

ÎMBRĂCĂMINȚI RUTIERE RIGIDE

CUPRINS

1. Considerații generale asupra îmbrăcăminților rutiere rigide	3
1.1. Evoluția îmbrăcăminților rutiere rigide	4
1.2. Avantajele și dezavantajele îmbrăcăminților rutiere rigide	6
1.3. Tendințe în proiectarea și realizarea îmbrăcăminților rutiere rigide	8
2. Materiale utilizate la execuția îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment	8
2.1. Agregate naturale	9
2.2. Cimentul	9
2.3. Aditivi	16
2.4. Apa	19
3. Betoane rutiere	19
3.1. Clasificare	19
3.2. Caracteristicile betonului proaspăt	20
3.3. Caracteristicile betonului întărit	25
3.4. Influența factorilor de compoziție și execuție asupra calității betoanelor de cimentrutiere	30
3.5. Calculul compoziției betonului de ciment	33
4. Tehnologia de execuție a îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment	48
4.1. Pregătirea stratului suport	48
4.2. Prepararea betonului	50
4.3. Transportul betonului	55
4.4. Așternerea și compactarea betonului	57
4.5. Finisarea, tratarea și protejarea ulterioară a suprafeței îmbrăcăminților din beton de ciment	67
4.6. Executarea rosturilor	75
4.7. Condiții de calitate, controlul calității și recepția lucrărilor	81

5. Tipuri speciale de îmbrăcămînți rutiere rigide	86
5.1. Îmbrăcămînți din beton armat	87
5.2. Îmbrăcămînți prefabricate din beton de ciment	94

1. Considerații generale asupra îmbrăcăminților rutiere rigide

Criteriul principal care stă la baza clasificării structurilor rutiere este modul de comportare al acestora sub acțiunea încărcărilor. Structurile rutiere a căror îmbrăcămintă este formată din beton de ciment sau macadam cimentat se încadrează în categoria structurilor rutiere rigide.

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 (fig. 1).

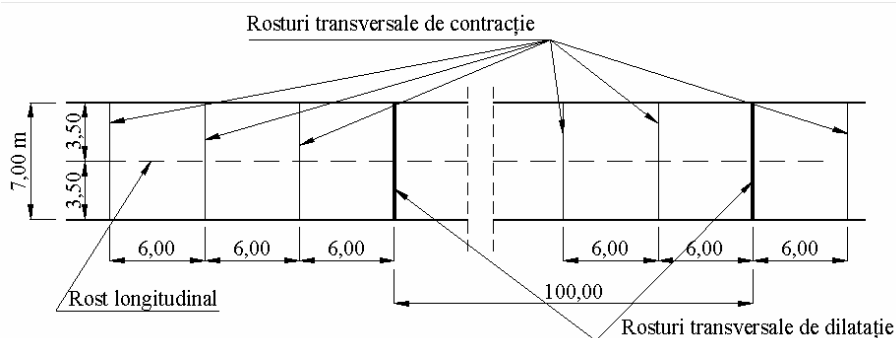


Fig. 1. Schema în plan a unei îmbrăcăminți rutiere din beton de ciment.

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. Având

în vedere 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 deformările sub solicitări în cazul acestora sunt mai reduse, ceea ce este foarte important din punct de vedere al comportării în exploatare. În mod normal, îmbrăcămințile rutiere rigide au o durată de exploatare de 20...30 ani, mult mai mare decât cele bituminoase.

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 fundație și realizarea straturilor rutiere inferioare, rezolvarea problemei rosturilor, a tehnologiilor de execuție, respectiv asigurarea controlului de calitate al lucrărilor.

1.1. Evoluția îmbrăcăminților rutiere rigide

Betonul de ciment, pătruns în domeniul construcțiilor civile, industriale și hidrotehnice datorită multiplelor avantaje tehnice și economice pe care le prezintă, își găsește astăzi o largă aplicabilitate și în domeniul construcțiilor rutiere, atât la realizarea lucrărilor de artă cât și la realizarea straturilor complexului rutier, în primul rând a îmbrăcăminților rutiere și a pistelor pentru aerodromuri.

Îmbrăcămințile rutiere din beton de ciment au apărut în anul 1865 în Scoția. În anul 1888, s-au executat lucrări asemănătoare și în Germania, iar în 1892 în S.U.A. (statul Ohio). Cu toate că aceste lucrări se comportă foarte bine în exploatare, se constată o stagnare în realizarea acestora până în anul 1909, când se execută, în Elveția, aproape 3 km de îmbrăcămintă rutieră din beton de ciment, iar în anul 1914 alți 2,5 km pe același drum. După o nouă perioadă de stagnare, abia în anul 1925 se continuă realizarea îmbrăcăminților rutiere rigide, prin aplicarea lor la construcția autostrăzilor în Italia și apoi în Germania. În perioada 1934...1945, în Germania, s-au realizat 1 860 km de autostrăzi cu îmbrăcămintă din beton de ciment. De asemenea, îmbrăcămințile rutiere din beton de ciment își fac apariția în Franța și alte țări ale Europei (fig. 2).



Fig. 2. Drum cu îmbrăcămintă din beton de ciment.

Dovedindu-se a fi o soluție avantajoasă în anumite condiții tehnice și economice, rețeaua rutieră cu îmbrăcămintă din beton de ciment se dezvoltă rapid în S.U.A., ajungându-se până în anul 1923 la o lungime de 23 000 km.

Actualmente, rețeaua de drumuri cu sisteme rutiere rigide depășește cu mult 200 000 km drumuri și autostrăzi în S.U.A., reprezentând peste 80 % din rețeaua rutieră interstatală și de mare importanță, respectiv circa 25 % din rețeaua de autostrăzi din Franța și Anglia, 90 % în Austria etc. În Europa, Germania are cea mai mare rețea de drumuri cu îmbrăcăminte din beton de ciment, cca 3 000 km.

În țara noastră, construcția drumurilor cu îmbrăcăminte din beton de ciment a început o dată cu realizarea, în anul 1932, a unui sector pe DN 1, lângă Predeal. Dintre drumurile cu îmbrăcăminte din beton de ciment, se menționează: București – Găești – Pitești, Adjud – Gh.Gheorghiu Dej, Orșova – Domașnea, Dej – Vatra Dornei, Lugoj – Ilia (fig. 3). Tehnica noastră rutieră actuală se bazează pe studii și experiențe acumulate de-a lungul ultimelor decenii, normele și prescripțiile tehnice asigurând realizarea unor lucrări de bună calitate.



Fig. 3. Îmbrăcăminte din beton de ciment executată în 1964 pe DN 68 A Lugoj–Ilia.

La noi în țară, în mod obișnuit, s-au realizat următoarele tipuri de îmbrăcăminte rutiere rigide:

- dale din beton de ciment (fig. 4.a);
- macadam cimentat (fig. 4.b).

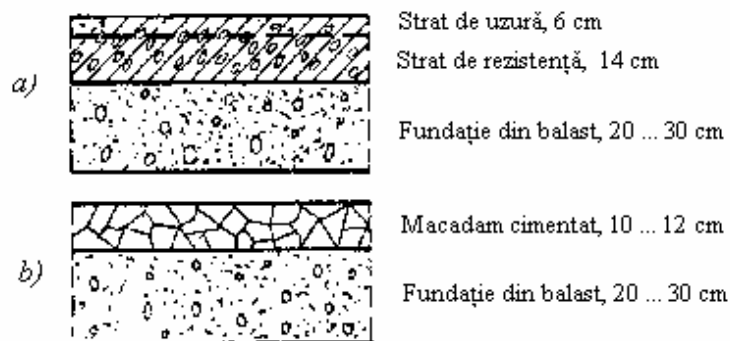


Fig. 4. Exemple de îmbrăcăminte rutiere rigide aplicate în țara noastră:
a – dale din beton de ciment; b – macadam cimentat.

Grosimea îmbrăcăminților rutiere rigide rezultă din calculele de dimensionare efectuate conform prescripțiilor tehnice în vigoare.

1.2. Avantajele și dezavantajele îmbrăcăminților rutiere rigide

Alegerea tipului de îmbrăcămințe pentru construcția, modernizarea sau reabilitarea structurilor rutiere se bazează pe calcule tehnice și economice complexe, care scot în evidență avantajele și dezavantajele pe care le prezintă îmbrăcămințile rutiere rigide față de îmbrăcămințile rutiere bituminoase.

În ceea ce privește îmbrăcămințile rutiere rigide, studiile efectuate până în prezent scot în evidență următoarele *avantaje* pe care acestea le prezintă față de îmbrăcămințile bituminoase:

- atestă rezistențe mecanice mai mari și prin urmare se pretează pe drumuri cu trafic foarte intens și greu;
- sunt rezistente la uzură și la acțiunea agenților atmosferici, fiind indicate în regiuni cu climat umed;
- având o culoare deschisă, prezintă o vizibilitate mai bună, ceea ce permite o circulație mai sigură în diferite condiții nefavorabile (noaptea, ploaie, ceață etc.);
- la temperaturi ridicate ale mediului înconjurător și sub acțiunea traficului greu chiar în zonele cu frânări și accelerări dese, nu sunt sensibile la deformări (văluriri și fâgașe), cum se constată uneori în cazul îmbrăcăminților bituminoase;
- au un grad de rugozitate ridicat, asigurând, chiar în condiții de umezire a suprafeței și la viteze mari de circulație, siguranță în exploatare;
- nu sunt atacate de carburanți și lubrifianți, fiind indicate și pentru locuri de parcare și staționare a autovehiculelor;
- permit folosirea în mai mare măsură a materialelor locale;
- sunt mai avantajoase din punct de vedere energetic, având un consum specific de energie cu 50...90 % mai mic decât îmbrăcămințile bituminoase. Acest consum energetic (exprimat în kilograme combustibil convențional pe kilometru), stabilit de Institutul de Proiectări Transporturi Auto, Navale și Aeriene (IPTANA) București prin cataloagele de sisteme rutiere tip, este în cazul îmbrăcăminților din beton de ciment de numai 351 000 kg c.c./km, față de cazul îmbrăcăminților bituminoase care au un consum de 516 000 kg c.c./km, pentru același trafic foarte greu și o parte carosabilă de 7 m. În acest bilanț energetic comparativ o influență mare a avut-o principalul consumator de energie, bitumul, cu 1 750 kg c.c./t față de ciment 225 kg c.c./t;
- pot fi realizate pentru durate de exploatare relativ ridicate (20...30 ani), chiar și pentru trafic rutier intens (sectorul DN 6 Orșova-Mehadia este în exploatare de peste 60 de ani);
- necesită un volum de lucrări de întreținere foarte redus și cu cheltuieli mici;
- bună parte dintre defecțiunile ce apar (cum sunt fisurile și crăpăturile, decolmatarea rosturilor sau exfolierea suprafeței de rulare) nu deranjează desfășurarea normală a circulației autovehiculelor, în prima fază a evoluției acestora;
- cheltuielile totale de execuție și de întreținere pe perioada lor de exploatare sunt mai reduse decât cele aferente soluțiilor cu îmbrăcăminți rutiere nerigide, pentru aceeași perioadă de timp și același trafic rutier intens și greu.

Dezavantajele pe care le prezintă îmbrăcămințile rutiere din beton de ciment față de cele bituminoase sunt următoarele:

- cheltuielile inițiale de construcție sunt relativ mari;

- posibilitățile de ranforsare a structurilor rutiere cu îmbrăcămînți rigide, pentru adaptarea lor la un trafic rutier sporit, impun tehnologii de execuție mai complexe;
- existența rosturilor transversale în îmbrăcămintea rutieră din beton de ciment deranjează circulația autovehiculelor, atât datorită colmatării în exces a acestora cu mastic bituminos, cât și datorită eventualelor tasări ale dalelor provocate de neuniformitatea capacității portante a terenului de fundare de-a lungul drumului. Din cauza rigidității dalelor, îmbrăcămînțile din beton de ciment nu pot urma deformațiile straturilor de fundație, iar în cazul unor tasări inegale ale terenului de fundație, dalele fisurează, degradându-se;
- defecțiunile care pot să apară în îmbrăcămintea rutieră din beton de ciment din cauza unor eventuale greșeli de execuție sau de subdimensionare a structurii rutiere se elimină foarte greu și cu cheltuieli însemnate;
- îmbrăcămintea rutieră din beton de ciment nu se poate da în circulație decât după ce betonul atestă rezistențe mecanice corespunzătoare (de regulă 3 săptămâni);
- asigurarea condițiilor normale de circulație pe timp de iarnă impune metode de acționare mai anevoioase, având în vedere că nu se recomandă utilizarea fondanților chimici la deszăpezire și combaterea poleiului;
- nu se pretează la ameliorări progresive prin consolidări succesive ale structurii rutiere în funcție de necesitățile impuse de trafic;
- este necesară uneori construirea de variante pentru circulația curentă, care nu se poate desfășura normal pe sectorul de drum în timpul execuției îmbrăcămintei din beton de ciment.

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 îmbrăcămînțile rutiere rigide față de cele nerigide.

Experiența acumulată în acest domeniu arată că opțiunea pentru îmbrăcămînți rutiere din beton de ciment este influențată, în primul rând, de următorii factori:

- lipsa lianților hidrocarbonați sau prețul ridicat al acestora;
- intensitatea și componența traficului rutier; în cazul traficului foarte greu (de exemplu în cazul autostrăzilor), rezistențele mecanice ale betonului de ciment asigură realizarea unor structuri rutiere cu perioadă de exploatare mai mare, fără necesitatea ranforsării acestora, precum și economii la materiale datorită reducerii grosimii totale a structurii rutiere;
- posibilitatea sau imposibilitatea devierii traficului pe perioada execuției lucrărilor;
- dotarea antreprenorilor cu utilajele necesare execuției lucrărilor;
- tradiția existentă în țara respectivă.

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 îmbrăcămînților rigide poate fi pe deplin justificată, alegerea acestei soluții trebuind însă adoptată numai în urma unui calcul de rentabilitate bine fundamentat.

1.3. Tendințe în proiectarea și realizarea îmbrăcăminților rutiere rigide

Cu ocazia congreselor mondiale de drumuri și a diferitelor simpozioane internaționale, privind drumurile cu îmbrăcăminți din beton de ciment, s-au scos în evidență următoarele aspecte mai importante în legătură cu realizarea acestor tipuri de îmbrăcăminți:

- s-a extins utilizarea materialelor granulare stabilizate cu lianți hidraulici la realizarea stratului suport al îmbrăcăminților din beton de ciment. Aceste straturi, frecvent folosite în cazul autostrăzilor și drumurilor cu trafic greu, asigură un suport uniform și stabil pentru îmbrăcămințile din beton de ciment, împiedicând tasarea inegală a dalelor și măbind durata de exploatare a lucrărilor;
- se remarcă rezultatele bune obținute în unele țări în domeniul îmbrăcăminților din beton de ciment armate continuu, armate dispers cu fibre de oțel, betoane precomprimate etc.;
- s-au elaborat noi principii și soluții pentru realizarea pistelor din beton de ciment pentru aerodromuri;
- prin utilizarea antrenorilor de aer, s-au obținut betoane de ciment rezistente la îngheț-dezghet și la acțiunea fondanților chimici folosiți pentru combaterea poleiului;
- se practică introducerea în betoane a superplastifiantilor care scurtează durata de întărire a betonului, ajungându-se ca după 2...3 zile calea să poată fi dată în exploatare;
- utilizarea mașinilor cu cofraje glisante pentru punerea în operă a betoanelor în condiții de calitate mult sporite, cu avantaje economice evidente, a dat un nou avânt construcției drumurilor cu îmbrăcăminți din beton de ciment;
- rosturile transversale de contracție se execută în general prin tăiere;
- s-au stabilit noi metode eficiente pentru realizarea rugozității suprafeței de rulare, folosindu-se strierea mecanizată longitudinală sau transversală, clutarea suprafeței betoanelor cu material pietros rezistent, dezvelirea parțială a agregatelor din betonul de la suprafață etc.;
- întreținerea și repararea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment s-a îmbogățit cu noi tehnologii, urmărindu-se perfecționarea unor metode de ranforsare a structurilor rutiere existente;
- în ceea ce privește controlul calității lucrărilor executate, se notează creșterea exigenței în verificarea calității suprafeței de rulare (planeitate, rugozitate, confort general și confort optic etc.) constatându-se o dotare apreciabilă a administrațiilor de drumuri cu aparatură de control de mare precizie, de mare productivitate și cu prelucrarea automată a datelor;
- 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. Materiale utilizate la execuția îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment

La realizarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment se utilizează următoarele materiale de bază:

- agregate naturale neprelucrate (nisip și pietriș);

- produse de carieră prelucrate, sub formă de piatră spartă și cribluri;
- cimenturi de tipuri și mărci obișnuite sau speciale;
- apă;
- aditivi (plastifianți, antrenori de aer etc.);
- alte materiale (oțel-beton, fibre de oțel, materiale pentru rosturi etc.).

În funcție de cerințele specifice ale îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment (rezistență la întindere și uzură, rugozitate sporită, contracție mică, rezistență la îngheț-dezgheț și sensibilitate redusă la efectul fondanților chimici folosiți pentru combaterea poleiului), se prezintă în continuare cele mai importante caracteristici ale materialelor componente, prevăzute de prescripțiile tehnice de la noi din țară, precum și unele observații privind utilizarea acestor materiale în țări cu experiență rutieră avansată.

2.1. Agregate naturale

La betoanele rutiere se utilizează de obicei agregate naturale grele provenite din sfărâmarea naturală sau din concasarea rocilor.

În general, în funcție de clasa tehnică a drumului sau categoria străzii, clasa betonului și considerente economice, în stratul de uzură a îmbrăcăminților din beton de ciment se utilizează nisip și cribluri, iar în stratul de rezistență se utilizează nisip și pietriș sau piatră spartă.

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, interzicându-se folosirea agregatelor provenite din roci feldspatice sau șistoase.

De asemenea, agregatele utilizate la prepararea betoanelor de ciment rutiere trebuie să aibă o anumită formă a granulelor, rezistențe mecanice mari și o granulozitate bine stabilită, iar pentru agregatele utilizate în stratul de uzură se impun și anumite rezistențe la uzură și îngheț-dezgheț.

Mărimea maximă a granulelor agregatelor se limitează, în general, la $1/2 \dots 1/3$ din grosimea stratului în care sunt folosite (de exemplu 40 mm pentru pietrișul folosit la stratul de rezistență de minimum 12 cm grosime).

Depozitarea agregatelor se face separat pe sorturi (utilizându-se cel puțin 3 sorturi și interzicându-se folosirea directă a balastului) în condiții care să le ferească de impurificare și amestecare.

Nisipul folosit la îmbrăcămințile rutiere, sort granular 0 – 7 sau sortul total în cazul aprovizionării în sorturi separate 0 – 3 și 3 – 7 are o granulozitate continuă conform fig. 5, în care zona hașurată este impusă nisipului pentru betonul din stratul de uzură, iar zona delimitată de curbele extreme este caracteristică nisipului pentru betonul din stratul de rezistență.

Se recomandă utilizarea nisipului de râu, cuarțos, curat, având granule rotunde, aspre la pipăit, care frecate între degete să scârțâie.

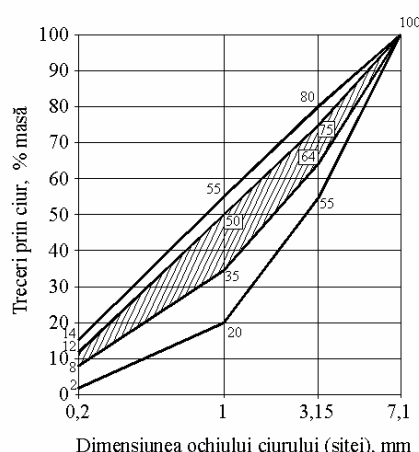


Fig. 5. Zone de granulozitate ale nisipului pentru îmbrăcăminți din beton de ciment.

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 *EN* de minimum 85 %.

Unele prescripții tehnice (franceze și germane) recomandă, pentru corectarea granulozității nisipului, utilizarea după caz a nisipului de concasaj sau a cenușilor de termocentrală (40 kg/m³ de beton).

Pentru îmbrăcămințile din beton de ciment se folosește *pietriș* sort 7–40, pentru stratul de rezistență, sau sorturile 7–16 și 16–31, la drumuri cu trafic foarte redus, în cazul stratului de uzură.

Rezistența la îngheț-dezgheț a pietrișului, exprimată în pierderea față de masa inițială după ciclurile de îngheț-dezgheț 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 folosită în stratul de uzură, sort 8–16 și 16–25, trebuie să provină din roci dure, magmatice, omogene și compacte.

Granulozitatea agregatului total trebuie să se încadreze în zona hașurată din fig. 6...9, recomandându-se înscrierea curbei în jumătatea inferioară a zonei respective.

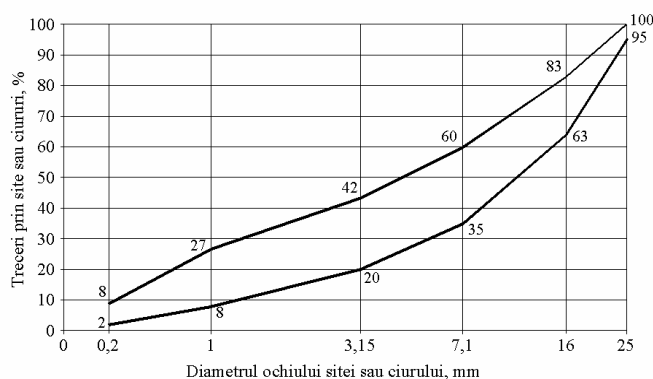


Fig. 6. Zona de granulozitate a agregatului din stratul de uzură (îmbrăcăminți în unul sau două straturi).

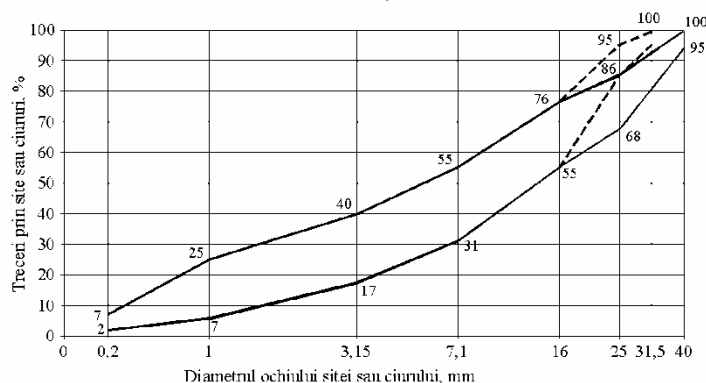


Fig. 7. Zona de granulozitate discontinuă pentru agregatul din stratul de uzură (îmbrăcăminți în unul sau două straturi).

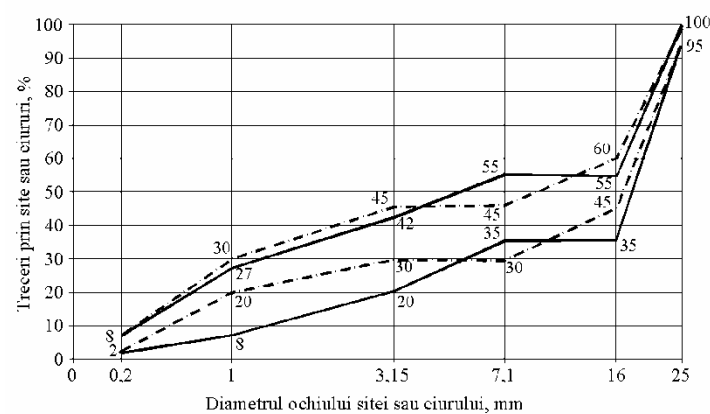


Fig. 8. Zona de granulozitate pentru agregatul din stratul de rezistență sau îmbrăcăminți într-un singur strat.

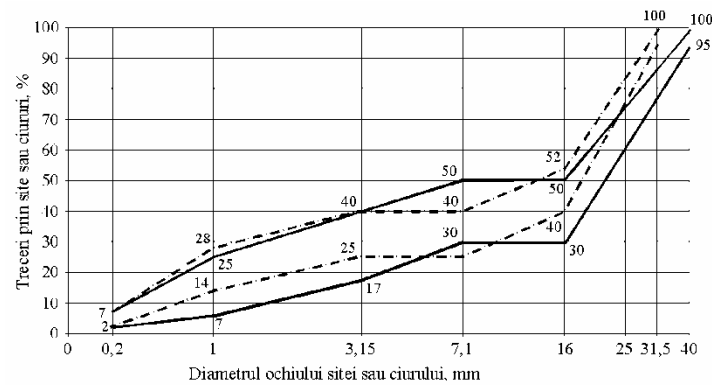


Fig. 9. Zona de granulozitate discontinuă pentru agregatul din stratul de rezistență sau îmbrăcăminți într-un singur strat

Pentru criblura folosită în stratul de uzură la îmbrăcămințile din beton de ciment de la noi din țară, se prescriu următoarele caracteristici fizico-mecanice:

- rezistența de rupere la compresiune: minimum 1 500 daN/cm²;
- rezistența la uzură cu mașina Böhme: maximum 0,1 g/cm²;
- rezistența la uzură cu mașina Deval (coeficientul de calitate): minimum 13;
- rezistența la sfărâmare prin șoc: minimum 80 %;
- coeficientul de gelivitate: maximum 3 %.

De asemenea, se recomandă ca rezistența la uzură cu mașina Los Angeles să prezinte valori sub 25 %.

Piatra spartă, sub forma spliturilor, având dimensiunile cuprinse între 8 și 40 mm, se poate utiliza, în cazuri justificate din punct de vedere economic, în locul pietrișului, putându-se folosi și amestecuri de nisip, pietriș și split sau pietriș concasat.

Directivele franceze pentru realizarea drumurilor cu îmbrăcăminți din beton de ciment prescriu pentru agregatele mijlocii și mari (pietriș sau piatră spartă) anumite valori

limită ale rezistenței la uzură, în funcție de clasa de trafic a drumului respectiv, conform tabelului 1, în care *L.A.* este coeficientul Los Angeles, *M.D.E.* este coeficientul micro-Deval umed iar *C.P.A.* este coeficientul de șlefuire accelerată.

Rezistențele la uzură ale agregatelor folosite pentru îmbrăcăminți din beton de ciment

Tabelul 1.

Coeficientul	Sortul agregatelor	Clasa de trafic			
		Intens	Mediu	Redus	Foarte redus
L.A.	4 – 20	20	25	30	40
	20 – 40	25	30	35	45
M.D.E.	4 – 20	< 15	20	25	35
	20 – 40	20	25	30	40
C.P.A.	–	> 0,5	0,45	-	-

Unele studii efectuate au scos în evidență posibilitatea folosirii, în anumite condiții, a materialelor locale de bună calitate la realizarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, cu implicații directe legate de reducerea costului lucrărilor.

Din aceste studii au rezultat următoarele concluzii privind utilizarea materialelor locale la prepararea betoanelor de ciment rutiere:

- agregatele calcaroase, concasate, având un coeficient Los Angeles de 38...44, pot fi folosite cu succes, luându-se ca măsură de precauție împiedicarea producerii unor cantități prea mari de părți fine prin atriție în timpul manipulării;
- cenușile de termocentrală permit reglarea conținutului de părți fine și obținerea unei bune lucrabilități a betonului;
- nisipurile fine, sort 0 - 8, se pot utiliza de asemenea, luându-se unele măsuri de precauție;
- pietrișurile silicioase, cu dimensiuni mici, după concasare pot fi utilizate fără dificultăți.

2.2. Cimentul

În general, pentru execuția îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment se folosesc cimenturi obișnuite, însă în țările unde se construiesc multe drumuri și în special autostrăzi cu îmbrăcăminți din beton de ciment se utilizează cimenturi rutiere speciale, acordându-se o importanță mare alegerii tipului de ciment, pentru a se evita riscurile de fisurare precoce a betonului în prima parte a perioadei de întărire.

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.

2.2.1. Compoziția mineralogică a cimentului

Având în vedere că cele mai importante proprietăți ale cimentului sunt determinate în primul rând de caracteristicile componentilor mineralogici și de proporția în care aceștia se regăsesc în compoziție, s-a demonstrat experimental că proprietățile unui ciment sunt cu aproximație funcții aditive de compoziție mineralogică, conform expresiei:

$$P = \alpha \cdot C_3S + \beta \cdot C_2S + \gamma \cdot C_4AF + \delta \cdot C_3A \quad (1)$$

în care:

α, β, γ și δ sunt coeficienți de proporționalitate stabiliți statistic;

C_3S, C_2S, C_4AF, C_3A – componenți mineralogici, în %.

