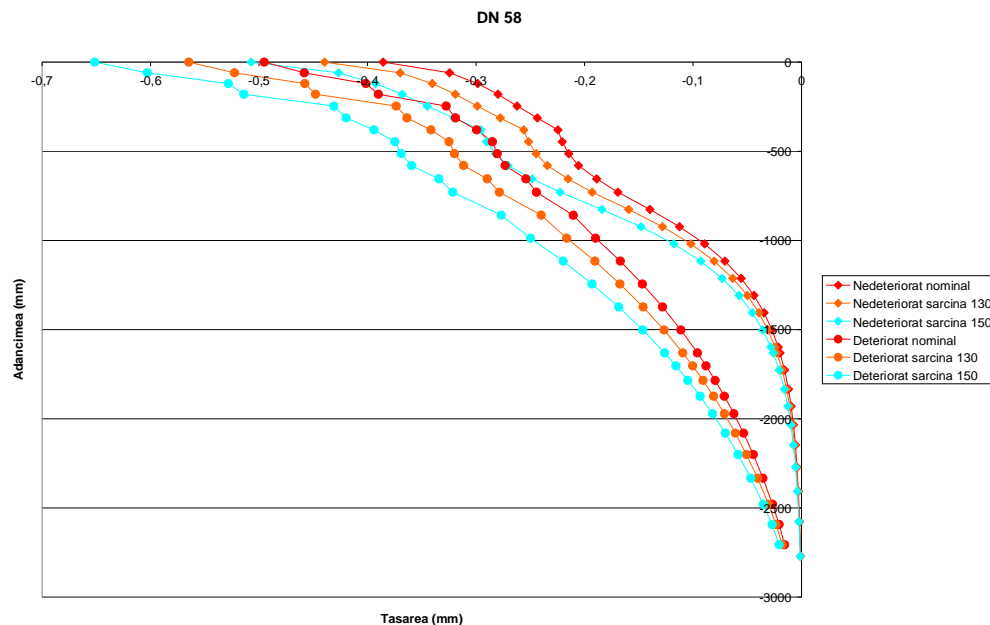


Fig. 5.47. Starea de deformații la variații ale sarcinii osiei standard (structură rutieră mixtă)

În cazul structurilor rutiere mixte creșterea deformațiilor complexelor rutiere datorate creșterii sarcinii pe osia se face resimțită în zona activă a terasamentelor până la adâncimi de cca 2,00 m în ipoteza legăturii perfecte dintre straturi și de peste 2,50 m în ipoteza interfețelor libere. Creșterea sarcinii cu 13 % (de la 115 kN la 130 kN) determină o creștere a deformațiilor verticale la baza straturilor bituminoase cu cca 13 % și la nivelul patului drumului cu 15 %, iar o creștere a sarcinii cu 30 % a sarcinii pe osia standard (de la 115 kN la 150 kN) determină o creștere a deformațiilor verticale la baza straturilor bituminoase cu cca 30 % și la nivelul patului drumului cu 32 %.

Proportionalitatea dintre creșterea sarcinii și deformații este extrem de evidentă în cazul structurilor rutiere mixte (semirigide), cu observația că la nivelul terenului de fundare creșterea deplasărilor este puțin mai mare decât cea de la nivelul inferior al straturilor bituminoase.

Influența traficului (sarcina pe osie) asupra comportării în exploatare (deformații pe verticală) a complexelor rutiere suple și mixte rezultate în urma modelării celor două structuri rutiere experimentale, corespunzătoare drumurilor naționale DN 59C, respectiv DN 58, în cazul depășirii sarcinii admise pe osie, este prezentată în figura 5.48.

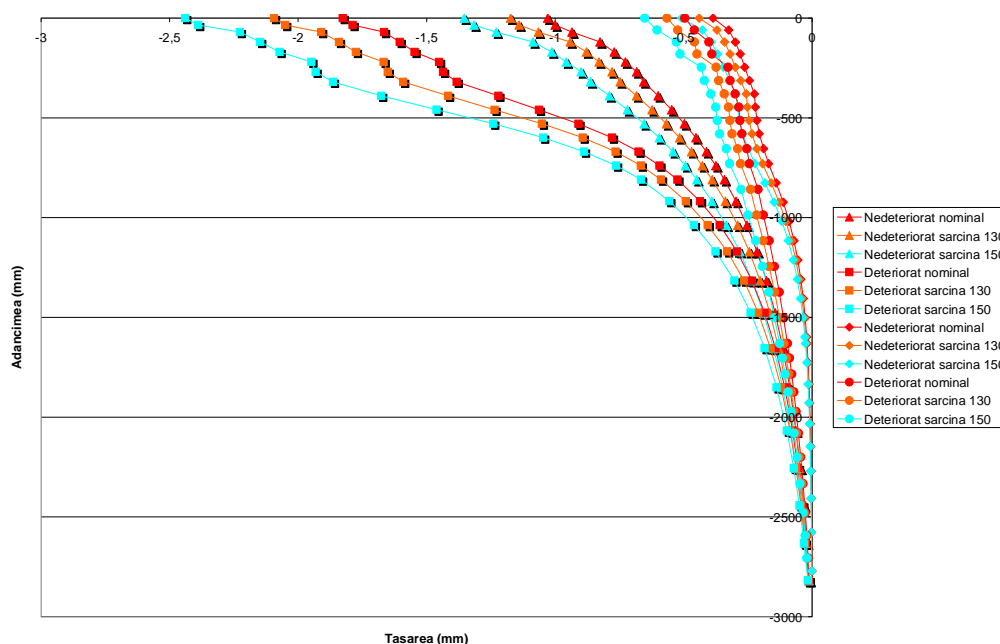


Fig. 5.48. Influența creșterii sarcinii pe osie asupra stării de deformație

Sarcina pe osie este singurul parametru luat în studiu care este supus proporționalității cu starea de deformație a complexelor rutiere suple și mixte, indiferent de ipoteza legăturii dintre straturi, cu observația că la nivelul terenului de fundare această proporționalitate poate să dispară, mai ales în momentul în care terenul de fundare și-a atins presiunea limită de proporționalitate.

Pentru o mai bună interpretare a rezultatelor obținute, în figurile 5.49. și 5.50. s-au suprapus efectele factorilor considerați în ipoteza interfețelor perfect legate pentru structura rutieră suplă, sector experimental pe DN 59C, km 4+000...4+200, respectiv pentru structura rutieră mixtă, sector experimental pe DN 58, km 72+000...72+200.

În ceea ce privește influența factorilor considerați în ipoteza legăturii perfecte între straturi (sarcina pe osie, calitatea terenului de fundare, caracteristicile de deformabilitate ale amestecurilor asfaltice) asupra comportării în exploatare a structurilor rutiere suple (figura 5.49.) se constată că deformațiile pe verticală cele mai mici se produc în cazul unui teren de fundare corespunzător, cu un modul de elasticitate dinamic  $E = 100 \text{ MPa}$ , ceea ce subliniază faptul că îmbunătățirea calității terenului de fundare (strat de formă) prezintă o soluție eficientă și economică pentru îmbunătățirea comportării în exploatare a complexelor rutiere. Efectele negative cele mai pronunțate sunt produse de depășirea valorii sarcinii admise pe osia standard, tasările cele mai mari fiind produse de sarcina cea mai mare luată în studiu (150 kN).

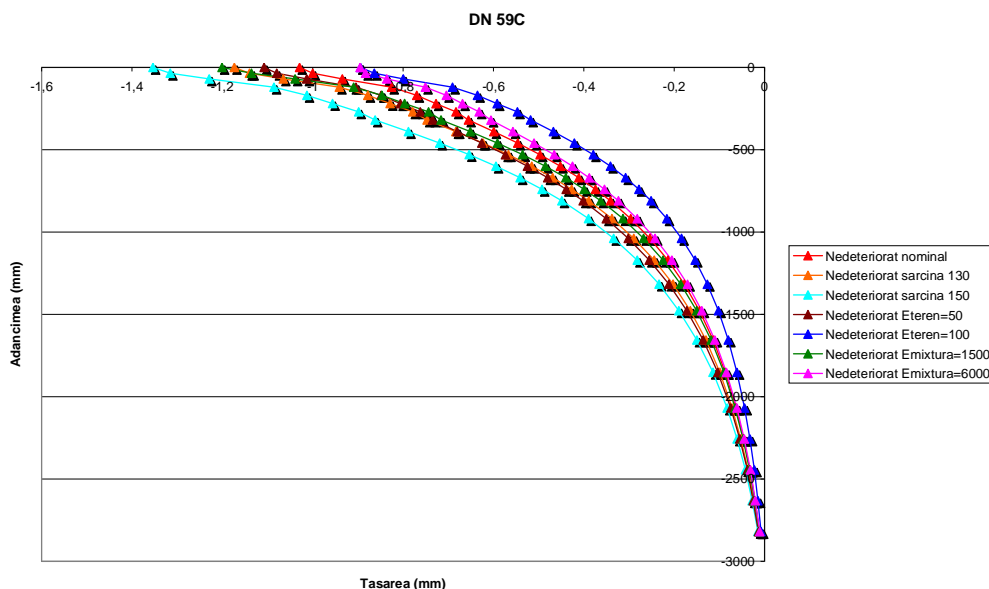


Fig. 5.49. Influența factorilor considerați în ipoteza legăturii perfecte între straturile rutiere (structură rutieră suplă)

Efectele factorilor considerați asupra deplasărilor pe verticală, la diferite nivele în complexele rutiere, își păstrează proporționalitatea până la nivelul terenului de fundare, de unde în adâncime influența acestora scade semnificativ, iar de la o adâncime de cca 2,50 m aceasta este aproape inexistentă.

Cazul interfețelor legate (figura 5.50.) în analiza complexelor rutiere cu structură mixtă diferă cel mai mult față de celelalte cazuri studiate. Remarcăm faptul că în această ipoteză influența cea mai favorabilă o are creșterea modului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice, fapt ce se produce odată cu scăderea temperaturii și a regimului de umiditate, astfel reducându-se deformațiile în complexul rutier. În această ipoteză terenul de fundare joacă un rol semnificativ în influența sa asupra deformațiilor în complexul rutier, astfel că prin creșterea, respectiv scăderea calității acestuia, deformațiile complexului rutier variază foarte puțin. Influența cea mai defavorabilă o înregistrăm în cazul scăderii modului de elasticitate dinamic al straturilor bituminoase (creșterea temperaturii și a regimului de umiditate), astfel că pentru complexele rutiere cu structuri mixte, caracteristicile de deformabilitate ale mixturilor asfaltice joacă un rol hotărâtor în comportarea acestora în exploatare.

Un fapt important este acela că, variațiile factorilor analizați în ipoteza interfețelor legate, pentru structuri rutiere mixte (semirigide), influențează starea de deformații în complexul rutier până la adâncimi de cca 1,50 m, de unde aceasta este aproape nesemnificativă.

Suprapunerea efectele factorilor considerați în ipoteza interfețelor libere pentru structurile rutiere modelate este prezentată în figurile 5.51. (structură rutieră suplă), respectiv 5.52. (structură rutieră mixtă).

Analizând influența factorilor considerați în ipoteza interfețelor libere asupra complexelor rutiere suple, se observă faptul că un teren bun de fundare face ca deformațiile complexului rutier să scadă semnificativ la toate nivelele, începând de

la baza straturilor bituminoase până în zona activă a terasamentelor la adâncimi de cca 2,00 m. Restul parametrilor considerați influențează în sens pozitiv sau negativ, funcție de variația lor, starea de deformație a complexelor rutiere până la adâncimi mai mici, de cca 1,50 m, iar influența acestora nu este la fel de puternică (variații mici ale deformațiilor).

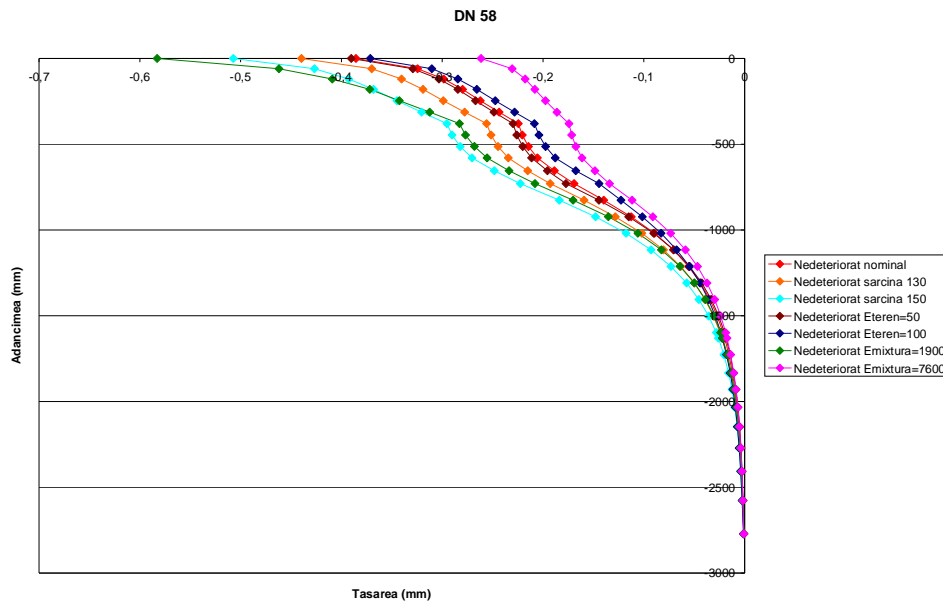


Fig. 5.50. Influența factorilor considerați în ipoteza legăturii perfecte între straturi (structură rutieră mixtă)

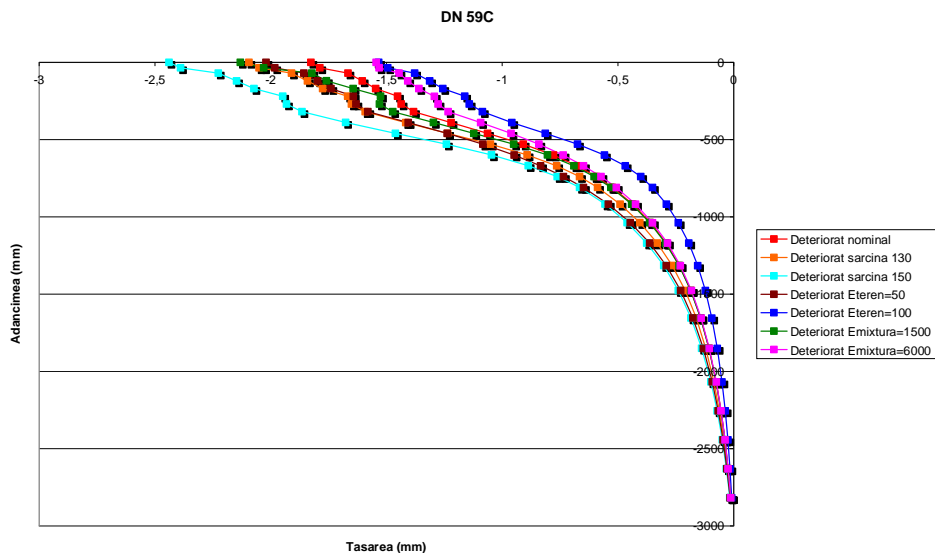


Fig. 5.51. Influența factorilor considerați în ipoteza straturile rutiere nelegate (structură rutieră suplă)

Se poate observa faptul că un teren slab de fundare ( $E = 50 \text{ MPa}$ ) produce aceleași efecte negative (creșteri ale deformațiilor verticale) ca și în cazul unei depășiri a sarcinii pe osie cu  $15 \text{ kN}$ .

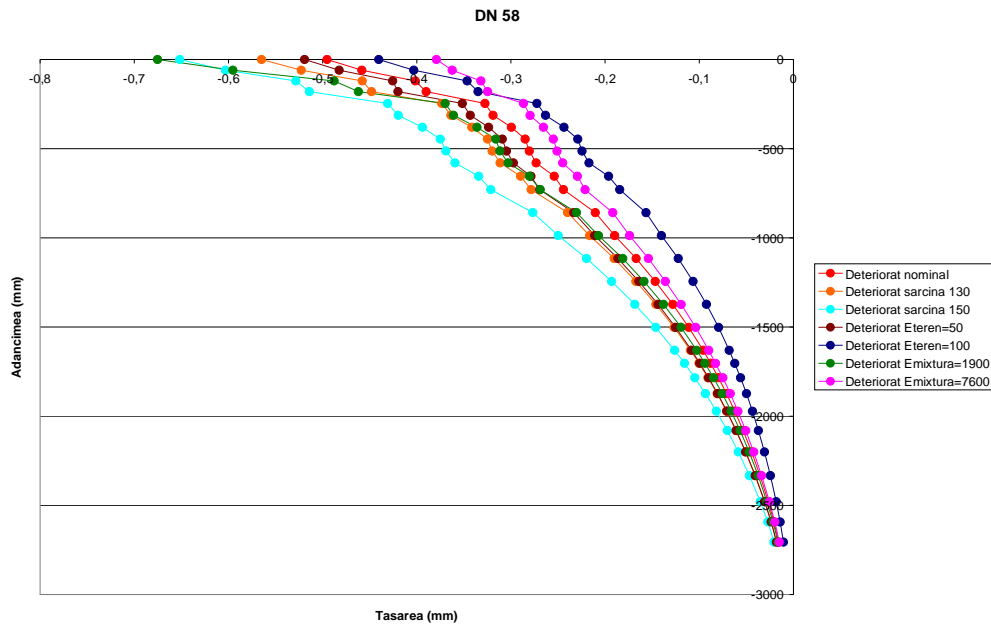


Fig. 5.52. Influența factorilor considerați în ipoteza straturile rutiere nelegate (structură rutieră mixtă)

În ipoteza interfețelor libere, influența factorilor considerați asupra comportării în exploatare a complexelor rutiere cu structuri mixte este apropiată de cea a structurilor rutiere suple în aceeași ipoteză, în sensul în care terenul de fundare bun are cea mai favorabilă influență, iar sarcina pe osie cea mai mare ( $150 \text{ kN}$ ) are cea mai defavorabilă influență. Proportionalitatea dintre factorii de influență nu este atât de evidentă ca în cazul structurilor rutiere suple (curbele de tasare se intersectează în anumite puncte), în special în zone structurii rutiere, dar de la nivelul patului drumului în terenul de fundare proporționalitatea este una evidentă.

Se remarcă în cazul structurilor rutiere mixte, în această ipoteză, faptul că se înregistrează un salt important la nivelul stratului din materiale stabilizate, astfel că începând de la acest nivel valorile deplasărilor au valori sensibil mai mici, fapt explicabil prin modul de distribuire a încărcărilor la baza unui strat cu rigiditate mare (sarcina se distribuie pe o suprafață mai mare astfel încât, într-un punct, aceasta are o valoare mai mică).

Situațiile comparative ale tuturor factorilor considerați în modelarea matematică, în ambele ipoteze de lucru, interfețe libere, respectiv interfețe legate, pentru cele două structuri rutiere modelate sunt reprezentate în figurile 5.53. (structură rutieră suplă) și 5.54. (structură rutieră mixtă).

În cazul structurilor rutiere suple, pe baza ipotezelor privind legăturile între straturile rutiere (legătură perfectă, fără legătură), se constată o comportare apropiată a complexelor rutiere, cu observația că în cazul interfețelor libere valorile deformațiilor sunt cu cca  $80 \%$  mai mari la baza straturilor bituminoase și cu peste

100 % la nivelul terenului de fundare, decât în cazul legăturii perfecte dintre straturi.