Pentru alegerea unei compoziții mineralogice a cimentului care să corespundă condițiilor impuse îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, în literatura de specialitate au fost tratate caracteristicile componenților mineralogici pe compuşii chimici individuali (tabelul 2).

Comportarea componenților mineralogici ai cimentului

Tabelul 2

Caracteristica	Componentul			
	C_3S	C_2S	C_4AF	C_3A
Rezistența mecanică	Foarte mare*	Inițial mică	Medie	Mică**
Contrația	Mică*	Medie	Medie	Mare**
Gelivitatea	Foarte bună*	Bună	Slabă	Foarte slabă**
Rezistența la uzură	Bună*	Scăzută**	Medie	Medie
Modulul de elasticitate	Foarte mare*	Mediu	Mare*	Mediu
Viteza de hidratare	Moderată*	Foarte lentă	Rapidă	Foarte rapidă**
Căldura de hidratare	Mare	Mică	Medie*	Foarte mare**

*Comportări favorabile cimenturilor rutiere.

** Comportări nefavorabile cimenturilor rutiere.

Din analiza modului de comportare a componenților mineralogici individuali, prezentată sintetic în tabelul 2, rezultă următoarele concluzii:

- C_3S (silicatul tricalcic) este cel mai important component, prezentând din toate punctele de vedere caracteristici optime pentru cimenturile rutiere. Proporția de C_3S în aceste cimenturi se consideră că trebuie să fie mai mare de 55 %, recomandabil între 60 și 70 %;
- prezența unor cantități mari de C_2S (silicat bicalcic) este contraindicată în cimenturile rutiere;
- este necesar să se limiteze strict conținutul de C_3A (aluminat tricalcic) în componența cimentului rutier, admițându-se maximum 6 % (10 % în cazul îmbrăcăminților revibrate).

În aceste condiții se poate aprecia că un ciment rutier trebuie să aibă caracteristicile unui ciment feroportlandalitic, care este capabil să furnizeze rezistențe corespunătoare la compresiune, întindere din încovoiere, la uzură și gelivitate, având totodată contracții reduse.

2.2.2. Tipuri de ciment utilizate pentru îmbrăcăminți din beton de ciment

În țara noastră, la primele lucrări rutiere cu îmbrăcăminți din beton de ciment, s-a utilizat cu bune rezultate cimentul de tip Ferrari, având compoziția mineralogică prezentată în tabelul 3.

Compoziția mineralogică a unor tipuri de ciment utilizate pentru betoane rutiere

Tabelul 3

Tipul de ciment	Constituenți mineralogici, în %			
	C_3S	C_2S	C_4AF	C_3A
Ferrari	51	27	17	-
Portlandalitic	56	14	18	4
RIM 300	58	14	12	12
Portland normal	45	30	12	8
CD 40	65...72	5...10	> 18	< 6
Tip S.U.A.	55...60			< 8
CPA (Franța)	65...70		> 10	< 6

Acest ciment rutier a fost realizat pe considerentul că silicatul tricalcic (C_3S), în proporție de peste 50 %, conferă cimentului cele mai mari rezistențe mecanice și o contracție la uscare acceptabilă, precum și datorită faptului că tot trioxidul de aluminiu este legat de C_4AF (lipsind C_3A), piatra de ciment rezultată fiind rezistentă și la acțiunile corozive.

În anul 1941, cu ocazia execuției noilor îmbrăcămînți rutiere din beton de ciment pe traseul București – Găiești – Pitești, cimentul utilizat, de tip portlandalitic, avea compoziția mineralogică prezentată în tabelul 3.

În perioada 1950...1970 cimenturile utilizate în țara noastră la îmbrăcămînțile din beton de ciment au fost de tip P_z 400, M 400 precum și RIM 300, ultimul fiind folosit în cazul dării în exploatare urgentă a unor sectoare de drum.

Aceste cimenturi, recomandate până în anul 1975 de instrucțiunile tehnice de la noi din țară pentru executarea îmbrăcămînților rutiere din beton de ciment, datorită compoziției mineralogice, a adaosurilor folosite la măcinarea clincherului, precum și datorită vitezei de întărire mai lente, nu au satisfăcut exigențele funcționale ale acestor lucrări rutiere, prezentând rezistențe mecanice în general mici la termene scurte, contracții mari, nefiind rezistente la uzură, la îngheț-dezgheț și la acțiunea fondanților chimici utilizați în activitatea de deszăpezire a drumurilor.

Experimental, în perioada 1968...1979, s-au utilizat pe sectoare de drum de pe DN 73 A Brașov-Râșnov și DN 68 A Lugoj-Ilia, tipuri de cimenturi rutiere speciale produse la fabricile de ciment din Medgidia și "Temelia" - Brașov.

Studiile efectuate în această perioadă la noi în țară au scos în evidență caracteristicile deosebite ale cimentului de tip feroportlandalitic prin utilizarea căruia se pot realiza îmbrăcămînți din beton de ciment cu rezistențe superioare la întindere, contracție, uzură, îngheț-dezgheț etc., concomitent cu o sensibilitate sporită la revibrarea betonului în perioada de priză. Este de remarcat faptul că, în asemenea condiții de execuție, s-au putut realiza economii de până la 20 % ciment cu respectarea prescripțiilor tehnice impuse betoanelor rutiere.

Pe baza acestor experimentări, în anul 1975 a fost standardizat la noi în țară cimentul pentru drumuri tip CD 40, la care conținutul de aluminat tricalcic C_3A este limitat la maximum 6 %.

Se remarcă din tabelul 3 că noul tip de ciment pentru betoane rutiere utilizat în țara noastră corespunde din punct de vedere al compoziției mineralogice cimenturilor rutiere franceze.

Având în vedere resursele mineralogice extrem de variate din Franța (nisipuri și pietrișuri aluvionare, calcare, roci eruptive), prescripțiile tehnice din această țară prevăd ca alegerea tipului de ciment, respectiv conținutul de aluminat tricalcic C_3A , să se facă în

funcție de natura agregatelor naturale și temperatura betonului la punerea în operă (tabelul 4), urmărindu-se evitarea riscurilor de fisurare precoce a betonului.

Limitarea conținutului de C_3A din ciment

Tabelul 4

Natura agregatelor naturale	Temperatura maximă a betonului la punerea în operă, t în °C	Conținutul maxim de C_3A , %
Roci silicioase	≥ 30	6
Roci eruptive	$30 > t \geq 25$	7
	< 25	8
Roci calcaroase	$30 > t \geq 25$	10
	< 25	12

Rezistențele mecanice ale diferitelor tipuri de ciment utilizate la noi în țară și în străinătate, la prepararea betonului de ciment pentru îmbrăcămințile rutiere sunt prezentate în tabelul 5.

Rezistențe mecanice ale diferitelor tipuri de ciment rutier

Tabelul 5

Tipul cimentului	Țara	Rezistența minimă, în N/mm^2 , determinată pe mortare plastice					
		La compresiune			La întindere din încovoiere		
		2 zile	7 zile	28 zile	2 zile	7 zile	28 zile
P 40	România	17,0	-	40,0	3,0	-	6,0
P 45	România	20,0	-	45,0	3,5	-	6,5
CD 40	România	15,0	26,0	40,0	3,5	5,0	6,5
Z.275	Germania	-	11,0	27,5	-	3,0	5,0
Z.375	Germania	15,0	22,5	37,5	3,0	4,0	6,0
CPA 325	Franța	-	21,0	32,5	-	4,0	5,5
CPA 400	Franța	16,0	31,5	40,0	3,5	5,5	6,5

În prezent, la noi în țară se utilizează în mod curent cimentul P 45 și P 40.

Se observă că rezistențele la întindere din încovoiere, determinate pe mortare plastice, sunt în general mari, depășind, la 28 de zile, 6 N/mm^2 , iar rezistențele la compresiune sunt medii, nedepășind 40 N/mm^2 .

Cimenturile utilizate, în general de tip portlandalitic, se stabilesc în funcție de clasa de rezistență a cimentului. De exemplu, în Germania se utilizează cimenturi de clasă minimă 350, putându-se folosi și cimentul cu rezistențe inițiale mari (Z. 450), în perioadele de toamnă și primăvară, pe vreme răcoroasă sau în cazul unor sectoare de drum având termenele de execuție scurte.

În Franța, clasa cimenturilor rutiere utilizate este în general 45 (exprimată în megapascali, 1 Mpa = 10 bari = 1 N/mm^2) din categoriile CPA, la fabricarea cărora se limitează conținutul în adaosuri inactive de zguri de furnal sau cenuși de termocentrală la maximum 15 %, putându-se utiliza cu precauțiile necesare și cimenturi de clase superioare (55) pentru betoanele de ciment folosite la execuția îmbrăcăminților rutiere pe sectoare de drum care trebuie date rapid în exploatare.

În general, cimenturile cu adaosuri nu se folosesc în mod curent pentru lucrări rutiere, betoanele preparate cu aceste cimenturi fiind sensibile la fisurare, prezentând contracții rapide în timpul prizei și având rezistențe scăzute la uzură.

Având în vedere faptul că în compoziția betoanelor utilizate la îmbrăcămințile rutiere rigide, cimentul intervine într-o cantitate apreciabilă (în medie 500 t/km de drum), folosirea unor tipuri speciale de ciment pentru drumuri poate conduce la importante economii în executarea acestor lucrări, prin posibilitatea reducerii dozajului de ciment, în condițiile îmbunătățirii simțitoare a calității lucrărilor.

2.2.3. Caracteristici specifice impuse cimenturilor rutiere

Cimenturile utilizate la îmbrăcămințile rutiere din beton de ciment trebuie să prezinte și anumite caracteristici fizice care să conducă la limitarea fisurării precoce a betonului datorită fenomenului de contracție în timpul perioadei de priză și întărire, acest fenomen putând produce o fisurare neuniformă și necontrolată a îmbrăcăminței din beton de ciment înainte de tăierea rosturilor de contracție.

Aceste caracteristici completează condiția impusă proprietăților chimice ale clincherului în a cărei compoziție mineralogică se limitează conținutul de aluminat tricalcic (C_3A) după cum rezultă din paragrafele anterioare.

Din aceste considerente, **priza cimentului** pentru drumuri (tip CD 40), determinată cu ajutorul aparatului Vicat, trebuie să fie lentă și să nu înceapă mai devreme de 1...2 ore de la preparare.

Unele prescripții tehnice din alte țări stabilesc începutul prizei cimentului în funcție de temperatura betonului la punerea în operă, de peste două sau trei ore la 20 °C și cel puțin una sau două ore la 30 °C.

În ceea ce privește **constanța de volum**, determinată pe turte, acestea nu trebuie să prezinte crăpături de la margine spre centru, caracteristice fenomenului de umflare, iar mărirea de volum măsurată la vârful acelor Le Chatelier nu trebuie să fie mai mare de 10 mm.

Prescripțiile tehnice franceze prevăd pe lângă limitarea conținutului de C_3A în cimenturile rutiere și efectuarea unor încercări specifice de fisurare (fisurile din contracție trebuie să se producă după 15 h) precum și efectuarea unor încercări privind cinetica de hidratare a cimentului, măsurând viteza de contracție care trebuie să fie de maximum 10 μ m pe metru și pe oră, iar valoarea contracției totale la 28 de zile este limitată sub 800 μ m/m.

Finețea de măcinare a cimenturilor rutiere, exprimată prin suprafața specifică, trebuie să fie de 2 800...3 500 cm^2/g sau, în lipsa aparaturii necesare (permeametrul Blaine), se poate determina valoarea restului pe sita de 0,09 mm, care trebuie să fie de maximum 10 %.

În marea majoritate a țărilor din Europa, finețea de măcinare se limitează superior la maximum 3 000...4 000 cm^2/g , având în vedere influența acesteia asupra pericolului fisurării betonului din contracție, precum și susceptibilitatea cimentului la degradare în timpul depozitării.

Cimentul se livrează ambalat în saci sau în vrac, în recipiente închise (vagoane speciale, camioane acoperite echipate corespunzător etc.) și se depozitează separat pe tipuri, în spații închise, ferite de acțiunea umezelii, durata depozitării fiind de maximum 60 de zile de la data expedierii de către producător.

2.3. Aditivi

Aditivii folosiți la prepararea betoanelor de ciment rutiere sunt substanțe care, adăugate în cantități mici în compoziția betoanelor, pot influența în mod favorabil unele caracteristici ale betonului proaspăt sau întărit, în special lucrabilitatea și rezistențele mecanice în condiții de exploatare, precum și procesele de priză și întărire.

Cei mai utilizați aditivi în cazul betoanelor rutiere sunt adaosurile tensioactive: plastifianții și antrenorii de aer.

2.3.1. Plastifianți

Plastifianții sunt substanțe care se adsorb la suprafața particulelor solide și micșorează tensiunea superficială, determinând fenomene ca: dispersarea, hidratarea cimentului și formarea structurii de rezistență.

Rolul plastifianților este de a îmbunătăți lucrabilitatea betonului proaspăt, permițând o reducere a conținutului de apă, respectiv a raportului apă/ciment, la aceeași consistență a betonului.

În aceste condiții, plastifianții se numesc și reductori de apă și conduc la micșorarea contracțiilor precum și la îmbunătățirea rezistențelor mecanice, în special a rezistenței la îngheț-dezghet repetat.

De asemenea, efectul de întârziere a întăririi betonului, datorat plastifiantului poate fi avantajos în cazul când distanța de transport a betonului este mare.

Utilizarea plastifianților apare ca rațională în condițiile în care folosirea lor poate conduce la o reducere cu cel puțin 30 % a cantității de apă, obținându-se aceleași rezistențe mecanice.

Cei mai frecvenți plastifianți utilizați în tehnica rutieră sunt produși pe bază de lignosulfonați. Dozajul de plastifiant este de cca 0,5 % din masa cimentului.

Superplastifianții sunt adaosuri tensioactive de mare eficiență, mai nou folosiți și în tehnica rutieră și care se utilizează în cantități de 1...3 % din masa cimentului, având repercusiuni imediate asupra caracteristicilor reologice, a procesului de priză și formării structurii de rezistență.

În prezent, folosirea superplastifianților a căpătat o extindere largă în majoritatea țărilor dezvoltate, gama mare a superplastifianților fabricați având la bază rășini sintetice (melamina sau naftalina formaldehida sulfonată).

Prin utilizarea superplastifianților în tehnica ruteiră se pot obține următoarele:

- betoane cu lucrabilitate îmbunătățită de 3...5 ori, la dozaje de ciment și cantități de apă egale;
- betoane cu sporuri de rezistență 30...140 % (la o zi) și de 20...60 % (la 28 de zile) datorită reducerii conținutului de apă, la lucrabilitate și dozaje de ciment egale;
- sporirea rezistenței la gelivitate până la 300 cicluri de îngheț-dezghet alternativ, datorită reducerii apei de amestecare ($A/C = 0,35$);
- reducerea dozajului de ciment cu 10...30 %, la rezistențe și lucrabilități egale;
- realizarea de betoane de mare rezistență în condiții eficiente.

2.3.2. Antrenori de aer

Antrenorii de aer sunt substanțe tensioactive care adăugate în proporții mici formează și antrenează în masa betonului un număr mare de microbule de aer cu dimensiuni cuprinse între 20 și 60 μm , distribuite uniform la distanțe de 0,1...0,2 mm (fig. 10).

În aceste condiții, suprafața specifică a acestor microbule de aer este foarte mare, fiind cuprinsă între 300 și 600 cm^2/cm^3 , ceea ce reprezintă 100 000...500 000 bule/cm^3 .

Antrenorii de aer permit îmbunătățirea lucrabilității betonului proaspăt și măresc rezistența betonului la îngheț-dezghet. Prezintă dezavantajul că reduc până la 10 % rezistențele mecanice ale betonului.

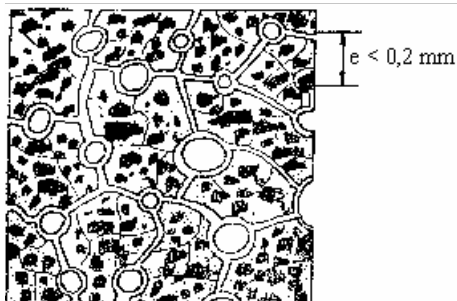


Fig. 10. Distribuția microbulelor de aer într-un beton de ciment.

Volumul de aer antrenat în beton se recomandă să fie cuprins între 3 și 5 % fără să depășească valoarea de 6 % din volumul total al betonului întărit.

Un conținut mai mic de 3 % nu asigură protecția antigel, iar un conținut de peste 6 % provoacă o scădere importantă a rezistențelor mecanice.

Betonul, ca orice material poros (1...3 % volum de aer oclus), comportă o rețea de vase capilare în general umplute cu apă. Înghețul repetat provoacă exfolierea materialului de la suprafață și din aproape în aproape, fragmentarea în adâncime.

Aditivii antrenori de aer, prin introducerea microbulelor de aer dispersate în masa betonului, întrerup capilaritatea și joacă rolul vaselor de expansiune anulând efectul înghețului.

De asemenea, microbulele de aer împiedică evaporarea apei necesară hidratării cimentului și opresc pătrunderea apelor agresive, reducând coroziunea produsă de fondanții chimici utilizați la lucrările de combatere a poleiului și zăpezii în timpul iernii.

Deși prin utilizarea antrenorilor de aer se reduc rezistențele betonului, totuși se pot obține în final betoane de ciment cu rezistențe mecanice și durabilitate bune, prin micșorarea raportului A/C.

Prin reducerea tensiunii superficiale datorită prezenței microbulelor de aer, care reduc frecarea între granule, acești aditivi joacă și un rol plastifiant, conferind betonului proaspăt o lucrabilitate sporită.

Determinarea conținutului de aer în beton se face cu aparatură de laborator standardizată sau cu metode de șantier folosind aparate portabile indicate în prescripțiile tehnice din unele țări.

Antrenorii de aer au fost utilizați pentru prima oară în anul 1938 în S.U.A. la realizarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, în prezent utilizarea lor la betoanele de ciment fiind obligatorie în majoritatea țărilor.

Prescripțiile noastre tehnice prevăd utilizarea obligatorie în betoanele de ciment rutiere a aditivului mixt (plastifiant și antrenor de aer) denumit DISAN A. Acest aditiv este obținut din combinarea lignosulfonatului de calciu (plastifiant) cu alchil-aril-sulfonatul de sodiu (antrenor de aer).

Aditivul DISAN A se utilizează în scopul măririi durabilității betonului (creșterea gradului de impermeabilitate și a rezistenței la îngheț-dezgheț) precum și pentru îmbunătățirea lucrabilității betonului proaspăt (reducerea tendinței de segregare a betonului în timpul transportului și punerea ușoară în operă).

Condițiile tehnice impuse aditivului DISAN A, referitoare la substanța uscată la 105 °C, sunt următoarele:

- aspect: praf de culoare cafeniu închis;
- substanță uscată: min. 92 %;
- substanțe insolubile în apă: max. 2 %;
- substanțe reducătoare: max. 5,5 %;
- cenușă: max. 16 %;
- concentrația ionilor de hidrogen: pH = 4,5...5,5.

Aditivul DISAN A se ambalează în saci de hârtie sau polietilenă de 25 kg și se depozitează în încăperi închise, ferite de umezeală.

2.3.3. Acceleratori de priză și întărire

Acești aditivi sunt substanțe care modifică viteza de hidratare și hidroliză a componenților mineralogici ai cimentului.

Un accelerator cunoscut și des utilizat este clorura de calciu $CaCl_2$ care se folosește în proporție de maximum 2...3 % din masa cimentului.

În cazul unor doze mai mari de 3 % sporește foarte mult contracția și se pot micșora rezistențele betonului.

Utilizarea acestor acceleratori în cazul execuției pe timp friguros sau pentru darea în exploatare rapidă a unor sectoare de drum se face cu precauție, unele prescripții tehnice recomandând evitarea folosirii lor.

2.4. Apa

Apa necesară fabricării betoanelor de ciment rutiere trebuie să fie satisfăcătoare atât cantitativ cât și calitativ.

Cantitativ este necesar să se prevadă 350 L de apă la 1 m³ de beton, din care cca 1/3 se folosește pentru prepararea betonului, iar celelalte 2/3 se folosesc pentru spălarea autobasculantelor, pentru tăierea rosturilor etc.

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.

În cazul utilizării apei industriale sau provenite din diferite surse naturale (fântâni, râuri, lacuri), trebuie verificată calitatea apei prin analize de laborator pentru a evita riscurile poluării accidentale cu materii organice, detergenți, argilă, ulei, sulfați etc. sau alte substanțe care pot influența fenomenele de priză și întărire a cimentului, reducând caracteristicile mecanice ale betonului rutier.

3. Betoane rutiere

3.1. Clasificare

Betoanele de ciment sunt amestecuri bine omogenizate de agregate naturale, ciment și apă care după întărire dau un material cu aspectul conglomeratului.

În betoanele de ciment partea activă este cimentul (liant neorganic) iar partea practic inertă este scheletul mineral format din agregatele naturale (nisip, pietriș, piatră spartă sau cribluri).

În funcție de stratul din îmbrăcămintea rutieră la care se folosește, se deosebesc betoane pentru straturile de rezistență și betoane pentru stratul de uzură, ultimele prezentând caracteristici fizico-mecanice superioare.

Pentru realizarea îmbrăcăminților rutiere rigide se utilizează betoane de ciment rutiere, împărțite în *clase* pe baza criteriului rezistenței caracteristice la încovoiere R_{inc}^k .

Rezistența caracteristică la încovoiere se definește ca valoarea rezistenței sub care se pot întâlni statistic cel mult 5 % din rezultatele obținute prin încercarea la încovoiere, la vârsta de 28 zile a epruvetelor prismatice de beton având dimensiunile 150x150x600 mm, încărcate cu două forțe egale și simetrice ($R_{inc.150}^k$).

Clasele de betoane rutiere, natura lor și valorile rezistențelor caracteristice la încovoiere sunt prezentate în tabelul 6.

Clasificarea betonului de ciment rutier

Tabelul 6

Clasa de beton rutier	$R_{inc.150}^k$ [Mpa]
BcR 3,5	3,5
BcR 4,0	4,0
BcR 4,5	4,5
BcR 5,0	5,0

Rezistența caracteristică la încovoiere se poate determina și pe prisme de 100x100x550 mm, în acest caz valorile acestora trebuind să fie cel puțin egale cu cele din tabelul 7.6.

Având în vedere criteriile de clasificare cunoscute ale betoanelor de ciment în general, betoanele destinate îmbrăcăminților rutiere trebuie să se încadreze în următoarele categorii ale acestora:

- în funcție de densitatea aparentă în stare întărită la 28 zile, betoanele rutiere fac parte din categoria betoanelor “grele”, având densitatea aparentă cuprinsă între 2 001 și 2 500 kg/m³;
- în funcție de rezistența caracteristică la încovoiere determinată pe prisme, la vârsta de 28 zile, se utilizează curent betoane rutiere având clasa BcR 4,0 și BcR 4,5;
- în funcție de rezistența la îngheț-dezgheț, betoanele rutiere trebuie să prezinte un grad de gelivitate G 100, rezistând la un număr de 100 cicluri de îngheț-dezgheț.

În funcție de clasa tehnică a drumului sau categoria străzii și clasa de trafic, în tabelul 7 se dau clasele de betoane recomandate de normativele românești.

3.2. Caracteristicile betonului proaspăt

Betonul proaspăt este definit ca starea betonului din momentul amestecării cimentului cu apa și agregatele, până la începerea prizei cimentului. Ca durată, această stare a betonului de ciment rutier trebuie să fie mai mare de două ore.

Principala caracteristică a betonului proaspăt este lucrabilitatea, celelalte caracteristici (densitatea aparentă, granulozitatea agregatului, începutul de priză, conținutul de aer occlus, conținutul de apă și tendința de separare a apei) determinându-se pe baza unor încercări și metode cunoscute la care se vor face numai unele sublinieri mai importante specifice betonului rutier.

Determinarea caracteristicilor betonului proaspăt se face la un interval de maximum 10 min pentru determinarea lucrabilității și maximum 30 min pentru celelalte determinări, intervalul de timp considerându-se de la descărcarea din betonieră sau din mijlocul de transport.

3.2.1. Lucrabilitatea

Lucrabilitatea reprezintă proprietatea betonului proaspăt de a asigura umplerea cofrajelor, ea reprezentând o condiție inițială necesară pentru asigurarea unei structuri compacte a betonului și a unor caracteristici superioare ale betonului întărit.

Un beton rutier este lucrabil dacă:

- rămâne omogen și nu se segregă la manipulare și transport;
- se pune ușor în operă, necesitând un lucru mecanic redus pentru compactare;
- compactarea prin vibrație are o durată mică.

Lucrabilitatea betonului proaspăt se poate determina prin următoarele trei metode, prevăzute de prescripțiile tehnice de la noi din țară:

- metoda tasării;
- metoda gradului de compactare;
- metoda de remodelare VE - BE.

Ultimele două metode se aplică numai betoanelor de ciment rutiere la care dimensiunea maximă a agregatelor este de 40 mm.

Metoda tasării constă în măsurarea tasării în centimetri a betonului proaspăt sub greutatea proprie, având forma inițială a unui trunchi de con (fig. 11).

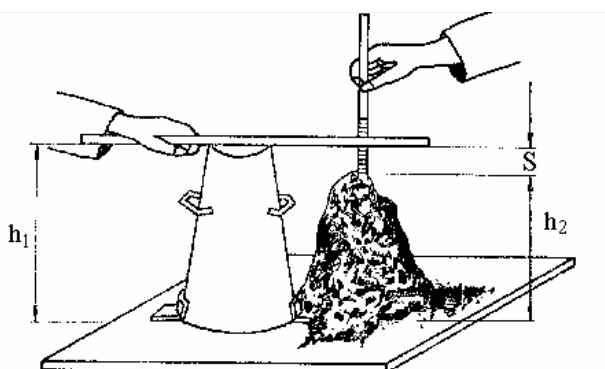


Fig. 11. Metoda tasării (trunchiului de con).

Trunchiul de con are înălțimea de 30 cm, iar diametrul de 10 respectiv 20 cm, în cazul betoanelor de ciment rutiere uzuale, având dimensiunea maximă a agregatelor de 40 mm.

Metoda de determinare a gradului de compactare (denumit în literatura de specialitate Walz) constă în stabilirea raportului dintre înălțimea inițială a betonului introdus într-un recipient de o formă dată (200 x 200 x 400 mm) și înălțimea betonului compactat prin vibrație în recipientul respectiv.

Gradul de compactare G_c se calculează cu formula:

$$G_c = \frac{h_1}{h_2} = \frac{400}{400 - s} \quad (2)$$

în care:

h_1 este înălțimea interioară a recipientului, în mm;

h_2 – înălțimea betonului compactat, în mm;

s – valoarea medie a distanței între suprafața betonului compactat și marginea superioară a recipientului, în mm.

Metoda de remodelare VE – BE constă în stabilirea duratei de timp (în secunde) cu ajutorul unui aparat tip VE – BE (consistometru) în care proba de beton proaspăt, turnată într-un tipar tronconic, se remodelează sub efectul vibrației cu ajutorul unei mase vibratoare (adică trece de la forma inițială la o formă finală convenită având suprafața orizontală).

Funcție de tasare, grad de compactare sau timp de remodelare VE – BE, betoanele de clasifică în categorii de lucrabilitate conform tabelului 8.

Clasificarea betoanelor de ciment după lucrabilitate

Tabelul 8.

Categoria de lucrabilitate a betonului proaspăt	Tasarea conului, cm	Grad de compactare, G_c	Remodelarea VE-BE, s	Observații
L_0	-	$> 1,45$	30...21	Foarte vârtos
L_1	-	1,26...1,45	20...11	Vârtos
L_2	1...4	1,11...1,25	10...5	Slab plastic
L_3	5...9	1,04...1,10	< 5	Plastic
L_4	10...15	$< 1,04$	-	Fluid

Lucrabilitatea este o caracteristică generală a betonului proaspăt fiind influențată de factorii de compoziție (dozajul de liant, raportul A/C, cantitatea, mărimea și natura agregatelor, adaosuri plastifiante etc.).

Un beton de ciment fluid nu este lucrabil, având o tendință pronunțată de segregare, iar un beton vârtos este lucrabil în condițiile utilizării unor mijloace de compactare puternice.

Lucrabilitatea se poate îmbunătăți prin următoarele măsuri:

- creșterea dozajului de ciment până la o anumită limită și păstrarea raportului A/C constant;
- utilizarea adaosurilor plastifiante;
- micșorarea cantității de apă la amestecare;
- mărirea suprafeței specifice a cimentului sau a agregatelor naturale (creșterea conținutului de părți fine, utilizarea de agregate concasate).

În condițiile asigurării unor caracteristici specifice corespunzătoare betoanelor de ciment rutiere și în funcție de modul de punere în operă a acestora și distanța de transport, lucrabilitatea betoanelor rutiere se înscrie în categoriile L_1 și L_2 , având consistențe vâtoase până la slab plastice.

În general, prescripțiile tehnice din diferite țări recomandă pentru lucrabilitatea betoanelor rutiere valori ale tasării conului cuprinse între 1 și 5 cm, respectiv o consistență vâtoasă, alegerea ei practică făcându-se pe baza unor încercări legate de factorii de compoziție și în special în funcție de modul de punere în operă și compactare a betonului.

3.2.2. Densitatea aparentă

Stabilirea acestei caracteristici constă în determinarea masei unei probe de beton proaspăt și raportarea acesteia la volumul aparent al probei respective în stare compactată prin vibrare.

Densitatea aparentă a betonului proaspăt, ρ_a , se calculează cu formula:

$$\rho_a = \frac{m_1 - m}{V} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3)$$

în care:

m_1 este masa recipientului umplut cu beton proaspăt (țipar + beton), în kg;

m – masa recipientului gol, în kg;

V – volumul interior al recipientului, în m^3 .

Recipientul metalic, de formă cilindrică sau paralelipipedică, are dimensiunile în funcție de dimensiunea maximă a granulelor agregatelor din beton, conform tabelului 9.

Dimensiunile recipientului pentru determinarea densității aparente a betonului proaspăt
Tabelul 9

Volumul recipientului, dm ³	Dimensiunile interioare ale recipientului mm			Diametrul maxim al granulei agregatului, d _{max} , mm
	diametrul	latura secțiunii	înălțimea	
1	108	-	109	3,15
2	136	-	137	7,1
5	185	-	186	16
10	234	-	235	31,5
16 *	-	200	400	(40)

* Se recomandă cu prioritate

În cazul betoanelor de ciment rutiere, densitatea aparentă a betonului proaspăt este de *min.* 2 400 kg/m³ pentru betonul folosit la stratul de rezistență și de *min.* 2 450 kg/m³ pentru cel folosit la stratul de uzură, cunoașterea acestei caracteristici fiind importantă datorită influenței acesteia asupra structurii și caracteristicilor betonului întărit (compactitate, rezistențe mecanice, gelivitate).

3.2.3. Compoziția reală

Compoziția reală a betonului proaspăt se determină în scopul verificării cantităților prescrise de materiale componente, considerându-se cunoscut dozajul de ciment și cantitatea de apă folosită la prepararea betonului.

Este de menționat că pentru verificarea dozajului de ciment direct pe betoane proaspete, până în prezent nu au fost elaborate metode de control care să fie utilizate pe șantierele de construcții rutiere.

Verificarea granulozității agregatelor prevăzută de prescripțiile tehnice de la noi din țară constă în evaluarea conținutului relativ de nisip fin cu dimensiuni sub 3,15 mm.

Proba de beton, la care s-a determinat densitatea aparentă ρ_a conform relației 3, se supune cernerii sub jet de apă pe ciurul de 3,15 mm, iar agregatele rezultate se usucă.

Conținutul relativ de agregate fine, având granule cu diametrul maxim de 3,15 mm p_3 se calculează cu relația:

$$p_3 = \frac{Ag - 200m}{Ag} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

în care:

Ag este masa agregatului total (în stare uscată) prevăzută prin compoziție, pentru 1 m³ de beton, în kg;

m – masa agregatelor cu $d_{max} > 3,15$ mm (rămase pe ciur), în kg;

200 – raportul dintre volumul de 1 m³ de beton și volumul ocupat de 12 kg de beton (greutatea probei încercate), considerat având densitatea de 2 400 kg/m³.

Metoda poate fi aplicată și pentru determinarea cantității relative de agregate și de alte dimensiuni, prin utilizarea unui ciur corespunzător, sau pentru reconstituirea curbei de granulozitate a agregatelor din beton.

Verificarea conținutului de apă din betonul proaspăt A se bazează pe utilizarea relațiilor:

$$\%A = \frac{m_{bp} - m_{bu}}{m_{bp}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

sau:

$$A = \frac{\%A}{100} \cdot \rho_a \quad [\text{kg/m}^3 \text{ sau L/m}^3] \quad (6)$$

în care:

$\%A$ este conținutul procentual de apă;

m_{bp} – masa betonului proaspăt, supus încercării de laborator, în g;

m_{bu} – masa materialului rezultat după uscarea betonului, în g;

A – conținutul de apă din betonul proaspăt, în L/m³;

ρ_a – densitatea aparentă a betonului proaspăt determinată conform pct. 3.2.2., în kg/m³.

Având în vedere efectele majore pe care conținutul de apă și, legat de acesta, raportul apă/ciment, realizate la prepararea betoanelor rutiere, le au asupra tuturor caracteristicilor betonului proaspăt și întărit, este necesar să se organizeze astfel activitatea de fabricare a betonului încât cantitatea de apă și raportul A/C să fie controlate zilnic și respectate riguros.

3.2.4. Tendința de separare a apei

Prin separarea apei la betonul proaspăt se înțelege proprietatea betonului de a ceda o parte din excesul de apă la suprafața lui.

Cantitatea de apă separată, pe unitatea de suprafață, T_s , în cazul unei probe de beton proaspăt, pregătită în anumite condiții într-un vas cilindric, este dată de relația:

$$T_s = \frac{V_s}{S} \quad [\text{cm}^3/\text{cm}^2] \quad (7)$$

în care:

V_s este volumul apei separate, extrasă la suprafața betonului, la anumite intervale de timp, în cm³;

S – aria suprafeței betonului proaspăt, în cm².

Cantitatea de apă separată, în procente ($\%T_{sa}$), se poate determina cu relația:

$$\%T_{sa} = \frac{V_s}{A} \cdot 100 \quad [\%] \quad (8)$$

unde A este cantitatea totală de apă din proba de beton, determinată conform relațiilor 5 și 6, în cm³.

Având în vedere că în cazul îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, producerea acestui fenomen poate provoca reducerea unor rezistențe fizico-mecanice tocmai la nivelul suprafeței de rulare, unde acționează pneurile autovehiculelor și o serie de agenți exteriori (precipitații, diferențe de temperatură etc.) verificarea acestei caracteristici a betonului proaspăt este foarte importantă și mai ales măsurile de prevenire sunt deosebit de necesare.

3.2.5. Volumul de aer oclus

În cazul betoanelor de ciment rutiere, la care s-au utilizat adaosuri antrenoare de aer, în scopul îmbunătățirii lucrabilității și a rezistențelor la îngheț-dezghet, volumul de aer oclus din betonul proaspăt se poate determina prin diferite metode bazate pe principiul eliminării aerului din betonul proaspăt cu ajutorul apei.

Volumul de aer oclus se determină pe baza relației:

$$V_{aer} = \frac{V - V_1}{V} \cdot 100 \quad [\%] \quad (9)$$

în care:

V este volumul probei de beton luată pentru determinare, în cm^3 ;

V_1 – volumul betonului după eliminarea aerului, în cm^3 .

În cazul betoanelor de ciment rutiere se urmărește ca volumul de aer oclus să fie cuprins între 3 și 6 %, un conținut mai mic neprotejând betonul la îngheț-dezghet, iar un conținut mai mare provocând scăderi importante ale rezistențelor betonului.

Volumul de aer oclus din beton scade o dată cu creșterea duratelor de amestecare, de transport și de vibrare.

3.3. Caracteristicile betonului întărit

Dintre caracteristicile fizico-mecanice ale betonului întărit, prezentate în literatura de specialitate și în prescripțiile tehnice de la noi din țară, se subliniază în cele ce urmează câteva dintre acestea, considerate mai importante pentru betoanele de ciment utilizate la îmbrăcămințile rutiere, și anume:

- densitatea aparentă;
- compactitatea și porozitatea;
- rezistența la compresiune;
- rezistența la întindere;
- gelivitatea sau rezistența la îngheț-dezghet;
- contracția betonului.

3.3.1. Densitatea aparentă

Densitatea aparentă a betonului întărit (masa unității de volum inclusiv golurile) se determină pe epruvete cubice, prismatice sau cilindrice precum și pe bucăți sau carote extrase din îmbrăcămintea rutieră.

Densitatea aparentă a betonului întărit se obține din relația:

$$\rho_{ap} = \frac{m'}{V} \cdot 1000 \quad [\text{kg/m}^3] \quad (10)$$

în care:

ρ_{ap} este densitatea aparentă a betonului întărit;

m' – masa epruvetei, în kg;

V – volumul epruvetei, în dm^3 .

În cazul betoanelor de ciment rutiere densitatea aparentă a betonului întărit trebuie să fie mai mare de 2 200 kg/m^3 .

3.3.2. Compactitatea și porozitatea

Prin compactitatea betonului întărit, C , se înțelege raportul dintre densitatea aparentă ρ_{ap} și densitatea absolută ρ :

$$C = \frac{\rho_{ap}}{\rho} \cdot 100 \quad [\%] \quad (11)$$

iar porozitatea totală este dată de relația:

$$P = 100 - C = \left(1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho}\right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (12)$$

Compactitatea betonului întărit, respectiv porozitatea, sunt caracteistici importante în cazul betonului rutier deoarece influențează alte proprietăți ale betonului, în special rezistența la îngheț-dezghet, rezistențele mecanice, rezistența la acțiunea fondanților chimici etc. Compactitatea betonului depinde de factorii de compoziție și de modul de punere în operă a betonului.

În general, un beton rutier se consideră compact când porozitatea totală este cuprinsă între 5 și 7 %.

3.3.3. Rezistența la compresiune

Determinarea rezistenței la compresiune a betonului întărit constituie principalul criteriu de apreciere a calității unui beton și se poate efectua nedistructiv prin intermediul metodelor ultrasonice și mecanice sau pe epruvete de diferite forme și mărimi prelevate din betonul proaspăt sau îmbrăcăminte.

Rezistența la compresiune R_c este dată de relația:

$$R_c = \frac{P}{A} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (13)$$

în care:

P este forța de rupere, citită la manometrul presei hidraulice, în N;

A – aria nominală a suprafeței de referință, măsurată pe epruvetă, în mm^2 .

Pentru obținerea unor rezistențe comparabile și pentru determinarea mărcii betonului, atât în cazul încercărilor preliminare, cât și în cazul încercărilor de control și verificare a calității betonului, se utilizează epruvete cubice cu latura de 10, 14, 20 sau 30 cm. Epruvetele (dimensiuni, toleranțe, mod de prelevare, preparare și păstrare) precum și modul de încercare a lor, trebuie să respecte prescripțiile tehnice în vigoare.

La noi în țară, se folosește drept criteriu pentru calitatea betonului, rezistența la compresiune centrică pe epruvete cubice cu latura de 20 cm, păstrate în regim mixt, încercate după 28 de zile de la preparare (R_b sau R_{28}).

3.3.4. Rezistența la întindere

În cazul îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment rezistența la întindere a betonului, care este cea mai mică dintre rezistențele sale mecanice, este hotărâtoare pentru durabilitatea lucrărilor.

Determinarea rezistenței la întindere a betonului se face prin metode indirecte utilizând încercarea la despicare sau încercarea la încovoiere.

Încercarea la despicare utilizează epruvete în formă de cuburi sau fragmente de prismă precum și carote cilindrice extrase din îmbrăcămintea rutieră, folosindu-se aceeași aparatură ca în cazul încercării la compresiune, transmiterea încărcării făcându-se în lungul a două generatoare diametral opuse.

Rezistența la întindere din despicare, R_{td} , se calculează cu relația:

$$R_{td} = \frac{2P}{\pi A} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (14)$$

în care:

P este forța de rupere, în N;

A – mărimea secțiunii verticale de rupere a epruvetei sau a carotei, în mm^2 .

Rezistența la întindere prin încovoiere se determină pe epruvete prismatice de 100 x 100 x 550 mm și pe fragmentele de prismă rezultate de la încercarea prismelor întregi prin aplicarea, în mod uniform crescător, a unei singure forțe în mijlocul distanței dintre cele două reazeme semicirculare (fig. 7.12).

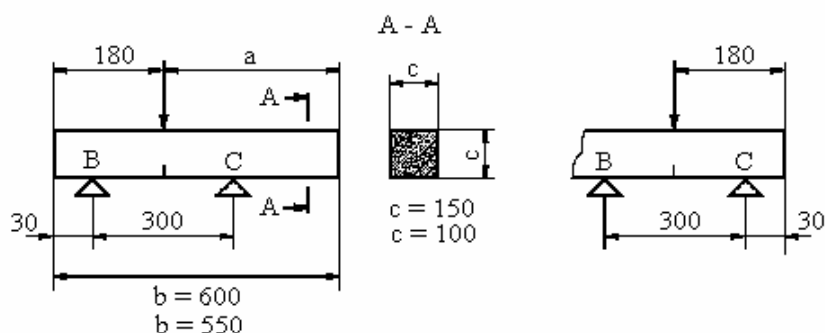


Fig.12. Schema încercării la întindere prin încovoiere.

Rezistența la întindere prin încovoiere se calculează cu relația:

– pentru betoane cu agregate grele:

$$R_t = 0,875 \frac{P L}{b h^2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (15)$$

– pentru betoane cu agregate ușoare:

$$R_t = 0,925 \frac{P L}{b h^2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (16)$$

în care: P este forța de rupere, în N;

L – distanța dintre reazeme, în mm;

b – lățimea medie a secțiunii transversale, în mm;

h – înălțimea medie a secțiunii transversale, în mm.

3.3.5. Determinarea rezistenței la încovoiere

Determinarea rezistenței la încovoiere pe prisme $100 \times 100 \times 550$ mm se face prin aplicarea în mod uniform a unei singure încărcări la mijlocul epruvetei așezate pe două reazeme semicirculare (fig. 13).

Rezistența la încovoiere se calculează cu relația:

$$R_{inc} = 1,5 \frac{P L}{b h^2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (17)$$

în care P , L , b și h au aceeași semnificație ca la pct.3.3.4.

Determinarea rezistenței la încovoiere pe prisme $150 \times 150 \times 600$ mm se face prin aplicarea în mod uniform și continuu a două forțe egale și simetrice, amplasate la treimea deschiderii dintre cele două reazeme circulare pe care se sprijină prismă (fig. 13).

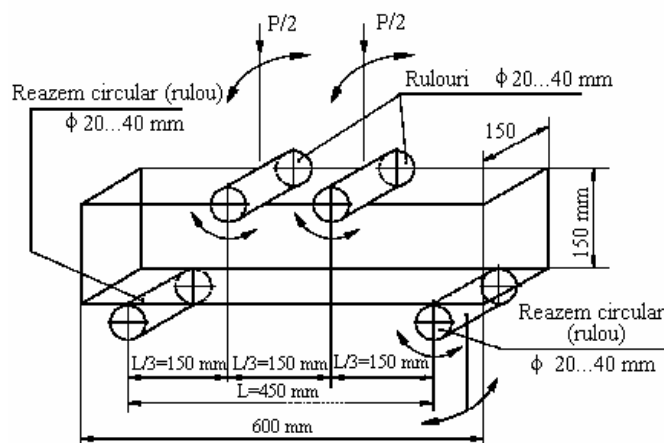


Fig.13. Schema de determinare a rezistenței la încovoiere

Rezistența la încovoiere R_{inc} se calculează cu relația:

$$R_{inc} = \frac{P L}{b h^2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (18)$$

în care P , L , b și h au aceeași semnificație ca la pct.7.3.3.4.

Rezistența caracteristică la încovoiere R_{inc}^k servește la determinarea clasei betonului. Aceasta se calculează cu relația:

$$R_{inc}^k = \bar{R}_{inc} - t \cdot S_{inc} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (19)$$

în care:

$\bar{R}_{inc}$ este rezistența la încovoiere medie a celor n rezultate analizate, în N/mm^2 ;
 t – parametru statistic (coeficientul Student);

S_{inc} – abaterea medie pătratică a rezistențelor la încovoiere, sau abaterea standard, calculată cu relația 7.20, în N/mm^2 .

$$S_{inc} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_1^n (R_{inc} - \bar{R}_{inc})^2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (20)$$

Relația 7.20 este echivalentă cu relația 7.21 care prezintă facilități de aplicare:

$$S_{inc} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum R_{inc}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum R_{inc} \right)^2 \right]} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (21)$$

Sub acțiunea încărcărilor repetate, betonul de ciment se rupe la valori ale eforturilor unitare mai mici decât cele rezultate din încărcări statice de scurtă durată. Reducerea rezistențelor betonului se datorează influenței pe care o exercită încărcările repetate asupra procesului de microfisurare a betonului.

În cazul betoanelor rutiere se ia în considerare acest fenomen la calculul de dimensionare a dalelor, prin reducerea rezistenței admisibile la întindere din încovoiere prin aplicarea unui coeficient cu valori cuprinse în intervalul 0,6...0,7, în funcție de frecvența încărcărilor (intensitatea traficului rutier).

3.3.6. Gelivitatea

Gelivitatea sau rezistența la îngheț-dezgheț a unui beton se definește prin numărul maxim de cicluri de îngheț-dezgheț succesive, pe care epruvetele de beton, începând cu o vârstă de cel puțin 28 zile de la preparare, pot să le suporte fără să sufere o reducere a rezistenței la compresiune și o pierdere în masă mai mare de 25 % respectiv 5 %, față de epruvetele martor (metoda distructivă).

De asemenea, aceasta poate fi definită prin numărul maxim de cicluri de îngheț-dezgheț succesive, pe care epruvetele pot să le suporte fără să sufere modificări ale structurii, care să reducă modulul de elasticitate dinamic cu mai mult de 15 % (metoda nedistructivă).

Rezistența la îngheț-dezgheț a betoanelor de ciment din stratul de uzură al îmbrăcăminților rutiere, având în vedere condițiile specifice de exploatare, trebuie să fie foarte mare, gradul de gelivitate fiind superior lui G 100.

3.3.7. Constrația betonului

Constrația betonului reprezintă micșorarea în timp a volumului betonului când acesta se întărește în aer și se stabilește prin măsurarea distanțelor între repere fixate pe epruvete prismatice, păstrate la temperatură și umiditate constante.

Constrația betonului la o vârstă oarecare t , notată ε_c , se calculează cu relația:

$$\varepsilon_c = \frac{\delta_0 - \delta_t}{L_0} \quad [\text{mm/m}] \quad (22)$$

în care:

δ_0 este distanța între repere la 7 zile, în mm;

δ_t – distanța pe microcomparator la timpul t , în mm;

L_0 – distanța între reperele epruvetei, în m.

Contrația are consecințe negative asupra betoanelor de ciment rutiere, în practică utilizându-se diferite procedee pentru micșorarea ei prin reducerea raportului A/C, păstrarea în regim umed, revibrare etc.

3.4. Influența factorilor de compoziție și execuție asupra calității betoanelor de ciment rutiere

Betoanele de ciment care se utilizează pentru realizarea îmbrăcăminților rutiere trebuie să îndeplinească în general aceleași condiții tehnice ca și betoanele folosite curent la construcțiile civile și industriale. Având însă în vedere faptul că îmbrăcămințile rutiere din beton de ciment se caracterizează printr-o suprafață mare în raport cu volumul de beton folosit și că acestea sunt solicitate atât de încărcările dinamice date de trafic cât și de factorii climaterici (variații mari de temperatură și de umiditate), caracteristici zonei geografice în care se află situat drumul respectiv, este necesar ca la alcătuirea betoanelor și punerea lor în operă să se adopte unele soluții specifice care să conducă în final la obținerea unor îmbrăcăminți rutiere rezistente și durabile.

Calitatea betoanelor de ciment rutiere este influențată în acest sens de următorii factori:

- agregatele utilizate (granulozitate, formă, mărime, natura suprafeței, rocă etc.);
- tipul și dozajul de ciment;
- apa de amestecare, respectiv raportul A/C;
- utilizarea adaosurilor plastifiante și antrenorilor de aer;
- modul de compactare a betonului;
- protejarea betonului în perioada de priză și întărire.

3.4.1. Influența agregatelor naturale

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 fig.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 doze egale de ciment, rezistența betonului crește o dată cu cantitatea de agregat mare din beton (curba D), în comparație cu un agregat care are multă parte fină (curba F). Această comportare se explică prin faptul că fracțiunea fină necesită mai multă apă de amestecare la aceeași lucrabilitate, iar creșterea cantității de apă produce înfoierea nisipului care determină o reducere a dozajului real de ciment și a

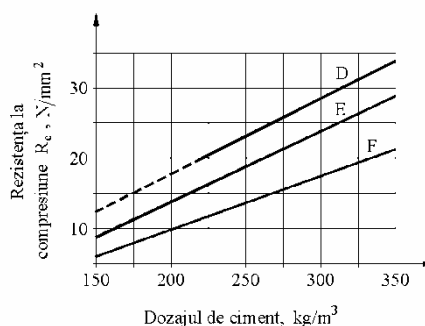


Fig. 14. Influența granulozității agregatelor asupra rezistenței la compresiune a betonului de ciment.

densității aparente, rezultând un beton mai poros și cu rezistențe mecanice mai mici.

De asemenea, din fig. 15 rezultă că prin creșterea de la 2 la 9 % a conținutului de parte fină sub 0,25 mm, în cazul menținerii aceleiași lucrabilități, rezistențele mecanice ale betonului prezintă scăderi considerabile cuprinse între 25 și 30 %.

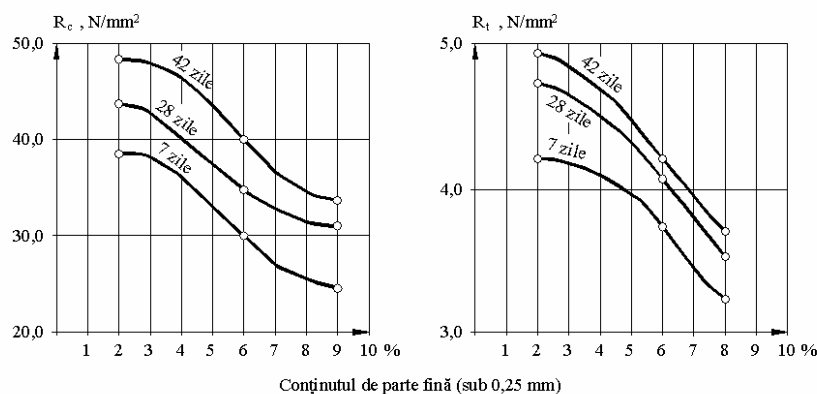


Fig. 15. Influența conținutului de praf asupra rezistențelor mecanice ale betonului de ciment.

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 betonului.

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, cum se indică informativ în tabelul 10.

Conținutul recomandat de parte fină în betoanele de ciment

Tabelul 10

Dozajul de ciment, kg/m ³ beton	Fracțiunea fină din agregatele naturale având $d < 0,25$ mm		Total parte fină în beton, kg/m ³ beton col.1+col.3
	în %	în kg/m ³ beton	
1	2	3	4
400	0	0	400
350	4...5	60...70	410...420
300	6...7	110...130	410...430
250	8...10	170...180	420...430

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 fig. 16 se poate observa că pentru un conținut de nisip în alcătuirea scheletului mineral de peste 45...50 %, valoarea rezistenței la compresiune R_c și a densității aparente ρ_{ap} scade foarte mult iar valoarea rezistenței la întindere prin încovoiere R_{ti} atinge valori maxime pentru un conținut de nisip de 42...47 % (curbele *a* în cazul agregatelor având $D_{max} = 22$ mm), respectiv de 53...57 % (curbele *b* în cazul agregatelor având $D_{max} = 40$ mm).

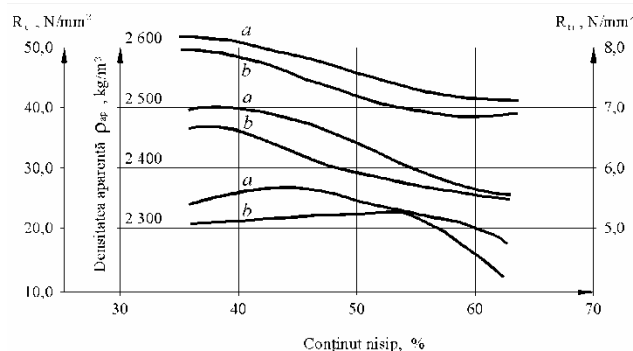


Fig. 16. Influența conținutului de nisip asupra caracteristicilor betonului de ciment.
 $a - D_{\max} = 22 \text{ mm}$; $b - D_{\max} = 40 \text{ mm}$.

De asemenea, pentru obținerea unei suprafețe specifice acceptabile a nisipului, majoritatea prescripțiilor tehnice prevăd condiții severe în acest sens, prin limitarea conținutului de părți fine în nisipul utilizat la betoanele rutiere din stratul de uzură, în cadrul unor zone de granulozitate prezentate în fig. 17.

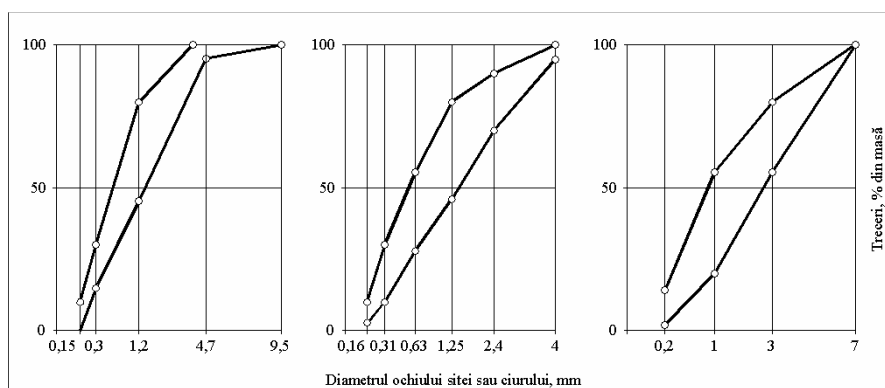


Fig. 17. Zone de granulozitate prescrise pentru nisipul utilizat în cazul betoanelor rutiere:
 $a - \text{în SUA (AASHTO)}$; $b - \text{în Franța}$; $c - \text{în Germania}$.

Fracțiunea intermediară a curbei de granulozitate a agregatelor (sort 7–16), deși joacă un rol mai mic în obținerea unor betoane de calitate, influențează caracteristicile betonului proaspăt prin:

- tendința mare de segregare;
- variația lucrabilității la un conținut redus de apă.

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 rosturilor și striurilor betonului. Aceste materiale este necesar să nu fie gelive, să nu se umfle în prezența apei și să nu conțină elemente alterate.

Una dintre caracteristicile cu o largă întrebuințare pentru aprecierea calității granulozității agregatelor, utilizată în cazul betoanelor de ciment, este modulul de finețe M_f definit de Abrams și exprimat prin relația:

$$M_f = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{100} \quad (23)$$

în care:

r_i este cantitatea de agregate, exprimată în %, rest pe sita sau ciurul cu numărul de ochiuri i (de exemplu în cazul unui sistem Tyler unde $n = 7$, diametrele utilizate sunt de 0,2; 1; 3; 7; 15; 30 și 70 mm);

n – numărul de site și ciururi utilizate la determinarea granulozității agregatelor.

Pentru betoanele rutiere valorile recomandate ale modulului de finețe sunt în funcție de diametrul maxim al granulelor agregatului $D_{\max}$ și de dozajul de ciment preconizat să se utilizeze la realizarea betonului (tabelul 11).

Modulul de finețe recomandat pentru agregatele utilizate la betoanele rutiere

Tabelul 11

Dozaj de ciment, kg/m ³	Modulul de finețe	
	$D_{\max} = 30$ mm	$D_{\max} = 40$ mm
300	5,60	5,95
350	5,75	6,10
400	5,90	6,20

Unele prescripții recomandă pentru nisip un modul de finețe cuprins între 2,5 și 3,0; sitele utilizate pentru determinarea granulozității au ochiuri pătrate, cu dimensiunile 0,15; 0,3; 0,6; 1,2; 2,4 și 4,8 mm.

Prescripțiile tehnice franceze admit pentru nisip variații ale modulului de finețe de maximum $\pm 0,4$.

Cu cât valoarea modulului de finețe este mai mare, agregatul natural prezintă o granulozitate lipsită de părți fine, ceea ce conduce la obținerea unui beton puțin lucrabil, cu tendința de separare a apei și sensibil la cele mai mici variații ale conținutului de apă.

Un modul de finețe scăzut atestă un agregat natural cu multe părți fine, având o suprafață specifică mare, care conduce la un consum ridicat de ciment și la contracții mari.