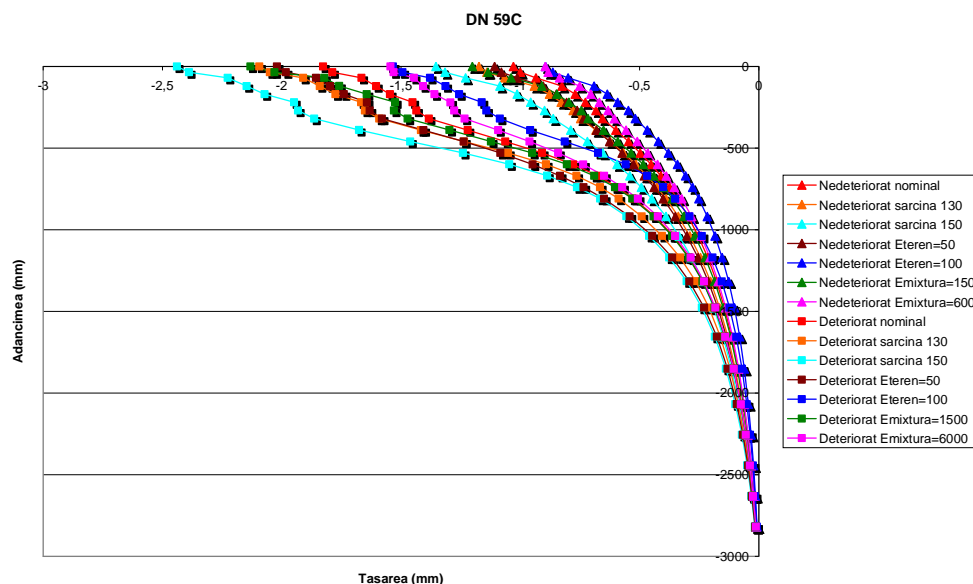


Fig. 5.53. Suprapunerea tuturor factorilor considerați (situație comparativă – structură rutieră suplă)

O calitate bună a terenului de fundare face ca deformațiile în complexul rutier să scadă, deci implică o comportare mai bună în exploatare a complexelor rutiere cu structuri suple, iar creșterea sarcinii pe osie determină creșteri ale deformațiilor complexelor rutiere în ambele ipoteze privind legătura dintre straturi. Efectele cele mai favorabile le are terenul bun de fundare, iar cele mai defavorabile depășirea sarcinii admise pe osie.

Efectele factorilor considerați se fac resimțite în complexul rutier până la adâncimi de cca 2,50 m, de unde, acestea nu mai influențează deformațiile terenului. Efectele cele mai importante se fac resimțite la nivelul patului drumului și nu la nivelele superioare acestuia (în structura rutieră), astfel că la acest nivel există o probabilitate mai mare de cedare a complexului rutier, fapt ce subliniază importanța calității terenului de fundare asupra comportării în exploatare a complexelor rutiere. În acest sens este recomandabil ca încă din faza de proiectare să fie luate măsuri suplimentare pentru îmbunătățirea calității terenului de fundare, prin care se conferă o stabilitate suplimentară complexului rutier pe perioada de exploatare a acestuia.

Comportarea structurilor rutiere mixte în cazul celor două ipoteze considerate privind legătura dintre straturile rutiere este una deosebit de interesantă și mult diferită față de cea a structurilor rutiere suple. O primă observație constă în faptul că indiferent de ipotezele considerate, curbele de tasare se întretaie și prezintă puncte de inflexiune, ceea ce denotă o disproporționalitate a variației deformațiilor în raport cu variația variabilelor considerate (ipoteza legăturii interfețelor, factori de influență: sarcina solicitantă, calitatea terenului de fundare, caracteristicile de deformabilitate ale straturilor bituminoase).

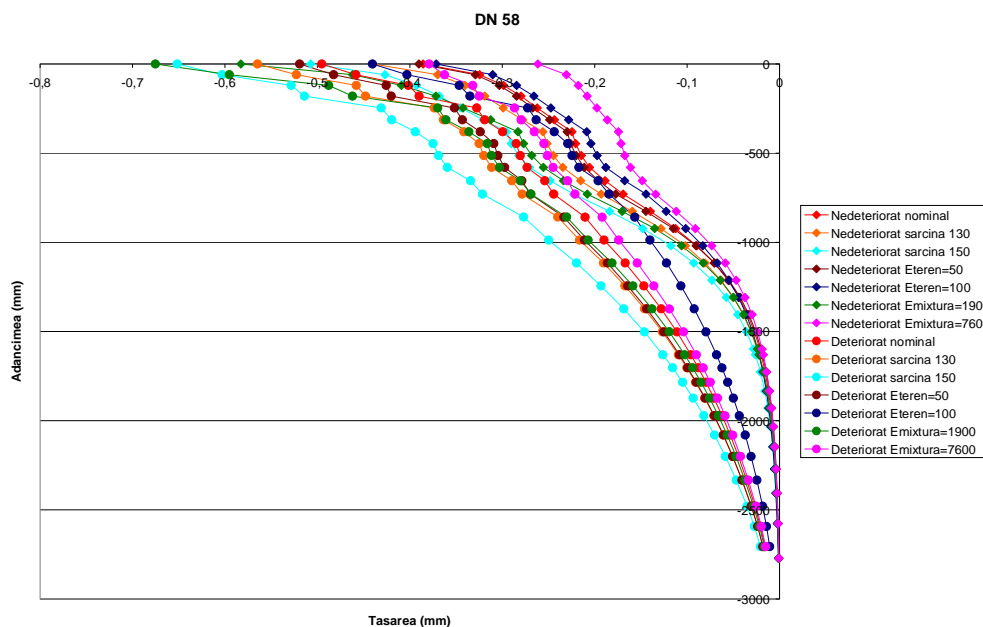


Fig. 5.54. Suprapunerea tuturor factorilor considerați (situație comparativă – structură rutieră mixtă)

Dacă se studiază ipoteza interfețelor libere comparativ cu cea a legăturii perfecte dintre straturi, se remarcă faptul că, în general, deplasările sunt mai mari cu cca 20 % la baza straturilor bituminoase variind sarcina pe osie, 10 % variind calitatea terenului de fundare, 40 % variind caracteristicile de deformabilitate ale mixturilor asfaltice și cu cca 40 % la nivelul patului drumului variind sarcina pe osie, 10 % variind calitatea terenului de fundare, respectiv 50 % variind caracteristicile de deformabilitate ale mixturilor asfaltice. De asemenea, se remarcă faptul că influența cea mai mare în ipoteza interfețelor libere este datorată caracteristicilor de deformabilitate ale straturilor bituminoase în sensul scăderii deformațiilor, iar în ipoteza legăturii perfecte dintre straturi este datorată calității terenului de fundare.

O altă particularitate a complexelor rutiere cu structuri mixte este reprezentată de nivelul până la care variația factorilor considerați influențează starea de deformație în terenul de fundare. Astfel, în ipoteza interfețelor libere influența factorilor se face resimțită până la adâncimi ce depășesc 2,50 m, în timp ce în ipoteza legăturii perfecte între straturile rutiere adâncimea să nu depășească 1,50 m.

Totodată, influența factorilor considerați este mult mai mare la nivelul patului drumului decât la baza straturilor bituminoase, în ipoteza straturilor nelegate.

Având în vedere că la dimensionarea structurilor rutiere mixte (noi sau ranforsarea celor existente), unul dintre criteriile de dimensionare constă în verificarea tensiunii de întindere,  $\sigma_z$ , la baza stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, pentru structura rutieră mixtă modelată, corespunzătoare sectorului experimental de pe DN 58 km 72+000...72+000, s-au obținut și date cu referire la tensiunea  $\sigma_z$  în ipotezele și pentru factorii considerați la determinarea stării de deformație pe verticală.



Astfel, valorile lui  $\sigma_z$  sunt prezentate în figurile 5.55. (ipoteza interfețelor legate) și 5.56. (ipoteza interfețelor libere).

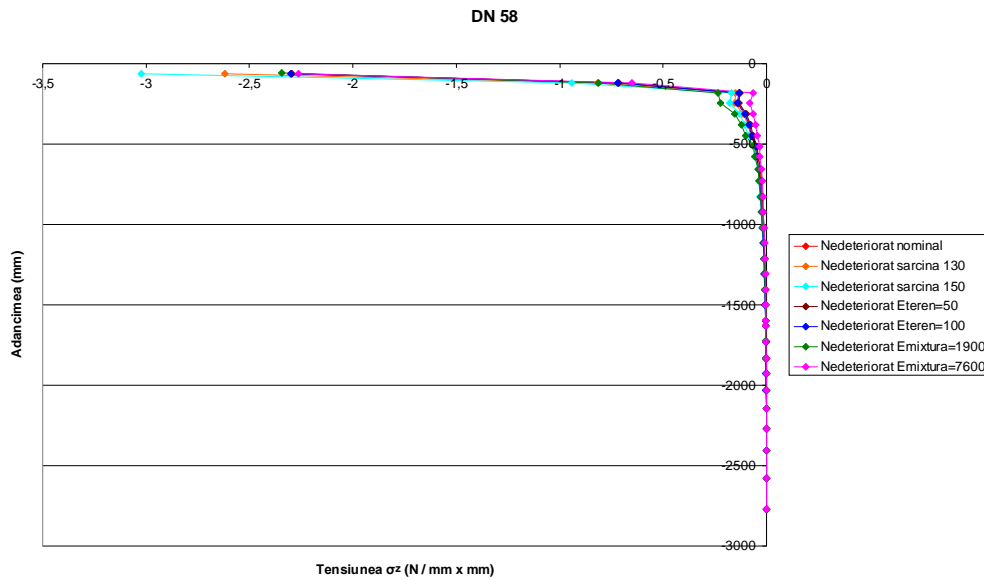


Fig. 5.55. Influența factorilor considerați în ipoteza straturilor rutiere legate

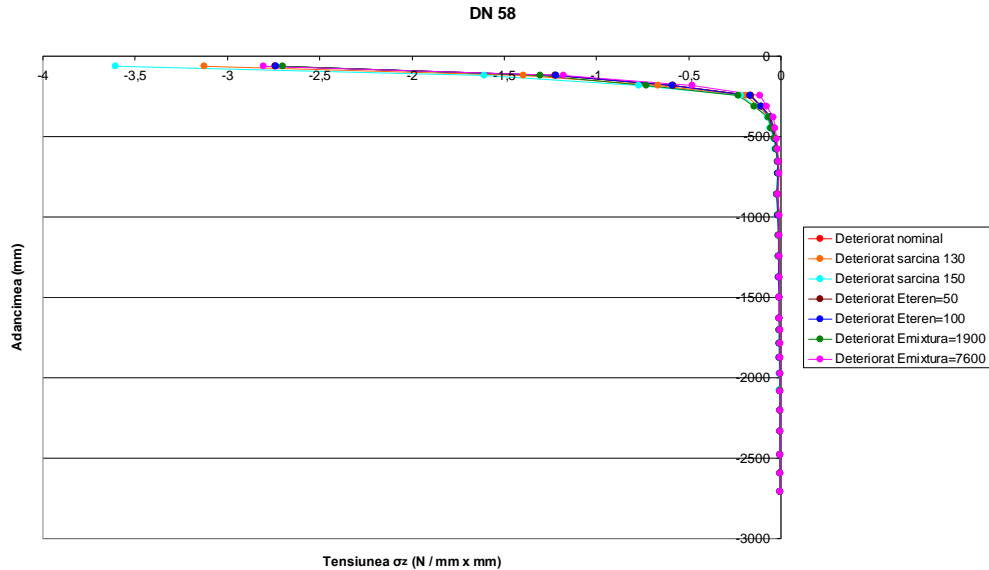


Fig. 5.56. Influența factorilor considerați în ipoteza interfețelor libere

Variația bruscă a tensiunii  $\sigma_z$  la baza straturilor bituminoase se explică prin faptul că aceasta este direct proporțională cu modulul de elasticitate și deformațiile specifice. Cum aceste deformații nu diferă foarte mult, indiferent de ipotezele luate în studiu și factorii considerați, este evident faptul că această diferență provine din

diferența foarte mare dintre modulii de elasticitate al straturilor bituminoase comparativ cu cel al celorlalte materiale din structura rutieră.

Valorile tensiunii  $\sigma_z$  în ipoteza interfețelor libere sunt mai mari cu cca 20 % decât în ipoteza legăturii perfecte dintre straturi la diferite nivele în straturile bituminoase, iar cea mai mare influență se datorează valorilor sarcinii pe osie. Începând cu celelalte straturi rutiere, de la nivelul inferior al straturilor bituminoase în adâncime, influența cea mai ridicată asupra valorilor tensiunii o au caracteristicile de deformabilitate ale mixturilor asfaltice, iar calitatea terenului de fundare prezintă o influență nesemnificativă.

Valorile care interesează în calculul straturilor rutiere mixte sunt cele de la nivelul straturilor rutiere din materiale stabilizate, iar aceste valori, conform rezultatelor obținute pe baza analizelor numerice efectuate, prezintă un ecart relativ mare (variații de cca 100 %) la variațiile caracteristicilor de deformabilitate a straturilor bituminoase și ceva mai redus la creșterea sarcinii pe osie.

De la nivelul inferior al patului drumului, adică în zona activă a terasamentelor, tensiunea nu este influențată de niciunul din factorii considerați în modelarea matematică a complexelor rutiere, și are valori aproape nule, indiferent de ipoteza legăturii dintre straturi.

Pe baza modelării matematice a structurilor rutiere s-a studiat și comportarea în exploatare a structurilor rutiere ranforsate, în funcție de rezultatele determinărilor experimentale prin cele trei metode românești de calcul de dimensionare a ranforsărilor complexelor rutiere (metoda analitică, metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometrul Benkelman și metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometre cu sarcină dinamică).

Deși grosimea minimă a straturilor de ranforsare este de minim 9,0 cm, în unele situații proiectanții adoptă, din rațiuni economice, soluția de execuție a unui strat de uzură, cu grosimea de 4,0 cm. În sprijinul acestei observații vin și măsurătorile de capacitate portantă realizate pe sectoarele experimentale, a căror rezultate, prezentate în capitolul 5.3, arată că pe baza acestora grosimea de ranforsare ale straturilor bituminoase rezultă mai mici de 9,0 cm. Chiar dacă grosimea rezultată în urma calculului de dimensionare pentru stratul de uzură, de 4,0 cm, este suficientă, realizarea acestei soluții de ranforsare, prin reducerea la mai mult de jumătate a grosimii impusă de prescripțiile tehnice, are drept consecință reducerea duratei de viață a structurii rutiere ranforsate la cca o treime [31].

Modelarea matematică s-a realizat pentru structura rutieră suplă corespunzătoare sectorului experimental de pe drumul național 59C, km 4+000...4+200, aceeași structură pentru care s-a studiat influența diversilor factori considerați. În acest sens s-a studiat comportarea structurii rutiere dacă aceasta se ranfursează astfel:

- un strat de uzură în grosime de 4,0 cm;
- un strat de uzură de 4,0 cm și un strat de legătură de 5,0 cm;
- un strat de uzură de 4,0 cm, un strat de legătură de 5,0 cm și un strat de bază în grosime de 9 cm.

Pentru structura rutieră mixtă nu s-a urmărit comportarea acesteia în urma unei ipotetice ranforsări, deoarece rezultatele obținute prin măsurătorile efectuate au arătat, că, teoretic, această structură rutieră nu necesită ranforsare.

Rezultatele obținute sunt prezentate în figurile 5.57. (ranforsare cu un singur strat bituminos), 5.58. (ranforsare cu două straturi bituminoase) și 5.59. (ranforsare cu trei straturi bituminoase).

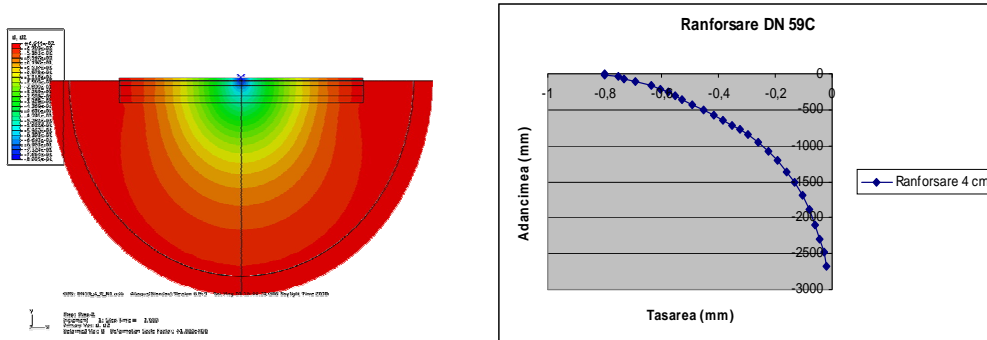


Fig. 5.57. Starea de deformații pentru ranforsare cu un singur strat bituminos (grosime 4 cm)

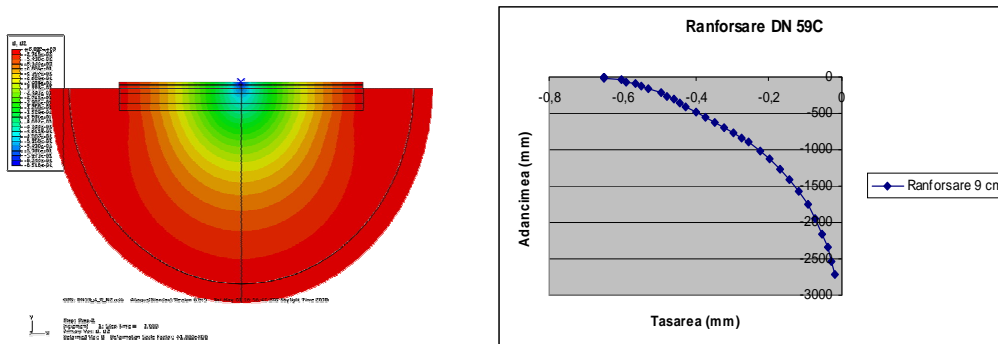


Fig. 5.58. Starea de deformații pentru ranforsare cu două straturi bituminoase (grosime 9 cm)

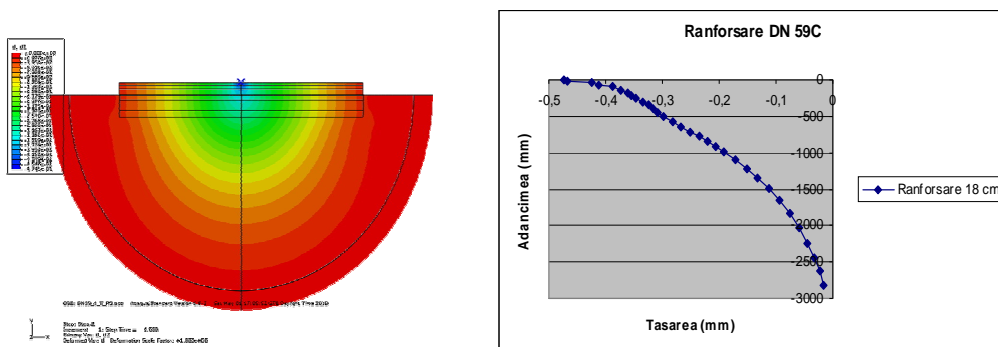


Fig. 5.59. Starea de deformații pentru ranforsare cu două straturi bituminoase (grosime 18 cm)

Figura 5.60. ilustrează faptul că prin creșterea grosimilor de ranforsare, deformațiile scad în structura rutieră, dar această scădere nu este una direct proporțională cu creșterea grosimii straturilor bituminoase de ranforsare.