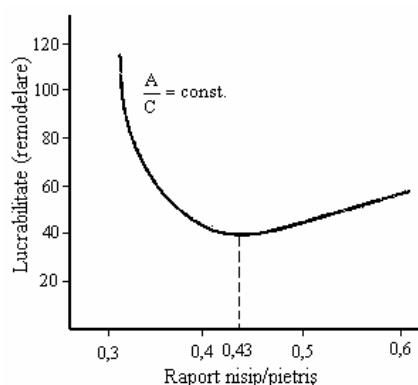


Fig. 18. Influența raportului nisip/pietriș și piatră spartă asupra lucrabilității betonului de ciment.

Studiile efectuate de Laboratorul de poduri și șosele din Paris au scos în evidență influența raportului dintre fracțiunile mici și cele grosiere ale agregatelor utilizate la prepararea betoanelor respective, putându-se stabili pe baza unor încercări valoarea optimă a acestora (fig. 18).

La prepararea betoanelor de ciment rutiere, în afară de agregatele cu granulozitate continuă, utilizate în marea majoritate a țărilor, se pot folosi și agregate cu **granulozitate discontinuă**, la care lipsește unul sau mai multe sorturi elementare (de exemplu sort 2–8). În practică, în funcție de caracteristicile materialelor existente în zonă, se utilizează agregate la care dimensiunea maximă a unui

sort este $\frac{1}{5} \dots \frac{1}{10}$ din dimensiunea maximă a sorturilor superioare folosite, iar raportul

$D_{\max}/d_{\min}$ pentru un sort granular se alege egal cu 2.

Datorită cantității insuficiente de părți fine, betoanele cu granulozitate discontinuă au lucrabilitate redusă și necesită o energie mare la compactare, ele prezentând însă avantajul unor doze de ciment reduse și posibilitatea obținerii în anumite condiții tehnologice a unor rezistențe mecanice ridicate și contracții mici.

Forma granulelor folosite la prepararea betoanelor rutiere, în special a agregatelor având dimensiuni peste 7 mm, deși acestea au un rol mai mic decât nisipul în realizarea unui beton de bună calitate, influențează lucrabilitatea și compactitatea betoanelor întrucât modifică suprafața specifică a agregatelor și volumul de goluri din beton.

Prin utilizarea formelor lamelare și aciculare, din cauza suprafeței specifice mari, se obțin betoane dificil de compactat și cu rezistențe mecanice reduse. De asemenea, utilizarea pietrei sparte lamelare conduce la dificultăți în operațiile de tăiere a rosturilor, când se pot provoca, datorită lor, știrbiri ale muchiilor dalelor din beton.

Din aceste motive se recomandă ca agregatele folosite să aibă o formă a granulelor care să respecte condițiile tehnice impuse, respectiv să aibă raportul între dimensiunile granulelor de 1 : 0,66 : 0,33.

Forma granulelor poate fi apreciată global prin determinarea coeficientului volumic mediu C_v dat de relația:

$$C_v = \frac{V}{\frac{\pi}{6} \sum_{i=1}^n d_{i\max}^3} \quad (24)$$

în care:

V este volumul total real al agregatelor, în cm^3 ;

$d_{i\max}$ – diametrul maximal unui sort elementar i , în cm ;

n – numărul de sorturi.

Din punct de vedere al formei granulelor, agregatele utilizate pentru betoane trebuie să prezinte un coeficient volumic mediu mai mare de 0,2.

Dimensiunea maximă a granulelor influențează caracteristicile betonului, limitarea practică a diametrului maxim al acestora la 25 mm respectiv 40 mm, în funcție de grosimea stratului de beton, conducând la obținerea unor rezistențe mecanice corespunzătoare cu asigurarea lucrabilității necesare ținându-se seama și de caracteristicile și performanțele utilajelor de răspândire, așternere și vibrare a betonului la punerea în operă.

Natura suprafeței granulelor în cazul unor agregate cu suprafața rugoasă, influențează pozitiv aderența pietrei de ciment și contribuie la îmbunătățirea caracteristicilor betonului, în special a rezistenței la întindere, după cum rezultă din curbele caracteristice prezentate în fig. 19, recomandându-se din acest punct de vedere utilizarea agregatelor concasate (cribluri, piatră spartă, balast concasat) la prepararea betoanelor de ciment, în special în stratul de uzură al îmbrăcăminților rutiere.

Se menționează că betoanele de ciment preparate cu piatră spartă, la același raport A/C , prezintă rezistențe mecanice cu 10 % mai mari decât betoanele de ciment la care s-au utilizat pietrișuri.

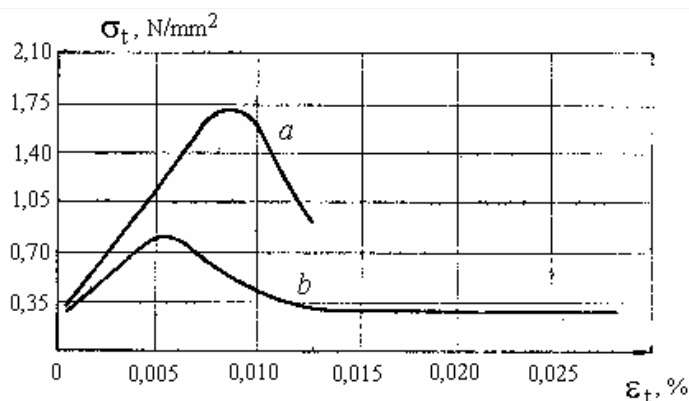


Fig. 19. Influența naturii suprafeței agregatului asupra rezistenței la întindere a betonului de ciment: *a* – agregate concasate (cribluri); *b* – agregate naturale (pietriș)

Utilizarea agregatelor concasate, în special în stratul de uzură al îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, prezintă următoarele avantaje:

- se obțin betoane cu rezistențe la întindere mai mari;
- rezistența la uzură a betonului este mult sporită;
- rugozitatea suprafeței îmbrăcămintei este mare;
- aprovizionate din resurse locale, betoanele obținute pot fi eficiente și din punct de vedere economic.

În ceea ce privește însă utilizarea nisipului de concasaj, acesta, deși mărește rezistența la întindere a betonului, prin suprafața specifică mare, înrăutățește lucrabilitatea betonului proaspăt și mărește necesarul de apă la amestecare, din acest punct de vedere fiind preferate nisipurile naturale.

Roca utilizată este în general de natură eruptivă, dar se pot întrebuința și agregate de natură calcaroasă, având în vedere faptul că folosirea lor în betoanele de ciment asigură rezistențe corespunzătoare datorită aderenței mai bune a pastei de ciment la suprafața agregatelor. Experiențele franceze au scos în evidență că rezistențele la întindere din încovoiere ale betoanelor rutiere preparate cu agregate calcaroase sunt cu 20...30 % mai mari decât în cazul folosirii agregatelor silicioase curențe.

De asemenea, întrebuințarea agregatelor calcaroase prezintă interes în cazul îmbrăcăminților rutiere, deoarece conduce la scăderea coeficientului de dilatație față de betoanele cu agregate silicioase, iar tăierea rosturilor și a striurilor este mai ușoară.

Impuritățile agregatului, reflectate prin conținutul de părți levigabile, mică, argile, cărbune, pirită, săruri solubile etc., influențează nefavorabil rezistențele mecanice ale betoanelor de ciment, micșorând calitatea și durabilitatea îmbrăcăminților rutiere.

Conținutul de părți levigabile influențează rezistențele betonului și de aceea se limitează la maximum 3 %. Din acest punct de vedere, prescripțiile tehnice franceze prevăd pentru nisipuri un echivalent de nisip de minimum 75...80 %, în funcție de trafic.

Spălarea agregatelor are un efect major asupra calității betonului rutier, rezistențele putând spori în aceste condiții cu până la 30...50 %.

3.4.2. Influența cimentului

Cimentul influențează caracteristicile betonului atât prin calitate (marca cimentului, natura chimico-mineralogică, finețe de măcinare) cât și prin cantitate, respectiv prin dozajul de ciment utilizat.

Marca cimentului influențează până la anumite valori rezistențele mecanice ale betonului după cum rezultă din fig. 20.

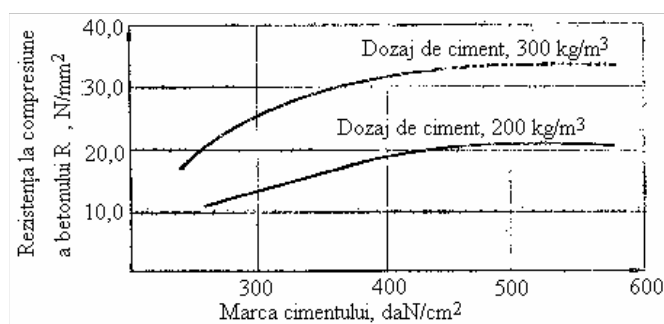


Fig. 20. Influența mărcii și dozajului de ciment asupra rezistenței la compresiune a betonului de ciment.

Tipul cimentului utilizat la realizarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment influențează caracteristicile betonului prin natura chimico-mineralogică a componentilor, considerațiile privind alegerea unui anumit tip de ciment rutier fiind prezentate în cadrul paragrafului 7.2.2, din care rezultă că majoritatea prescripțiilor tehnice limitează conținutul de aluminat tricalcic, în scopul obținerii unor betoane rutiere cu caracteristici superioare în ceea ce privește rezistențele la întindere, uzură, gelivitate și prezentând contracții reduse.

Finețea de măcinare a cimentului, prin valoarea suprafeței specifice a acestuia, influențează favorabil rezistența la întindere a betonului după cum rezultă din fig. 21, însă din acest punct de vedere trebuie să se considere anumite limite, avându-se în vedere că prin mărirea fineței de măcinare se ating și valori mari ale contracției, pusă în evidență prin modificarea regimului termic exemplificat în fig. 22.

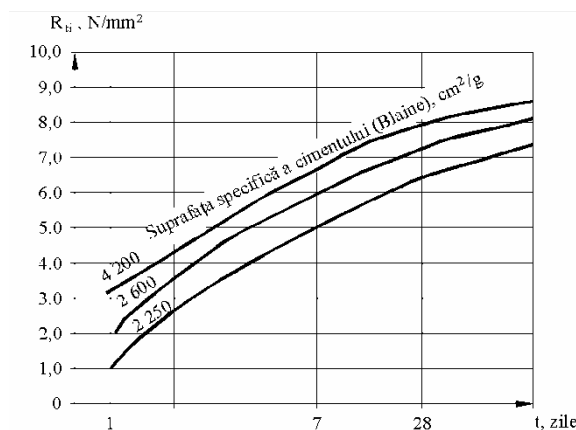


Fig. 21. Influența fineței de măcinare a cimentului asupra rezistenței la întindere a betonului de ciment.

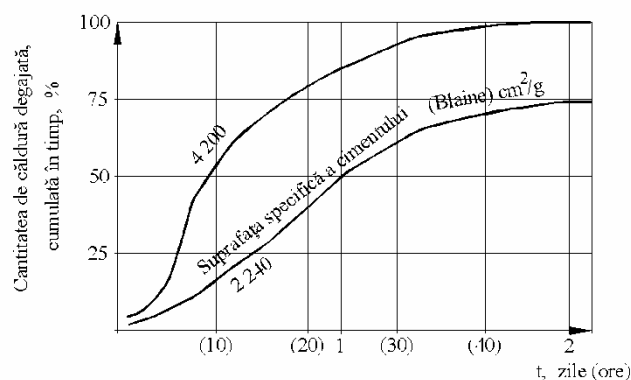


Fig. 22. Influența fineței de măcinare a cimentului asupra cantității de căldură degajată în perioada de priză și întărire a betonului de ciment.

Se menționează că o suprafață specifică mare a cimentului, deși conduce la o sporire a rezistențelor mecanice, determină creșterea vitezei reacțiilor de hidratare și a conținutului de apă necesar, care facilitează apariția tensiunilor interne, a microfisurilor și porilor, deteriorând caracteristicile specifice betoanelor rutiere (contractii reduse, rezistență la îngheț-dezghet etc.)

Din fig. 21 și 22 rezultă că la o creștere a valorii fineței de măcinare de la 2 250 la 4 200 cm^2/g rezistența la întindere crește relativ puțin, cu aproximativ 1 N/mm^2 , la 28 zile de la preparare, însă cantitatea de căldură degajată încă din prima zi atinge valori duble, ceea ce favorizează în final apariția fisurilor de contracție.

Dozajul de ciment, prin creșterea sa până la anumite valori, influențează favorabil majoritatea caracteristicilor betoanelor de ciment, astfel:

- lucrabilitatea betonului proaspăt se îmbunătățește la menținerea unui raport A/C constant;
- densitatea aparentă a betonului, care devine maximă la valori ale dozajului de ciment cuprinse între 300 și 500 kg/m^3 (fig. 23);

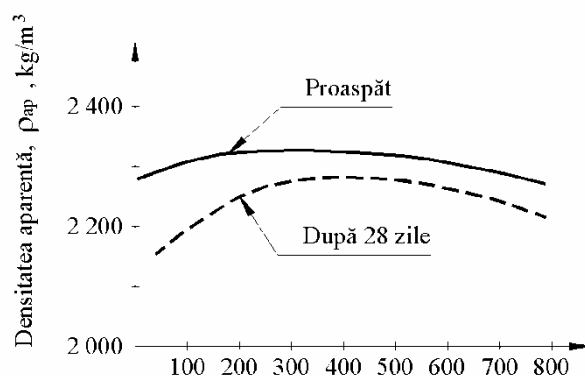


Fig. 23. Influența dozajului de ciment asupra densității aparente a betonului de ciment.

– rezistența la compresiune a betonului, la care valorile maxime ale raportului R_b/dozaj , apare la dozaje cuprinse între 300 și 400 kg/m³ (tabelul 12);

*Variația rezistenței la compresiune și întindere a betonului
în funcție de dozajul de ciment*

Tabelul 12

Dozajul de ciment, kg/m ³	100	200	300	400	600	800
R_b/dozaj	0,30	0,54	0,88	0,77	0,69	0,55
R_{it}/dozaj	0,07	0,125	0,130	0,120	0,088	0,065

– rezistența la întindere din încovoiere, crește mai puțin decât rezistența la compresiune datorită sporirii efectului fisurării din contracție o dată cu mărirea dozajului de ciment, raportul R_b/dozaj fiind maxim la dozaje cuprinse între 200 și 400 kg/m³ (tabelul 7.12).

Contracția betonului este însă influențată negativ de creșterea dozajului de ciment, rezultând din cele de mai înainte că cea mai economică utilizare a cimentului se obține în cazul unor dozaje sub 400 kg/m³, practic la realizarea betoanelor rutiere folosindu-se dozaje minime de 300 kg/m³ și, orientativ, de 330 kg/m³ în cazul stratului de rezistență și de 350 kg/m³ în cazul stratului de uzură.

3.4.3. Influența apei de amestecare

Influența apei de amestecare asupra caracteristicilor betonului de ciment este esențială și poate fi pusă în evidență prin raportul apă-ciment. Dacă dozajele de ciment și agregate rămân constante, o dată cu creșterea raportului A/C, cele mai importante caracteristici ale betoanelor rutiere (rezistențele mecanice, compactitatea etc.) scad, iar contracția la uscare crește.

Dependența rezistenței la compresiune a betonului, R_b , față de raportul A/C a fost pusă în evidență de Skramtaev care, pornind de la studiile lui Bolomey, a stabilit următoarea relație între cele două mărimi:

$$R_b = K \cdot R_c \left(\frac{C}{A} - 0,5 \right) \quad (25)$$

în care:

R_c este marca cimentului;

K – coeficient experimental egal cu 0,5 pentru pietriș și 0,55 pentru piatră spartă.

Prelucrarea unui număr însemnat de date experimentale, referitoare la dependența dintre raportul A/C și rezistența la compresiune a betonului, arată că rezultatele se încadrează într-un domeniu delimitat de cele două curbe din fig. 24.

În fig. 25 este prezentată variația rezistenței la compresiune a betonului R_b în funcție de raportul A/C, pentru același tip și dozaj de ciment.

Rezistențele maxime se obțin în domeniul betoanelor vârtoase. Dacă raportul A/C este sub valoarea optimă, rezultă un beton prea vârtos care nu se poate compacta și rămâne poros, iar dacă raportul A/C depășește valoarea optimă, piatra de ciment este foarte poroasă și cu multe canale capilare deschise spre exterior datorită evaporării apei; în ambele situații rezistențele mecanice și celelalte caracteristici ale betonului fiind mai scăzute.

Pentru a obține betoane rutiere cu caracteristici superioare, raportul A/C trebuie redus la minimum necesar asigurării lucrabilității corespunzătoare mijloacelor de

compactare, printr-o granulozitate corespunzătoare a agregatelor, prin folosirea adaosurilor plastifiante și prin asigurarea compactării cu mijloace mecanice puternice.

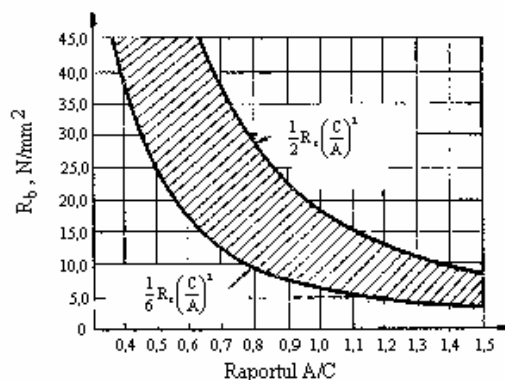


Fig. 24. Influența raportului apă-ciment asupra mărcii betonului de ciment.

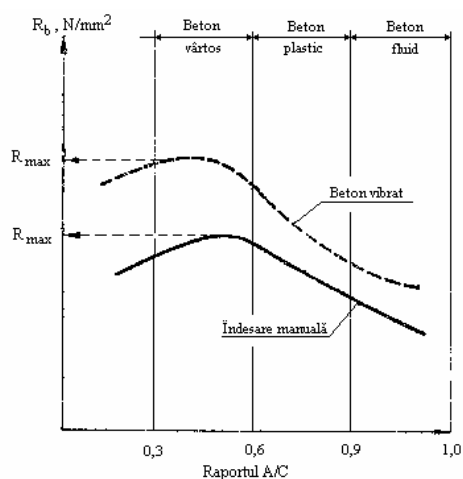


Fig. 25. Influența raportului apă-ciment și a modului de compactare asupra rezistenței la compresiune a betonului de ciment.

3.4.4. Influența aditivilor

Efectele adaosurilor plastifiante și antrenorilor de aer asupra caracteristicilor betoanelor de ciment au fost prezentate în cadrul pct. 2.3.

Dintre efectele mai importante ale aditivilor plastifianți și în special ale antrenorilor de aer, privind caracteristicile specifice betoanelor de ciment utilizate la îmbrăcămînți rutiere, se menționează: îmbunătățirea substanțială a lucrabilității betonului proaspăt cu reducerea concomitentă a raportului A/C, creșterea rezistenței la îngheț-dezgheț și îmbunătățirea rezistențelor mecanice ale betonului întărit, efecte care ameliorează esențial comportarea în timp și durabilitatea îmbrăcămînților rutiere din beton de ciment.

Folosirea superplastifianților accelerează întărirea betonului care după 2...3 zile atestă rezistențe suficient de mari pentru a permite darea în exploatare a îmbrăcămînților rutiere astfel realizate.

Menționăm rolul important al antrenorilor de aer în realizarea unui volum de goluri optim în masa betonului sub formă de microbule uniform distribuite, care conferă betonului rutier caracteristici superioare de lucrabilitate și rezistență la îngheț-dezgheț.

Influența utilizării antrenorilor de aer asupra volumului de goluri din masa betonului prezentată în fig. 26 scoate în evidență posibilitatea reducerii raportului A/C cu efecte majore asupra celorlalte caracteristici ale betoanelor rutiere.

În diagramele din fig. 26 se observă că pentru obținerea unui volum de goluri optim în masa betonului de 5 %, prin utilizarea unor adaosuri antrenoare de aer de 0,5 % și 1 % din masa cimentului, raportul A/C se reduce de la 0,46 la 0,41.

De asemenea, din fig. 27 rezultă că folosirea antrenorilor de aer devine eficientă pentru o anumită granulozitate a agregatului natural cu o suprafață specifică mai mare de 3 m²/kg, pentru care volumul de goluri în masa betonului crește de la 2 la 4 %.

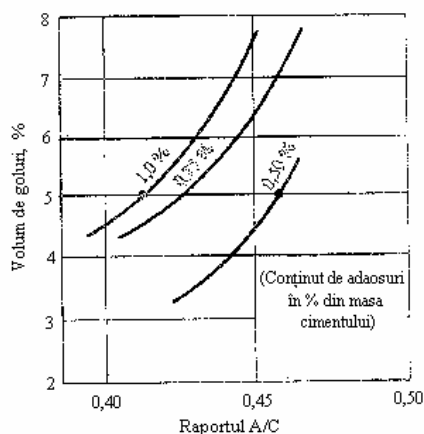


Fig. 26. Influența antrenorilor de aer asupra raportului apă-ciment.

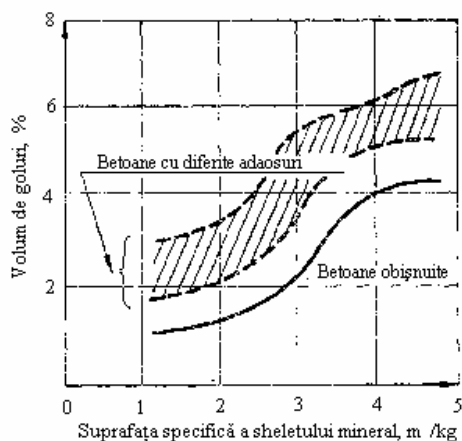


Fig. 27. Influența antrenorilor de aer asupra volumului de goluri din betonul de ciment.

3.4.5. Influența modului de compactare

Dintre factorii tehnologici de execuție, o importanță deosebită pentru realizarea unor îmbrăcămînți rutiere de bună calitate îl prezintă modul de compactare a betonului.

Modul de compactare a betonului proaspăt influențează în cea mai mare măsură gradul de compactare al betonului și prin aceasta toate caracteristicile fizico-mecanice ale betonului întărit (fig.28).

Tehnologiile moderne de execuție a îmbrăcămînților rutiere din beton de ciment se bazează pe procedeul de compactare prin **vibrare** a betoanelor vâtoase.

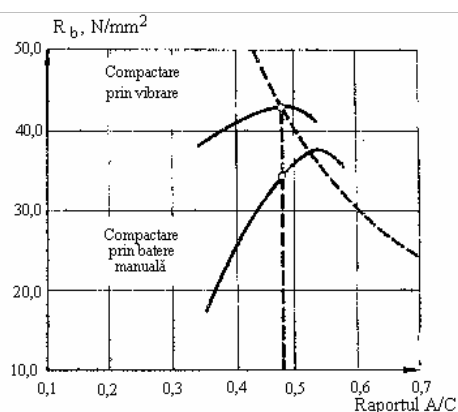


Fig. 28. Influența modului de compactare asupra rezistenței la compresiune a betonului de ciment.

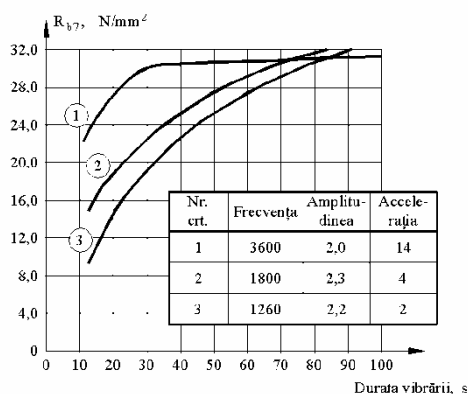


Fig. 29. Influența parametrilor de vibrare asupra rezistenței betonului de ciment.

În timpul vibrării, coeziunea amestecului de beton proaspăt și frecările interioare sunt anulate, betonul comportându-se ca un lichid care umple cu ușurință spațiul dintr-un tipar și elimină aerul oclus la amestecare. Sub efectul vibrării, spațiile dintre granulele de diferite mărimi se reduc la minimum, printr-o așezare rațională mai stabilă a acestora, obținându-se în acest fel un beton compact, bine îndesat și cu puține goluri rezultate în urma proceselor tehnologice anterioare.

Rezistențele mecanice ale betonului compactat prin vibrare sunt influențate de durata de vibrare, frecvența vibrării precum și de amplitudinea și accelerația oscilațiilor; aceste influențe sunt prezentate în fig. 29.

Parametrii de vibrare ai utilajelor folosite (frecvență, amplitudine, viteză de vibrare, accelerație și durată) se corelează între ei, în funcție de granulozitatea agregatelor și lucrabilitatea betonului.

Vibrarea betonului în condițiile prescrise de durată (30 s maximum), frecvență (50...200 Hz) și amplitudine (0,1...0,6 mm), conduce la obținerea unor îmbrăcămînți rutiere rezistente la multiplele solicitări la care sunt supuse acestea în exploatare.

Revibrarea betonului rutier în perioada de priză (vibrarea repetată) este un procedeu tehnologic care conduce la realizarea unei creșteri a gradului de

compactare, însoțită de intensificarea proceselor de hidratare și de anulare a tensiunilor interne generate de contracția inițială a cimentului. Ca urmare a acestui fapt, se obține o îmbunătățire esențială a caracteristicilor chimice și fizico-mecanice ale pietrei de ciment, respectiv ale betonului, cum sunt: sporirea rezistențelor mecanice, reducerea deformațiilor din contracție, mărirea impermeabilității, ameliorarea rezistențelor la îngheț-dezghet, mărirea durabilității etc. Se menționează faptul că prin revibrarea betonului în perioada de

priză se ameliorează rezistența la oboseală (în special cea la întindere) întrucât se evită apariția și dezvoltarea microfisurilor din perioada inițială de întărire. În funcție de natura mineralogică a cimentului, de compoziția betonului, de regimul și de criteriile de revibrare ale betonului, se pot obține sporuri de rezistențe de 10...25 % și reducerea contracției cu 15...40 %. Aceste rezultate permit realizarea unor importante diminuări a costului lucrărilor rutiere, având în vedere că se poate obține reducerea cu 10...15 % a dozajului de ciment față de prevederile normelor tehnice cunoscute, iar efectele revibrării se resimt pe aproape întreaga perioadă de exploatare a îmbrăcăminților rutiere executate din beton de ciment, împiedicând sau întârziind apariția unor degradări.

3.4.6. Influența protejării suprafeței betonului proaspăt

Menținerea betonului în anumite condiții după punerea în operă reprezintă o necesitate pentru asigurarea unei întăririi corespunzătoare, influența umidității și temperaturii fiind esențială pentru obținerea unor betoane rutiere de calitate.

Umiditatea are rolul de a asigura hidratarea în continuare a cimentului și de a împiedica deformările de contracție la uscare.

Mediul înconjurător prin temperatura t , umiditatea relativă a aerului u și viteza vântului v influențează pierderile de apă p ce se produc prin evaporare la suprafața betonului proaspăt (fig. 30).

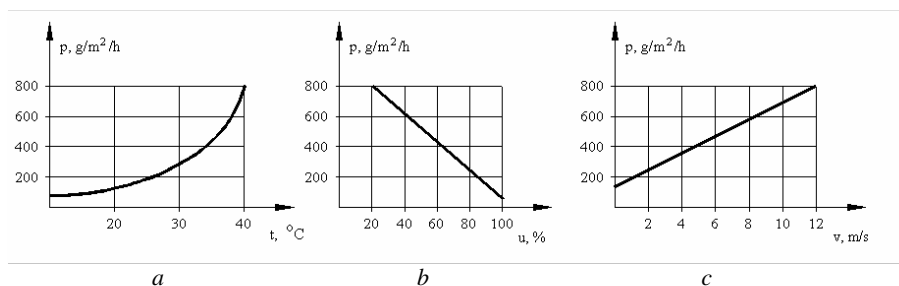


Fig. 30. Influența condițiilor exterioare asupra pierderii de apă la suprafața betonului rutier: *a* - influența temperaturii; *b* - influența umidității; *c* - influența vântului.

Protejarea betonului proaspăt turnat în îmbrăcămintea rutieră cere o atenție deosebită din partea constructorului avându-se în vedere influența acestuia asupra calității betonului întărit. Netratarea corespunzătoare a betonului în prima perioadă de întărire, în primul rând prin neasigurarea umidității permanente a suprafeței acestuia, conduce la obținerea unor rezistențe mecanice mult scăzute, în special în stratul de uzură al îmbrăcăminților din beton de ciment, precum și la apariția fisurilor și crăpăturilor de contracție. Modul de variație a valorii rezistenței la compresiune a betonului în funcție de această protejare ulterioară este indicat în fig. 31 (pentru un caz experimental dat), cunoscându-se că mediul de păstrare influențează și rezistențele la întindere, acestea fiind reduse în cazul betoanelor păstrate în mediu uscat datorită faptului că în beton se nasc tensiuni de contracție mult sporite.