Având în vedere și rezultatele obținute prin calculele de dimensionare efectuate pe sectoarele experimentale prezentate în teza de doctorat în subcapitolul următor 5.3, am putea asimila modelarea matematică cu acestea prin prisma faptului că în general prin calculele cu metoda analitică au rezultat cele mai mici grosimi de ranforsare, prin cele cu deflectometrul cu sarcină dinamică valori mijlocii,

iar cele mai mari valori pentru grosimile straturilor bituminoase de ranforsare au rezultat în urma măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină statică.

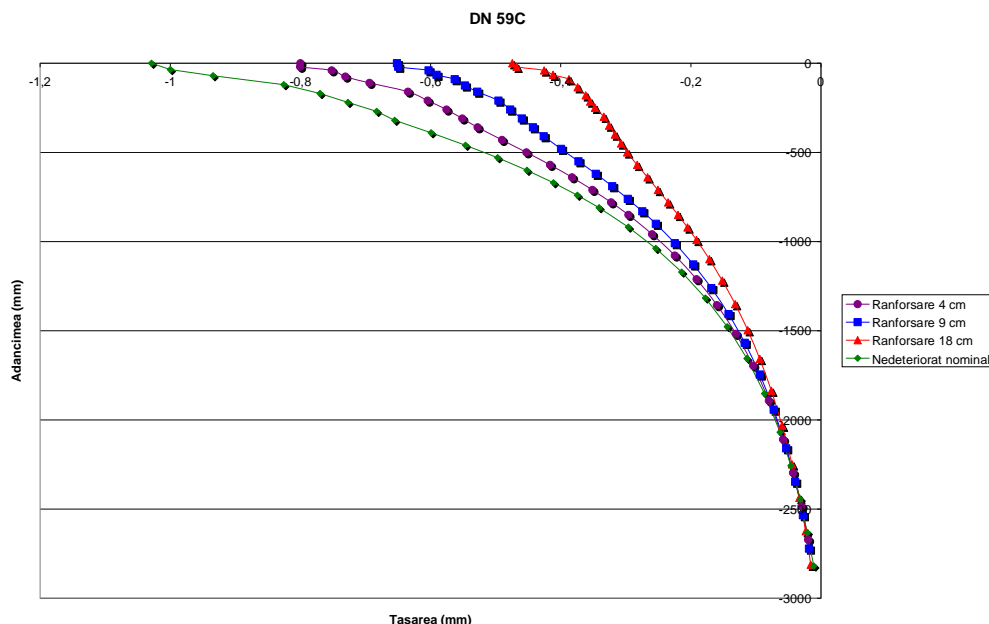


Fig. 5.60. Starea de deformație funcție de grosimea straturilor de ranforsare

Astfel se constată faptul că deși prin ranforsarea structurilor rutiere cu straturi bituminoase de diferite grosimi se înregistrează o scădere firească a deformațiilor în complexele rutiere ranforsate, aceasta nu este una direct proporțională cu creșterea grosimii straturilor de ranforsare, astfel că la baza straturilor bituminoase după ranforsare deformațiile se reduc cu cca 40 % în cazul ranforsării cu două straturi bituminoase (9 cm) și cu cca 80 % în cazul ranforsării cu trei straturi bituminoase (18 cm) față de ranforsarea cu un singur strat. La nivelul patului drumului, după ranforsare, deformațiile se reduc cu cca 60 % în cazul ranforsării cu două straturi bituminoase (9 cm) și cu cca 120 % în cazul ranforsării cu trei straturi bituminoase (18 cm). La baza straturilor bituminoase, o dublare a grosimii straturilor de ranforsare nu înjumătățește deformațiile, în schimb ce la nivelul terenului de fundare se pare că această proporționalitate este întâlnită.

Se apreciază faptul că o grosime de două ori mai mare a straturilor de ranforsare nu sporește de două ori capacitatea portantă a complexului rutier și nici nu prelungește proporțional durata de viață a structurii rutiere, dacă se optează pentru grosimi mari ale straturilor de ranforsare, astfel că soluția optimă de ranforsare ar putea fi constituită din ranforsarea cu două straturi bituminoase, chiar dacă în urma calculelor ar rezulta grosimi mai mari sau mai mici.

### 5.3 Încercări și cercetări experimentale

Inițial au fost stabilite trei sectoare de drum omogene pentru fiecare tip climateric (I, II, III) și tip de structură (suplă și mixtă) cu lungimea de 200 m, prezentate în tabelul 5.1, respectiv figurile 5.1, 5.2 și 5.3. Sectoarele experimentale

s-au identificat și marcat pe teren, marcându-se inclusiv punctele pentru măsurarea capacității portante. Măsurătorile de capacitate portantă au fost efectuate din 10 în 10 m pe sectoarele alese în aceeași perioadă (zi), primăvara (după dezgheț), utilizând deflectometrul cu sarcină statică tip Benkelman, respectiv deflectometrul cu sarcina dinamică PHONIX FWD MLY 10000.

Pe fiecare sector experimental ales, în lungime de 200 m, s-a realizat un sondaj deschis pentru stabilirea alcătuirii structurii rutiere și a tipului terenului de fundare. Pentru determinarea tipului de teren de fundare s-au efectuat încercări specifice de laborator. Soluțiile de ranforsare s-au stabilit pe baza măsurătorilor de capacitate portantă și a investigațiilor efectuate prin calcul de dimensionare prin diferite metode (metoda analitică, metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometrul Benkelman și metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometre cu sarcină dinamică).

Finalitatea cercetărilor efectuate a constat în compararea rezultatelor obținute prin diferitele metode de calcul a dimensionării straturilor de ranforsare și formularea câtorva concluzii referitoare la acestea.

### 5.3.1 Metodologia de efectuare a încercărilor și cercetărilor experimentale

Pe sectoarele experimentale s-au efectuat sondaje deschise pentru determinarea alcătuirii structurilor rutiere și pentru determinarea caracteristicilor terenului de fundare. Pe fiecare sector experimental s-a realizat câte un sondaj deschis, în general la jumătatea sectorului. Alcătuirea structurilor rutiere este prezentată în tabelele 5.2 și 5.3, iar caracteristicile terenului de fundare sunt prezentate în tabelul 5.4. Analiza granulometrică a pământurilor din terenul de fundare s-a efectuat prin metoda sedimentării, care se bazează pe aplicarea legii lui G.G. Stoke, care exprimă viteza cu care se produce sedimentarea într-un lichid a unor corpuri solide, în funcție de mărimea acestora.

Metoda presupune realizarea unei suspensii într-un cilindru gradat, cu volumul de 1000 cm<sup>3</sup>, formată din materialul cercetat (pământ), apă, 0,5 g carbonat de litium sau 1,0 g piro-sulfat de sodiu și silicat de sodiu. Citirile se fac pe un aerometru care se introduce cu 30 secunde înainte de efectuarea citirilor și se scoate imediat după efectuarea acestora. Citirile se fac la partea superioară a meniscului format, la intervalele de timp de la începerea sedimentării: 1 min., 2 min., 5 min., 15 min., 30 min., 60 min. și în continuare din oră în oră până la sedimentarea completă a suspensiei. Granulozitatea constituie un criteriu de bază pentru clasificarea pământurilor care se poate face cu ajutorul diagramei ternare, sau cu ajutorul STAS-ului 1243-88.

Limita superioară de plasticitate,  $W_L$ , s-a determinat prin metoda cu cupa Cassagrande. Principiul metodei constă în determinarea umidității la care o tăietură făcută în pământul adus în stare pastă omogenă, în cupa aparatului Cassagrande, se închide pe 12 mm lungime, după 25 căderi ale cupei de la o înălțime de 10 mm.

Determinarea limitei inferioare de plasticitate,  $W_p$ , s-a realizat prin metoda cilindrilor de pământ. Astfel, s-a determinat umiditatea minimă la care un pământ poate fi modelat sub formă de cilindri de 3...4 mm diametru, prin rulare cu palma pe o suprafață plană.

Umiditatea naturală a pământurilor din terenul de fundare s-a determinat prin calculul pierderii masei de apă a unei probe de pământ prin uscare la temperatura de  $105 \pm 2$  °C. Astfel, umiditatea naturală a terenului de fundare se poate calcula utilizând relația 5.3.

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \times 100 [\%] \quad (5.3)$$

în care:

$m_1$  este masa materialului umed + masa recipientului, în g;

$m_2$  - masa materialului uscat + masa recipientului, în g;

$m_3$  - masa recipientului, în g.

Indicele de plasticitate,  $I_p$ , s-a calculat cu relația 5.4.

$$I_p = w_L - w_p [\%] \quad (5.4)$$

în care:

$w_L$  este limita superioară de plasticitate, în %;

$w_p$  - limita inferioară de plasticitate, în %.

Indicele de consistență,  $I_c$ , s-a determinat cu ajutorul relației 5.5.

$$I_c = \frac{w_L - w}{w_L - w_p} = \frac{w_L - w}{I_p} [-] \quad (5.5)$$

în care:

$w$  este umiditatea naturală a pământului, în %;

$w_L$  și  $w_p$  - semnificațiile din relația 5.2.

Pe lângă determinările efectuate pentru caracterizarea terenului de fundare, s-au efectuat măsurători de capacitate portantă în vederea stabilirii grosimilor straturilor bituminoase de ranforsare pe sectoarele experimentale cu deflectometrul cu sarcină statică cu pârghia Benkelman și cu deflectometrul cu sarcina dinamică PHONIX FWD MLY 10000. Măsurătorile de capacitate portantă s-au efectuat, cu ambele deflectometre, în puncte situate la distanța de 10 m unul față de celălalt, în același interval de timp (aceeași zi).

Dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare cu ajutorul metodei analitice s-a efectuat conform Normativului pentru dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare a sistemelor rutiere suple și mixte (metoda analitică), indicativ AND 550-1999, pe baza sondajelor deschise efectuate și a caracteristicilor terenului de fundare.

În cazul structurilor rutiere suple s-au calculat următoarele elemente:

- deformația specifică orizontală de întindere la baza straturilor bituminoase ( $\epsilon_r$ ), în microdeformații;
- deformația specifică verticală de compresiune, la nivelul patului drumului ( $\epsilon_z$ ), în microdeformații.

În cazul structurilor rutiere mixte (semirigide) s-au calculat următoarele elemente:

- deformația specifică orizontală de întindere la baza straturilor bituminoase ( $\epsilon_r$ ), în microdeformații;
- tensiunea orizontală de întindere ( $\sigma_r$ ), la baza stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, în MPa;
- deformația specifică verticală de compresiune, la nivelul patului drumului ( $\epsilon_z$ ), în microdeformații.

Dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare pe baza măsurătorilor de deflexiuni sub sarcină statică cu ajutorul deflectometrului cu pârghie Benkelman s-a realizat conform cu Instrucțiunile tehnice departamentale pentru determinarea prin deflectografie și deflectometrie a capacității portante a drumurilor cu structuri rutiere suple, indicativ CD 31-2002. Se precizează faptul că măsurătorile s-au realizat de doctorand împreună cu un colectiv din cadrul departamentului C.C.T.F.C. al Facultății de Construcții din Timișoara.

Măsurătorile de capacitate portantă s-au efectuat pe sectoarele experimentale prin citiri ale deflexiunilor pe ambele benzi de circulație din 10,00 în 10,00 m, rezultând astfel un număr de 21 citiri pe fiecare sector de 200,00 m. Vehiculul de măsurare a fost încărcat cu material granular astfel încât sarcina pe osie din spate a măsurat 99,0 kN, 92,8 kN, respectiv 86,0 kN, funcție de proveniența acestuia și sectoarele experimentale măsurate, presiunea din pneuri fiind de cca 6,7 atm pentru toate vehiculele de măsurare folosite.

Citirile s-au înregistrat în formularele privind înregistrarea pe teren a măsurătorilor cu deflectometrul cu pârghie tip Benkelman, anexele 1a (partea dreaptă), respectiv 1b (partea stângă). Raportul de pârghie folosit pentru măsurători a fost de 1:1.

Dimensionarea straturilor de ranforsare pe baza măsurărilor efectuate cu deflectometrul PHONIX FWD MLY 10000 s-a realizat, conform Instrucțiunilor tehnice provizorii privind determinarea capacității portante a drumurilor cu deflectometrul Phonix MLY 10 000, indicativ AND 564-2001, de către o echipă specializată a CESTRIN București, careia i s-au furnizat toate rezultatele investigațiilor referitoare la natura terenului de fundare și alcătuirea structurilor rutiere corespunzătoare sectoarelor experimentale. Datele de intrare în programul automat de calcul, FWD COLLECT, au corespuns unei sarcini simulate de 115 kN pe osie, a cărei rază a suprafeței de contact între pneu și îmbrăcămintă este de 150 mm. Modulii de elasticitate dinamici corespunzători straturilor bituminoase de ranforsare au fost considerați ca având valoarea de 3600 MPa în cazul în care grosimea straturilor de ranforsare nu depășește 10 cm, respectiv 3000 MPa în cazul în care grosimea straturilor bituminoase de ranforsare este mai mare de 10 cm. Datele de trafic utilizate în metodele de dimensionare a straturilor bituminoase de ranforsare au fost furnizate de D.R.D.P. Timișoara, pentru fiecare din sectoarele experimentale, și sunt prezentate în tabelul 5.8. Traficul din tabelul 5.8 se referă la traficul calculat pentru o perioadă de perspectivă de 10 ani, pe baza datelor cu privire la recensământul circulației și a coeficienților de evoluție ai traficului rutier.

Tabelul 5.8

Traficul de calcul pentru o perioadă de perspectivă de 10 ani

Nr. crt.	Drum național	Sectoare experimentale	Media zilnică anuală MZA [veh. fizice]	Media zilnică anuală MZA [m.o.s.]	Clasa de trafic
1	59C	km 3+000...3+200	799	0,09	T4 – ușor
		km 4+000...4+200			
		km 5+000...5+200			
2	79A	km 40+800...41+000	1126	0,19	T3 – mediu
		km 42+100...42+300			
		km 43+800...44+000			
3	58A	km 3+000...3+200	1472	0,18	T3 – mediu
		km 6+000...6+200			
		km 7+000...7+200			
4	7B	km 5+600...5+800	1358	0,16	T3 – mediu
		km 6+000...6+200			
		km 6+400...6+600			
5	79A	km 77+100...77+300	1225	0,12	T3 – mediu
		km 78+000...78+200			
		km 79+000...79+200			
6	58	km 72+000...72+200	1731	0,38	T2 – greu
		km 72+400...72+600			
		km 72+800...73+000			

### 5.3.2 Prelucrarea și interpretarea rezultatelor obținute

Tipul și natura terenului de fundare s-au stabilit pe baza încercărilor de laborator efectuate pe fiecare sector experimental. Rezultatele încercărilor de laborator și prelucrarea acestora în ceea ce privește caracteristicile terenului de fundare sunt prezentate sintetic în tabelul 5.9.

Tabelul 5.9

Caracteristicile terenului de fundare

Drum național	Sector, [poz. km.]	Cotă prelevare probă [m]	Lim. super. de plastic $W_L$ [%]	Lim. infer. de plastic $W_P$ [%]	Umiditatea naturală $w$ [%]	Indice de plastic. $I_P$ [%]	Indice de consist. $I_C$ [-]	Tipul pământului
DN 59C	3+000 ... 3+200	-0,90	26,7	18,7	16,3	8,0	1,29	Nisip prăfos
	4+000 ... 4+200	-0,90	28,2	22,8	20,6	5,4	1,41	Nisip prăfos
	5+000 ... 5+200	-0,70	24,8	16,9	13,0	7,9	1,49	Nisip prăfos
DN 79A	40+800 ... 41+000	-1,00	46,5	30,9	27,6	15,6	1,21	Nisip argilos
	42+100 ... 42+300	-1,00	24,7	16,7	13,5	8,0	1,40	Nisip prăfos
	43+800 ... 44+000	-0,70	40,0	25,3	22,3	14,7	1,20	Nisip argilos
DN 58A	3+000 ... 3+200	-0,90	51,3	27,3	24,5	24,0	1,11	Argilă nisipoasă
	6+000 ... 6+200	-0,70	44,4	25,6	23,6	18,8	1,10	Nisip argilos
	7+000 ... 7+200	-0,70	46,5	28,7	26,1	17,8	1,14	Nisip argilos
DN 7B	5+600 ... 5+800	-1,20	32,9	16,3	14,9	16,6	1,09	Praf nisipos argilos
	6+000... 6+200	-1,00	30,3	21,7	17,0	8,6	1,54	Nisip prăfos
	6+400 ... 6+600	-0,90	28,5	24,2	21,5	4,3	1,65	Nisip prăfos
DN 79A	77+100 ... 77+300	-0,90	38,5	22,8	19,1	15,7	1,23	Nisip argilos
	78+000 ... 78+200	-0,80	35,9	28,4	26,4	7,5	1,26	Nisip prăfos
	79+000 ... 79+200	-0,80	31,7	23,6	19,7	8,1	1,47	Nisip prăfos
DN 58	72+000 ... 72+200	-1,00	33,6	25,6	23,0	8,0	1,33	Nisip prăfos
	72+400 ... 72+600	-0,70	30,1	24,0	22,5	6,1	1,24	Nisip prăfos
	72+800 ... 73+000	-1,00	31,1	24,4	22,8	6,7	1,24	Nisip prăfos

Caracteristicile de deformabilitate ale straturilor, modulul de elasticitate dinamic ( $E$ ), respectiv coeficientul lui Poisson ( $\mu$ ), s-au determinat pe baza prescripțiilor normativului AND 550-1999 și a condițiilor amintite mai sus. Acestea au fost utilizate la determinarea stării de tensiuni și deformații în structurile rutiere



experimentale cu ajutorul programului CALDEROM 2000, solicitându-se astfel deformațiile și tensiunile la nivelurile caracteristice criteriilor de dimensionare (figura 5.61.).

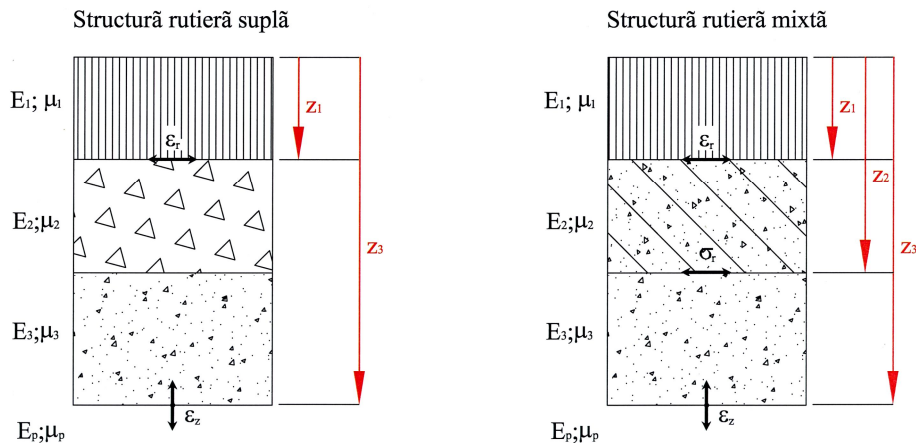


Fig. 5.61. Adâncimile de calcul a stării de tensiuni și deformații în structurile rutiere

În calculul de dimensionare analitică a grosimii straturilor rutiere bituminoase de ranforsare s-au utilizat datele de trafic din tabelul 5.4, care corespund unui trafic de perspectivă de 10 ani exprimat în milioane osii standard de 115 kN, iar pentru evaluarea caracteristicilor straturilor rutiere existente, mai exact a mixturilor asfaltice, s-a considerat că parametrul de degradare a îmbrăcămintei bituminoase, stabilit conform CD 155-2001 (Instrucțiuni tehnice privind starea tehnică a drumurilor moderne), este cuprins între 0,10...0,30, iar indicele global de degradare stabilit conform AND 540-1998 (Normativ pentru evaluarea stării de degradare a îmbrăcăminții rutiere pentru structuri suple și semirigide), este cuprins între 65...85.

Cu ajutorul datelor furnizate de programul automat de calcul s-au verificat criteriile de dimensionare:

- criteriul deformației specifice de întindere admisibile la baza straturilor bituminoase:

$$RDO \leq RDO_{adm} \quad (5.6)$$

$RDO_{adm} = 0,80$  (autostrăzi și drumuri expres) ...  $1,00$  (drumuri județene, comunale și vicinale)

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

$$RDO = \frac{N_c}{N_{adm}} [-] \quad (5.7)$$

în care:

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

$N_{adm}$  - numărul admisibil de solicitări, în milioane osii standard, care poate fi preluat de straturile bituminoase, corespunzător stării de deformație la baza acestora. Se calculează, funcție de importanța drumului proiectat, cu una din relațiile 4.31, 4.32 (capitolul 4).

- criteriul deformației specifice verticale admisibile la nivelul terenului de fundare:

$$\varepsilon_z \leq \varepsilon_{zadm} \quad (5.8)$$

în care:

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

$\varepsilon_{zadm}$  - deformația specifică verticală admisibilă la nivelul terenului de fundare, în microdeformații, calculată cu una din următoarele relații: 4.35 și 4.36 (capitolul 4), funcție de importanța drumului proiectat.

- criteriul tensiunii de întindere admisibile la baza stratului (straturilor) din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianți puzzolanici (se aplică numai la structurile rutiere mixte):

$$\sigma_r \leq \sigma_{radm} \quad (5.9)$$

în care:

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

$\sigma_{radm}$  - tensiunea de întindere admisibilă, în MPa, calculată cu relația 4.38 (capitolul 4).

În cazul în care criteriile de dimensionare au fost satisfăcute s-a considerat că structura rutieră supusă analizei corespunde din punct de vedere al cerințelor de capacitate portantă, și în concluzie, nu este necesară ranforsarea acestora. În cazul nesatisfacerii criteriilor de dimensionare, conform metodei analitice s-a propus varianta de alcătuire a straturilor bituminoase de ranforsare din 4 cm strat de uzură și 4 cm strat de legătură, după care s-a reluat calculul de dimensionare, prilej cu care s-a constatat faptul că în urma ranforsării structura rutieră satisface cerințele de capacitate portantă.

Așa cum se poate constata și din figura 5.62., în majoritatea situațiilor supuse cercetărilor, conform metodei analitice de dimensionare a grosimii straturilor rutiere de ranforsare pentru structuri rutiere suple și mixte, criteriile de dimensionare au fost verificate, astfel că aceste structuri rutiere corespund din punct de vedere a capacității portante și nu necesită o ranforsare pe perioada de perspectivă aleasă în calcul (10 ani).

Prelucrarea datelor obținute în urma măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină statică tip Benkelman (deflexiunile măsurate în momentul în care axa roților duble se găsește la 2,40 m ( $C_{2,40}$ ) și apoi la 5,0 m ( $C_{5,0}$ ), anexele 1a și 1b) s-a făcut cu ajutorul formularelor privind prelucrarea rezultatelor măsurătorilor cu deflectometrul cu pârghie tip Benkelman, anexele nr. 2a (partea dreaptă), respectiv 2b (partea stângă).

Astfel s-au determinat valorile deflexiunilor medii,  $d_{BM}$ , cu relația 4.46 (capitolul 4) pe baza datelor prelucrate în anexele 2a, respectiv 2b. Cu ajutorul acestora s-au determinat abaterile medii pătratice a șirului de valori,  $S_B$ , cu relația 4.47 (capitolul 4), iar coeficienții de variație,  $C_v$ , s-au determinat cu relația 4.48 (capitolul 4).

Valorile deflexiunilor medii normale, care sunt cele corespunzătoare temperaturii mixturii asfaltice de 20 °C necesară pentru drumuri cu îmbrăcămînți bituminoase, s-au calculat cu relația 4.59 (capitolul 4), ținându-se cont de temperatura mixturii asfaltice determinată în timpul măsurătorilor de capacitate portantă.

Valorile deflexiunilor caracteristice s-au determinat cu relația următoare:

$$d_{CB} = d_{BM20} + t_a \times S_{B20} [1/100 \text{ mm}] \quad (5.10)$$

în care:

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

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

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

$t_d$  – coeficient care depinde de probabilitatea apariției unor valori de deflexiuni mai mari decât deflexiunea caracteristică, de numărul de valori ale deflexiunii ( $n$ ) și de clasa tehnică a drumului, conform tabelului 4.14 (capitolul 4).

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

$$d_{CL} = 0,75 \times d_{CB} \text{ [1/100 mm]} \quad (5.11)$$

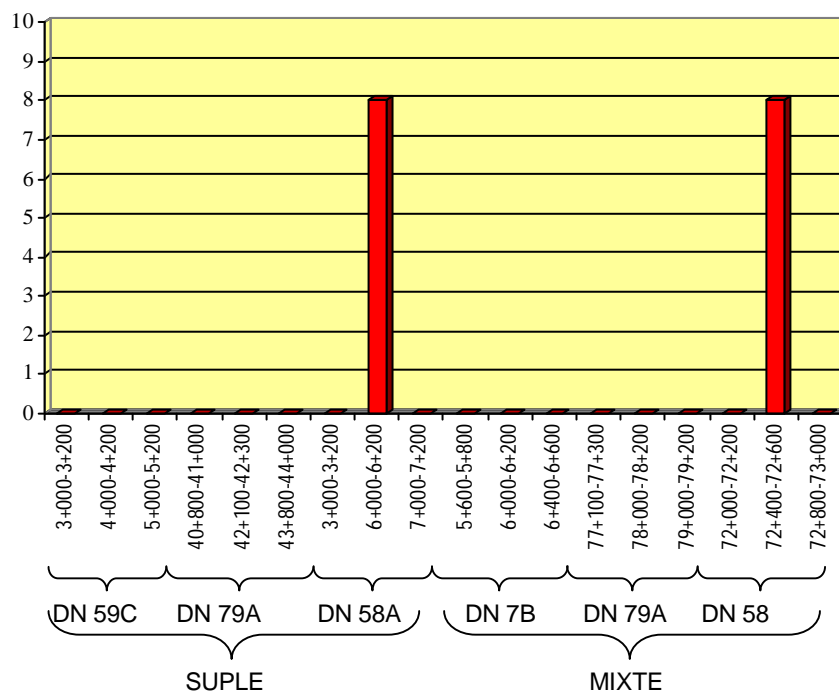


Fig. 5.62. Grosimile de ranforsare, [cm], rezultate în urma metodei analitice de dimensionare

Grosimea straturilor bituminoase de ranforsare s-a stabilit pentru fiecare bandă de circulație pe sectoarele experimentale astfel:

$$h = k \times \log \frac{d_c}{d_{adm}} \text{ [cm]} \quad (5.12)$$

în care:

$h$  este grosimea straturilor bituminoase de ranforsare, în cm;

$d_c$  - deflexiunea caracteristică, în 1/100 mm, stabilită cu relația 5.11;

$d_{adm}$  - deflexiunea admisibilă, în 1/100 mm, stabilită funcție de volumul de trafic conform tabelului 4.15 (capitolul 4);

k - coeficient a cărei valoare se stabilește în funcție de clasa de trafic a drumului, în cm, conform tabelului 4.15 (capitolul 4).

Valorile corespunzătoare grosimii necesare de ranforsare cu straturi bituminoase, determinate pe baza măsurătorilor de capacitate portantă cu deflectometrul cu sarcină statică cu pârgă tip Benkelman, pentru structurile analizate sunt prezentate sintetic în figura 5.63.

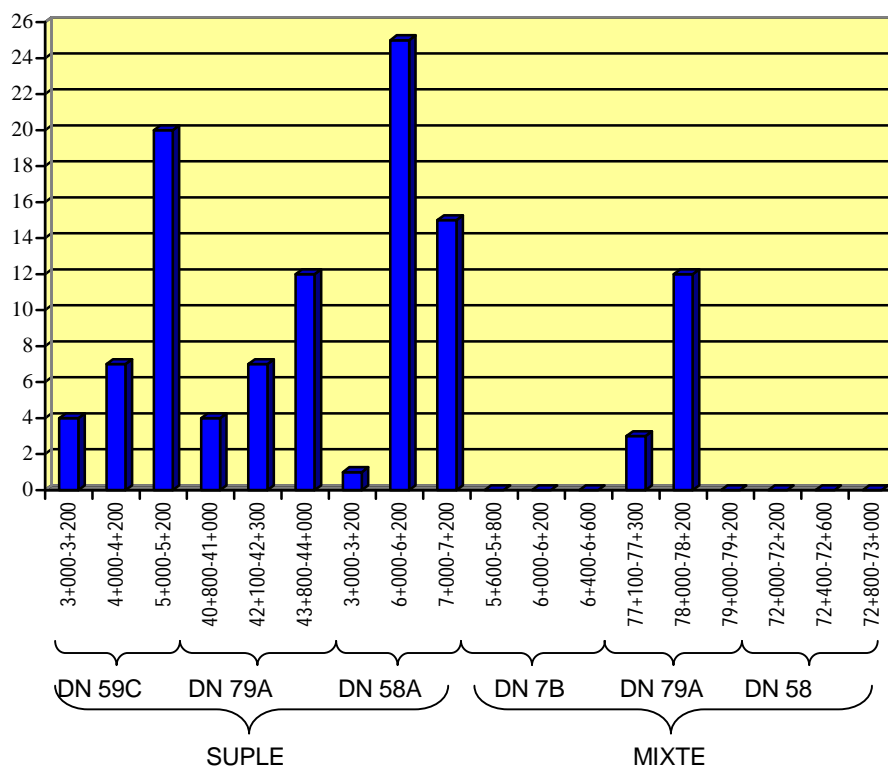


Fig. 5.63. Grosimile de ranforsare, [cm], rezultate în urma măsurătorilor cu deflectometrul Benkelman

Măsurătorile cu deflectometrul tip Benkelman au dat rezultate numai pentru structurile rutiere suple, în timp ce pentru structurile rutiere mixte, conform prelucrării datelor, nu este necesară ranforsarea în niciuna dintre situațiile analizate.

Pe baza datelor de intrare în programul FWD COLLECT cu ajutorul căruia se prelucrează măsurările efectuate cu deflectometrul cu sarcina dinamică PHONIX FWD MLY 10000, s-au obținut informații cu privire la modulii de elasticitate dinamici a straturilor din alcătuirea structurilor rutiere, durata de viață reziduală, respectiv grosimile de ranforsare rezultate pe sectoarele măsurate.

În ceea ce privește grosimile de ranforsare, fiecare sector experimental măsurat, a fost împărțit, automat de programul de calcul, în sectoare cu lungimi variabile, mai mici de 200,00 m, iar soluțiile de ranforsare au fost prezentate pe aceste sectoare. Practic, toate elementele calculate, modulii de elasticitate dinamici a straturilor din alcătuirea structurilor rutiere, durata de viață reziduală, grosimile de ranforsare, au fost determinate în fiecare punct de măsurare. Astfel, chiar dacă pe un sector de 200,00 m au rezultat mai multe grosimi necesare de ranforsare, pe

sectoare mai scurte, s-a optat pentru ranforsarea întregului sector experimental (200,00 m) cu grosimea maximă rezultată pe așa zisele subsectoare mai scurte.

Valorile corespunzătoare grosimii necesare de ranforsare cu straturi bituminoase, determinate pe baza măsurătorilor de capacitate portantă cu deflectometrul cu sarcină dinamică PHONIX FWD MLY 10000, pentru structurile analizate sunt prezentate sintetic în figura 5.64.

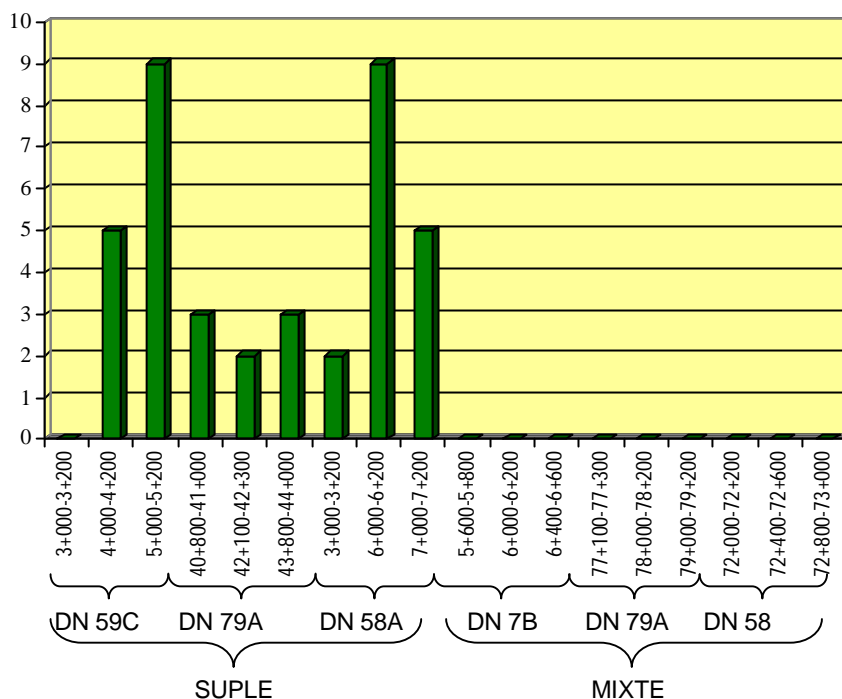


Fig. 5.64. Grosimile de ranforsare, [cm], rezultate în urma măsurătorilor cu deflectometrul PHONIX FWD MLY 10000

La fel ca în cazul măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină statică tip Benkelman, și în cazul măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină dinamică tip PHONIX FWD MLY 10000, rezultate privind grosimile de ranforsare s-au obținut numai pentru structurile rutiere suple.

Rezultatele obținute în urma prelucrării tuturor datelor sus menționate, privind dimensionarea ranforsărilor complexelor rutiere prin metoda analitică, metoda cu deflectometrul Benkelman și metoda cu deflectometrul cu sarcină dinamică PHONIX FWD MLY 10000 sunt prezentate centralizat în tabelul 5.10.

Rezultatele cercetărilor sunt prezentate și grafic în figurile 5.65., 5.66., pentru a putea fi mai ușor comparate și interpretate. Astfel, în figura 5.65. sunt prezentate, în centimetri, grosimile de ranforsare a straturilor bituminoase obținute prin cele trei metode analizate pe sectoarele experimentale cu structuri rutiere suple corespunzătoare celor trei tipuri climaterice, I, II și III, caracteristice teritoriului României. În figura 5.66. sunt prezentate aceleași elemente pentru structurile rutiere mixte [16].

Tabelul 5.10

Grosimile straturilor bituminoase de ranforsare obținute prin cele trei metode aplicate

Nr. crt.	Drum național	Sectoare experimentale	Structură rutieră /Tip climaterică	Grosimi necesare pentru ranforsare [cm]		
				Metoda analitică	Deflectometrul Benkelman	Deflectometrul cu sarcina dinamică
1	59C	km 3+000...3+200	Suplă / I	0	4	0
		km 4+000...4+200		0	7	5
		km 5+000...5+200		0	20	9
2	79A	km 40+800...41+000	Suplă / II	0	4	3
		km 42+100...42+300		0	7	2
		km 43+800...44+000		0	12	3
3	58A	km 3+000...3+200	Suplă / III	0	1	2
		km 6+000...6+200		8	25	9
		km 7+000...7+200		0	15	5
4	7B	km 5+600...5+800	Mixtă / I	0	0	0
		km 6+000...6+200		0	0	0
		km 6+400...6+600		0	0	0
5	79A	km 77+100...77+300	Mixtă / II	0	3	0
		km 78+000...78+200		0	12	0
		km 79+000...79+200		0	0	0
6	58	km 72+000...72+200	Mixtă / III	0	0	0
		km 72+400...72+600		8	0	0
		km 72+800...73+000		0	0	0

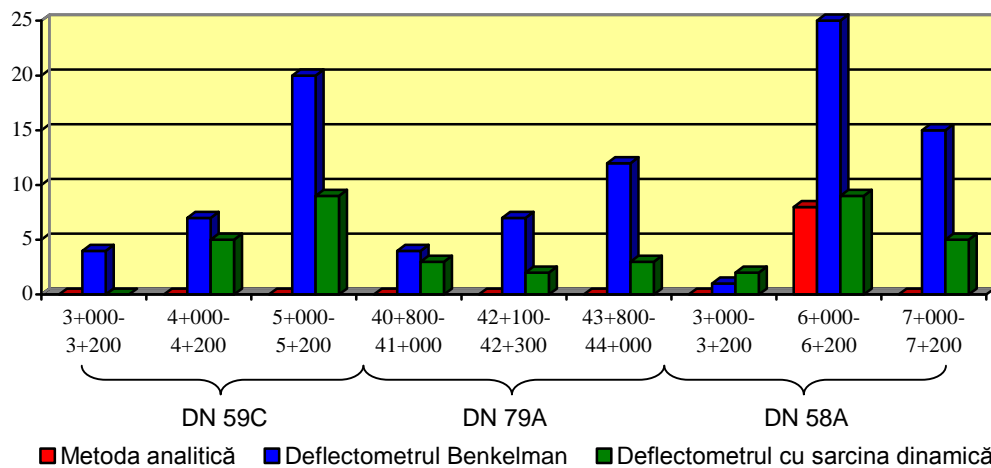


Fig. 5.65. Grosimile de ranforsare în centimetri, corespunzătoare celor trei metode de calcul, pentru structuri rutiere suplă

Analizând rezultatele obținute prin cele trei metode de dimensionare se poate observa faptul că metoda analitică în majoritatea covârșitoare a cazurilor

indică faptul că structura rutieră nu necesită ranforsare, valorile obținute prin prelucrarea măsurărilor efectuate cu deflectometrul cu sarcină statică tip Benkelman par supradimensionate, în timp ce valori aparent apropiate de așteptări au fost obținute prin prelucrarea măsurărilor efectuate cu deflectometrul cu sarcină dinamică PHONIX FWD MLY 10000.