În ceea ce privește temperaturile efective de lucru, prescripțiile noastre tehnice prevăd executarea betoanelor rutiere la temperaturi de peste $+5^{\circ}\text{C}$, sub această temperatură reacțiile de hidratare devenind foarte lente, iar înghețul provocând degradarea suprafeței betonului și scăderea rezistențelor mecanice. Prescripțiile tehnice franceze limitează și

temperaturile maxime la punerea în operă (+ 30 °C) pentru evitarea evaporării excesive a apei și diminuarea contracțiilor.

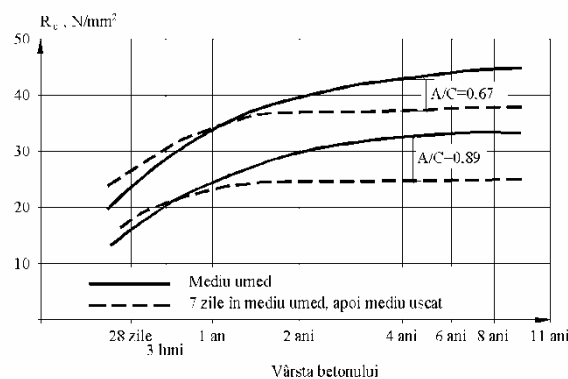


Fig. 31. Influența modului de protejare a betonului asupra rezistenței la compresie.

3.5. Calculul compoziției betonului de ciment

Stabilirea corectă a compoziției betoanelor de ciment reprezintă un element esențial menit să asigure lucrabilitatea acestuia, precum și rezistența și durabilitatea necesară îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, în condițiile utilizării unei cantități de ciment cât mai reduse.

Stabilirea compoziției betonului se face pe baza analizei materialelor componente și a studiilor preliminare efectuate de către un laborator de specialitate și cuprinde două etape:

- evaluarea dozajelor pentru materialele componente;
- definitivarea compoziției pe bază de încercări preliminare.

Pentru stabilirea compoziției betoanelor rutiere se vor avea în vedere precizările prescripțiilor tehnice specifice de la noi din țară, referitoare la:

- clasa betonului, în funcție de stratul în care acesta se utilizează, categoria drumului și clasa traficului ;
- tipul de ciment (P 40, P 45 sau CD 40); se poate utiliza și alt tip de ciment cu avizul unui institut de cercetări de specialitate, cu acordul beneficiarului și proiectantului;
- natura agregatelor naturale.

Dozajul cimentului se va înscrie în limitele din tabelul 13.

Cantitatea de ciment în funcție de clasa betonului

Tabelul 13.

Tipul cimentului	U.M.	Cantitatea	Clasa betonului
CD 40 sau P 45	kg/m ³	350 ... 370	BcR 5,0
CD 40 sau P 45	kg/m ³	330 ... 350	BcR 4,5
P 40	kg/m ³	350 ... 370	BcR 4,5
P 40	kg/m ³	330 ... 350	BcR 4,0
P 40	kg/m ³	310 ... 330	BcR 3,5

Granulozitatea agregatului total se realizează cu sorturile de agregate prevăzute de normativul C22 – 92, astfel încât aceasta să se înscrie în zonele din fig. 6 ... 9.

La prepararea betoanelor de ciment rutiere se va utiliza în mod obligatoriu aditivul DISAN A (eventual FLUBET pentru locuri de staționare, platforme de parcare sau supralărgiri în curbe).

La executarea straturilor de rezistență se pot folosi pentru betoane de clasă BcR 3,5 și BcR 4,0 ca materiale de adaos cenușa de termocentrală sau zgura granulată, cantitatea de ciment putându-se reduce în acest caz cu cel mult 40 kg când se utilizează cenușă, respectiv 20 kg când se utilizează zgură.

3.5.1. Evaluarea dozajelor de materiale

Dozajele medii de ciment C' pentru betoane rutiere obișnuite, de la care încep încercările preliminare se vor înscrie în limitele din tabelul 13.

Raportul A/C are următoarele valori maxime:

- 0,45 pentru betoane cu granulozitate continuă;
- 0,47 pentru betoane cu granulozitate discontinuă;
- 0,52 pentru betoane cu adaos de cenușă de termocentrală.

Cantitatea de apă A' se calculează aplicând relația:

$$A' = (A/C) \times C', \quad [\text{kg/m}^3] \quad (26)$$

În această cantitate este inclusă și cantitatea de soluție de aditiv.

Cantitatea de soluție de aditiv DISAN A D, de concentrație 10 % se calculează cu relația:

$$D = \frac{p \times c'}{10}, \quad [\text{kg/m}^3] \quad (27)$$

în care p reprezintă procentajul de aditiv din masa cimentului.

În continuare se poate calcula cantitatea de apă de amestecare (fără soluție de aditiv) - A'_{ef} .

$$A'_{ef} = A' - D, \quad [\text{kg/m}^3] \quad (28)$$

Cantitatea de agregate naturale în stare uscată A'_g se determină cu relația:

$$A'_g = \rho_{ag} \left(1000 - \frac{C'}{\rho_c} - A' - P \right), \quad [\text{kg/m}^3] \quad (29)$$

în care ρ_{ag} este densitatea aparentă a agregatelor naturale (orientativ $2,7 \text{ kg/dm}^3$);

ρ_c – densitatea cimentului ($\rho_c = 3,0 \text{ kg/dm}^3$);

P – volumul de aer oclus, în dm^3/m^3 (orientativ 35 în cazul utilizării aditivilor antrenori de aer).

Pe baza valorii A'_g se calculează dozajul corespunzător fiecărui agregat component al agregatului total, ținând seama de proporțiile necesare asigurării unei granulozități corespunzătoare.

Se calculează densitatea aparentă a betonului proaspăt corespunzătoare compoziției inițiale, cu relația:

$$\rho'_b = C' + A' + A'_g, \quad [\text{kg/m}^3] \quad (30)$$

În vederea efectuării încercărilor preliminare se pregătește o cantitate de agregate uscate, pe sorturi, necesară preparării unui volum de beton de cel puțin 1,5 ori mai mare decât volumul epruvetelor ce urmează a fi preparate.

3.5.2. Încercări preliminare

Pentru stabilirea compoziției de bază necesară verificării rezistențelor mecanice ale betonului se procedează în felul următor:

- se prepară un amestec informativ de beton de cca. 60 litri, luând în considerare cantitățile de ciment, agregate naturale și soluția de aditiv calculate (C' , A'_g și D);
- apa de amestecare calculată cu relația 28 se dozează treptat, începând cu cantitatea de 0,6 l (corespunzătoare șarjei de 60 l), până la obținerea lucrabilității prescrise, fără a depăși raportul A/C prevăzut; cantitatea de apă astfel determinată este cantitatea necesară de apă A_{ef} . Dacă raportul A/C real, astfel obținut (ținând seama și de soluția de aditiv) depășește valorile maxime admise se va recalcula o altă curbă granulometrică și, eventual un alt dozaj de aditiv;
- se determină caracteristicile betonului proaspăt (lucrabilitatea, densitatea aparentă și conținutul de aer occlus).

În situația în care densitatea aparentă a betonului proaspăt ρ_b se abate cu mai mult de $\pm 20 \text{ kg/m}^3$ față de densitatea aparentă calculată cu relația 30, se recalculează compoziția efectivă a betonului prin înmulțirea cantităților de ciment C' , de agregate naturale A'_g și apă A' utilizate efectiv, cu raportul dintre densitatea aparentă determinată prin încercări ρ_b și cea luată inițial în considerare ρ'_b . Se obțin astfel valorile corectate pentru dozajele de ciment, agregate naturale și apă:

$$C = C' \cdot \frac{\rho_b}{\rho'_b}, \quad [\text{kg/m}^3] \quad (31)$$

$$A_g = A'_g \cdot \frac{\rho_b}{\rho'_b}, \quad [\text{kg/m}^3] \quad (32)$$

$$A = A' \cdot \frac{\rho_b}{\rho'_b}, \quad [\text{kg/m}^3] \quad (33)$$

Pentru verificarea rezistențelor mecanice se prepară câte 2 amestecuri (șarje) de beton de câte 60 l fiecare, pentru fiecare din următoarele compoziții:

- compoziție de bază rezultată conform procedurii descrise mai sus;
- compoziție având dozajul de ciment sporit cu 10 kg/m^3 față de cel al compoziției de bază, dar menținând constante cantitățile de apă și agregate naturale;
- o compoziție având dozajul de ciment redus cu 10 kg/m^3 , în aceleași condiții.

Din fiecare amestec de beton se prepară câte 6 epruvete prismatice de $150 \times 150 \times 600 \text{ mm}$ și 6 epruvete cubice cu latura de 141 (150) mm. Aceste epruvete se încearcă la vârsta de 28 de zile, rezultatele obținute servind la definitivarea compoziției betonului.

Pentru interpretarea rezultatelor se va proceda astfel:

– rezistența medie la compresiune, obținută pentru fiecare compoziție în urma încercărilor efectuate pe cuburi sau fragmente de prisme cu latura secțiunii de 150 mm, se corectează ținând seama de rezistența normată a cimentului utilizat $R_{c \text{ normat}}$ și rezistența efectivă la compresiune la vârsta de 28 de zile a acestuia $R_{c \text{ efectiv}}$ obținută aplicând relația:

$$R_{b \text{ corectat}}^{28} = R_b^{28} \frac{R_{c \text{ normat}}}{R_{c \text{ efectiv}}}, \quad [\text{N/mm}^2] \quad (34)$$

– se adoptă compoziția pentru care, cu dozajul minim de ciment, rezistențele betonului la încovoiere și orientativ la compresiune, sunt mai mari sau cel puțin egale cu valorile indicate în tabelul 14 (majorate cu 10% față de valorile din tabelul 14 pentru siguranță).

Caracteristicile mecanice ale betonului de ciment

Tabelul 14

Clasa de beton	$R_{inc.150}^k$ N/mm ²	$\bar{R}_c$ N/mm ²
BcR 5,0	5,5	50,0
BcR 4,5	4,9	44,5
BcR 4,0	4,4	39,0
BcR 3,5	3,8	34,0

Pe parcursul producerii betonului se vor face corecții ale compoziției ținând seama de rezultatele încercărilor privind umiditatea și granulozitatea agregatelor naturale, astfel:

- cantitățile corespunzătoare diferitelor sorturi de agregate se vor corecta astfel încât să se asigure respectarea granulozității adoptate pentru agregatul total;
- în funcție de umiditatea efectivă W a diferitelor sorturi de agregate, se va recalcula cantitatea de agregate ce trebuie introdusă la prepararea betonului, cu ajutorul relației:

$$A_{g.umed} = A_{g.uscat}(1 + W), \quad [\text{kg/m}^3] \quad (35)$$

Drept urmare, cantitatea de apă de amestecare se va corecta prin scăderea valorii corespunzătoare umidității agregatelor naturale.

3.5.3. Alte metode pentru calculul compoziției betonului de ciment

Literatura de specialitate indică și alte metode, proceduri și recomandări cu privire la calculul compoziției betoanelor rutiere dintre care au cunoscut o largă răspândire metoda Texas și recomandările AASHO.

Prescripțiile tehnice franceze prevăd stabilirea compoziției betoanelor rutiere pe baza cercetării proporțiilor optime ale diferitelor sorturi de agregate și estimării caracteristicilor betoanelor proaspete și întărite, în funcție de influența variațiilor dozajului de nisip și apă asupra acestora. Studiul compoziției betoanelor pornește de la alegerea inițială a dozajului de ciment ($C = 330 \text{ kg/m}^3$), a raportului pietriș/piatră spartă

$\left(\frac{P}{S} = 0,6 \dots 1,0\right)$ și a dozajului de apă ($A = 160 \text{ L/m}^3$), stabilindu-se compoziția optimă pe baza lucrabilității și rezistenței la întindere prescrise.

Metoda constă în parcurgerea următoarelor trei etape, prezentate în fig. 32:

– se stabilește lucrabilitatea optimă, pentru doze de apă și ciment constante, prin variația raportului nisip/pietriș + piatră spartă, $\frac{N}{P+S} = \text{variabil}$ (fig. 32, a);

– se stabilesc cantitățile necesare de apă de amestecare și antrenori de aer, menținându-se constant raportul $\frac{N}{P+S}$ stabilit mai înainte ca optim, pentru a obține un beton cu lucrabilitatea necesară și volumul de aer oclus dorit (3...5 %) (fig. 32, b);

– se evaluează rezistențele medii la întindere ale betonului la 7 și 28 zile, pentru diferite compoziții în funcție de factorii stabiliți anterior la care, față de compoziția de bază, variază raportul $\frac{N}{P+S}$ cu $\pm 10 \text{ L/m}^3$ (fig. 32, c).

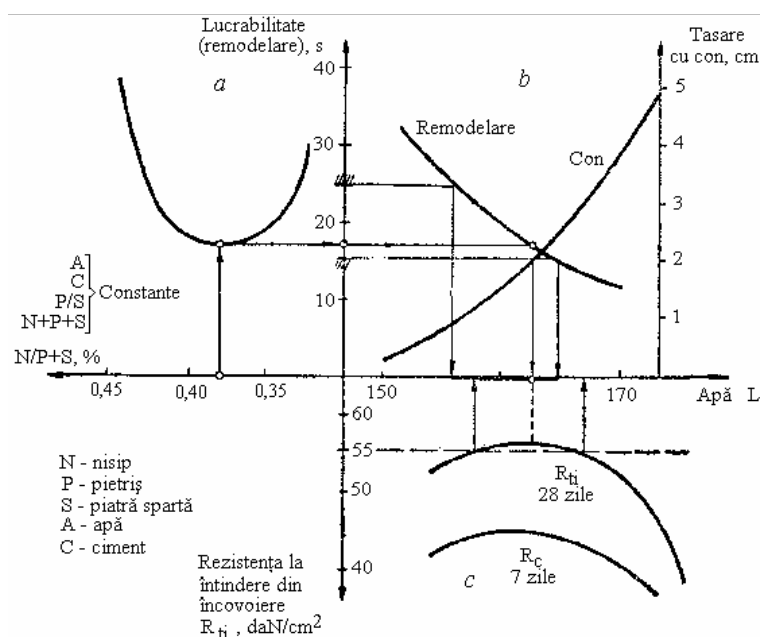


Fig. 32. Grafic pentru conducerea studiului de stabilire a compoziției betoanelor rutiere.

Rezistențele medii la întindere din încovoiere la 28 zile trebuie să fie mai mari de $5,5 \text{ N/mm}^2$.

Se consideră că cea mai bună compoziție a betonului este aceea care permite mici variații ale dozajului de nisip și apă (frecvent întâlnite în practică) fără modificări notabile ale caracteristicilor betonului proaspăt și întărit (lucrabilitate și rezistențe mecanice). În cazul când nu se obțin rezistențele dorite se urmărește creșterea dozajului de ciment, folosirea unui aditiv mai eficient, sau se aleg alte agregate și alt tip de ciment.

În tabelul 15 se prezintă câteva exemple privind compoziția betoanelor de ciment realizate pentru îmbrăcămînți rutiere în Franța, la care s-au utilizat plastifianți și antrenori de aer.

Compoziția unor betoane rutiere din Franța

Tabelul 15

Agregate, în kg/m ³					Ciment kg/m ³	Apă L/m ³	R _{ti} N/mm ²
Nisip		Pietriș 4-20	Piatră spartă				
Sort 0-0,2	Sort 0-5		Sort 5-20	Sort 20-40			
40	580	686	-	660	330	150	6,0
-	710	-	530	600	300	146	5,4
105	715	-	470	620	300	145	7,2
100	600	-	595	505	330	165	5,5

4. Tehnologia de execuție a îmbrăcămînților rutiere din beton de ciment

Execuția îmbrăcămînților rutiere din beton de ciment se caracterizează prin volumul mare de materiale care se manipulează și se pun în operă, ceea ce impune mecanizarea proceselor tehnologice.

De asemenea, organizarea acestor procese trebuie să aibă în vedere caracterul liniar și continuu al lucrărilor, urmărindu-se asigurarea uniformității în aprovizionarea materialelor necesare, la prepararea și transportul betonului, precum și la punerea în operă a acestuia.

Funcție de gradul de mecanizare sau de automatizare atins pe șantierele rutiere, respectiv de utilajele de care se dispune, se deosebesc mai multe procedee sau fluxuri tehnologice de execuție a îmbrăcămînților rutiere din beton de ciment. În toate cazurile însă, fazele de execuție principale sunt aproape aceleași:

- pregătirea stratului suport;
- prepararea betonului;
- transportul betonului;
- așternerea și compactarea betonului;
- executarea rosturilor;
- finisarea, protejarea și tratarea ulterioară a betonului;
- controlul calității și recepția lucrărilor.

În cadrul paragrafelor următoare se prezintă în mod special tehnologia tradițională de execuție a îmbrăcămînților rutiere din beton de ciment arătată schematic în fig. 33, făcându-se unele completări și observații privind tehnologia modernă în curs de introducere la noi în țară (centrale automate pentru prepararea betonului, mașini cu cofraje glisante, execuția prin tăiere a rosturilor de contracție, strierea și clutarea suprafețelor etc.).

4.1. Pregătirea stratului suport

Îmbrăcămînțile rutiere din beton de ciment se realizează în general pe un strat de fundație alcătuit din balast, care uneori poate fi stabilizat cu ciment, pe o pietruire veche reprofilată etc. Metodele de dimensionare a structurilor rutiere rigide scot în evidență faptul că grosimea fundațiilor la îmbrăcămînțile rutiere realizate din beton de ciment nu intervine în mod hotărâtor în atingerea unei capacități portante stabilite pentru complexul rutier,

straturile din materiale granulare având în primul rând un rol de protecție a stratului din beton de ciment, rol anticontaminant, antigel, anticapilar și de egalizare a suprafeței suport.

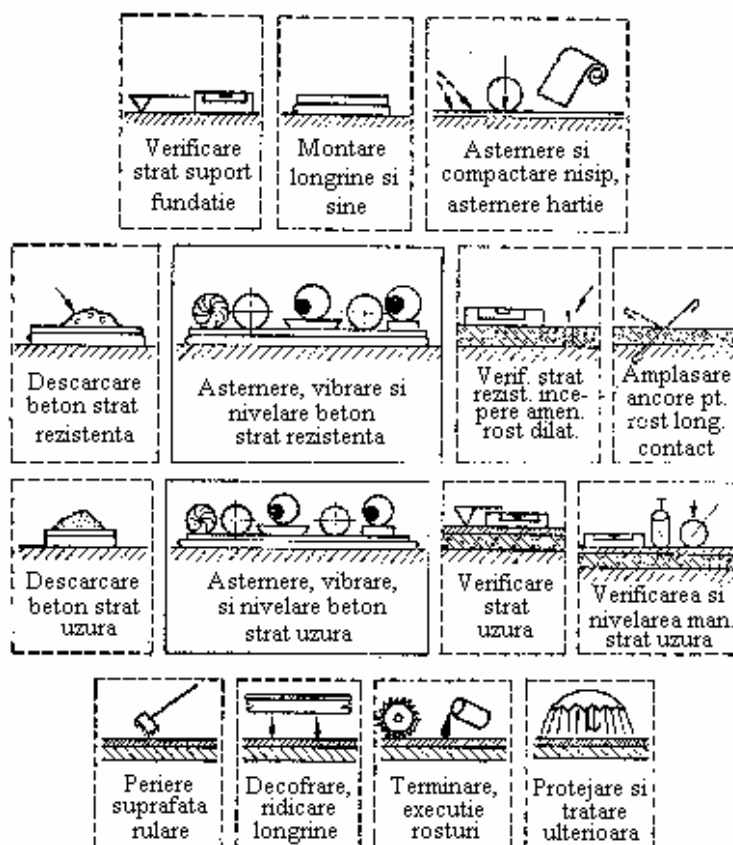


Fig. 33. Principalele faze de realizare a îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, executate în două straturi.

Uniformitatea stratului suport din punct de vedere al capacității portante este hotărâtoare pentru buna comportare în exploatare a îmbrăcăminților din beton de ciment, verificarea acestuia făcându-se prin măsurarea deflexiunilor sau prin încercarea cu placa.

Înainte de punerea în operă a betonului se efectuează verificarea elementelor geometrice ale fundației și calitatea materialelor granulare utilizate.

Verificarea se referă la respectarea lățimii prescrise a fundației, a pantelor în profil transversal și a declivității în profil longitudinal al suprafeței, acestea din urmă trebuind să fie aceleași cu cele ale îmbrăcămintei. Se verifică, cu ajutorul aparatului de nivel, cotele fundației în axa drumului. Toate lucrările de remediere a stratului suport (reprofilări, scarificări, completări sau compactări) se fac, pentru fiecare bandă care se betonează, cu câteva zile înainte de începerea execuției îmbrăcămintei, astfel încât să se asigure frontul de lucru corespunzător ritmului de turnare a betonului.

În cazul realizării stratului suport din materiale stabilizate cu ciment, având în vedere posibilitatea asigurării unui contact direct dintre dala de beton de ciment și suprafața stratului suport, nu este necesar să se aștearnă stratul de nisip de egalizare.

Denivelările locale admisibile în profil transversal, prevăzute de prescripțiile noastre tehnice pentru fundație, sunt cu ± 5 cm diferite de cele admise pentru îmbrăcăminte din beton de ciment, iar în profil longitudinal, sub dreptarul de 3 m sunt de maximum 2 cm.

În ceea ce privește calitatea materialului utilizat la realizarea stratului de fundație, se menționează faptul că în cazul îmbrăcăminților din beton de ciment se are în vedere eliminarea posibilității de producere a fenomenului de pompaj - a apariției prin rosturile și crăpăturile îmbrăcăminții a materialului fin din acest strat - care este generat de trei factori principali: traficul greu, materialul fin din fundație și prezența apei. Dacă fundația nu este constituită din materiale granulare stabilizate cu lianți, se recomandă ca materialul granular să conțină cel mult 50 % granule fine cu diametrul sub 0,1 mm.

Pentru asigurarea unei circulații de șantier normale, în perioada execuției îmbrăcăminții din beton de ciment pe drumuri cu două benzi de circulație, este necesar să se prevadă în documentația tehnică, platforme de încrucișare care vor fi amplasate pe ambele părți ale drumului la distanța de maximum 150 m, având o lungime de 24...30 m și o lățime de 5,50 m.

În cazul modernizării unor drumuri existente, pentru asigurarea circulației publice pe perioada execuției îmbrăcăminții din beton de ciment, ținând seama că se realizează o bandă din îmbrăcămintă pe un sens cu o lungime de 2...3 km, este necesar să se studieze în cadrul proiectului posibilitatea devierii circulației publice pe alte trasee sau să se prevadă drumuri tehnologice provizorii separate, soluție ce prezintă însă dezavantajul ocupării de terenuri. O soluție care ar putea asigura circulația în două sensuri o reprezintă balastarea întregii platforme, care însă va trebui mărită la 10,60 m în loc de 9 m cât este cea uzuală.

În orice caz, alegerea soluției privind asigurarea circulației publice va trebui să rezulte dintr-un studiu tehnico-economic comparativ care să ia în considerare atât costul lucrărilor suplimentare necesare, cât și costul transporturilor publice efectuate pe alte trasee sau în condițiile restricțiilor de circulație pe șantier.

4.2. Prepararea betonului

Prepararea betonului de ciment presupune o serie de operații tehnologice legate de depozitarea și stocarea materialelor necesare, dozarea și amestecarea lor în betoniere, operații care reprezintă tot atâtea puncte asupra cărora trebuie să se îndrepte atenția executantului în activitatea permanentă și obligatorie de control al calității lucrărilor în stația de preparare a betoanelor de ciment.

4.2.1. Depozitarea materialelor

La organizarea centralelor pentru betoane se asigură depozitarea corespunzătoare a materialelor pentru a nu permite degradarea, alterarea, amestecarea sau murdărirea acestora. În acest scop, depozitarea agregatelor se face pe platforme betonate, special amenajate, depozitele diverselor sorturi despărțindu-se între ele prin pereți. Platformele se amplasează cât mai aproape de centrala pentru prepararea betoanelor, asigurându-se acces direct la aceasta în cazul alimentării betonierelor cu ajutorul unor autoutilaje încărcătoare de materiale.

Având în vedere că aprovizionarea, manipularea și mai ales depozitarea agregatelor contribuie la crearea condițiilor de evitare a segregării, se recomandă acordarea unei atenții deosebite acestei operații, aplicându-se tehnologia indicată în fig. 34.

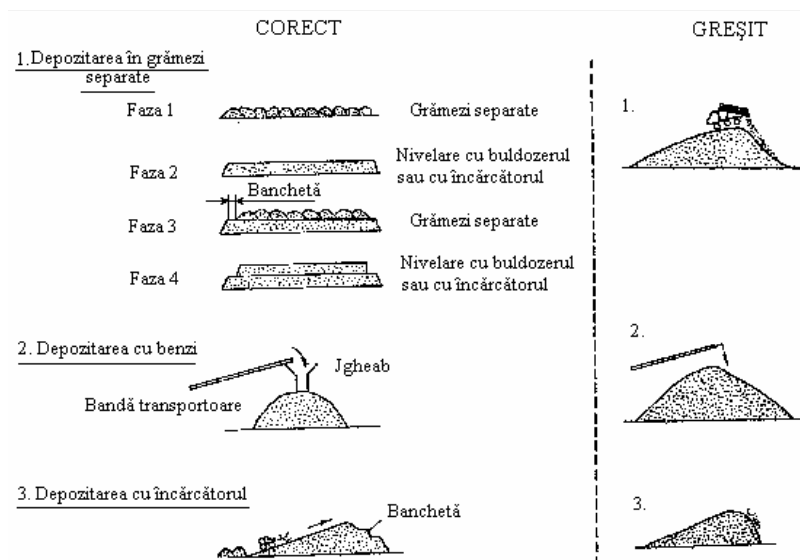


Fig. 34. Tehnologia depozitării agregatelor.

Cimentul se depozitează în apropierea centralei pentru prepararea betoanelor, în magazii sau silozuri metalice verticale, etanșe, în care acesta este ferit de alterare și în primul rând de posibilitatea de umezire. Aditivii necesari se depozitează sub formă de soluții în cisterne speciale.

Se recomandă construirea unui castel de apă, la care se va asigura o diferență de nivel de peste 5 m față de nivelul apometrelor centrale sau, după posibilități, se recomandă realizarea unui racord la rețeaua publică de apă potabilă.

Este obligatorie organizarea și efectuarea unui control permanent al calității materialelor din depozite, respectiv al condițiilor de depozitare existente pe șantier.

4.2.2. Organizarea preparării betoanelor

Prepararea betonului pentru executarea îmbrăcămintei rutiere din beton de ciment se face în centrale pentru betoane, amplasate astfel ca transportul materialelor de la sursă până la centrală, precum și transportul betonului de la centrală la lucrare, să fie cel mai economic.

În cazul transportului materialelor necesare pe calea ferată, stația de primire trebuie să se stabilească, pe baza unor studii tehnico-economice, în centrul de greutate al unui sector de 20...30 km. Alegerea amplasamentului optim dintre mai multe amplasamente posibile, având la bază și alte criterii economice suplimentare față de cele amintite, se poate face și cu ajutorul unor programe cu prelucrare automată a datelor.

Organizarea generală a lucrărilor de preparare și transport ale betoanelor poate fi realizată în mai multe variante, dintre care se amintesc următoarele:

- prepararea betonului în centrale fixe, transportul betonului la locul de punere în operă asigurându-se cu autobasculante sau autobetoniere, conform schemei din fig. 35;
- prepararea betonului în instalații mobile la locul de punere în operă, conform schemei din fig. 35.

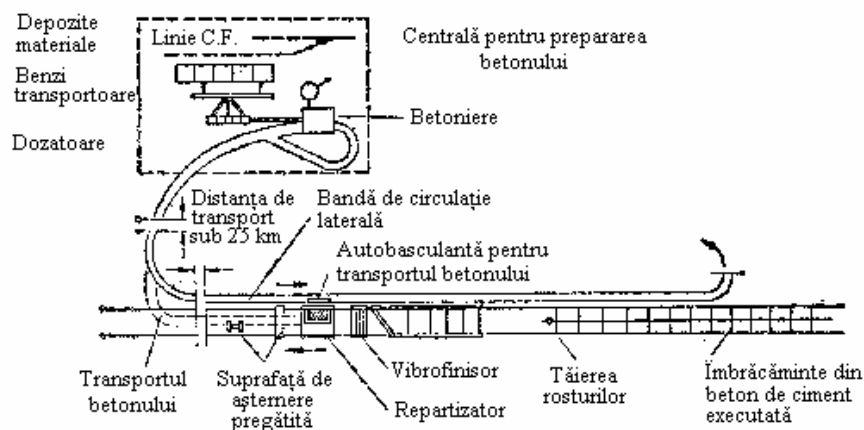


Fig.35. Organizarea procesului tehnologic de preparare și transport al betonului, în cazul centralelor fixe.