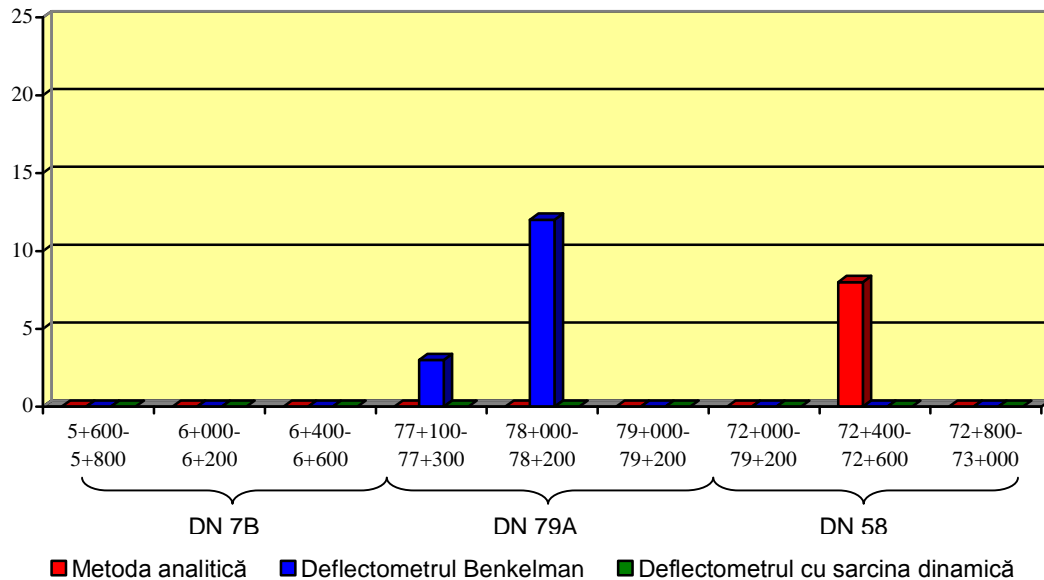


Fig. 5.66. Grosimile de ranforsare în centimetri, corespunzătoare celor trei metode de calcul, pentru structuri rutiere mixte

Având în vedere faptul că cele două valori, privind grosimea straturilor bituminoase de ranforsare, corespunzătoare măsurărilor efectuate cu deflectometrul Benkelman, corespund de fapt unor structuri rutiere suple, se poate spune că în cazul structurilor rutiere mixte (semirigide), rezultatele obținute prin măsurători de deflectometrie indică faptul că structurile rutiere nu și-au pierdut capacitatea portantă și deci nu necesită ranforsare.

## 5.4 Concluzii

Modelarea matematică, utilizând Metoda Elementului Finit (M.E.F.), programul ABAQUS, a două dintre structurile rutiere investigate, sector experimental pe DN 59C km 4+000...4+200 corespunzător unei structuri rutiere suple și sector experimental pe DN 58 km 72+000...72+200 corespunzător unei structuri rutiere mixte, prin adoptarea ipotezelor de legătură perfectă între straturile rutiere sau a interfețelor libere și prin variații ale unor parametrii ce influențează comportarea în exploatare a complexelor rutiere, a permis formularea câtorva concluzii referitoare la influența unor factori considerați asupra stării tehnice a drumurilor. Parametrii considerați în modelarea celor două structuri rutiere au constatat din sarcina pe osie, calitatea terenului de fundare și caracteristicile de deformabilitate ale straturilor bituminoase. În acest scop s-a urmărit starea de deformație în complexele rutiere suple și mixte sub acțiunea statică a sarcinii din

trafic și starea de tensiuni verticale la complexele rutiere mixte în aceleași condiții de modelare matematică. Pentru fiecare situație propusă s-au obținut rezultate cu privire la starea de tensiuni și deformații în structura rutieră și terenul de fundare, pornind de la caracteristicile determinate prin încercările efectuate pe cele două sectoare experimentale (sondaje, analize de laborator) în condiții normale de exploatare (solicitarea osiei standard cu sarcina de 115 kN, temperatura de referință de 20 °C, condiții de umiditate naturală), și apoi, variind pe rând parametrii considerați în cele două ipoteze referitoare la legăturile dintre straturile rutiere.

Pornind de la cercetările efectuate în Franța, cu privire la ipotezele legăturilor dintre interfețe, pe baza modelului elastic ALIZE, care au arătat faptul că în funcție de conlucrarea dintre straturile rutiere, durata de viață a unei structuri rutiere poate varia în limite foarte mari, de la 6 luni până la 15 ani [91], rezultatele obținute prin MEF (ABAQUS) au confirmat faptul că starea de tensiuni și deformații în complexele rutiere este influențată de ipoteza conlucrării dintre straturi și terenul de fundare. În acest sens, se observă faptul că deformațiile relative în structura rutieră suplă sunt de cca două ori mai mari în cazul ipotezei interfețelor libere față de ipoteza straturilor perfect legate, iar, în adâncime, în jurul valorii de 2,00...2,50 m deplasările sunt sensibil egale în ambele ipoteze considerate.

În cazul structurii rutiere mixte efectele ipotezelor referitoare la conlucrarea dintre straturi se fac resimțite până la adâncimi mai mari în terenul de fundare și sunt mai importante în zona activă a terasamentului, iar raportul dintre valorile deplasărilor este unul mai redus decât în cazul structurilor rutiere suple, astfel că la baza straturilor bituminoase deformațiile sunt mai mari cu cca 40 %, iar la nivelul patului drumului cu cca 50 % în ipoteza interfețelor libere față de cea a interfețelor legate. Diferențe foarte mari între aceste deplasări, (valori de până la trei ori mai mari), se întâlnesc în zona activă a terasamentelor, pe adâncimea terenului de fundare, cu ecart maxim în jurul adâncimii de 1,50...2,00 m. Calitatea terenului de fundare influențează deformațiile pe verticală ale complexului rutier pentru structurile suple în proporție mai mică la nivelul inferior al straturilor bituminoase și o proporție mai mare la nivelul patului drumului. De la o adâncime de cca 2,00 m în terenul de fundare influența calității acestuia nu se mai face resimțită.

În ceea ce privește influența calității terenului de fundare asupra comportării în exploatare a structurilor rutiere mixte (semirigide), remarcăm faptul că aceasta, în ipoteza legăturii perfecte între straturile rutiere, nu pare a avea o influență semnificativă, în timp ce în ipoteza interfețelor libere se remarcă faptul că terenul de fundare influențează în proporție mai mare deformațiile la nivelul patului drumului decât la nivelul inferior al straturilor bituminoase, la fel ca în cazul structurilor rutiere suple. Influența calității terenului de fundare se face resimțită în adâncime în ipoteza straturilor fără legătură și este ca și inexistentă în ipoteza interfețelor legate începând cu adâncimi de peste 1,00 m.

Influența calității terenului de fundare se face resimțită pe adâncimi mai mari ale zonei active a terasamentelor în cazul structurilor rutiere mixte față de cel al structurilor rutiere suple. O calitate mai bună a terenului de fundare face ca deformațiile verticale ale complexului rutier să se reducă mai semnificativ la nivelul patului drumului și în corpul terasamentelor față de cele din structura rutieră.

Variațiile caracteristicilor de deformabilitate ale mixturilor asfaltice din structurile rutiere suple aduc modificări ale comportării complexelor rutiere în structură și puțin sub nivelul patului drumului. Astfel, se constată că variațiile modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice nu modifică comportarea zonei active a a terasamentelor decât până la adâncimi de cca 0,75 m în ipoteza interfețelor libere și 1,25 m în ipoteza legăturii perfecte între straturile rutiere.



La nivelul inferior al straturilor bituminoase, influența calității mixturilor asfaltice este dublă față de cea de la nivelul patului drumului în ipoteza interfețelor libere și aproximativ aceeași în ipoteza legăturii perfecte dintre straturile rutiere.

Variațiile caracteristicilor de deformabilitate ale straturilor bituminoase pe durata exploatarea complexelor rutiere cu structuri mixte nu aduc modificări în comportarea zonei active a terasamentelor decât până la adâncimi de cca 1,50 m în ipoteza legăturii perfecte între straturi și de cca 2,00 m în ipoteza interfețelor libere. În această situație, în ambele ipoteze referitoare la conlucrarea dintre straturi influența este de cca 1,5 ori mai mare la baza straturilor bituminoase decât la nivelul superior al terenului de fundare. La structurile rutiere mixte, deformațiile complexului rutier, sunt proporționale la scăderea modului de elasticitate dinamic (creșterea deformațiilor) cu cele de la creșterea modului (scăderea deformațiilor). La structurile rutiere suple, modificările mai importante, privind deformațiile complexului rutier, sunt aduse de creșterea modului de elasticitate dinamic (scăderea deformațiilor) decât scăderea acestuia (creșterea deformațiilor).

Influența variațiilor modului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice în cazul structurilor rutiere mixte aduce modificări mai importante în deformarea complexelor rutiere, atât în structura rutieră cât și în zona activă a terasamentelor, decât în cazul structurilor rutiere suple. Dintre toți parametrii luați în studiul modelării numerice a structurilor rutiere, sarcina pe osie este singurul care este supus proporționalității cu starea de deformație a complexelor rutiere cu structuri suple și mixte, indiferent de ipoteza conlucrării dintre straturi, cu observația că la nivelul terenului de fundare, această proporționalitate poate să dispară, mai ales, în momentul în care terenul de fundare și-a atins presiunea limită de proporționalitate. Creșterea sarcinii pe osie determină deformații de două ori mai mari la nivelul patului drumului decât cele la nivelul inferior al straturilor bituminoase.

Structurile rutiere mixte, spre deosebire de cele suple, sunt supuse la calculul de dimensionare unui criteriu suplimentar, privind tensiunea de întindere,  $\sigma_z$ , la baza stratului/straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici, astfel că pentru structura rutieră mixtă modelată s-a urmărit și variația tensiunii  $\sigma_z$  în aceleași ipoteze ca și cele pentru care s-a determinat starea de deformație. Valorile tensiunii  $\sigma_z$  în ipoteza interfețelor libere sunt mai mari cu cca 20 % decât în ipoteza legăturii perfecte dintre straturi la diferite nivele în starturile bituminoase, iar cea mai mare influență se datorează valorilor sarcinii pe osie. Începând cu celelalte straturi rutiere, de la nivelul inferior al straturilor bituminoase în adâncime, influența cea mai ridicată asupra valorilor tensiunii o au caracteristicile de deformabilitate ale mixturilor asfaltice, care determină variații ale deformațiilor de până la 100 % la baza straturilor rutiere din materiale stabilizate.

În zona activă a terenului de fundare, tensiunea nu este influențată de niciunul din factorii considerați în modelarea matematică a complexelor rutiere, și are valori aproape nule, indiferent de ipoteza legăturii dintre straturi.

Luând în considerare rezultatele obținute în urma calculelor privind metodele de dimensionare a ranforsărilor complexelor rutiere (metoda analitică, metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometrul Benkelman și metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometre cu sarcină dinamică) s-a optat pentru modelarea numerică a trei variante de ranforsare pentru structura rutieră suplă corespunzătoare sectorului experimental de pe DN 59C km 4+000...4+200.

Astfel se constată faptul că deși prin ranforsarea structurilor rutiere cu straturi bituminoase de diferite grosimi se înregistrează o scădere firească a deformațiilor în complexele rutiere ranforsate, aceasta nu este una direct proporțională cu creșterea grosimii straturilor de ranforsare, atât la baza straturilor

bituminoase cât și la nivelul patului drumului. La baza straturilor bituminoase, o dublare a grosimii straturilor de ranforsare nu înjumătățește deformațiile, în schimb ce la nivelul terenului de fundare se pare că această proporționalitate este întâlnită.

Se apreciază că soluția optimă de ranforsare, din considerente tehnice și economice, ar putea fi constituită din ranforsarea cu două straturi bituminoase în grosime de 9,0 cm, chiar dacă în urma calculelor ar rezulta grosimi mai mari sau mai mici decât grosimea minimă de 9,0 cm impusă prin normele actuale referitoare la ranforsarea complexelor rutiere cu straturi bituminoase.

Studiile și cercetările efectuate pe sectoare de structuri rutiere suple și mixte din cadrul D.R.D.P. Timișoara, din toate zonele climaterice, au permis formularea primelor concluzii vis a vis de metodele de dimensionare a ranforsărilor pentru complexe rutiere suple și mixte cu durata de exploatare expirată. Aceste concluzii sunt sistematizate și condensate în tabelul centralizator cu rezultatele obținute prin cercetările efectuate în anul 2007. Prin efectuarea cercetărilor, s-a urmărit verificarea inclusiv a alcătuirii complexelor rutiere și a caracteristicilor geotehnice ale terenului de fundare. S-a constatat că în marea majoritate a cazurilor datele precizate în banca de date rutiere nu corespund cu alcătuirea descoperită prin sondajele efectuate nici în ceea ce privește grosimile straturilor structurilor rutiere, nici în ceea ce privește tipul terenului de fundare.

Pentru studiile din anul 2007 au fost reținute datele de alcătuire a complexelor rutiere, obținute pe teren în urma sondajelor efectuate și a analizelor de laborator aferente, menționate în tabelele centralizatoare ale prezentei documentații privind alcătuirea structurilor rutiere și tipul pământului.

Caracteristicile geotehnice s-au determinat prin prelevarea de probe din patul drumului de pe sectoarele experimentale și încercări de laborator aferente necesare. Traficul utilizat în calcul a fost determinat pentru o perioadă de perspectivă de 10 ani (2007 ... 2017) pe baza datelor furnizate din baza de date a D.R.D.P. Timișoara și se regăsește în tabelul 5.8. Metoda analitică de dimensionare a straturilor bituminoase de ranforsare a structurilor rutiere suple și mixte conduce la subdimensionarea ranforsărilor pentru marea majoritate a situațiilor considerate, atât în raport cu metoda bazată pe măsurători efectuate cu deflectometrul cu sarcină dinamică cât și în raport cu metoda bazată pe măsurători cu deflectometrul Benkelman. Excepție face sectorul de pe DN 58, km 72+400...72+600 (structură rutieră mixtă, tip climateric III), unde grosimea de ranforsare necesară determinată prin metoda analitică este de 8 cm, iar grosimea de ranforsare necesară determinată prin celelalte două metode este 0 cm.

Metoda de calcul a ranforsărilor cu deflectometrul tip Benkelman conduce la supradimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare în raport cu celelalte două metode. Excepție face sectorul de pe DN 58A, km 3+000...3+200 (structură rutieră suplă, tip climateric III), unde grosimea de ranforsare rezultată prin această metodă este de 1 cm, grosimea rezultată prin calcul utilizând metoda analitică este 0 cm, iar grosimea rezultată prin măsurători de capacitate portantă cu deflectometrul cu sarcină dinamică este de 2 cm. Se consideră că metoda cu deflectometrul cu sarcina dinamică este cea mai exactă și mai apropiată de comportarea reală a complexelor rutiere, motiv pentru care se propune, luând în considerare și rezultatele studiilor viitoare, ca celelalte două metode să fie reconsiderate pentru a permite obținerea unor rezultate comparabile cu cele ale acestei metode.

Din păcate, este aproape imposibilă, găsirea unor relații de corelare statistică între rezultatele obținute cu cele trei metode utilizate pentru calculul grosimilor straturilor bituminoase de ranforsare, chiar și pentru un tip de structură rutieră sau un regim climateric.

## 6. CONCLUZII FINALE

Teza de doctorat își propune să analizeze unii factori de influență asupra stării tehnice a drumurilor, și să particularizeze influența acestora pentru zona Banatului. În acest sens, lucrarea de față caută să evidențieze unele caracteristici specifice ale zonei Banatului, precum și influența acestora asupra comportării în exploatare a complexelor rutiere, implicit asupra stării tehnice a drumurilor.

Studierea unor factori de influență asupra stării tehnice a drumurilor se face în scopul îmbunătățirii acestora și menținerii ei la standarde superioare pentru perioade cât mai îndelungate de timp. Cunoașterea influenței acestor factori permite o mai bună gestionare a administrării drumurilor, combate apariția unor situații nedorite generate de acești factori în exploatarea drumurilor și de asemenea, oferă posibilitatea de luare a unor măsuri care să elimine efectele negative ale unor factori, care sunt luați în studiu în prezenta teză de doctorat.

Pentru particularizarea zonei Banatului, în special în ceea ce privește factorii de influență considerați asupra stării tehnice a drumurilor, se caracterizează această zonă din punct de vedere geomorfologic, geologic, geotehnic, seismic, hidrologic, hidrogeologic, climateric și pluviometric și se evidențiază factorii specifici de influență ai zonei Banatului asupra stării tehnice a drumurilor. Statisticile pe drumurile naționale și județene, din această zonă, sunt, din nefericire, extrem de neconvingătoare, de altfel în ton cu ceea ce se regăsește la nivelul întregii țări. Astfel, 29 % din lungimea totală de drumuri naționale din zona Banatului au o stare tehnică rea, 48 % mediocră și doar 23 % au o stare tehnică bună. La nivelul drumurilor județene, situația este oarecum similară, iar exprimată în starea de viabilitate, la nivelul județelor Timiș și Caraș - Severin, se prezintă astfel: 65 % din drumurile județene au starea de viabilitate mediocră și rea și doar 35 % au o stare de viabilitate bună.

Parametrii stării tehnice luați în considerare sunt cei care definesc de fapt această noțiune: planeitatea suprafeței de rulare, rugozitatea suprafeței îmbrăcăminții rutiere, capacitatea portantă a complexului rutier și starea de degradare a îmbrăcăminții rutiere, dar se pune accent, mai ales în partea de cercetare experimentală efectuată de autor, pe parametrul capacitate portantă. În acest sens, sunt luate în studiu un număr total de 18 sectoare experimentale de drumuri naționale, cu lungimea de 200,00 m, de pe raza administrativă a D.R.D.P. Timișoara pe care sunt efectuate o serie de investigații și măsurători de capacitate portantă prin diferite metode conforme cu normele din țara noastră. Totodată, aceleași sectoare experimentale sunt supuse modelării matematice și cercetate prin variații ale factorilor de influență considerați în teza de doctorat.

Pe baza studiilor teoretice și experimentale au rezultat o serie de concluzii interesante și totodată extrem de valoroase pentru domeniul infrastructurii rutiere, care deschid o serie de oportunități pentru cercetări ulterioare în domeniu.

Astfel, teza de doctorat este structurată într-un număr de șase capitole și bibliografie. Studiile efectuate s-au evidențiat pe parcursul a 240 pagini care cuprind 122 relații de calcul, 61 tabele și 136 figuri. Studiul bibliografic cuprinde un număr de 108 titluri cuprinzând tratate de specialitate din literatura națională și internațională, standarde și normative în vigoare, reviste, publicații, lucrări științifice, contracte de cercetare, unele fiind realizate cu ajutorul contribuției autorului tezei de doctorat.

## 6.1 Conținutul tezei de doctorat

În **capitolul 1**, este prezentată zona Banatului, cu delimitarea clară a acesteia pe teritoriul României (județul Timiș, județul Caraș - Severin fără localitățile Bucova, Cornișoru, Boușarii de Jos, Boușarii de Sus și Preveciori, doar partea de la sud de Mureș din județul Arad, localitățile Baia Nouă, Dubova, Eibenthal, Eșelnița, Orșova și Svinița din județul Mehedinți și localitățile Sălciva și Pojoga din județul Hunedoara). De asemenea, este prezentată rețeaua de drumuri naționale și județene care își desfășoară traseul pe teritoriul zonei Banat. Astfel, se reține faptul că această zonă este străbătută de 1.166,052 km drumuri naționale și 2.245,369 km drumuri județene.

De asemenea în conținutul primului capitol se regăsesc particularități importante, din punct de vedere geomorfologic, geologic și geotehnic, ale zonei Banatului, dintre care se amintesc:

- a doua zonă din țara noastră, după zona Vrancei, cu o mare importanță din punct de vedere al hazardului seismic și riscului seismic;
- prezența în această regiune, în special în zonele de câmpie, a pământurilor cu umflări și contracții mari (PUCM);
- prezența în această zonă a pământurilor sensibile la umezire (PSU);
- prezența pământurilor sensibile la îngheț-dezghet în crusta superficială, deci tocmai pe adâncimea terenului expusă înghețului.

Se definește starea tehnică a drumurilor care se evaluează cu ajutorul următoarelor caracteristici:

- planeitatea suprafeței de rulare;
- rugozitatea suprafeței îmbrăcămînții rutiere;
- capacitatea portantă a complexului rutier;
- starea de degradare a îmbrăcămînții rutiere, caracterizată prin:
  - indicele global de degradare (IG) pentru îmbrăcămînțile bituminoase;
  - indicele de degradare (ID) pentru îmbrăcămînțile bituminoase și cele din beton de ciment.

Pe baza datelor obținute de la Direcția Regională de Drumuri și Poduri Timișoara și de la Consiliile Județene Timiș și Caraș - Severin este prezentată situația actuală a drumurilor naționale și județene de pe raza administrativă a unităților sus-menționate din punct de vedere a stării tehnice și a stării de viabilitate a acestora.

**Capitolul 2** prezintă câteva considerații generale ale complexelor și structurilor rutiere, pornind de la definițiile acestora.

După clasificarea structurilor rutiere, începând din cele mai vechi timpuri (structurile rutiere romane), până la cele din zilele noastre, sunt prezentate tendințele la nivel mondial de realizare a acestora. Alcătuirea structurilor rutiere, este strâns legată de tipul structurilor rutiere (clasificarea acestora), astfel sunt prezentate toate tipurile de structuri rutiere suple, mixte și rigide, cu grosimile minime ale straturilor componente și criteriile care stau la baza alcătuirii acestora.

Grosimile straturilor rutiere, fie ele constructiv alese, sau dimensionate prin calcul specific, influențează comportarea în exploatare a complexelor rutiere, fapt evidențiat în diagramele prezentate în conținutul capitolului, care subliniază dependența deformațiilor înregistrate la diferite niveluri ale structurilor rutiere funcție de grosimile straturilor componente.

Straturile structurilor rutiere prezintă caracteristici fizico-mecanice și de portanță diferite, în funcție de materialele din care sunt realizate, tehnologia de execuție folosită și de rolul pe care îl îndeplinesc în alcătuirea ansamblului.

Structurile rutiere, indiferent de tipul și alcătuirea lor, sunt puternic influențate de calitatea terasamentelor pe care se execută. Având în vedere rolul esențial al terasamentelor în asigurarea unei durate de exploatare îndelungate a drumurilor, se impune tratarea acestora cu deosebită atenție. Orice defecțiuni la nivelul terasamentelor provoacă degradări ale structurii rutiere, care de cele mai multe ori se remediază foarte greu și cu investiții majore. În această situație, studiul pământurilor este deosebit de important pentru soluționarea cât mai eficientă a problemelor ce se ridică la realizarea unei lucrări rutiere de calitate și având în vedere faptul că drumul este o construcție care se desfășoară pe zone întinse, în care caracteristicile pământurilor sunt foarte variate și expuse în permanență variațiilor de temperatură și de umiditate, cunoașterea caracteristicilor fizico-mecanice ale acestora este o necesitate absolută.

Pentru îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice ale pământurilor, sporirea și uniformizarea capacității portante la nivelul patului drumului se realizează așa-numitul *strat de formă*, care poate fi realizat într-o multitudine de variante în funcție de scop, mijloace existente și condiții locale. Stratul de formă face trecerea între două structuri cu caracteristici diferite (pământul din terenul de fundare și structura rutieră) și face legătura dintre două faze de construcție diferite, care se pot succede imediat sau la intervale de timp mai îndepărtate. El nu face parte din structura rutieră, rămânând prin structură și concepție un component al terasamentelor.

O situație specială, în cazul căilor de comunicație terestre, o reprezintă terasamentele în rambleu, pentru care, în conținutul capitolului 2, sunt prezentate principiile generale de execuție precum și condițiile de calitate pe care acestea trebuie să le îndeplinească pentru a putea asigura o comportare cât mai bună în exploatare.

În **capitolul 3**, se prezintă influența unor factori de tipul traficului rutier, factorilor climaterici (temperatura, regimul pluviometric), calitatea materialelor rutiere și calitatea terenului de fundare, asupra comportării în exploatare a complexelor rutiere. În ceea ce privește intensitatea și compoziția traficului rutier, se remarcă influența acestuia îndeosebi asupra defecțiunilor structurii rutiere și ale complexului rutier. Pentru prevenirea degradărilor drumurilor datorită acțiunii acestor factori se impune dimensionarea corespunzătoare a complexului rutier pentru asigurarea preluării în bune condiții a sarcinilor din trafic, în special din traficul greu în condițiile de exploatare date și de asemenea, controlul traficului din punct de vedere al tonajului.

Vehiculele aplică sarcini verticale prin acțiunea asupra complexelor rutiere și orizontale prin acțiunea la nivelul suprafeței de rulare. Vehiculele grele (autovehiculele cu greutatea pe osie mai mare de 50 kN) aplică complexelor rutiere sarcini superioare considerate uzual ca rezultând din caracteristicile constructive și din încărcătura acestora. Încărcările statice depind doar de configurația și greutatea vehiculului, în timp ce încărcările dinamice introduc în plus efectul inerției, amortizării și rigidității acestuia. Efectul traficului asupra comportării complexelor rutiere depinde de tipul și numărul vehiculelor care le solicită. Componenta traficului are relevanță prin procentul de vehicule grele, iar cele din transportul de mărfuri reprezintă categoria de vehicule mai agresive față de drum.

Comportarea complexelor rutiere la acțiunea factorilor climaterici se referă la comportarea acestora sub influența temperaturii și a regimului pluviometric.

În cazul structurilor rutiere mixte (semirigide) și a existenței unor straturi de fundație din beton de ciment, îmbrăcămintea asfaltică ar trebui analizată în două ipostaze, vara și iarna, care sunt direct legate de proprietățile reologice ale liantului bituminos și de variabilitatea comportării sale în raport cu variațiile de temperatură.

Betonul de ciment și mixturile asfaltice sunt influențate de variațiile sezoniere de temperatură diferit, din cauza coeficienților de dilatație diferiți și a structurii lor diferite. Proprietățile materialelor bituminoase sunt strâns legate de temperatură, astfel încât este interesantă analiza variației rezistenței la oboseală a acestor materiale funcție de temperatură.

Influența factorilor climaterici asupra comportării complexelor rutiere se manifestă inclusiv la nivelul terenului de fundare, nu numai în straturile rutiere. Referitor la acest considerent, modulul de reacție al terenului de fundare (coeficientul de pat) variază semnificativ funcție de tipul pământului din care este alcătuit în raport cu variațiile sezoniere de temperatură.

Apariția fisurilor de contracție datorate variațiilor de temperatură în structurile rutiere mixte favorizează pătrunderea apei în structura rutieră, care are drept consecințe reducerea aderenței la interfețe, creșterea deformațiilor specifice de întindere la baza îmbrăcămintei bituminoase și a tensiunilor de întindere la baza straturilor stabilizate, înrăutățirea transferului de sarcină la fisuri, prin creșterea tensiunilor de întindere la baza stratului stabilizat și a tensiunilor de compresiune pe stratul suport al structurii rutiere.

Apa, care se infiltrează mai ușor prin fisuri, accelerează fenomenul de oboseală, prin degradarea marginilor fisurilor și crăpăturilor, apoi prin formarea gropilor în îmbrăcăminte. Regimul pluviometric influențează comportarea complexelor rutiere și prin acțiunea sa asupra terenului de fundare, astfel că în timpul dezghețului, apa se concentrează în fisuri determinând o scădere dramatică a rigidității terenului de fundare, chiar dacă umiditatea acestuia nu se modifică.

Indiferent de tipul materialelor rutiere (agregate naturale, lianți, agregate naturale stabilizate), pentru ca acestea să poată fi folosite cu succes în domeniul căilor de comunicație terestre, ele trebuie să îndeplinească o serie de condiții de calitate. Nerespectarea condițiilor de calitate impuse atrage după sine o comportare necorespunzătoare a straturilor rutiere în exploatare, și deci implicit, degradări majore a complexelor rutiere și înrăutățirea prematură a stării tehnice a drumurilor.

Spre deosebire de alte construcții cu amplasamente de extindere mai redusă, pe traseul unui drum probabilitatea diversității elementelor geologice și geotehnice este mult mai mare, putând fi întâlnite zone cu terenuri dificile (compresibile, sensibile la umezire, cu umflări și contracții mari, cu sensibilitate mare la îngheț, alunecătoare). Funcționalitatea și viabilitatea drumurilor pot fi influențate uneori în sens defavorabil și de comportarea terenurilor din zonele adiacente platformei căii (versanți potențiali instabili, zone inundabile etc.).

Practica a confirmat că în general între procesul de agravare în timp a defecțiunilor și comportarea necorespunzătoare a terenului de fundare există o relație de potențare reciprocă, fiecare dintre cele două procese influențându-l negativ pe celălalt. Este evident că există o serie de defecțiuni și degradări ale drumurilor, ale căror cauze pot să nu includă inițial influența comportării terenului natural de fundare sau a umpluturii din care este alcătuit.

Prin poziția sa geografică, prin morfologia și litologia sa, prin regimul climateric și pluviometric, zona de câmpie a Banatului prezintă sub aspect geologico-tehnic și geotehnic unele particularități specifice. Necunoașterea și neluarea în considerare a acestor particularități specifice la proiectarea și construcția drumurilor poate influența defavorabil comportarea în exploatare a acestora.

Traficul greu și intens, acțiunea defavorabilă a factorilor climaterici, slaba calitate a materialelor rutiere și a terenului de fundare, provoacă o serie de defecțiuni ale suprafețelor de rulare, defecțiuni ale îmbrăcăminților structurilor rutiere, defecțiuni

ale structurilor și complexelor rutiere. Aceste defecțiuni și degradări se accentuează odată cu acțiunea combinată și/sau simultană a factorilor enumerați anterior.

**Capitolul 4**, face o trecere în revistă a metodelor de dimensionare a structurilor rutiere suple și mixte noi și ranforsate utilizate la nivel mondial și face o analiză critică a celor utilizate în țara noastră. Dintre metodele analitice de dimensionare utilizate pentru structurile rutiere suple noi cele mai des răspândite sunt: metoda engleză, metoda franceză, metoda Shell, metoda Nottingham și metoda Asphalt Institute.

Metodele analitice de dimensionare a structurilor rutiere suple sunt bazate pe modele matematice, structurile rutiere sunt alcătuite din straturi infinite în plan orizontal, așezate pe un teren de fundare de grosime semifinită, straturile sunt alcătuite din materiale omogene, izotrope și cu comportare elastică. Structurile rutiere mixte (semirigide) au la bază aceleași metodologii de dimensionare ca și cele ale structurilor rutiere suple, doar că criteriile de dimensionare sunt legate de tensiunile de întindere induse de prezența straturilor rigide din materiale stabilizate.

Ranforsarea structurilor rutiere reprezintă ansamblul de lucrări pentru mărirea capacității portante a complexelor rutiere existente, în principal, prin executarea unor noi straturi rutiere și asanarea corpului drumului, iar metodele de calcul a grosimilor straturilor de ranforsare au la bază principiile metodelor analitice de dimensionare ale structurilor rutiere suple și mixte noi. Referitor la dimensionarea ranforsărilor complexelor rutiere bazate pe măsurători de deflexiuni sub sarcină dinamică sau sub sarcină statică, se definește capacitatea portantă a complexului rutier, care reprezintă o caracteristică structurală a drumului exprimată prin valorile deformației elastice (deflexiunea) caracteristică. Parametrul de portantă al complexului rutier reprezintă totodată unul din parametrii stării tehnice a drumurilor și este definit în acest sens ca raportul dintre valoarea deflexiunii caracteristice și cea a deflexiunii admisibile.

Deși comportarea materialelor din straturile rutiere nu este una elastică, ci mai degrabă una vâscoelastică (materialele bituminoase), totuși, pentru simplificare, calculele de dimensionare se fac în ipoteza elasticității liniare. Astfel straturile rutiere pot fi considerate corpuri elastice, care după îndepărtarea încărcării suferă schimbări de formă sub acțiunea energiei elastice stocate, schimbări care pot fi numite reveniri elastice. În cazul corpurilor elastice, deformația dispăre complet după îndepărtarea cauzei care o produce. În acest caz deformația este elastică, reversibilă. Un corp este ideal elastic atunci când materialul revine instantaneu la starea inițială când sarcina este îndepărtată.

Elementele caracteristice metodelor de dimensionare analitice pentru structurile rutiere suple și mixte, noi sau ranforsate, sunt osia standard (sarcină, configurație, raza suprafeței de contact dintre pneu și îmbrăcămintea rutieră), modulul de elasticitate dinamic al straturilor rutiere componente și coeficientul lui Poisson al acestora. Metoda analitică de dimensionare a structurilor rutiere suple și mixte noi se face, în țara noastră, conform Normativului pentru dimensionarea structurilor rutiere suple și semirigide, indicativ PD 177-2001, și se bazează pe îndeplinirea concomitentă a următoarelor criterii:

- 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 (numai în cazul structurilor rutiere mixte);
- deformația specifică de compresiune admisibilă la nivelul patului drumului.

Analiza structurii rutiere la solicitarea osiei standard necesită calculul cu programul CALDEROM 2000, care urmărește determinarea analitică, cu ajutorul modelului Burmister, a stării de tensiuni și de deformații în complexul rutier considerat ca un mediu multistrat, fiecare strat fiind considerat un solid elastic liniar, omogen și izotrop, infinit în plan orizontal și cu grosime cunoscută în plan vertical, cu excepția terenului de fundare care este considerat semiinfinit în plan vertical.

Metoda analitică de calcul a grosimii straturilor rutiere de ranforsare în cazul structurilor rutiere suple și mixte, se face conform Normativului pentru dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare a sistemelor rutiere suple și semirigide, indicativ AND 550-1999, iar principiile de calcul sunt aceleași cu cele folosite în cazul dimensionării complexelor rutiere noi și se bazează pe verificarea stării de solicitare a noii structuri rutiere sub acțiunea traficului de calcul, astfel încât să fie îndeplinite concomitent criteriile de dimensionare. Analiza complexului rutier la acțiunea osiei standard se efectuează cu ajutorul programului de calcul CALDEROM 2000, în aceleași ipoteze ca și în cazul structurilor rutiere noi.

Calculul ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte (semirigide) pe baza măsurătorilor de deflexiuni sub sarcină statică cu ajutorul deflectometrului cu pârghie Benkelman constituie o metodă nedistructivă de măsurare rapidă a deformațiilor elastice reversibile ale complexelor rutiere suple și mixte. Principiul metodei constă în măsurarea față de un sistem de referință a deplasării pe verticală a suprafeței complexului rutier, deformată sub solicitarea roților duble ale osiei din spate a vehiculului de măsurare, după îndepărtarea acestuia (revenirea elastică a suprafeței complexului rutier), care pe baza unor prelucrări statistice conduc la determinarea grosimii straturilor necesare de ranforsare a complexelor rutiere.

Calculul ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte, pe baza măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină dinamică PHONIX FWD MLY 10000, se bazează pe măsurarea față de un sistem de referință a deplasărilor pe verticală (deflexiunilor) ale structurii rutiere deformată sub solicitarea dinamică a unei greutăți care cade pe o placă. Calculul de dimensionare a grosimii straturilor de ranforsare se face automat pe baza soft-ului Design Program care prelucrează automat datele măsurate și cele introduse de utilizator.

Dezavantajul major al metodelor de calcul bazate pe măsurători de deflexiuni, este faptul că acestea trebuie să se efectueze în perioadele în care complexul rutier lucrează în cele mai defavorabile condiții hidrologice (primăvara, imediat după dezgheț și până la cel mult 15 zile după perioada ploilor de primăvară sau toamna, după un număr suficient de zile (aproximativ 10...15 zile) de ploi.

**Capitolul 5**, conține studii teoretice și cercetări experimentale asupra comportării în exploatare pe șase sectoare experimentale, câte trei sectoare de drum omogene pentru fiecare drum național considerat, pentru fiecare tip climateric (I, II, III) și tip de structură (suple și mixte), fiecare sector având lungimea de 200 m. Aceste sectoare experimentale se găsesc pe raza administrativă a D.R.D.P. Timișoara, în județele Timiș, Caraș - Severin și Arad.

Alcătuirea structurilor rutiere luate în studiu și caracteristicile pământului din terenul de fundare s-au determinat pe baza sondajelor deschise și a determinărilor de laborator efectuate de către Departamentul C.C.T.F.C. pe fiecare dintre sectoarele omogene. Pe lângă determinările efectuate pentru caracterizarea terenului de fundare, s-au efectuat măsurători de capacitate portantă în vederea stabilirii grosimilor straturilor bituminoase de ranforsare pe sectoarele experimentale cu deflectometrul cu sarcină statică cu pârghia Benkelman și cu deflectometrul cu sarcină dinamică PHONIX FWD MLY 10000. Dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare cu ajutorul metodei analitice s-a efectuat conform Normativului pentru



dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare a sistemelor rutiere suple și mixte (metoda analitică), indicativ AND 550-1999.

Prin determinările efectuate s-a urmărit realizarea unei analize critice asupra diferitelor metode de calcul a ranforsărilor structurilor rutiere suple și mixte, încercându-se stabilirea unor corelații între rezultatele obținute cu diversele metode de dimensionare a ranforsărilor complexelor rutiere suple și mixte, utilizate pe scară largă în țara noastră (metoda analitică, metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometrul Benkelman și metode corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină dinamică – PHONIX FWD MLY 10000). Totodată s-au verificat rezultatele experimentale obținute prin aplicarea metodelor de dimensionare a calculului ranforsării structurilor rutiere suple și mixte (semirigide) și s-a încercat determinarea gradului de încredere al fiecărei metode aplicate în cadrul studiului experimental în raport cu celelalte.

În majoritatea situațiilor supuse cercetărilor, conform metodei analitice de dimensionare a grosimii straturilor rutiere de ranforsare pentru structuri rutiere suple și mixte, criteriile de dimensionare au fost verificate, astfel că raportându-ne la cerințele metodei, se poate afirma faptul că aceste structuri rutiere corespund din punct de vedere a capacității portante și nu necesită o ranforsare pe perioada de perspectivă aleasă în calcul (10 ani). Pe baza măsurătorilor de capacitate portantă cu deflectometrul cu sarcină statică tip Benkelman, s-au efectuat calculele de dimensionare a grosimilor straturilor bituminoase de ranforsare, care, au dat rezultate numai pentru structurile rutiere suple, în timp ce pentru structurile rutiere mixte, conform prelucrării datelor, nu este necesară ranforsarea complexelor rutiere în niciuna dintre situațiile analizate.

La fel ca în cazul măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină statică tip Benkelman, și în cazul măsurătorilor cu deflectometrul cu sarcină dinamică tip PHONIX FWD MLY 10000, rezultate privind grosimile de ranforsare s-au obținut numai pentru structurile rutiere suple, astfel încât pentru structurile rutiere mixte, conform măsurătorilor de capacitate portantă cu deflectometre cu sarcină statică sau dinamică, nu este necesară ranforsarea complexelor rutiere.