Centralele fixe pentru preparare betoanelor de ciment utilizate cu prioritate pe marile șantiere de drumuri (peste 95 % din situații) prezintă avantajul unui control mai bun al calității betoanelor preparate, distanța de transport a betonului fiind însă limitată.

Prin adoptarea soluției cu centrală fixă pentru prepararea betoanelor se asigură depozitarea corespunzătoare a tuturor materialelor, folosirea rațională a utilajelor sau instalațiilor de apropiere a materialelor la betoniere, utilizarea dozatoarelor automate de materiale, folosirea unui laborator central pentru controlul calității betoanelor, amenajarea drumurilor interioare și de legătură, construcția clădirilor administrative și sociale, asigurarea unei surse economice de apă și energie etc.

Locul de amplasare a centralelor pentru prepararea betoanelor trebuie să corespundă ca spațiu, să fie cât mai aproape de sursa de apă și asigurat contra inundațiilor, iar distanța față de punctul cel mai îndepărtat de turnare să fie de maximum 10...25 km, asigurându-se o viteză medie de circulație pentru transportul betonului de 30...60 km/h.

În cazul în care distanțele de transport sunt mai mari de 15 km, se folosesc autobetoniere, prepararea betonului făcându-se în timpul transportului. Autobetonierele sunt încărcate în stație cu amestecul uscat de agregate și ciment, apa introducându-se în timpul transportului.

Pentru prepararea betoanelor de ciment se folosesc de regulă betoniere cu funcționare discontinuă și amestecare forțată.

Numărul de betoniere și capacitatea acestora se alege astfel încât să se asigure punerea în operă în mod continuu a cantităților de betoane necesare în funcție de tipul utilajului folosit la așternere, respectiv de productivitatea acestuia, care depinde de lățimea de betonare și viteza de înaintare.

În tabelul 16 sunt prezentate capacitățile necesare ale unei centrale pentru betoane în cazul unei lățimi de betonare de 3,5 m, cu o grosime a dalei de beton de 20 cm, în funcție de tipul utilajului folosit la așternerea betonului.

În prezent, pe șantierele de autostrăzi se folosesc betoniere având capacități mari de malaxare în jur de 1 000 L, care asigură o productivitate a centralei pentru betoane de 700... 3 000 m³/zi, respectiv 100...400 m³/h și chiar mai mari.

Capacitatea centralelor pentru prepararea betoanelor de ciment

Tabelul 16

Capacitatea centralei m ³ /h	Caracteristicile utilajului de punere în operă	
	Tip	Viteza de lucru maximă m/min
15...20	Vibrofinisor cu longrine fixe	0,5
30...40	Vibrofinisor cu șenile	1,8
80...100	Mașină cu cofraje glisante	2,8

În fig. 36 se prezintă o centrală pentru betoane, având producția orară de 100 m³ beton proaspăt, la care se disting în prim plan dozatoarele de agregate și benzile transportoare spre betonieră. Betoniera este de tip special în contra curent cu ax orizontal. În spate se găsesc silozurile de ciment care folosesc sistemul de transport pneumatic. Întreaga stație este prevăzută cu telecomandă electro-pneumatică.



Fig. 36. Centrală de mare productivitate pentru prepararea betoanelor.

Pe marile șantiere rutiere în ultima perioadă au început să se **utilizeze centrale automatizate** pentru prepararea betonului dotate cu utilaje și aparatură de comandă și control care permit automatizarea întregului proces tehnologic de preparare a betonului în condiții de calitate superioară.

În general, o centrală automatizată de mare capacitate cuprinde următoarele grupe de instalații:

- instalații de primire și depozitare a materialelor, asigurându-se capacități de stocare de 500 t pentru fiecare sort de agregate și de 50...100 t pentru ciment;
- grup de dozare a agregatelor, cimentului, apei și soluțiilor de aditivi, la care respectarea dozajelor de fabricație se asigură automat;
- instalație de malaxare cu una sau mai multe betoniere de mare capacitate;
- punct de comandă pentru servirea întregii centrale, având funcționarea automată sau semiautomată.

Aceste avantaje ale preparării betoanelor de ciment de bună calitate, prin asigurarea automatizării întregului proces tehnologic și a controlului acestuia, conduc la alegerea cu prioritate a centralelor fixe automatizate, în cadrul organizării șantierelor rutiere.

Instalațiile mobile pentru prepararea betonului la fața locului din fig. 37 se utilizează în cazul distanțelor mari de transport, de peste 30 km, care nu pot fi acoperite cu ajutorul mijloacelor de transport uzuale datorită riscului de întărire și segregare a betonului proaspăt.

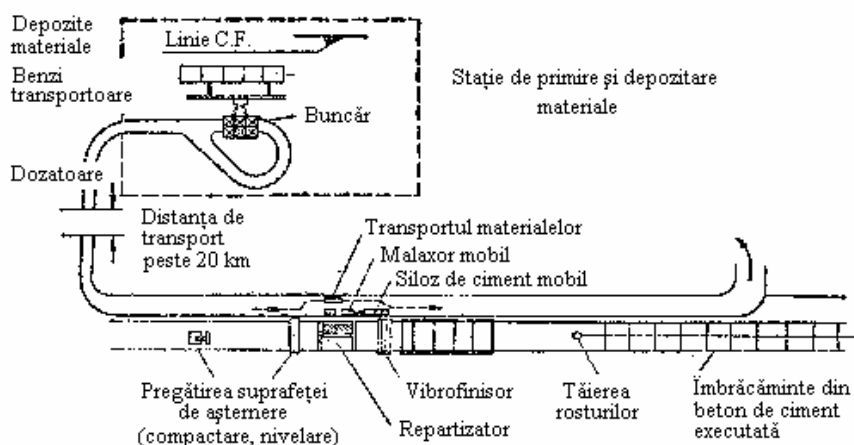


Fig. 37. Schema preparării betonului în instalații mobile.

Prepararea betonului la fața locului în instalații mobile prezintă dezavantajul că necesită manevrarea unei mari cantități de materiale pe platforme intermediare și nu se asigură o calitate superioară a betonului, datorită dispersării operațiilor și posibilităților reduse de automatizare și control.

4.2.3. Procesul tehnologic de preparare a betonului

Compoziția betonului (dozajul de fabricație) se determină pe baza analizei materialelor utilizate și a încercărilor preliminare, efectuate de un laborator de specialitate, prezentate în cadrul pct. 3.5. Micile abateri ale granulozității agregatelor componente precum și variația umidității lor vor fi luate în considerare zilnic de laboratorul de șantier pentru stabilirea șarjelor, astfel încât compoziția betonului dată prin dozajele de fabricație să fie menținută pe toată perioada de execuție a lucrărilor, respectiv până la schimbarea acesteia, după caz.

Procesul tehnologic de preparare a betonului cuprinde o amestecare la uscat a agregatului natural și cimentului, după care se introduce în același timp apa și soluția de aditiv în toba betonierei, efectuându-se o nouă amestecare. Fiecare betonieră trebuie dotată cu rezervoare închise pentru soluția de aditivi, amplasate pe platforma betonierei și cu dozator special pentru soluție.

Dozarea agregatului și a cimentului se impune a se realiza gravimetric, iar apa, cu dozatorul de apă, pe baza măsurării volumului sau a debitului.

Pentru a asigura uniformitatea granulozității agregatelor, trebuie să se asigure cântărirea separată a acestora pe sorturi.

Dozarea cantității de apă necesară la amestecare este cea mai importantă operație la prepararea betonului, ea influențând hotărâtor calitatea betonului prin modificarea raportului A/C și a lucrabilității.

De asemenea, scăderea densității în grămadă a nisipului în funcție de umiditate (înfoierea nisipului) este importantă și trebuie luată în considerare la dozarea exactă și corectă a nisipului și a apei în beton.

Din această cauză, pe șantier este necesar să se cunoască permanent umiditatea agregatelor, precum și lucrabilitatea betonului proaspăt obținut, atât la preparare cât și la locul de punere în operă, folosindu-se metode rapide de determinare a acestor caracteristici cu o aparatură simplă.

Umiditatea agregatelor se poate determina cu ajutorul sondei electronice cu neutroni sau cu alte tipuri de aparate.

De asemenea, la instalațiile moderne de fabricare, pentru cunoașterea lucrabilității obținute (caracterizată de omogenitate și consistență), se utilizează înregistrarea permanentă a puterii absorbite a motorului electric al betonierei (consumul de curent), care scade pe măsură ce amestecul de beton se omogenizează.

La instalația de dozare se vor afișa dozajele de fabricație pentru fiecare sort de agregate, ciment, apă de amestecare, inclusiv umiditatea agregatelor, pentru 1 m³ de beton și pentru fiecare tip de betonieră în funcție de capacitatea acesteia.

Durata de amestecare a componentelor betonului în betonieră se determină din momentul terminării introducerii tuturor componentelor în toba betonierei până în momentul începerii descărcării tobei și se stabilește de laboratorul de șantier prin încercări făcute la începerea lucrărilor, astfel încât să se obțină o bună omogenizare a betonului. Durata de amestecare este în funcție de lucrabilitatea prescrisă a betonului și de tipul betonierei, fiind mai mare în cazul betoanelor vâtoase sau care conțin cantități mari de părți fine (2...4 min.). Durata minimă de amestecare a unei șarje într-o betonieră cu amestec forțat este de 50 s, iar în cazul celor cu cădere liberă, de 120 s.

La orice oprire a betonierelor pentru o perioadă de peste o oră, se efectuează spălarea acestora pentru evitarea întăririi betonului rămas în toabă și deteriorării paletelor.

Se menționează că din punct de vedere al preparării și punerii în operă, executarea îmbrăcămintilor rutiere din beton de ciment într-un singur strat poate fi mai avantajoasă decât în cazul când îmbrăcămintea se realizează în două straturi (uzură și rezistență) cu calități diferite, datorită utilizării unui singur dozaj la fabricație și folosirii unui singur utilaj la așternere.

4.3. Transportul betonului

Betonul preparat în centrale fixe se transportă la locul de punere în operă, de regulă, cu autobasculante, ferite de condițiile atmosferice defavorabile (ploaie, vânt, soare), la distanța maximă de 10 km pe drumuri pe care se asigură o viteză de circulație de cel puțin 30 km/h, urmărindu-se evitarea segregării și uscării excesive a betonului. Realizarea acestor condiții impuse de prescripțiile în vigoare este de cele mai multe ori legată de multiple dificultăți organizatorice, de aceea se recomandă ca în cazurile frecvente de transport al betonului la distanțe mai mari să se folosească autoagitatoare sau autobetoniere cu dispozitive de amestecare în timpul transportului. Modul de transport al betonului și unele caracteristici ale autovehiculelor utilizate frecvent la noi în țară sunt prezentate în tabelul 17. Având în vedere faptul că descărcarea betonului din mijloacele de transport nu se poate face în general prin spate (pentru a nu degrada stratul suport sau din cauza stratului anterior așternut), autobasculantele trebuie să aibă un sistem de descărcare laterală, fiind recomandate din acest punct de vedere autobetonierele la care descărcarea se poate asigura printr-un jgheab. Transportul betonului trebuie să se facă în toate cazurile cu autovehicule

care au obloanele închise etanș. În caz că se constată segregarea betonului în timpul transportului, acesta se va reamesteca obligatoriu înainte de punerea în operă.

Tipul de autovehicule utilizate la transportul betonului de ciment

Tabelul 17

Tipul autovehiculului	Caracteristici	
	Distanțe maxime km	Capacități m ³
Autobasculantă	10	5,0...8,0
Autoagitator	10...15	2,0...3,0
Autobetonieră	Peste 15	4,0...6,0

Timpul care se scurge de la prepararea betonului pentru straturile de rezistență și până la completa finisare a suprafeței stratului de uzură trebuie să nu depășească cu mai mult de o oră durata începutului prizei cimentului.

În unele țări se recomandă ca durata între prepararea betonului și așternere să nu depășească 45 min, în cazul folosirii autobasculantelor, sau 1 h și 30 minute, în cazul folosirii autobetonierelor pentru transportul betonului.

Dacă distanța de transport este mai mare de 3 km se recomandă să se folosească o legătură radiotelefonică între centrala pentru prepararea betonului și locul de punere în operă, pentru a se evita staționări mari care pot conduce la deprecierea unor cantități mari de beton în cazul defectării utilajelor de așternere sau altor condiții neprevăzute (intemperii, blocări de circulație etc.).

Organizarea transportului betonului este o operație importantă în cazul îmbrăcăminților rutiere, stagnările la prepararea sau punerea în operă din cauza lipsei de mijloace de transport având implicații majore asupra ritmului de lucru și calității îmbrăcăminții realizate.

Numărul necesar de autobasculante pentru transportul betonului se stabilește astfel încât să se asigure punerea în operă în mod continuu a cantității de beton preparat și se poate estima teoretic cu relația:

$$N = \frac{T}{n \cdot C} \quad (36)$$

în care:

N este numărul teoretic de autobasculante necesare;

T – producția zilnică a centralei pentru betoane, în t;

C – capacitatea utilă a autobasculantei (adaptată la capacitatea betonierei), în t;

$$n = \frac{t}{0,33 + 0,04d} \quad (\text{se adoptă un număr întreg})$$

unde:

t este timpul de lucru al unei autobasculante într-o zi (8...10 h);

d – distanța medie de transport, în km.

În această relație s-a luat în considerare un timp de așteptare de 12 min la stația de betoane și de 8 min la așternere, precum și o viteză medie de transport de 50 km/h.

Față de numărul de autobasculante teoretic estimat cu relația 36, practic se prevăd suplimentar cu 10 % mai multe autobasculante.

4.4. Așternerea și compactarea betonului

Punerea în operă a betonului de ciment în cazul îmbrăcăminților rutiere se face folosind diferite metode și tipuri de utilaje pentru așternere, compactare și nivelare care se aleg în funcție de o serie de factori dintre care se amintesc: importanța drumului, ritmul de betonare și volumul betonului pus în operă, gradul de uniformitate dorit și spațiul lateral necesar față de lățimea de betonare (tabelul 18).

Diferite caracteristici tehnologice privind punerea în operă a betonului rutier

Tabelul 18

Caracteristica tehnologică	Tipul utilajului de așternere și compactare		
	Cu cofraje fixe	Cu șenile	Mașină cu cofraje glisante
Lățimea maximă de lucru, m	5	5	8...15
Sistemul de ghidare	Longrine	Cale de rulare pentru șenile	Fir lateral Laser
Spațiul lateral minim necesar, m	0,50	0,75...1,00	2,40...3,00
Viteza teoretică maximă de înaintare, m/min	0,5...0,7	1,8	2,8...3
Randamentul teoretic maxim, m/8 h	290	870	1 350
Randamentul mediu practic, m/8 h	100...150	200...250	350...450
Modul de vibrare	Grindă	Grindă	Special
Frecvența de vibrare, Hz	50	50...66	100...200
Cantitatea de beton pusă în operă, m ³ /h	10...15	20...30	80
Necesarul de mijloace de transport al betonului, autobasculante/kilometru	0,5	1	2
Muncitori necesari pentru punerea în operă a betonului, număr/oră și kilometru	72	30	18

Din punct de vedere tehnologic se deosebesc următoarele două metode de punere în operă a betonului de ciment:

- cu cofraje fixe (longrine, șine, borduri etc.);
- cu cofraje glisante (mașini speciale).

În primul caz, executarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment se face în sistemul clasic (tradițional), prin care betonul este așternut în cofraje laterale fixe alcătuite de obicei din longrine metalice, ce delimitează lățimea și grosimea dalei din beton, cofraje care se înlătură numai după întărirea betonului. Această metodă are dezavantajul unei productivități reduse și unui necesar mare de forță de muncă.

Mașinile cu cofraje glisante sunt utilaje moderne de mare productivitate, introduse în ultima perioadă pe marile șantiere rutiere fiind cele mai bine adaptate tehnologiilor de realizare a îmbrăcăminților din beton de ciment; aceste mașini vor fi prezentate în cadrul unui paragraf separat.

În general, așternerea betonului se poate face manual sau cu repartizatoare mecanice, iar compactarea betoanelor se face prin vibrare folosind grinzi sau plăci vibratoare, pervibratoare, vibrofinisoare sau dispozitive speciale ale mașinilor cu cofraje glisante.

Pe șantierele mici la care se pun în operă între 30 și 50 m³ de beton pe zi, sau în cazul unor suprafețe reduse, la care folosirea utilajelor nu este justificată din punct de vedere tehnico-economic (curbe cu raze foarte mici, declivități mari peste posibilitățile de lucru ale utilajelor, platforme sau locuri de parcare cu suprafețe mici și izolate, alei etc.) așternerea se poate face manual, iar compactarea se asigură cu ajutorul unei **plăci sau grinzi**

vibratoare, având 3 000 vibrații/minut și frecvență de 48 Hz. Cu acest sistem se pot realiza pe zi între 50 și 80 m de îmbrăcăminte de 3,50 m lățime și 0,16...0,20 m grosime.

Pe șantierele mijlocii (120...150 m³ de beton pe zi) așternerea betonului se face cu repartizatorul mecanic, iar compactarea și nivelarea cu ajutorul vibrofinisorului. Ambele utilaje au lățimea maximă de lucru de 5 m.

Repartizatorul este un utilaj autopropulsat cu deplasarea pe șine care preia betonul din mijloacele de transport prin intermediul unui buncăr de primire (frontal sau lateral) și-l distribuie pe întreaga lățime de betonare la grosimea prescrisă, prin intermediul unui ax orizontal cu palete sau șnec.

Vibrofinisorul este un utilaj autopropulsat care se deplasează pe șine sau șenile cu o viteză maximă de lucru de 0,7...1,4 m/min, execută un complex de operații de nivelare, compactare și finisare a betonului și se compune din următoarele dispozitive:

- roata de nivelare, care asigură nivelarea inițială a betonului proaspăt;
- dispozitiv de vibrare care realizează compactarea betonului, putând fi cu vibrare internă (previbratoare cu 10 000 vibrații/minut, suspendate pe o platformă și amplasate la 50...75 cm distanță unele de altele în funcție de efectul de compactare obținut, folosite în cazul grosimilor mari ale stratului de beton) sau cu vibrare de suprafață (grindă sau placă vibratoare cu 2 000...4 000 vibrații/minut și frecvență de 50 Hz, folosite frecvent în cazul grosimilor mici, sub 20 cm);
- grinzi finisoare vibratoare, oscilante sau statice, care pot avea și mișcare oblică, pentru a asigura uniformitatea suprafeței în profil longitudinal.

În cazul îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment executate în două straturi sunt necesare repartizoare și vibrofinisoare separate pentru fiecare din straturi, însă pentru stații de betoane cu capacități mici de preparare se pot folosi aceleași utilaje pentru ambele straturi. În această situație după așternerea și compactarea stratului de rezistență pe 50...60 m, grupul de utilaje revine și se așterne stratul de uzură, urmărindu-se ca betonul din stratul inferior să fie acoperit în maximum o oră de la așternere de către betonul din stratul superior, pentru a se evita pierderea apei prin evaporare sau începerea prizei înainte de compactare.

Un atelier modern de mașini folosit la punerea în operă a betoanelor rutiere cuprinde pe lângă utilajele descrise mai înainte (repartizoare și vibrofinisoare) și alte utilaje sau dispozitive ce acționează în lanț (fig. 38) asigurând următoarele operații:

- realizarea rosturilor de contracție prin vibrare sau tăiere;
- nivelarea suprafeței și eliminarea denivelărilor ce pot apărea în urma vibrofinisorului și execuției rosturilor (în care caz se utilizează grinzi vibratoare oblice);
- finisarea betonului și realizarea rugozității suprafeței de rulare;
- protejarea betonului împotriva soarelui și ploii;



Fig. 38. Realizarea îmbrăcăminților din beton de ciment pe calea unidirecțională a unei autostrăzi.

- tratarea suprafeței prin diferite procedee de protecție etc.

Ansamblul de utilaje permite executarea tuturor lucrărilor necesare realizării îmbrăcăminților din beton de ciment, cu o mare productivitate și la un înalt nivel de calitate.

4.4.1. Lucrări pregătitoare

Prescripțiile tehnice de la noi din țară privind realizarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment prevăd ca înainte de începerea turnării betonului din stratul de rezistență, să se execute o serie de lucrări premergătoare (fig. 39). Una dintre aceste lucrări este **execuția benzilor din mortar de ciment** pentru montarea longrinelor cu ajutorul cărora se asigură executarea corectă a îmbrăcăminții rutiere la cotele și cu elementele geometrice prescrise în documentația tehnică, privind grosimea și lățimea dalelor.

Pentru aceasta se trasează linia axei drumului și a marginii părții carosabile, ce coincide cu fețele interioare ale longrinelor pe care se vor deplasa utilajele de așternere și compactare a betonului. Aceste linii se materializează pe teren prin țaruși metalici plantați din maximum 50 în 50 m și sfoară. Se sapă în exteriorul liniilor trasate, în stratul de fundație, un șanțuleț cu adâncimea de circa 5 cm, în care se va executa banda din mortar de ciment peste care se vor așeza longrinele metalice. Lățimea benzilor va fi de cel puțin 25 cm, iar mortarul se realizează cu un dozaj de 160 kg ciment/m³ nisip. După așternere, benzile din mortar se nivelează astfel încât să asigure sprijinirea longrinelor pe toată suprafața tălpii lor, pentru a evita deformarea lor sub greutatea utilajului și producerea în consecință a unor denivelări locale ale suprafeței de rulare a îmbrăcăminții. Dacă situația o cere, în general în cazul unor îmbrăcăminți cu o grosime de peste 20 cm, benzile se execută între cofraje, din mortar sau chiar beton de ciment.

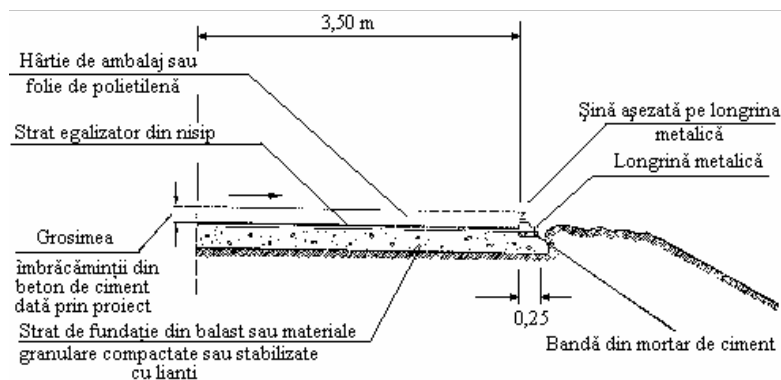


Fig. 39. Lucrările pregătitoare necesare înainte de punerea în operă a betonului rutier.

Abaterile la execuția benzilor din mortar privind cotele în plan vertical și denivelările admisibile în sens longitudinal sunt aceleași cu cele ale îmbrăcăminții din beton de ciment. În profil transversal, abaterile trebuie să asigure lățimea de turnare a dalei de beton în limitele ± 15 mm.

După întărirea mortarului din benzi (cel puțin 7 zile de la turnare) **se montează longrinele** care joacă un rol de cofraj lateral pentru betonul proaspăt. Longrinele sunt de obicei metalice (profile laminate rigide cu talpă având $L = 3$ m, $h = 0,20$ m și $b = 0,25$ m), iar în cazul curbelor se pot folosi longrine din lemn sau borduri din beton. Acestea trebuie permanent controlate pentru a nu se utiliza longrine deformate și vor fi curățate de betonul turnat anterior.

Longrinele aliniate se fixează pe banda din mortar prin crampoane de oțel și se îmbină între ele prin eclise astfel încât să nu se poată deplasa sub greutatea vibrofinisorului. Peste longrine se montează șinele, care joacă rol de cale de rulare pentru utilajele de așternere și compactare a betonului. După montare, se verifică poziția longrinelor și a șinelor, abaterile de montaj trebuind să se înscrie în abaterile limită date pentru îmbrăcămințile din beton de ciment.

Între longrinele montate, pe fundația în prealabil umezită, se așterne un **strat de nisip de egalizare** a suprafeței acesteia, care se cilindrează, verificându-se suprafața lui cu un șablon chertat la margini, prin alunecarea acestuia pe șinele longrinelor (fig. 40). Grosimea stratului de nisip va fi de 2 cm după cilindrare, admitându-se abateri de ± 5 mm.

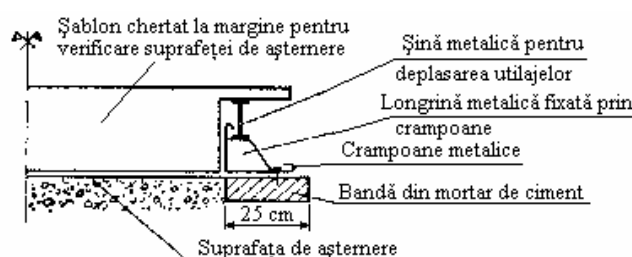


Fig. 40. Detaliu privind montarea longrinelor.

Pentru a împiedica scurgerea pastei de ciment și unirea betonului cu stratul de fundație, suprafața stratului de nisip se acoperă cu hârtie Kraft, hârtie de ambalaj, sau cu folii de polietilenă, într-un singur strat, petrecerile fâșiilor fiind de 10 cm în sens longitudinal și de 20 cm la capete în sens transversal.

Fetele verticale interioare ale longrinelor se ung cu ulei pentru a împiedica aderența betonului turnat la acestea.

Se menționează că tehnologia de punere în operă a betonului rutier descrisă mai sus, presupune foarte multe operații manuale, greu de executat, cu un consum mare de manoperă (realizarea benzilor din mortar sub longrine; montarea, demontarea, curățarea și transportul longrinelor; așternerea stratului de nisip și a hârtiei sau foliei înaintea turnării betonului), din acest punct de vedere fiind indicate noi tehnologii și utilaje moderne care să conducă la creșterea productivității muncii și reducerea costului lucrărilor de acest gen.

4.4.2. Punerea în operă a betonului

După executarea lucrărilor pregătitoare descrise mai înainte, betonul pentru stratul de rezistență se descarcă între longrine peste folia de polietilenă sau hârtia așternută în prealabil. Betonul se basculează în 2-3 locuri, în funcție de capacitatea mijlocului de transport. Pentru evitarea căderii betonului peste longrine în timpul basculării, se va așeza peste longrine, sub oblonul lateral al basculantei, un plan înclinat mobil, astfel încât betonul ce se basculează lateral să fie dirijat cât mai departe de longrină, așa cum se arată în fig. 41.

Grămezile de beton se aștern între longrine cu ajutorul paletelor de la ruloul repartizatorului mecanic, urmărindu-se repartizarea uniformă a betonului, astfel ca după vibrare să se ajungă la cota prescrisă a îmbrăcăminței. Grosimea stratului înainte de compactare prin vibrare se va determina prin încercări, aceasta fiind de regulă cu circa 25 % mai mare decât grosimea stratului compactat.

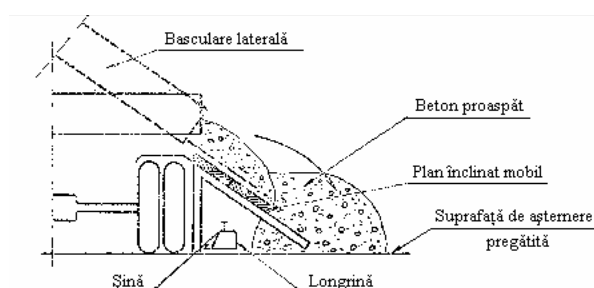


Fig. 41. Bascularea laterală a betonului proaspăt.

Compactarea betonului se realizează cu ajutorul vibrofinisoarelor a căror grindă vibratoare are lățimea de 0,4...0,5 m, vibrând cu o frecvență de 2 500...5 500 vibrații/minut, și cu amplitudinea de 0,4 mm, viteza de înaintare a vibrofinisorului fiind de circa 0,75 m/min. Betonul se vibrează cel puțin prin două treceri ale vibrofinisorului, durata de vibrare pe același loc fiind de circa 30 s.

Între cele două vibrări, se efectuează controlul calității stratului de beton, efectuându-se corecturile sau remediile necesare. Marginile de lângă longrine ale stratului de rezistență se vor compacta suplimentar după vibrare, cu ajutorul unor maiuri metalice sau plăci vibratoare.

Se menționează că pe suprafața stratului de rezistență se așază ancorele din oțel-beton cu care se armează rostul longitudinal de contact, înfigându-se ciocurile lor în betonul proaspăt. Jumătatea ancorei care va fi introdusă în betonul turnat în cea de a doua bandă de circulație, vecină celei executate anterior, va fi lipită de longrină, pentru ca după demontarea longrinei, să se poată dezdoi și întinde ancora, fără inflexiuni, peste stratul de rezistență al celei de a doua benzi de circulație.

Distanța dintre ancore în lungul drumului este de 1 m.

Stratul de uzură al îmbrăcămintei rutiere se așterne peste cel de rezistență, imediat după executarea acestuia, adică peste betonul proaspăt vibrat se descarcă și se împrăștie betonul stratului de uzură, în același fel ca la stratul de rezistență. Pentru așternerea și compactarea lui se utilizează un repartizator și un vibrofinisor, altele decât cele utilizate la stratul de rezistență. După compactarea suplimentară a zonelor marginale ale stratului de uzură, executată ca mai înainte, se controlează planeitatea suprafeței realizate cu ajutorul dreptarului de 3 m, efectuându-se corecțiile necesare, înaintea unei a doua vibrări a betonului stratului de uzură. În final, suprafața betonului trebuie să apară bine închisă și uniformă ca aspect.

Nu este indicată închiderea suprafeței prin aplicarea de mortar de ciment sau pudrare cu ciment.

Executarea straturilor de uzură și rezistență se efectuează în lungul drumului, fără întrerupere, prin realizarea concomitentă a celor două straturi care compun îmbrăcămintea rutieră.

Longrinele dinspre acostament se pot demonta după 24 h de la execuția îmbrăcămintei, iar cele dinspre axă după 48 h.

Îmbrăcămințile din beton de ciment se execută la temperatura efectivă de lucru de cel puțin + 5 °C. Sub această temperatură, dar numai până la - 5 °C, în mod excepțional, pentru cantități reduse se pot executa lucrări numai dacă se asigură măsuri speciale în ceea

ce privește prepararea și protejarea betonului contra înghețului, pe întreaga durată a prizei și întăririi lui, până se atinge o rezistență de minimum 50 % din marcă.

4.4.3. Mașini cu cofraje glisante

Până în jurul anilor 1960, punerea în operă a betonului de ciment din îmbrăcămintele rutiere se făcea folosind vibrofinisoare și cofraje fixe, cu o echipă de 15...20 muncitori realizându-se maximum 250...300 m de cale pe zi. Dezavantajele acestei tehnologii menționate în paragraful anterior au condus la necesitatea înlocuirii ei cu alte metode mai perfecționate.

Mașinile cu cofraje glisante au fost folosite la început pentru realizarea diferitelor tipuri de canale, borduri, trotuare, rigole, piste pentru cicliști, parapete pentru siguranța circulației la autostrăzi etc.

Având în vedere marile avantaje ale acestei metode (economie de forță de muncă și o productivitate mare, calitate și precizie sporită în execuție asigurată printr-un sistem de ghidare automat de direcție și nivel, posibilități de punere în operă a unor cantități mari de beton, realizându-se cu 2 000 m³ beton peste 1 km de cale pe zi), mașinile cu cofraje glisante au început să se folosească tot mai mult pe marile șantiere rutiere, la început în S.U.A. (1955), iar pe baza experienței americane și în celelalte țări din Europa, în perioada 1960...1962 în Anglia, Belgia, Franța, U.R.S.S., Germania, Cehoslovacia, iar în ultima perioadă în Austria, Elveția și în alte țări, fiind considerate în prezent cele mai eficiente mașini de punere în operă a betoanelor rutiere.

În prezent, există două familii de mașini cu cofraje glisante, utilizate în funcție de lățimea și grosimea îmbrăcămintei rutiere. De menționat este faptul că prin folosirea acestor mașini se pot realiza numai îmbrăcăminți rutiere într-un singur strat.

Astfel, în cazul lățimilor de peste 6 m, la autostrăzi, se folosesc mașini mari de tipul prezentat în fig. 42.

În cazul lățimilor mai reduse, având însă posibilitatea de a realiza straturi de grosimi până la 30...45 cm, se folosesc mașini cu cofraje glisante de tip mic (fig. 43).

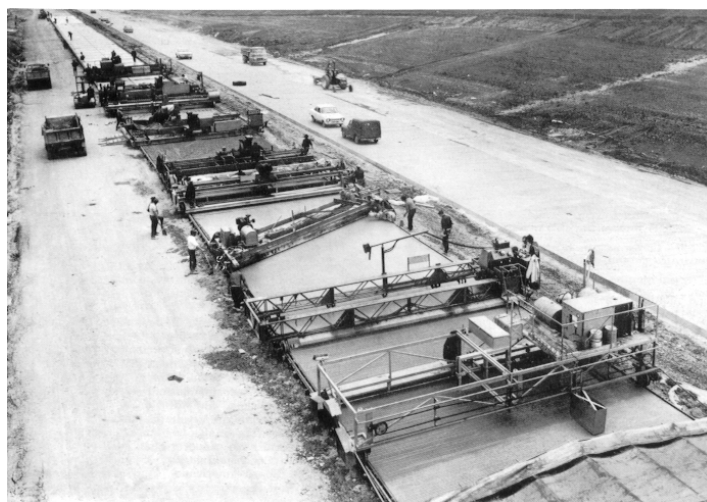


Fig. 42. Mașină cu cofraje glisante la execuția îmbrăcămintei din beton de ciment la o autostradă.

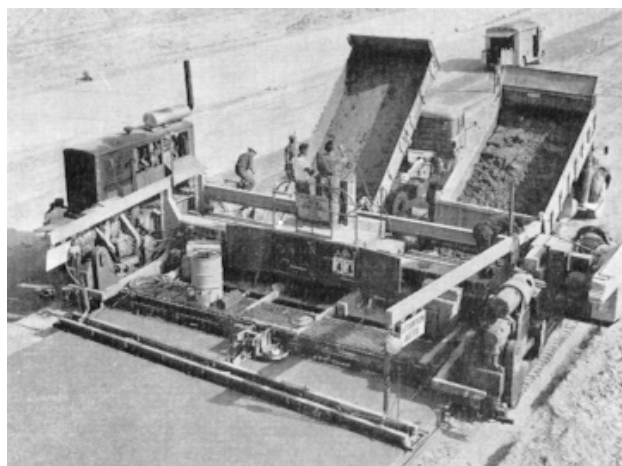


Fig. 43. Mașină cu cofraje glisante de tip mic.

Mașinile cu cofraje glisante prezintă următoarele caracteristici legate de punerea în operă a betonului din îmbrăcămințile rutiere:

- șasiul mașinii este montat pe 2 sau 4 șenile, prin intermediul a 4 suspensii hidraulice;
- lățimea de lucru maximă este de 15 m;
- viteza de înaintare este de 1,5...2,0 m/min (max 3 m/min);
- vibrarea betonului se face de obicei cu o baterie de pervibratoare;
- cofrajele laterale glisante, putând avea diferite forme în profil transversal, sunt montate între șenile și au o lungime de 4 m;
- betonul este mulat între stratul suport, cofrajele laterale și superioare ale mașinii;
- ghidarea mașinii se face automat;
- echipamentele mașinii sunt acționate hidraulic.

Toate mașinile cu cofraje glisante fabricate în prezent sunt automatizate și comandate electronic, având sistemul de control integrat în echipamentul de bază al mașinii.

Principiile de funcționare și alcătuirea schematică a mașinilor cu cofraje glisante sunt prezentate în fig. 44 și 45.

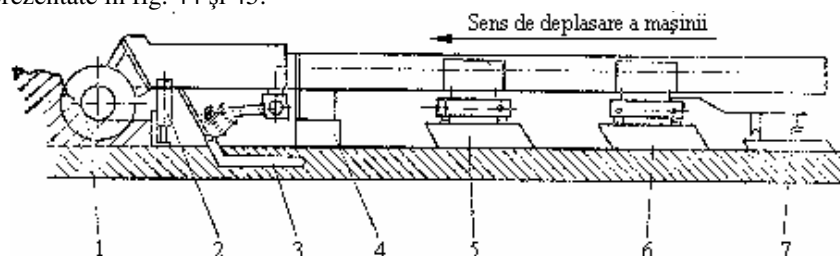


Fig. 44. Schema de funcționare a unei mașini cu cofraje glisante tip "Autograde":

- 1 - răspânditor mecanic cu șnec elicoidal; 2 - placă de nivelare primară a betonului;
3 - pervibratoare; 4 - placă de nivelare secundară a betonului; 5 și 6 - grinzi de nivelare oscilante transversal; 7 - placă de finisare suspendată.

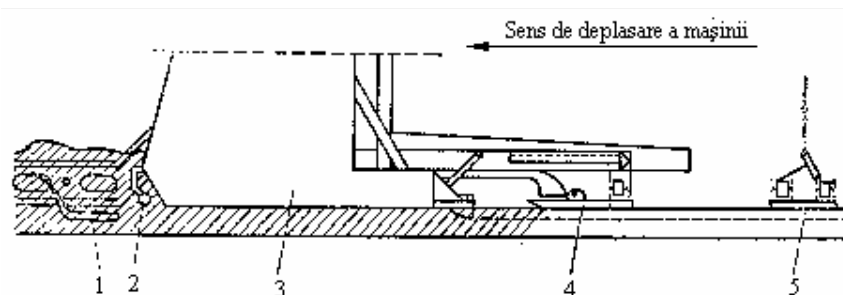


Fig. 45. Schema de funcționare a unei mașini cu cofraje glisante tip "Günter und Zimmerman": 1 - pervibratoare; 2 - tub vibrant transversal; 3 - placă de împingere (mulare); 4 - placă de nivelare suspendată; 5 - placă de vibrație auxiliară.

La ambele tipuri de mașini, vibrarea este asigurată în masa betonului cu ajutorul unor baterii de pervibratoare, considerate mai eficiente decât vibrarea de suprafață.

Descărcarea betonului se face de obicei direct pe stratul suport în două cordoane în cazul lățimilor mari (fig. 42). Stratul suport trebuie să fie umezit în prealabil pentru a nu se pierde apa din betonul proaspăt.

Așternerea betonului se asigură pe întreaga lățime de betonare cu ajutorul unui cărucior cu deplasare transversală sau, mai frecvent, cu ajutorul unui repartizator cu șnec elicoidal.

La mașina cu cofraje glisante din fig. 44, pentru a regla grosimea betonului nevibrat, între răspânditorul cu șnec și bateriile de pervibratoare s-a prevăzut o placă transversală de nivelare primară a betonului.

Compactarea betonului se bazează pe fenomenul de tixotropie a betonului, generat prin intermediul pervibratoarelor și a tubului vibrator transversal (fig. 45), care lichefiază masa betonului, ceea ce îi permite să ia forma cofrajului.

Pervibratoarele (electrice sau hidraulice) sunt amplasate în partea din față a mașinii, la o înălțime situată în treimea superioară a stratului din beton și la distanțe între ele în profil transversal de 50 cm, distanța ultimului pervibrator față de marginea cofrajului fiind de 15 cm.

În cazul unor dale groase, de peste 25 cm, planul de vibrație se situează în mijlocul stratului din beton.

Frecvența de vibrație poate fi modificată în funcție de gradul de lucrabilitate al betonului proaspăt așternut și de viteza de lucru a mașinii.

Caracteristicile optime pentru vibrarea betonului, având frecvențe cuprinse între 180 și 250 Hz, cu amplitudini de 0,7...1,2 mm, corespund unei viteze de înaintare a mașinii cu cofraje glisante de 0,9...1,8 m/min.

În exploatarea mașinii este necesar să se observe starea de funcționare a pervibratoarelor, iar în cazul defectării unuia dintre acestea, aspect care se constată prin lipsa apariției la suprafața betonului a bulelor de aer, este necesar să se înlocuiască cât mai repede pervibratorul ieșit din funcție.

Nivelarea betonului, respectiv modelarea acestuia după forma cofrajelor mașinii în scopul obținerii unui strat din beton compact de o anumită grosime, se realizează folosind una din următoarele metode:

– prin mulare cu ajutorul unei plăci superioare cu împingere hidraulică (fig. 45) având lățimea de 1,8 m. În acest caz, grosimea stratului de beton vibrat din fața plăcii trebuie să fie mai mare decât grosimea betonului compactat;

– prin nivelarea mecanică cu ajutorul unei plăci vibratoare și a unor grinzi de nivelare oscilante transversal (fig. 44).

În urma compactării și nivelării betonului, după înaintarea cofrajelor o dată cu mașina, banda de beton prezintă suprafețele laterale verticale, fără a mai necesita susținerea lor.

Finisarea suprafeței se realizează cu ajutorul unor plăci suspendate în spatele mașinii cu cofraje glisante (fig. 46).

Pentru a permite dispozitivelor de așternere, compactare și nivelare a betonului, menționate mai înainte, să funcționeze în condiții optime asigurând o uniformitate corespunzătoare îmbrăcămintei din beton de ciment, mașina cu cofraje glisante este ghidată ca direcție și înălțime, prin intermediul unui sistem de referință și a unor palpatori ce acționează automat asupra organelor de comandă ale dispozitivelor respective și șenilelor mașinii.



Fig. 46. Placă suspendată pentru finisarea îmbrăcămintei rutiere.

Ghidarea mașinii cu cofraje glisante se poate face în funcție de sistemul de referință utilizat, care poate fi:

- stratul suport, în care caz uniformitatea și cotele căilor de rulare ale șenilelor trebuie să fie corespunzătoare (denivelări sub 1 cm măsurate cu dreptarul de 3 m), iar lungimea șenilelor sau distanțele între acestea în lungul drumului trebuie să fie suficient de mari (8...9 m) pentru a se putea folosi “calarea” proprie a mașinii;
- banda alăturată, realizată în prealabil, în cazul lărgirii sau realizării drumurilor cu mai multe benzi;
- aparatură folosind laserul;
- firul întins în lungul drumului.

Acest ultim sistem de referință este cel mai utilizat, el constând din unul sau două fire, puternic întinse și susținute de stâlpi metalici înfipti în teren în afara gabaritului mașinii cu cofraje glisante. Stâlpii se fixează la distanțe de 10 m în aliniament, care se reduc până la 1...5 m în curbe. Fixarea stâlpilor se face de un topometru folosind aparatură adecvată.

Palpatorii pot fi sub formă de furculiță (fig. 47), care funcționează pe baza modificării unui câmp magnetic și se folosesc la mașinile cu placă de împingere pentru nivelare, sau pot fi sub formă de tijă (fig. 48).



Fig. 47. Ghidarea mașinii cu cofraje glisante, folosind palpatorii tip "furculiță".

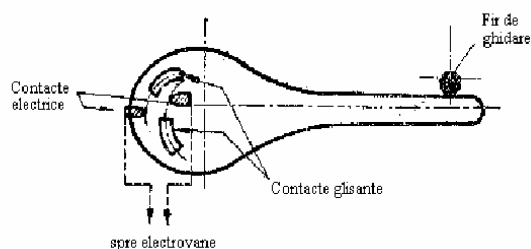


Fig. 48. Schema unui palpator sub formă de tijă.

Având în vedere aceste sisteme ale mașinii cu cofraje glisante, este necesar să se asigure un spațiu liber lateral de 2...3 m, necesar pentru calea de rulare și montarea sistemului de referință, spațiu mai mare decât în cazul tehnologiei clasice.

Viteza de lucru a mașinilor cu cofraje glisante a ajuns la 120 m/h, deci 900...1 200 m de cale din beton pe zi, randament ce nu poate fi mărit din cauza productivității limitate chiar și a celor mai mari stații de fabricare automatizată a betoanelor de ciment.

De asemenea, acest randament este limitat și de posibilitățile de organizare optimă a transportului betonului preparat, datorită greutăților întâmpinate la asigurarea numărului și capacității necesare a mijloacelor de transport al betonului din stație la locul de punere în operă.

Având în vedere că executarea îmbrăcăminților rutiere folosind mașinile cu cofraje glisante necesită realizarea unor betoane de ciment cu caracteistici cât mai uniforme în ceea ce privește raportul A/C și lucrabilitatea, prepararea betonului trebuie să se facă în centrale automatizate care pot asigura obținerea unor betoane de bună calitate.

În cazul acestei tehnologii de execuție se recomandă verificarea ulterioară a realizării elementelor geometrice și planeitatea suprafeței de rulare, executându-se remedierile necesare, inclusiv cele cu privire la realizarea rugozității geometrice.

Avantajele adoptării tehnologiei de execuție folosind mașinile cu cofraje glisante sunt:

- se lucrează cu o singură mașină având toate utilajele de compactare, nivelare a betonului și tăierea rosturilor dirijate de un singur mașinist, mărindu-se considerabil productivitatea muncii prin reducerea numărului mecanicilor și muncitorilor;
- nu necesită așezarea longrinelor și șinelor, operație care consumă un volum mare de muncă manuală;
- mașina are o viteză sporită de execuție a lucrărilor, realizându-le în mare măsură concomitent;
- se obțin lucrări de calitate sporită comparativ cu tehnologiile clasice;
- asigură mecanizarea și modernizarea în general a execuției îmbrăcăminților

– rutiere din beton de ciment, fiind folosite în mod eficient pe marile șantiere care necesită punerea în operă a unui volum de beton de peste 100 000 m³.

Față de aceste avantaje, se constată și următoarele **dezavantaje**:

- realizarea ghidajului mașinii pe o suprafață de referință perfect amenajată sau prin fire de ghidare întinse anterior este destul de anevoioasă;
- valoarea mașinii este mult mai mare decât a atelierului de utilaje folosit în cazul tehnologiei clasice de execuție (de 2,5...3 ori);
- nu se pot realiza îmbrăcămînți rutiere în două straturi;
- mașina nu permite întoarceri și noi treceri peste un sector odată executat;
- la volum relativ mic nu se recomandă din punct de vedere economic utilizarea mașinii cu cofraje glisante, iar la lucrări de volum mare este necesară organizarea unei centrale pentru prepararea betoanelor de mare capacitate.

Având în vedere avantajele și dezavantajele utilizării mașinilor cu cofraje glisante rezultă că acestea sunt eficiente numai în anumite cazuri, de aceea decizia folosirii lor la construcția îmbrăcămînților rutiere din beton de ciment trebuie adoptată după o temeinică analiză tehnico-economică.

4.4.4. Revibrarea betonului

Metoda de compactare prin revibrarea betonului în perioada de priză, prezintă avantaje economice deosebite datorită rezistențelor mecanice îmbunătățite ale betoanelor, respectiv datorită creării unor posibilități de economisire a materialelor, în primul rând a cimentului.

Revibrarea betonului în perioada de priză nu impune probleme deosebite de organizare a execuției lucrărilor, aceasta realizându-se printr-o nouă trecere a vibrofinisorului pe sectoare de îmbrăcăminte din beton de ciment proaspăt executat.

Regimul cel mai eficient de vibrare s-a dovedit a fi următorul:

- revibrarea să se efectueze la mijlocul perioadei de priză a cimentului;
- frecvența oscilațiilor în ipoteza unui contact perfect cu betonul este de 2 800 vibrații/minut;
- amplitudinea oscilațiilor este de 0,17...0,18 mm;
- viteza de înaintare a vibrofinisorului în timpul revibrării betonului este 1,00 m/min, revenind fiecărui punct din masa betonului un timp de vibrare de 30 s.

Tehnologia revibrării betonului poate să fie eficientă în anumite condiții.

4.5. Finisarea, tratarea și protejarea ulterioară a suprafeței îmbrăcămînților din beton de ciment

Imediat după așternerea și compactarea betonului de ciment din îmbrăcămînțile rutiere, se execută un complex de operații tehnologice prin care se urmărește asigurarea planeității și rugozității suprafeței de rulare, realizarea rosturilor necesare, precum și protecția suprafeței stratului de uzură, operație care asigură în final obținerea unei îmbrăcămînți de bună calitate.

În fig. 49 este prezentată schema unui complex de utilaje prin care se asigură pe lângă așternerea, compactarea și nivelarea betonului și operațiile de finisare, tratare și protejare ulterioară a suprafeței îmbrăcămînței rutiere executate.

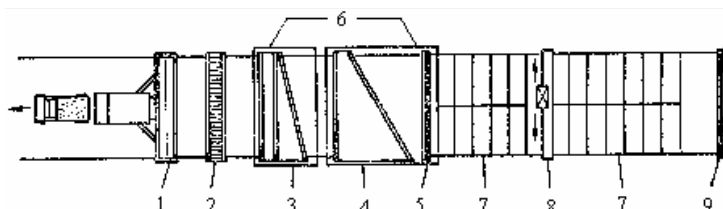


Fig. 49. Schema utilajelor care se folosesc la execuția îmbrăcăminților din beton de ciment realizate într-un singur strat: 1 - utilaj de așternere, compactare și nivelare; 2 - utilaj cu platformă pentru montarea ancorelor; 3 - nivelator finisor; 4 - utilaj de finisare; 5 - trecere cu mătura; 6 - corturi de lucru; 7 - corturi de protecție; 8 - dispozitiv pentru aplicarea produselor de protecție; 9 - utilaj pentru tăierea rosturilor transversale și longitudinale.

4.5.1. Finisarea suprafeței de rulare

Pentru obținerea unei planeități corespunzătoare a suprafeței de rulare, prescripțiile tehnice de la noi din țară recomandă ca denivelările longitudinale constatate la suprafața stratului de uzură să se elimine cu ajutorul unui rulou metalic, având o lungime de 4 m, diametrul de 20...25 cm și o masă de 200 kg, acesta rostogolindu-se pe suprafața betonului proaspăt în sens perpendicular pe axa drumului, fără a lovi longrinele.

Operația de finisare se consideră terminată atunci când ruloul este în contact direct cu suprafața betonului pe toată lungimea lui, în deplasarea acestuia pe întreaga lățime a benzii din beton executate. În zilele călduroase, când suprafața ruloului se usucă cu ocazia întreruperilor de lucru, aceasta va fi curățată și umezită prin stropire, operații care se vor realiza din afara suprafeței betonate, interzicându-se stropirea betonului proaspăt pentru a nu se spăla cimentul de la suprafață.

După executarea acestei operații, suprafața betonului se finisează cu drișca metalică și mistria (fig. 50), acordându-se o atenție deosebită finisării stratului de uzură la marginile benzii din beton și pe lungimea rosturilor, unde posibilitatea apariției unor denivelări este mai mare și unde trebuie să se asigure eliminarea eventualelor bavuri din beton de peste longrine, care pot conduce la rupturi în muchiile dalelor după demontarea longrinelor.

În țările cu tehnologie avansată, pentru asigurarea planeității suprafeței de rulare, în special în lungul drumului, finisarea se realizează cu ajutorul unor utilaje având o grindă finisoare oblică sau paralelă cu axa drumului (această ultimă soluție este mai rar folosită). Grinda finisoare execută operația de nivelare pe întreaga lățime a benzii de beton turnat, utilajul acționând de obicei în urma vibrofinisorului la o distanță de peste 6 m de acesta.

Grinda de finisare este susținută de un cadru cu roți și este dispusă în plan având o oblicitate de 30 ° față de axa benzii.



Fig. 50. Executarea operațiilor de finisare manuală a suprafeței de rulare.

4.5.2. Asigurarea rugozității

În urma acțiunii utilajelor de așternere, compactare și nivelare-finisare, suprafața betonului din stratul de uzură trebuie tratată astfel încât să se obțină o îmbrăcămintă având suprafața rugoasă, cu caracteristici antiderapante.

Suprafața de rulare a îmbrăcăminților din beton de ciment sub acțiunea traficului se poate șlefui, devenind alunecoasă și prezentând, în special pe timp umed, pericol de derapare.

Șlefuirea suprafeței este favorizată de existența în compoziția betonului a unor agregate de tipul bazaltului sau a rocilor calcaroase care se lustruiesc ușor, precum și a granulelor de pietriș neconcasat care prezintă o șlefuire naturală.

Din această cauză, încă în timpul execuției îmbrăcăminților din beton de ciment se folosesc diferite procedee de îmbunătățire a rugozității dintre care se amintesc în ordine: măturarea sau perierea transversală, strierea transversală sau longitudinală, clutajul suprafeței, dezvelirea agregatelor și altele.

Măturarea suprafeței îndepărtează mortarul în exces de la suprafața betonului, rezultat din vibrație, obținându-se o macrostructură corespunzătoare a suprafeței betonului. Se recomandă, în acest caz, perierea suprafeței betonului proaspăt cu ajutorul unor perii piassava, în direcție perpendiculară pe axa drumului.

În același scop, există posibilitatea utilizării unor perii de sârmă, mătură cu fire din materiale plastice sau greble metalice, având diametrul firelor sau dinților de maximum 5...6 mm, iar intervalul între ele de 15...20 mm, sau utilizându-se o pânză de iută de 1,65...3,00 m lățime, montată transversal pe pasarelă rulantă (fig. 51).



Fig. 51. Asigurarea rugozității suprafeței betonului proaspăt cu ajutorul pânzei de iută.

Strierea suprafeței este un procedeu mai eficient și mai durabil în timp, putându-se realiza transversal sau longitudinal pe suprafața îmbrăcămintei din beton de ciment, caracteristicile de rugozitate ale suprafeței striate (rugozitate geometrică, coeficient de frecare longitudinal) fiind superioare față de procedeele anterioare, după cum rezultă și din fig. 52.

Strierea transversală prin tăierea betonului în curs de întărire este unul din procedeele cele mai răspândite pe plan mondial.

Lucrările se pot efectua cu ajutorul unei mașini de tăiat rosturi la care se adaptează un echipament de striere sau cu ajutorul unor mașini care sunt montate pe roți și sunt ghidate prin fir ca direcție și nivel.

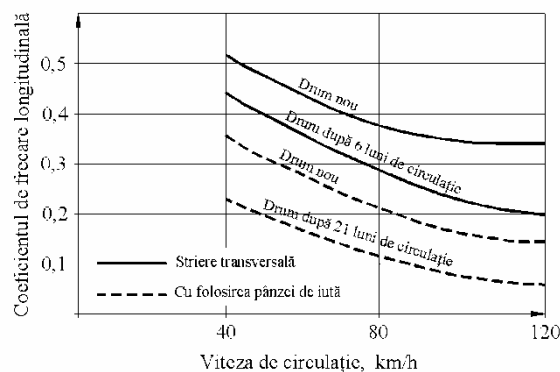


Fig. 52. Valoarea coeficientului de frecare longitudinal în funcție de procedeul folosit pentru asigurarea rugozității.



Fig. 53. Striuri transversale realizate pe suprafața betonului.

De asemenea, pentru strierea betonului se folosesc utilaje speciale care dispun de un set de discuri circulare având coroana din diamante sau oțel. Acest tip de utilaj poate executa concomitent 20...22 de strieri, pe o lățime de 30...60 cm, strierile realizate având 2,5...3,0 mm adâncime și 5,0...7,5 mm lățime.

Cercetări franceze au stabilit că distanța optimă între strieri, calculată pe baza elementelor eficacitate-cost, este de 100 mm, iar adânciturile se recomandă să fie în formă de V, rotunjite la partea inferioară.

Eficiența strierii transversale este dublă deoarece:

- mărește capacitatea drenantă a suprafeței de rulare, diminuând grosimea peliculei de apă;
- facilitează evacuarea apei de sub anvelopele autovehiculelor suplinind eventuala lipsă a sculpturilor pneurilor.

Strierea longitudinală se execută, de asemenea, prin tăierea betonului cu utilaje speciale având cuțite din diamant sau oțel dur, cu ajutorul cărora se realizează striuri paralele cu axa drumului, de 2...3 mm lățime și 4...5 mm adâncime, cele mai eficiente fiind cele care au distanța între ele redusă, de 25 mm.

În fig. 54 este prezentată comparativ rugozitatea suprafeței betonului obținută în cazul folosirii strierii transversale sau longitudinale, pentru același randament al utilajului (volum de beton dislocat egal). Se poate constata că rugozitatea suprafeței, măsurată prin coeficientul de frecare longitudinal, la viteze de circulație cuprinse între 40 și 80 km/h este mai mare în cazul strierii longitudinale. Din acest punct de vedere și luând în considerare costul mai ridicat al strierii transversale, strierea longitudinală poate fi mai eficientă.