Analizând rezultatele obținute prin cele trei metode de dimensionare se poate observa faptul că metoda analitică, în majoritatea covârșitoare a cazurilor, indică faptul că structura rutieră nu necesită ranforsare, valorile obținute prin prelucrarea măsurătorilor efectuate cu deflectometrul cu sarcină statică tip Benkelman par supradimensionate, iar valorile obținute prin prelucrarea măsurătorilor efectuate cu deflectometrul cu sarcină dinamică PHONIX FWD MLY 10000 par a fi cele mai corecte.

Dacă încercăm să definim în adâncime zona complexului rutier (structură rutieră + zona activă a terasamentului) care poate fi influențată de încărcările din trafic, aceasta se poate extinde până la adâncimi de circa 1,80...2,30 m măsurate de la nivelul suprafeței de rulare.

Pentru studiul practic privind factorii de influență asupra comportării complexelor rutiere, implicit asupra stării tehnice a drumurilor, au fost modelate matematic două dintre structurile rutiere experimentale pe care s-au efectuat sondaje și măsurători de capacitate portantă, și anume, sectorul cu structură rutieră suplă, de pe drumul național 59C km 4+000...4+200, respectiv sectorul cu structură rutieră mixtă de pe drumul național 58 km 72+000...72+200). Factorii luați în studiu se referă la traficul rutier (sarcina maximă), ipotezele legăturii dintre straturile rutiere, condițiile climatice și terenul de fundare. În acest sens s-a studiat comportarea acestor structuri rutiere la solicitările standard, în condiții normale de exploatare și prin variații ale diferiților parametrii considerați (factori).

Modelarea numerică utilizată pentru complexe rutiere alese are la bază Metoda Elementelor Finite (M.E.F.), iar programul folosit a fost ABAQUS 6.8-3, pentru care Universitatea "Politehnica" din Timișoara deține licență de utilizare. ABAQUS, este un program de modelare care are la bază metoda elementelor finite și care a fost aplicat pe scară largă la analiza structurilor rutiere.

Pentru cele două complexe rutiere s-au creat modele numerice în două ipoteze de conlucrare dintre straturi, legătură perfectă sau interfețe libere, și prin variații ale parametrilor considerați (creșterea sarcinii pe osie la 130, respectiv 150 kN, variația caracteristicilor de deformabilitate a straturilor bituminoase prin considerarea valorii modulului de elasticitate dinamic jumătate sau dublu față de cel nominal, variația calității terenului de fundare prin considerarea unor situații extreme în ceea ce privește tipul pământului din terenul de fundare, tipul climateric și regimul hidrologic). Astfel, s-au obținut deformațiile pe verticală la diferite nivele ale complexelor rutiere, iar pentru structura rutieră mixtă, în plus, tensiunile normale  $\sigma_z$ , pe baza cărora s-au formulat câteva concluzii referitoare la comportarea complexelor rutiere la variații ale unor factori de influență asupra acesteia.

Raportându-ne la cele două ipoteze a legăturii dintre straturile rutiere, legătură perfectă sau legătură inexistentă, s-au remarcat diferențe semnificative între comportarea structurilor rutiere suple și comportarea celor mixte, astfel că valorile deplasărilor în cazul structurilor rutiere suple sunt sensibil mai mari decât în cazul celor mixte, fapt explicat prin comportarea elastică a acestora și prin prezența în alcătuirea structurilor rutiere mixte a stratului din materiale stabilizate care conferă o oarecare rigiditate structurii. De asemenea, este de remarcat faptul că dacă în cazul structurilor rutiere suple valorile deformațiilor pe verticală ale terenului de fundare sunt relativ apropiate începând cu adâncimea de 2,00 m, în cazul structurilor rutiere suple acestea diferă semnificativ chiar și la adâncimi de peste 2,50 m.

Influența calității terenului de fundare se face resimțită mai accentuat în cazul structurilor rutiere suple și a celor cu o grosime mai mică decât în cazul unor structuri rutiere mixte (semirigide) și a unor structuri rutiere cu o grosime mai mare, pe adâncimi mai mari ale zonei active a terasamentelor în cazul structurilor rutiere mixte față de structurile rutiere suple. O calitate mai bună a terenului de fundare face ca deformațiile verticale ale complexului rutier să se reducă mai semnificativ la nivelul patului drumului și în corpul terasamentelor față de cele din structura rutieră. Un teren de fundare de calitate slabă face ca deformațiile complexelor rutiere să crească mai mult în cazul structurilor rutiere suple, iar un teren de fundare de bună calitate face ca deformațiile în complexe rutiere să scadă mai mult în cazul structurilor rutiere mixte.

Modificările caracteristicilor mixturilor asfaltice, la structurile rutiere mixte, fac ca deformațiile complexului rutier să fie proporționale la scăderea modului de elasticitate dinamic (creșterea deformațiilor) cu cele de la creșterea acestuia (scăderea deformațiilor). La structurile rutiere suple, modificările mai importante, privind deformațiile complexului rutier, sunt aduse de creșterea modului de elasticitate dinamic (scăderea deformațiilor) decât scăderea acestuia (creșterea deformațiilor). De asemenea, odată cu creșterea adâncimii în complexul rutier, începând cu adâncimi de cca 1,00 m influența caracteristicilor de deformabilitate a straturilor bituminoase este aproape inexistentă, în timp ce în cazul structurilor rutiere mixte această influență se resimte până la adâncimi de cca 2,00 m.

Influența modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice în cazul structurilor rutiere mixte aduce modificări mai importante în deformarea complexelor rutiere decât în cazul structurilor rutiere suple.

Creșterea sarcinii pe osie, peste limita admisă de 115 kN, determină o creștere a deformațiilor proporțională în ambele complexe rutiere analizate și ipoteze privind legătura dintre interfețe, cu observația că la nivelul terenului de fundare creșterea deplasărilor este puțin mai mare decât cea de la nivelul inferior al straturilor bituminoase.

Referitor la valorile tensiunii  $\sigma_z$ , analizate numai în cazul complexelor rutiere mixte, se remarcă, în ipoteza interfețelor libere, că acestea sunt mai mari cu cca 20 % decât în ipoteza legăturii perfecte dintre straturi la diferite nivele în straturile bituminoase. Valorile de la nivelul straturilor rutiere din materiale stabilizate, conform rezultatelor obținute pe baza analizelor numerice efectuate, sunt puternic influențate de variațiile caracteristicilor de deformabilitate a straturilor bituminoase și mai puțin influențate de creșterea sarcinii pe osie. În zona activă a terasamentelor, tensiunea nu este influențată de niciunul din factorii considerați în modelarea numerică a complexelor rutiere, și are valori aproape nule.

Pornind de la rezultatele obținute prin cele trei metode aplicate pentru stabilirea grosimilor straturilor bituminoase de ranforsare, s-a analizat comportarea structurii rutiere suplă modelată numeric în trei situații distincte: ranforsare cu un strat de uzură în grosime de 4,0 cm, ranforsare cu un strat de uzură de 4,0 cm și un strat de legătură de 5,0 cm, respectiv ranforsare cu un strat de uzură de 4,0 cm, un strat de legătură de 5,0 cm și un strat de bază în grosime de 9 cm.

Rezultatele au arătat că la baza straturilor bituminoase după ranforsare deformațiile se reduc cu cca 40 % în cazul ranforsării cu două straturi bituminoase și cu cca 80 % în cazul ranforsării cu trei straturi bituminoase față de ranforsarea cu un singur strat, iar la nivelul terenului de fundare deformațiile se reduc cu cca 60 % în cazul ranforsării cu două straturi bituminoase și cu cca 120 % în cazul ranforsării cu trei straturi bituminoase.

Pe baza studiilor teoretice prezentate pe parcursul celor cinci capitole ale lucrării și a studiilor experimentale (sondaje, analize de laborator, măsurători de capacitate portantă, modelare matematică) efectuate pe sectoarele alese pentru efectuarea acestora, se pot desprinde câteva concluzii generale, prezentate în cele ce urmează.

Metoda analitică de dimensionare a straturilor bituminoase de ranforsare a structurilor rutiere suplă și mixte conduce la subdimensionarea ranforsărilor pentru marea majoritate a situațiilor considerate, atât în raport cu metoda bazată pe măsurători efectuate cu deflectometrul cu sarcină dinamică cât și în raport cu metoda bazată pe măsurători cu deflectometrul Benkelman. Rezultatele obținute prin calculul analitic arată faptul că structura rutieră nu este depășită din punct de vedere al capacității portante și nu necesită ranforsare, deși starea tehnică contrazice rezultatele analitice. De asemenea, se apreciază că rezultate mai corecte, s-ar obține în cazul în care s-ar utiliza în calculul analitic valori ale modulilor de elasticitate dinamici, pentru materialele din alcătuirea complexelor rutiere, determinate prin măsurători cu deflectometre cu sarcină dinamică sau prin analize de laborator corespunzătoare, în locul celor empirice folosite uzual.

Metoda de calcul a ranforsărilor cu deflectometrul tip Benkelman conduce la supradimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare în raport cu celelalte două metode. Excepție face sectorul de pe DN 58A, km 3+000...3+200 (structură rutieră suplă, tip climateric III), unde grosimea de ranforsare rezultată prin această metodă este de 1 cm, grosimea rezultată prin calcul utilizând metoda analitică este 0 cm, iar grosimea rezultată prin măsurători de capacitate portantă cu deflectometrul cu sarcină dinamică este de 2 cm.

Se consideră că metoda cu deflectometrul cu sarcina dinamică este cea mai exactă și mai apropiată de comportarea reală a complexelor rutiere, motiv pentru care se propune, luând în considerare și rezultatele studiilor viitoare, ca celelalte două metode să fie reconsiderate pentru a permite obținerea unor rezultate comparabile cu cele ale acestei metode.

Având în vedere rigiditatea straturilor din materiale stabilizate prezente în alcătuirea structurilor rutiere mixte, precum și rezultatele obținute prin măsurătorile efectuate pe sectoarele experimentale, se apreciază faptul că măsurătorile de capacitate portantă cu deflectometre cu sarcină statică sau dinamică sunt mult mai eficiente în cazul structurilor rutiere suple și nu se recomandă să se utilizeze în cazul celor mixte (semirigide).

Ipoteza legăturii perfecte dintre straturi conferă o comportare mai bună complexelor rutiere decât ipoteza neconlucrării dintre straturi. În sprijinul acestei afirmații stau rezultatele obținute în cadrul celor două ipoteze, unde deformațiile sunt mai mari în ipoteza interfețelor libere, indiferent de tipul structurii rutiere și variațiile parametrilor. În cazul structurii rutiere mixte efectele ipotezelor referitoare la conlucrarea dintre straturi se fac resimțite până la adâncimi mai mari în terenul de fundare și sunt mai importante în zona activă a terasamentului. Ipotezele privind legătura dintre interfețe influențează mai mult comportarea în exploatare a structurilor rutiere suple decât a celor mixte.

Calitatea terenului de fundare influențează deformațiile pe verticală ale complexului rutier pentru structurile suple în proporție mai mică la nivelul inferior al straturilor bituminoase și o proporție mai mare la nivelul patului drumului și se face resimțită până la o adâncime de cca 2,00 m. În cazul structurilor rutiere mixte, în ipoteza legăturii perfecte între straturile rutiere, calitatea terenului de fundare nu pare a avea o influență semnificativă, în timp ce în ipoteza interfețelor libere aceasta influențează în proporție mai mare deformațiile la nivelul patului drumului decât la nivelul inferior al straturilor bituminoase. La complexe rutiere mixte, influența calității terenului de fundare se face resimțită în adâncime în ipoteza straturilor fără legătură și este ca și inexistentă în ipoteza interfețelor legate începând cu adâncimi de peste 1,00 m. O calitate mai bună a terenului de fundare face ca deformațiile verticale ale complexului rutier să se reducă mai semnificativ la nivelul patului drumului și în corpul terasamentelor față de cele din straturile structurii rutiere. Indiferent de tipul complexului rutier și condițiile de exploatare, îmbunătățirea calității terenului de fundare (strat de formă) reprezintă o soluție eficientă și economică pentru îmbunătățirea comportării în timp a complexelor rutiere.

Variațiile caracteristicilor de deformabilitate ale mixturilor asfaltice aduc modificări ale comportării complexelor rutiere în structură și puțin sub nivelul patului drumului. Astfel, în cazul structurilor rutiere suple, se constată că variațiile modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice nu modifică comportarea zonei active a terasamentelor decât până la adâncimi de cca 0,75 m în ipoteza interfețelor libere și 1,25 m în ipoteza legăturii perfecte între straturile rutiere, iar în cazul complexelor rutiere mixte până la adâncimi de cca 1,50 m în ipoteza legăturii perfecte între straturi și de cca 2,00 m în ipoteza interfețelor libere.

Influența variațiilor modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice în cazul structurilor rutiere mixte aduce modificări mai importante în deformarea complexelor rutiere, atât în structura rutieră cât și în zona activă a terasamentelor, decât în cazul structurilor rutiere suple.

Sarcina pe osie este singurul parametru luat în studiu care este supus proporționalității cu starea de deformație a complexelor rutiere suple și mixte, indiferent de ipoteza legăturii dintre straturi, cu observația că la nivelul terenului de

fundare această proporționalitate poate să dispară, mai ales în momentul în care terenul de fundare și-a atins presiunea limită de proporționalitate.

Valorile tensiunii  $\sigma_z$ , luate în discuție numai în cazul structurilor rutiere mixte, în ipoteza interfețelor libere sunt mai mari cu cca 20 % decât în ipoteza legăturii perfecte dintre straturi la diferite nivele în starturile bituminoase, iar cea mai mare influență se datorează valorilor sarcinii pe osie. Începând cu celelalte straturi rutiere, de la nivelul inferior al straturilor bituminoase în adâncime, influența cea mai ridicată asupra valorilor tensiunii  $\sigma_z$  au caracteristicile de deformabilitate ale amestecurilor asfaltice, care determină variații ale deformațiilor de până la 100 % la baza straturilor rutiere din materiale stabilizate. În zona activă a terenului de fundare, tensiunea nu este influențată de niciunul din factorii considerați în modelarea matematică a complexelor rutiere, și are valori aproape nule, indiferent de ipoteza legăturii dintre straturi.

Modelarea numerică a complexelor rutiere subliniază faptul că, începând cu adâncimea de cca 2,50 m, în terenul de fundare deformațiile și tensiunile au valori foarte mici și nu sunt influențate de condițiile de exploatare, fapt ce a rezultat și din calculul distribuției tensiunilor în cadrul problemei spațiale efectuat în capitolul 5.2, privind distribuția tensiunilor în terenul de fundare, în ipoteza unui semispațiu încărcat cu sarcină uniform distribuită pe suprafața de contact dintre pneu și îmbrăcămintă.

Pe baza modelării numerice a trei variante de ranforsare pentru structura rutieră suplă corespunzătoare sectorului experimental de pe drumul național 59C km 4+000...4+200, s-a constatat faptul că deși prin ranforsarea structurilor rutiere cu straturi bituminoase de diferite grosimi se înregistrează o scădere firească a deformațiilor în complexele rutiere ranforsate, aceasta nu este una direct proporțională cu creșterea grosimii straturilor de ranforsare, atât la baza straturilor bituminoase cât și la nivelul patului drumului, astfel că soluția optimă de ranforsare, din considerente tehnice și economice, ar putea fi constituită dintr-o ranforsare cu o grosime diferită de cea obținută prin calcul.

## 6.2 Contribuții personale ale autorului și direcții pentru cercetări viitoare

Contribuțiile personale aduse de autor în domeniul factorilor de influență asupra comportării în exploatare a complexelor rutiere, implicit asupra stării tehnice a drumurilor constă din:

- Inventarierea rețelei de drumuri naționale și județene din zona Banatului;
- Sistematizarea particularităților specifice din punct de vedere geotehnic, geologic, hidrologic, seismologic, climateric și pluviometric a zonei Banatului;
- Determinarea alcătuirii complexelor rutiere prin sondaje deschise efectuate pe șase drumuri naționale de pe raza administrativă a D.R.D.P. Timișoara din județele Timiș, Caraș - Severin și Arad;
- Determinarea caracteristicilor terenului de fundare prin analize de laborator efectuate în cadrul departamentului de Căi Comunicație Terestre Fundații și Cadastru al Facultății de Construcții din Timișoara pentru toate sectoarele experimentale analizate;

- Efectuarea de măsurători de capacitate portantă cu deflectometre cu sarcină statică (tip Benkelman) și dinamică (tip PHONIX FWD MLY 10000) pe sectoarele de drumuri naționale supuse cercetărilor;
- Determinarea grosimilor straturilor bituminoase de ranforsare utilizând trei metode de calcul a complexelor rutiere (metoda analitică, metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometrul Benkelman și metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometre cu sarcină dinamică);
- Analiza critică a metodelor de dimensionare utilizate pentru determinarea grosimilor de ranforsare;
- Cercetarea, în premieră națională, privind exactitatea rezultatelor obținute prin metodele de dimensionare a structurilor rutiere suple și mixte standardizate în România;
- Realizarea unui studiu al metodelor de dimensionare aplicate pe plan mondial, cu evidențierea criteriilor de dimensionare și a factorilor de influență considerați;
- Modelarea numerică a două complexe rutiere experimentale pe baza Metodei Elementului Finit în două ipoteze referitoare la conclucrarea straturilor rutiere;
- Studiul influenței factorilor considerați (trafic rutier, factori climaterici, calitatea materialelor rutiere și a terenului de fundare) în ceea ce privește starea de tensiuni și deformații în complexele rutiere modelate matematic;
- Modelarea matematică a structurii rutiere ranforsate pe baza soluțiilor obținute prin calculul cu cele trei metode utilizate;
- Sistematizarea și analizarea influenței unor factori asupra stării tehnice a drumurilor cu structuri rutiere suple și mixte (semirigide) la variații ale condițiilor de exploatare.

Direcțiile pentru cercetări viitoare, referitoare la starea tehnică a drumurilor și influența unor factori asupra acesteia, propuse de autor sunt următoarele:

- Modelarea matematică a structurilor rutiere în următoarele ipoteze:
  - considerarea unei legături parțiale între straturile rutiere;
  - comportarea vâsco-elastică a materialelor rutiere;
  - luarea în considerare a efectului dinamic la aplicarea sarcinii din trafic;
  - suprapunerea efectelor favorabile și/sau defavorabile;
  - introducerea unor criterii de cedare astfel încât să se poată stabili condițiile limită maxime de stabilitate a structurilor rutiere (pierderea capacității portante);
- Corelarea valorilor modulilor de elasticitate dinamici, în special pentru straturile bituminoase, cu cele determinate în situ, cu valorile empirice existente;
- Dimensionarea unor ranforsări a complexelor rutiere la sarcini mai mari (suprasarcini) decât sarcina maximă admisă pe osia standard (115 kN) sau la un trafic de calcul cu intensitate supraevaluată, și urmărirea comportării în timp a acestora, cu posibilitatea stabilirii eficienței economice a rezultatelor obținute;
- Continuarea cercetărilor privind măsurătorile de capacitate portantă, coroborate cu urmărirea soluțiilor aplicate în timp, pentru obținerea unor relații de corelare statistică între metodele actuale de dimensionare a ranforsărilor complexelor rutiere suple și mixte.

## BIBLIOGRAFIE

1. ABAQUS Version 6.8 Documentation, 2008.
2. Andrei, R. – Ghiduri practice pentru construcția terasamentelor. Editura Tehnică, București, 1991.
3. Ardelean, V., Zavoianu, I. – Județele patriei. Editura Academiei Republicii Socialiste România, București, 1979.
4. Atanasiu, I. – Cutremurele de pământ din România, 1959.
5. Atanasiu, N. și alții – Dicționarul de geologie. Editura Didactică și Pedagogică, 1998.
6. Balcu, M., Lazăr, Ș., Măleanu, M. – Analiza soluțiilor de ranforsare pentru sisteme rutiere nerigide. Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 64-71, Ediția VIII-a, Editura Solness, Timișoara, 2003.
7. Bancea, C. – Contribuții la studiul și implementarea unor tehnologii eficiente pentru îmbunătățirea viabilității drumurilor cu trafic redus. Teză de doctorat, Timișoara, 2002.
8. Bănică, M. – Contribuții privind îmbunătățirea stării tehnice a drumurilor locale din județul Gorj. Teză de doctorat, Timișoara, 2009.
9. Belc, F. – Contribuții la studiul și realizarea unor structuri rutiere mixte. Teză de doctorat, Timișoara, 1993.
10. Belc, F., Lazie, I. – Considerații privind comportarea în exploatare a structurilor rutiere mixte. A IX-a Conferință națională de drumuri și poduri, pag. 188-191, Constanța, 1994.
11. Belc, F., Lucaci, G. – Căi de comunicație terestre. Elemente de construcție. Editura Solness, Timișoara, 2001.
12. Belc, F., Lucaci, G., Lucaci, S. – Avantaje ale aplicării de soluții tehnice radicale la lucrările de reabilitare ale drumurilor publice. Al XII-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, CD, poziția 1.4.1., București, 2006.
13. Bota, C. – Contribuții la studiul și realizarea unor îmbrăcămînți rutiere speciale. Teză de doctorat, Timișoara, 2003.
14. Căpitanu, Camelia, Fodor, Georgeta, Cioca, S., Hărățău, Ș. – Deflexiunea măsurată cu deflectometrul cu sarcină dinamică - indicator obiectiv pentru evaluarea capacității portante a complexului rutier. Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 68-77, Ediția VI-a, Editura Mirton, Timișoara, 1999.
15. Cimpoiu, C. – Contribuții la studiul unor tehnologii de consolidare a alunecărilor de teren. Teză de doctorat, Timișoara, 2009.
16. Costescu, C., Belc, F. – Comments on the Calculation of Flexible and Semirigid Road Pavements in Romania. Sustainability in Science Engineering. Proceedings of the 11<sup>th</sup> WSEAS International Conference on S.S.E., pag. 201-206, Timișoara, 2009.

17. Costescu, C., Ciopec, Alexandra – Cauzele și soluția de consolidare a unei alunecări de teren produsă pe DJ 663A. Zilele Academice Timișene. Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 354-362, Ediția X-a, Editura Solness, Timișoara, 2007.
18. Costescu, C., Ciopec, Alexandra – Considerations on the Consolidation of the Road Pavement on DJ 665. Buletinul Științific al Universității "Politehnica" din Timișoara, seria Construcții-Arhitectură, Tom 53(67), Fascicola 1, pag. 11-14, Editura Politehnica, Timișoara, 2006.
19. Costescu, C., Ciopec, Alexandra, Abrudean, Mihaela – Studii și cercetări privind posibilitățile de utilizare a rocilor din zona Băile Herculane. Zilele Academice Timișene. Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 139-142, Ediția IX-a, Editura Solness, Timișoara, 2005.
20. Costescu, C., Voicu, Cristina, Ciopec, Alexandra – Causes and Solution for the Consolidation of a Landslide Produced on the Country Road 605. Buletinul Științific al Universității "Politehnica" din Timișoara, seria Construcții-Arhitectură, Tom 49(63), Fascicola 1, pag. 19-26, Editura Politehnica, Timișoara, 2004.
21. Costescu, C., Dogariu, A. – Studies Regarding Operation Behavior of Road Pavements Based on Numerical Modeling. Conferința Internațională Resurse și Mediu, Ediția II-a, Baia Mare, octombrie 2010, în curs de publicare.
22. Costescu, I. – Contribuții la dezvoltarea tehnologiilor de construcție a sistemelor rutiere cu materiale energoneintensive. Teză de doctorat, Timișoara, 1985.
23. Costescu, I., Belc, F. – Agregate naturale stabilizate în tehnica rutieră. Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 1998.
24. Croney, D. – The Design and Performance of Road Pavements. London, HMSO, 1997.
25. Croney, D., Croney, P. – The Design and Performance of Road Pavements. McGraw-Hill Book Company, London, 1991.
26. Diaconu, Elena, Dicu, M., Răcănel, Carmen – Căi de comunicații rutiere. Principii de proiectare. Editura Conspress, București, 2006.
27. Dicu, M. – Studiul fisurării structurilor rutiere mixte. Teză de doctorat, București, 1996.
28. Dicu, M., Albu, Ana-Maria – Procedura de evaluare calitativă a stării tehnice la partea carosabilă a unui drum. Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 167-169, Ediția VIII-a, Editura Solness, Timișoara, 2003.
29. Ferne, B. – Private Communication. Transport Research Laboratory, 1996.
30. Fodor, Georgeta, Căpitanu, Camelia – Unele considerații privind agresivitatea traficului asupra structurilor rutiere suplă. Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 95-101, Ediția VIII-a, Editura Solness, Timișoara, 2003.
31. Fodor, Georgeta, Popescu, Natalia – Ghid tehnic – Structuri rutiere suplă și semirigide. Dimensionare și alcătuire. Editura Compania Inedit.
32. Grigoraș, A. – Optimizarea consolidării sistemelor rutiere la sporuri de sarcini. Universitatea Tehnică de Construcții București, 2004.
33. Gugiuman, G. – Îmbrăcăminți rutiere colorate. Editura Societății Academice "Mateiu Botez", Iași, 2002.



34. Gugiuman, G. Gălușcă, Izabela – Dimensionarea structurilor rutiere. Elemente de calcul. Editura Societății Academice "Matei-Teiu Botez", Iași, 2009.
35. Gruia, Agneta, Haida, V. – Geotehnică și fundații. Litografia Universității Tehnice din Timișoara, 1990.
36. Haida, V. – Geologie, geotehnică și fundații – vol. I, Elemente de geologie și geotehnică. Litografia I.P. "Traian Vuia", Timișoara, 1981.
37. Haida, V., Marin, M. – Geotehnică. Litografia Universității Tehnice, Timișoara, 1994.
38. Haida, V., Marin, M., Mirea, Monica – Mecanica pământurilor. Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2004.
39. Haida, V., Mișu, P., Voicu, Cristina – Unele aspecte ale comportării construcțiilor fundate pe pământuri active. Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 375-384, Ediția VII-a, Editura Solness, Timișoara, 2001.
40. Haida, V., Voicu, Cristina, Bogdan, I., Boldurean, P., Mișu, P. – Considerații asupra condițiilor tehnico-geologice și geotehnice specifice câmpiei Banatului. Zilele Academice Timișene, Ediția a V-a, Timișoara, 1997.
41. Hașdeu, B.P. – Româniii bănățeni din punctul de vedere al conservatorismului dialectal și teritorial, București 1896, de la Universitatea București, 2005.
42. Ielenicz, M. și alții – Dicționarul de geografie fizică. Editura Corint, 1999.
43. Iliescu, M. – Contribuții la dimensionarea structurilor rutiere suple, luând în considerare rezistența la oboseală a straturilor bituminoase. Teză de doctorat, Cluj Napoca, 1991.
44. Jansson, H. – Simple Structural Index Based on FWD Measurement. Proceedings from the 4<sup>th</sup> International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, pag. 457-466, Mineapolis, Minnesota, USA, 1994.
45. Jugariu, E. – Harta evoluției traficului rutier, furnizoare de date decizionale pentru stabilirea unei infrastructuri eficiente. Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 238-245, Ediția VIII-a, Editura Solness, Timișoara, 2003.
46. Kim, Y., Khosla, N., Kim, N. – Effect of Temperature and Mixtures Variables on Fatigue Life by Diametral Fatigue Testing. Transportation Research Board, 70<sup>th</sup> Annual Meeting, 1991.
47. Lucaci, G. – Contribuții la studiul și diversificarea mixturilor asfaltice pentru îmbrăcăminți bituminoase. Teză de doctorat, Timișoara, 1986.
48. Lucaci, G. – Defecțiunile îmbrăcăminților rutiere moderne. Definire, cauze, metode de remediere. Editura Solness, Timișoara, 2001.
49. Lucaci, G., Belc, F., Bancea, C., Costescu, C. – Drumuri. Elemente de proiectare. Editura Politehnica, Timișoara, 2010.
50. Lucaci, G., Costescu, I., Belc, F. – Construcția drumurilor. Editura Tehnică, București, 2000.
51. Marciano, Y., Basse, O., Ferraro, M., Le Clerc, S. – Les specifications Superpave: une contribution Shell au decryptage: Carte de France des P.G. Revue Generale des Routes et des Aerodromes, No. 748, Fevrier, 1997.
52. Nicoară, L. – Îndrumător pentru laboratoarele de drumuri. Ediția V-a. Editura Inedit, București, 1998.

53. Nicoară, L. – Terminologie rutieră. Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, vol. I, pag. 55-61, Ediția V-a, Editura Mirton, Timișoara, 1997.

54. Nicoară, L., Bilțiu, A. – Îmbrăcăminți rutiere moderne. Editura Tehnică, București, 1983.

55. Nicoară, L., Lucaci, G. – Trafic și autostrăzi. Litografia Institutului Politehnic "Traian Vuia", Timișoara, 1988.

56. Nicolau, M., Dumitrescu, Livia, Molan, Ileana, Răducan, J. – Considerații asupra evoluției traficului pe drumurile publice interurbane din România. Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 108-116, Ediția X-a, Editura Solness, Timișoara, 2007.

57. Nicolescu, L. – Argila în construcția terasamentelor. Centrul de Documentare și Publicații Tehnice – M.T.Tc., 1974.

58. Oros, E. Nițoiu, Lucia – Specificul cutremurelor de pământ din Banat, Buletinul AGIR nr. 4, București, 2000.

59. Pogany, A. – Determinarea modulului de elasticitate dinamică al mixturilor asfaltice cu aparatul Nottingham Asphalt Tester. Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 147-154, Ediția IX-a, Editura Solness, Timișoara, 2005 Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 167-169, Ediția VIII-a, Editura Solness, Timișoara, 2003.

60. Porot, L., Achimastos, L. – Pavement Design Methods. European Roads Review, RGRA 2 – 2003, pag 30-38.

61. Romanescu, C., Răcănel, Carmen – Reologia lianților bituminoși și a mixturilor asfaltice. Editura Matrix Rom, București, 2003.

62. Schaeffner, M., Dencausse, P. – Mise en oeuvre et controle du compactage dans les travaux de terrassements en Republique Federale d'Allemagne. În Bull. De liaison des laboratoires des ponts et chaussees, nr. 55. 1971.

63. Stanciu, A. Lungu, Irina – Fundații. Editura Tehnică, București, 2006.

64. Stanciu, M., Fodor, Georgeta, Căpitanu, Camelia – Adoptarea metodologiei de dimensionare a structurilor rutiere, unice în Europa, pas viitor important în îmbunătățirea comportării drumurilor în țara noastră. Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 54-59, Ediția VII-a, Editura Solness, Timișoara, 2001.

65. Stelea, L. – Contribuții la elaborarea unor tehnologii eficiente pentru întreținerea drumurilor. Teză de doctorat, Timișoara, 1991.

66. Stelea, L. – Monitorizarea traficului greu și efectele asupra rețelei de drumuri. Al X-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, Vol. I, pag. 1-6, Editura Trefla, Iași, 1998.

67. Stelea, L., Pădure, Florica – Calitatea suprafeței de rulare din punct de vedere al uniformității și rugozității. Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 115-119, Ediția VII-a, Editura Solness, Timișoara, 2001.

68. Stelea, Liliana, Stelea, Ileana – Importanța indicilor de degradare ai structurii rutiere în stabilirea lucrărilor de întreținere a drumurilor. Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 177-184, Ediția VIII-a, Editura Solness, Timișoara, 2003.

69. Sorohan, S. – Metoda elementelor finite în ingineria mecanică. Programe și aplicații, UPB, 1996.
70. Tatsuo, Nishiki – Cum se aleg pământurile optime pentru platformele de cale ferată. Construcția și întreținerea căii. Editura transporturilor și telecomunicațiilor. Caiet selectiv, nr. 6. 1963.
71. Vlad, N. – Unele aspecte privind comportarea la îngheț a pământurilor argiloase tratate cu var folosite ca strat de formă. Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 17-22, Ediția IX-a, Editura Solness, Timișoara, 2005.
72. Voicu, Cristina – Contribuții la studiul influenței terenurilor de fundare asupra viabilității drumurilor în condițiile zonei de câmpie a Banatului. Teză de doctorat, Timișoara, 2003.
73. Voicu, Cristina, Haida, V. – Considerații privind influența factorilor geotehnici asupra viabilității drumurilor din zona de câmpie a Banatului. A X-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, vol. I, pag. 191-198, Editura Conspress, București, 2004.
74. Voicu, Cristina, Mișu, P., Mirea, Monica – Considerații privind influența terenului de fundare asupra viabilității drumurilor din zona de câmpie a Banatului. Zilele Academice Timișene, Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre, pag. 429-436, Ediția VIII-a, Editura Solness, Timișoara, 2003.
75. \*\*\* – Catalog de soluții tip de ranforsare a structurilor rutiere suple și semirigide pentru sarcina de 115 kN pe osia simplă. Indicativ AND 571-2002.
76. \*\*\* – Cod de proiectare și execuție pentru construcții fundate pe pământuri cu umflări și contracții mari PUCM. Indicativ NE 0001-96.
77. \*\*\* – Colecția European Roads Review (2004...2008). Revue générale des routes et des aérodromes SAS, éditeur 132 rue de Rivoli, Paris.
78. \*\*\* – Colecția standarde germane DIN – Germania.
79. \*\*\* – Contract nr. 514/2006, Verificarea și corelarea rezultatelor obținute prin diferitele metode românești de dimensionare a ranforsărilor complexelor rutiere (metoda analitică, metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometrul Benkelman și metoda corespunzătoare măsurătorilor cu deflectometre cu sarcină dinamică), Colectiv de cercetare "Căi de Comunicație Terestre Fundații și Cadastru", Facultatea de Construcții, Universitatea „Politehnica” din Timișoara. Beneficiar: CESTRIN București.
80. \*\*\* – Contract nr. 977P/2002, Studiul și interpretarea datelor meteo aferente perioadei de 30 ani pentru cele 18 stații meteo luate inițial în studiu și stabilirea unor corelații în vederea acoperirii întregului teritoriu conform metodologiei SUPERPAVE, Colectiv de cercetare nr.30305 "Căi de comunicații și fundații", Facultatea de Construcții și Arhitectură, Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” Iași. Beneficiar: CESTRIN București.
81. \*\*\* – COST 333 - Development of New Bituminous Pavement Design Method. Final Report of the Action. Office for Official Publications of the European Commission, Luxembourg, 1999.
82. \*\*\* – Elaborarea catalogului de soluții tip de ranforsare a sistemelor rutiere pentru sarcina de 115 kN pe osie simplă. S.C. INCERTRANS S.A., București, 1995.
83. \*\*\* – Genealogical Research & Probate Investigations – <http://www.genealogy.ro/cont/1.htm>

84. \*\*\* – Instrucțiuni privind controlul calității terasamentelor rutiere. Indicativ AND 530 - 1996.
85. \*\*\* – Instrucțiuni tehnice departamentale pentru determinarea prin deflectografie și deflectometrie a capacității portante a drumurilor cu sisteme rutiere suplă. Indicativ CD 31-2002.
86. \*\*\* – Instrucțiuni tehnice privind determinarea modulului de elasticitate dinamic al mixturilor asfaltice. Indicativ AND 542-1998.
87. \*\*\* – Instrucțiuni tehnice privind metodologia de determinare a planeității suprafeței drumurilor cu ajutorul analizatorului de profil longitudinal (APL 72). Indicativ 563-2001.
88. \*\*\* – Instrucțiuni tehnice privind metodologia de determinare a planeității suprafeței drumurilor cu ajutorul BUMP Integratorului (BI). Indicativ 565-2001.
89. \*\*\* – Instrucțiuni tehnice privind starea tehnică a drumurilor moderne. Indicativ CD 155 -2001.
90. \*\*\* – Instrucțiuni tehnice provizorii privind determinarea capacității portante a drumurilor cu deflectometrul Phonix MLY 10000. Indicativ AND 564-2001.
91. \*\*\* – Les émulsions de bitume. Pour l'éditeur Revue Générale des Routes et des Aérodomes, Paris, 2006.
92. \*\*\* – Metodologie pentru determinarea indicelui de capacitate portantă – C.B.R.. Indicativ IM 003 -1996.
93. \*\*\* – Ministerul Transporturilor și Infrastructurii – <http://mt.ro>.
94. \*\*\* – Normativ pentru dimensionarea ranforsărilor cu beton de ciment ale sistemelor rutiere rigide, suplă și semirigide. Indicativ PD 124-2002.
95. \*\*\* – Normativ pentru dimensionarea ranforsărilor cu strat de agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici a structurilor rutiere suplă și semirigide. Indicativ CD152-2002.
96. \*\*\* – Normativ pentru dimensionarea straturilor bituminoase de ranforsare a sistemelor rutiere suplă și semirigide (Metoda analitică). Indicativ AND 550-1999.
97. \*\*\* – Normativ pentru dimensionarea structurilor rutiere suplă și semirigide (Metoda analitică). Indicativ PD 177-2001.
98. \*\*\* – Normativ pentru evaluarea stării de degradare a îmbrăcăminții rutiere pentru structuri suplă și semirigide. Indicativ AND 540-1998.
99. \*\*\* – Normativ pentru execuția terasamentelor rutiere din cenușă de termocentrală. Indicativ CD 129 - 2002.
100. \*\*\* – Normativ pentru prevenirea și remedierea defecțiunilor la îmbrăcămințile rutiere moderne. Indicativ AND 547 - 1998.
101. \*\*\* – Normativ privind administrarea, exploatarea, întreținerea și repararea drumurilor publice. Indicativ AND 554-1999.
102. \*\*\* – Normativ privind alcătuirea structurilor rutiere rigide și suplă pentru străzi. Indicativ NP 116 -2005.
103. \*\*\* – Normativ privind executarea mecanizată a terasamentelor de drum. Indicativ C 182 - 1987.
104. \*\*\* – Normativ privind fundarea construcțiilor pe pământuri sensibile la umezire colapsibile. Indicativ NP 125-2008.
105. \*\*\* – Normă tehnică din 27.01.1998 privind stabilirea clasei tehnice a drumurilor publice. Publicat în Monitorul Oficial, Partea I nr. 138bis din 06/04/1998.

106. \*\*\* – Note pour l'utilisation du programme Alize III. Division Structures et Caractéristiques des Chaussées, Division Matériaux des Chaussées, Division Chaussées et Terrassements, Janvier 1987.

107. \*\*\* – SUPERPAVE – Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. Asphalt Institute. SUPERPAVE Series No. 1 (SP-1) Lexington, Kentucky, SUA, 1995.

108. \*\*\* – Wikipedia Enciclopedia Liberă – <http://ro.wikipedia.org/wiki/Banat>.