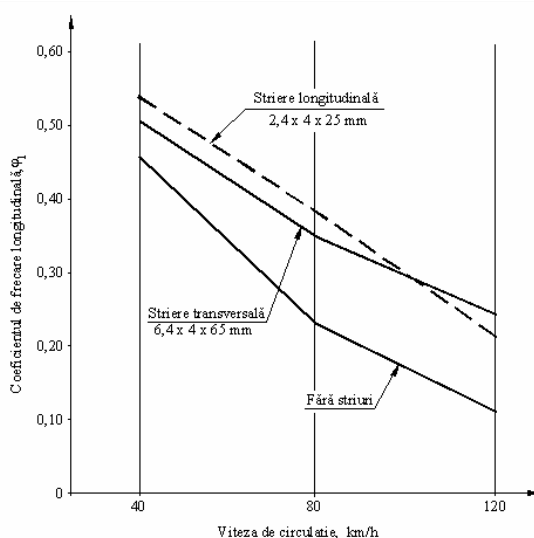


Fig. 54. Comparatie între strierea transversală și cea longitudinală.

În unele țări însă, se apreciază că strierea longitudinală provoacă asupra autovehiculelor un efect neplăcut de șerpuire și poate favoriza, în anumite condiții, formarea făgașelor longitudinale pe suprafața îmbrăcămintei.

Se poate menționa de asemenea, că toate tipurile de striere provoacă creșterea zgomotului produs de pneuri.

Procedeul prin striere se recomandă în cazul betoanelor de ciment ce conțin agregate mai puțin dure în stratul de uzură.

Clutajul este un procedeu aplicat pentru prima dată în Belgia, care constă în înfigerea în stratul de uzură al betonului proaspăt, prin vibrare, a unor agregate naturale din roci dure eruptive. Se obține astfel o macrotextură a suprafeței, care conferă îmbrăcămintei calități drenante și antiderapante superioare, la toate vitezele de circulație și care se mențin în timp (fig. 55).

- Operația de clutaj se poate realiza cu ajutorul unui utilaj complex adaptat la mașina cu cofraje glisante (fig. 56) care se compune din următoarele părți:
- buncăre pentru agregate (de regulă criblură 16-25);
- distribuitor de criblură;
- placă vibratoare;

- echipament de dozare și stropire a materialelor de protecție a suprafeței;
- dispozitiv pentru tăierea rosturilor.

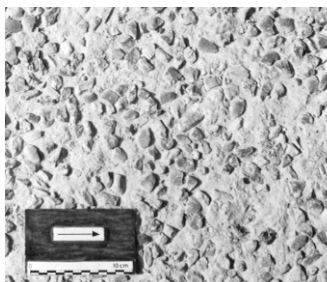


Fig. 55. Aspect al suprafeței îmbrăcămintei rutiere realizată prin clutarea betonului.

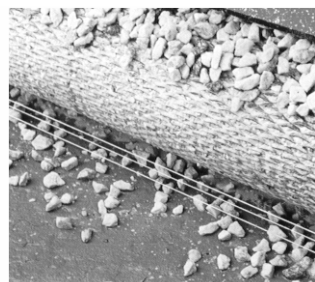


Fig. 56. Utilaj pentru clutarea suprafeței betonului proaspăt.

Avantajul economic al acestui procedeu constă în faptul că permite utilizarea în masa betonului de ciment a agregatelor naturale locale având un coeficient de uzură mare (calcare), rezistența stratului de uzură fiind asigurată de către materialul dur folosit pentru clutaj.

Dezvelirea parțială a agregatelor naturale din stratul de rulare în scopul obținerii unei macrorugozități constă în stropirea cu apă a betonului proaspăt înainte de începutul întăririi, măturarea sau extragerea mortarului de la suprafața betonului fără a scoate agregatele (fig. 57).

Utilajul folosit pentru operația de dezvelire a agregatelor se compune din următoarele echipamente:

- șasiu automotor care poate circula pe șine sau adaptat la mașina cu cofraje glisante având ghidaj electronic pentru nivel;
- mătură rotativă cu ax orizontal având fire de nylon și dispozitiv de udare și îndepărtare a mortarului fluid de la suprafața stratului;
- dispozitiv de răspândire a materialelor de protecție.

În exploatarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment sunt cunoscute și alte procedee de asigurare a rugozității suprafeței de rulare, folosind diferite procedee mecanice (buciardarea, sablarea etc.) sau aplicarea unor tratamente rugoase cu lianți bituminoși speciali și elastomeri sau cu lianți sintetici (rășini epoxidice).

În toate cazurile, se urmărește obținerea unei rugozități geometrice măsurată prin metoda înălțimii de nisip, având $HS > 0,8$ mm sau a unui coeficient de frecare longitudinal măsurat cu pneu neted, roată blocată, suprafață umedă, $V = 80$ km/h, având valori mai mari de 0,3...0,4.

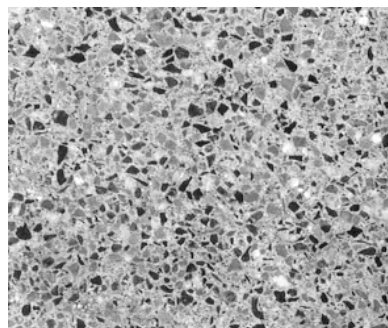


Fig. 57. Aspect al îmbrăcămintei rutiere realizată prin dezvelirea parțială a agregatelor.

4.5.3. Protejarea suprafeței betonului

Necesitatea de a asigura o protecție corespunzătoare a suprafeței betonului proaspăt este legată de influența factorilor climaterici și a condițiilor meteorologice asupra caracteristicilor betonului (acțiunea directă a soarelui și a temperaturii ridicate, umiditatea scăzută a aerului, vânt, ploaie etc.), urmărindu-se în special diminuarea pierderilor de apă prin evaporare.

Sunt cunoscute mai multe procedee de protejare a betonului proaspăt care se realizează în diferite faze de execuție a îmbrăcăminte rutiere, folosind:

- acoperișuri (ferme, corturi, umbrare), în timpul realizării îmbrăcăminte;
- pelicule de protecție;
- materiale umede.

Acoperișurile de lucru sau de protecție se realizează din materiale de culoare deschisă (prelate sau folie din polietilenă opacă) care se fixează pe cadre de susținere metalice sau din lemn și care se deplasează (glisează) cu ajutorul roților pe longrine.

Aceste acoperișuri se montează imediat după terminarea finisării suprafeței betonului, asigurând protecția betonului proaspăt în prima fază de întărire a acestuia și împiedicând evaporarea apei provocată de vânt și căldura soarelui.

Acoperișurile de protecție, în cazul în care au lungimi suficient de mari (50...100 m), pot fi folosite și în cazul intemperiilor (ploaie) împiedicând ștergerea rosturilor și striurilor, spălarea mortarului de ciment și prăbușirea marginilor dalelor realizate cu cofraje glisante.

Peliculele de protecție, soluție frecvent utilizată în toate țările, se aplică după 3...5 ore de la așternere, când suprafața betonului s-a zvântat și și-a pierdut luciul, având un rol important în menținerea umidității betonului în timpul prizei și întăririi.

Prescripțiile tehnice de la noi din țară prevăd posibilitatea aplicării unuia din următoarele materiale de protecție:

- folie de polietilenă, timp de 10 zile;
- peliculă de emulsie de parafină (300 g/m²);
- peliculă de bitum tăiat (0,5 kg/m²);
- peliculă de emulsie bituminoasă cationică.

Aplicarea peliculei de protecție se face prin stropire, folosind un pulverizator manual sau dispozitive automatizate adaptate utilajelor de striere a suprafeței betonului sau mașinilor cu cofraje glisante (fig. 58).

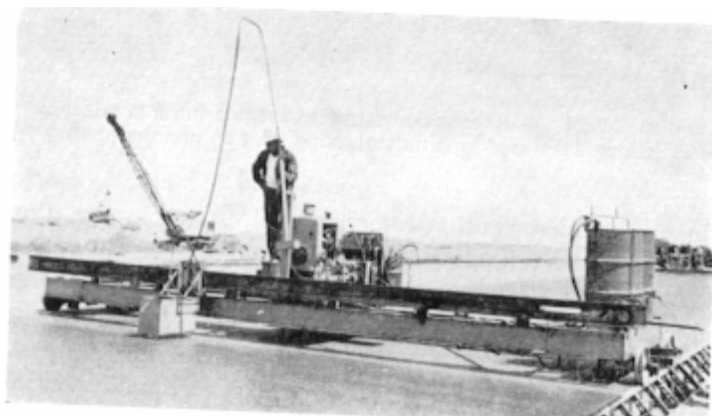


Fig. 58. Utilaj pentru aplicarea peliculei de protecție.

În ambele cazuri este necesar să se controleze frecvent: aspectul suprafeței, dozajul și uniformitatea răspândirii materialului de protecție.

Materialul aplicat formează la suprafața betonului o peliculă etanșă, impermeabilă, care asigură o protecție eficientă, reținând peste 95 % din apa care ar putea să se evapore din beton în lipsa acestei pelicule.

Prescripțiile tehnice franceze prevăd utilizarea unor materiale de protecție de culoare albă, pentru a se putea controla uniformitatea și omogenitatea răspândirii și pentru a limita absorbția căldurii din razele solare. Dozajul utilizat este de 150 g/m^2 .

În cazul îmbrăcăminților realizate cu ajutorul mașinii cu cofraje glisante, sau în cazul cofrajelor fixe după demontarea longrinelor, aplicarea peliculei de protecție trebuie să se facă și pe părțile laterale ale dalei din beton.

Aplicarea peliculei de protecție pe suprafața betonului rutier este o operație foarte importantă care trebuie realizată cu multă atenție, având în vedere că o execuție îngrijită permite evitarea apariției fisurilor premature de contracție și obținerea unei rezistențe bune a betonului din stratul de uzură.

În cazul unor condiții atmosferice nefavorabile (ploaie, timp foarte cald sau vânt uscat puternic) se poate mări dozajul din materialul de protecție, sau va trebui să se repete la 24...48 h aplicarea peliculei de protecție.

Aplicarea de materiale umede, care se mențin în această stare prin stropire cu apă timp de mai multe zile, este o metodă mai costisitoare care necesită multă manoperă și transportul unei mari cantități de apă.

Prescripțiile tehnice de la noi din țară prevăd ca peste peliculele de protecție cu bitum sau emulsie bituminoasă, având în vedere culoarea neagră a acestora să se aplice un strat de nisip în grosime de 1,5 cm sau, în lipsa acestei pelicule, să se acopere suprafața betonului cu un strat de nisip în grosime de 3 cm, care se menține umed timp de 10 zile.

Pe perioada de întărire a betonului până la darea în circulație a îmbrăcăminții se iau măsuri de interzicere a circulației autovehiculelor pe suprafața acestuia.

Prescripțiile tehnice de la noi din țară prevăd că îmbrăcămințile din beton de ciment noi se pot da în circulație atunci când s-au realizat cel puțin 80 % din rezistențele prescrise la 28 de zile.

Stabilirea perioadei de întărire P a betonului la diferite temperaturi ale mediului înconjurător T_m , pentru atingerea procentului de rezistență β față de clasa prescrisă, se poate face și cu ajutorul unor grafice întocmite în acest scop (fig. 59).

De obicei după 14 zile se poate deschide circulația pentru autoturisme.

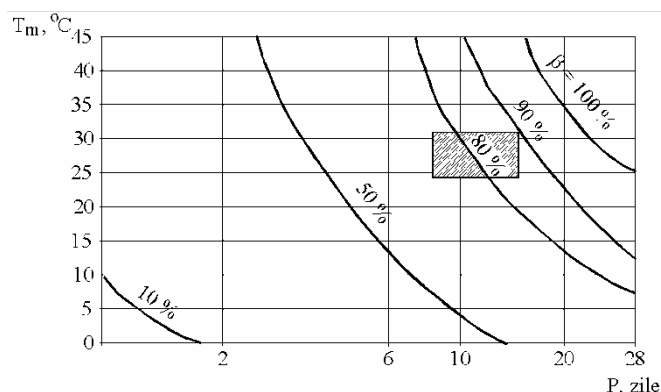


Fig. 59. Grafic pentru stabilirea perioadei de întărire a betonului în funcție de temperatură.

4.6. Executarea rosturilor

Îmbrăcămințile din beton de ciment se realizează, de obicei, din dale dreptunghiulare, separate între ele prin rosturi, care se amenajează la execuția lucrărilor.

Scopul principal al acestor rosturi este de a evita apariția necontrolată a fisurilor și crăpăturilor în îmbrăcăminte, în special datorită contracției din timpul întăririi betonului precum și datorită diferitelor solicitări la care sunt supuse îmbrăcămințile rutiere în timpul exploatării (acțiunea traficului, variațiile de temperatură zilnice sau sezoniere etc.).

În funcție de rolul pe care îl îndeplinesc, tehnologia de execuție a rosturilor este diferită, cele mai importante fiind rosturile transversale de contracție.

4.6.1. Clasificarea rosturilor

Rosturile îmbrăcăminților din beton de ciment se pot clasifica după mai multe criterii.

După modul de dispunere în plan, se deosebesc:

- rosturi longitudinale, care coincid cu axa căii sau sunt paralele cu aceasta;
- rosturi transversale, care sunt perpendiculare sau înclinate față de axa căii.

După rolul îndeplinit, rosturile pot fi:

- rosturi de contact (de construcție), care separă dalele realizate din betoane de vârste diferite;
- rosturi de dilatație, care permit deplasarea dalelor sub efectul variațiilor sezoniere ale temperaturii, evitând eforturile de compresiune ridicate și posibilitatea flambării dalelor;
- rosturi de contracție care localizează și dirijează apariția fisurilor datorită contracției betonului în perioada de întărire a acestuia;
- rosturi de încovoiere, care localizează fisurile cauzate de eforturile de încovoiere din variațiile zilnice de temperatură și din trafic, precum și pe cele cauzate de tasarea neuniformă a stratului suport.

Prescripțiile tehnice de la noi din țară foloseau pentru ultimele două tipuri de rosturi termenul de rosturi de "contracție-încovoiere", în lucrarea de față ele fiind numite rosturi de "contracție".

După modul de execuție, față de grosimea dalei, se deosebesc:

- rosturi complete, care se execută pe întreaga grosime a îmbrăcămintei din beton și separă dalele adiacente (de regulă rosturi de dilatație și de contact);
- rosturi parțiale sau de suprafață, care se execută numai pe o anumită grosime a dalei (de obicei rosturi de contracție, executate în stratul de uzură, sau pe 1/3 din grosimea dalei).

După modul de amenajare, rosturile pot fi:

- rosturi amenajate, care sunt prevăzute cu dispozitive de transmitere a încărcărilor de la o dală la alta (gujoane, armături);
- rosturi libere, neamenajate.

4.6.2. Rosturi de contact

Rosturile de contact pot fi longitudinale (de construcție) când rezultă din necesitatea realizării îmbrăcămintei în benzi de lățime limitată, în funcție de tipul utilajului folosit la așternerea și compactarea betonului, sau pot fi transversale (de lucru) în cazul când se întrerupe turnarea betonului.

Rosturile de contact (atât cele de construcție cât și cele de lucru) se execută pe întreaga grosime a îmbrăcăminții din beton.

Pe suprafața verticală a rostului se aplică o peliculă de bitum tăiat sau emulsie bituminoasă, peste care se va lipi o fâșie de carton bitumat sau folie de polietilenă.

La drumurile și străzile de categoria I și II, precum și la piste de aviație, partea superioară a rostului de contact se taie pe o adâncime de 30 mm și o lățime de 8...10 mm, pentru facilitarea colmatării.

Rosturile longitudinale de contact se prevăd, în general, amenajate cu ancore din oțel-beton cu diametrul de 10...15 mm, cu lungimi de 0,60...1,00 m, încastrate în ambele dale la distanțe de 1,00...1,50 m pentru a preveni deplasarea laterală a acestora.

Prescripțiile noastre tehnice prevăd ca ancorele să fie confecționate din OB 37, ϕ 10 mm cu ciocuri și lungimea de 1,00 m, iar distanța între ancore în lungul rostului se prevede de 1,00 m (fig. 60)

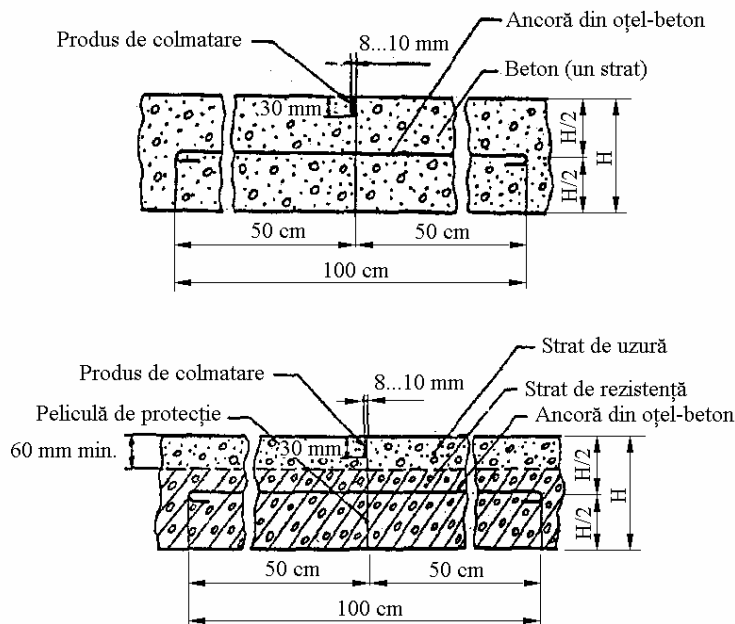


Fig. 60. Amenajarea rosturilor de contact longitudinale.

Ancorele se îndoaie la jumătatea lungimii în unghi de 90 °, iar o jumătate din ancoră se va proteja, înfășurându-se în 2...3 straturi de hârtie sau folie de polietilenă, pentru a nu adera la beton și pentru a se putea dezlipi ușor de marginea primei benzi turnate.

Jumătatea neprotejată a ancorei se înfige în beton, perpendicular pe rostul longitudinal, iar jumătatea protejată a ancorei se lipește de longrină, pentru ca după demontarea longrinei să se poată dezdoi și întinde peste stratul de rezistență al celei de a doua benzi.

4.6.3. Rosturi de dilatație

În tehnica rutieră mondială nu s-a ajuns încă la o concepție unitară în ceea ce privește rosturile de dilatație la îmbrăcămințile din beton de ciment, în unele țări distanța

între aceste rosturi fiind de 70...100 m, în funcție de grosimea dalelor, iar în alte țări se prevăd distanțe mai mari, de peste 100 m.

Cele mai avansate metode prevăd eliminarea totală a acestor rosturi de dilatație (S.U.A. Anglia, Belgia, Germania etc.), bazându-se pe faptul că în perioada dilatării betonului, lipsa rosturilor de dilatație conduce la apariția unor eforturi de compresiune în îmbrăcămintea rutieră, care pot micșora eforturile de întidere din încovoiere rezultate sub acțiunea traficului.

Cu ocazia temperaturilor mari din vara anului 1976 s-a reconfirmat comportarea bună a îmbrăcăminților din beton de ciment realizate fără rosturi de dilatație.

Obligativitatea realizării rosturilor de dilatație apare ca necesară în dreptul lucrărilor fixe, la capetele tablierelor sau plăcilor de racordare ale viaductelor, pasajelor și podurilor, unde pot apărea împingeri periculoase din dilatarea betonului.

De asemenea, în unele țări (Anglia, Franța) se prevăd rosturi de dilatație în cazul execuției lucrărilor în perioada noiembrie - martie, sau în cazul turnării betonului pe timp friguros, la temperaturi sub 5 °C.

Prescripțiile tehnice de la noi din țară prevăd necesitatea executării rosturilor de dilatație transversale la distanțe de 100 m și longitudinale, în cazul pietelor, intersecțiilor, platformelor care au lățimi mari, de peste 100 m. În acest ultim caz rostul de dilatație se execută la mijlocul lățimii, în locul unui rost de contracție.

Rosturile de dilatație se execută pe toată lățimea căii și pe întreaga grosime a îmbrăcămintei, lățimea rostului și materialele folosite trebuind să permită dilatarea betonului din dale în lungul drumului.

Lățimea rostului de dilatație este prevăzută în diferite țări de 18...20 mm sau chiar mai mare.

Rosturile de dilatație amenajate cu sau fără gujoane se pot executa în două feluri:

- prin introducerea pe grosimea stratului de rezistență a unei scânduri din lemn de esență moale sau a unui înlocuitor (PFL sau PAL), care rămâne în lucrare, având rolul de a prelua eforturile din dilatația termică a betonului (fig. 61, a). Înainte de introducerea în operă a scândurii, aceasta se păstrează în apă timp de 10...24 h.

Amenajarea rostului în stratul de uzură pe grosimea acestuia se poate realiza prin introducerea în prealabil în rost a unei garnituri metalice de 18...20 mm grosime care se extrage după așternerea, compactarea și priza betonului sau prin executarea rostului în stratul de uzură prin tăierea ulterioară a betonului întărit din stratul de uzură pe o lățime cu 2 mm mai mare decât grosimea scândurii. Golul realizat în stratul de uzură se colmatează cu mastic bituminos, având o compoziție adecvată, sau cu alte materiale de colmatare elastice (neopren, tuburi flexibile din cauciuc etc.);

- prin folosirea unui rost lateral prefabricat care se așază înainte de betonare pe locul respectiv, eliminând operația de colmatare ulterioară a rostului. Se folosește o scândură având la partea superioară o rețea de sârmă arsă, fixată cu ajutorul unor cuie, care constituie armătura de susținere a masticului bituminos (fig. 61, b).

În cazul frecvent al executării îmbrăcămintei într-un singur strat, rostul se execută similar (fig. 62), tăierea părții superioare a rostului realizându-se cu o lățime de 20...25 mm, pe o adâncime de 30 mm.

În exploatarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment se va acorda o atenție deosebită întreținerii corespunzătoare a rosturilor de dilatație, având în vedere că existența în acestea a unor materiale dure, ce pot fi introduse accidental în rosturi sub circulație, blochează funcționarea lor, nepermițând dilatarea normală a dalelor, aspect ce poate provoca spargerea sau fisurarea dalelor.

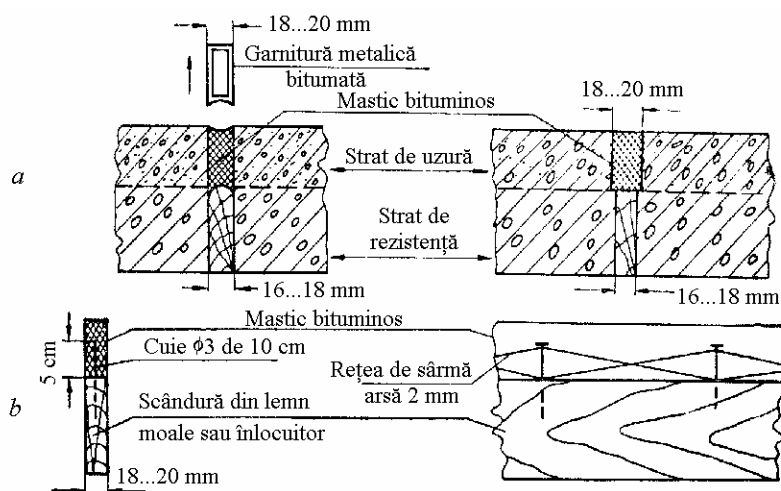


Fig. 61. Amenajarea rosturilor de dilatație la îmbrăcămînți în două straturi:
a – cu scândură; b – prefabricat.

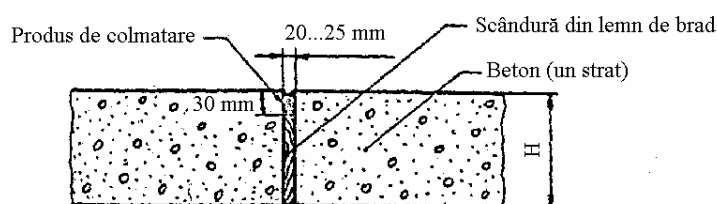


Fig. 62. Rost de dilatație la îmbrăcămînți într-un strat.

4.6.4. Rosturi de contracție

Rosturile de contracție sunt cele mai importante dintre toate rosturile îmbrăcămînților din beton de ciment, având în vedere că ele sunt numeroase și nu pot fi evitate în cazul betonului nearmat.

Distanța dintre rosturile de contracție transversale prevăzută în majoritatea țărilor este de 4...6 m, în general mai mică de $25h$ (h - grosimea dalei), întreruperea dalei fiind realizată pe $1/3...1/4$ din grosimea totală a dalei sau, în cazul execuției într-un singur strat, pe $1/4...1/5$ din grosimea dalei. Unele prescripții tehnice străine admit chiar $1/5$ din grosimea dalei, dar minimum 5 cm.

În ceea ce privește rosturile de contracție longitudinale, prescripțiile tehnice de la noi din țară prevăd ca ele să se execute în cazul când banda de beton se toarnă cu o lățime mai mare de 5,0 m, realizându-se pe axa acesteia.

Rosturile de contracție transversale se execută fie perpendicular pe axa drumului, fie cu o înclinare de $1/6$ față de poziția perpendiculară.

În cazul execuției rosturilor perpendicular pe axa drumului, rosturile din cele două benzi alăturate vor fi în continuare (fără decalare), iar în cazul execuției înclinate, rosturile din cele două benzi vor fi simetrice față de axa drumului.

Se preferă execuția înclinată a rosturilor transversale pentru a evita fenomenul de rezonanță al autovehiculelor și producerea zgomotelor din circulație.

În ceea ce privește tehnologia de execuție a rosturilor de contracție se menționează două metode:

- prin vibrare;
- prin tăiere.

Rosturile vibrare se realizează prin introducerea unei fâșii de carton bitumat sau folie de polietilenă în betonul proaspăt al stratului de uzură cu ajutorul unui cuțit vibrator.

Pe lama cuțitului vibrator se îmbracă fâșia de carton sau polietilenă și se introduce prin vibrare în betonul proaspăt pe întreaga lățime și grosime a stratului de uzură. Cuțitul se ridică apoi, fără a se opri vibrarea, fâșia de carton sau polietilenă rămânând înglobată vertical în beton.

În lipsa cuțitului vibrator, fâșia de carton poate fi înglobată în stratul de uzură cu ajutorul unei rigle, care se așază pe suprafața stratului de rezistență vibrat, având fâșia de carton pe fața verticală dinspre sensul de turnare. În acest caz se așterne betonul de uzură și după prima vibrare a stratului de uzură se extrage rigla, fâșia de carton rămânând în beton, și se completează manual cu beton golul rămas. După compactarea suplimentară lângă rost cu ajutorul unei plăci vibratoare stratul de uzură se vibrează a doua oară, trecându-se cu vibrofinisorul fără oprire peste rost.

Metoda de realizare a rosturilor de contracție prin vibrare în betonul proaspăt prezintă avantajul că aceste rosturi nu se mai colmatează și se elimină posibilitatea apariției premature și necontrolate a fisurilor din contracția betonului, în timpul realizării îmbrăcăminte, însă calitatea execuției este deficitară având în vedere necesitatea finisării, de multe ori manuală, a suprafeței stratului de uzură în dreptul acestor rosturi.

Rosturile tăiate se execută în betonul întărit, cu ajutorul unei mașini pentru tăiat rosturi. Tăierea rosturilor este prevăzută a se face la un interval de 6 până la 72 h de la punerea în operă a betonului.

Stabilirea perioadei optime pentru tăierea betonului întărit este deosebit de importantă datorită multiplelor cauze care favorizează apariția fisurilor din contracție. Ea trebuie să se execute înainte ca betonul să fi suferit o contracție prea mare.

În cazul unor condiții favorabile apariției fisurilor ca de exemplu: folosirea unor cimenturi cu contracții mari, agregate cu multe părți fine, raport A/C mare, lipsa protejării suprafeței, temperaturi ridicate ale mediului, vânt, grosimi mari ale dalei din beton etc., tăierea rosturilor este necesar să se facă la un interval redus (6...10 h de la turnarea betonului).

Betonul pus în operă dimineața este cel mai sensibil la apariția fenomenului de contracție, deoarece perioadei de degajare maximă a căldurii din procesul de hidratare a cimentului, i se suprapun temperaturile mai mari din timpul zilei. În unele țări se folosește în acest caz procedeul răcirii betonului, prin utilizarea apei de amestecare adusă la o temperatură joasă.

Unele prescripții tehnice recomandă tăierea decalată a rosturilor de contracție începând cu distanțe între ele de 15 m, ulterior tăindu-se rosturile la 5 m.

Prescripțiile tehnice de la noi din țară prevăd tăierea rosturilor de contracție în betonul întărit al stratului de uzură, la un interval de 8...24 h de la punerea în operă, lățimea fiind de 8...10 mm (fig. 63).

Pentru a favoriza apariția fisurii în betonul de rezistență, când $h_1 \geq 2h_2$ se folosește la partea inferioară a îmbrăcăminte un element necompresibil, sub formă de T (din material plastic sau tablă) sau sub formă triunghiulară (din lemn sau beton).

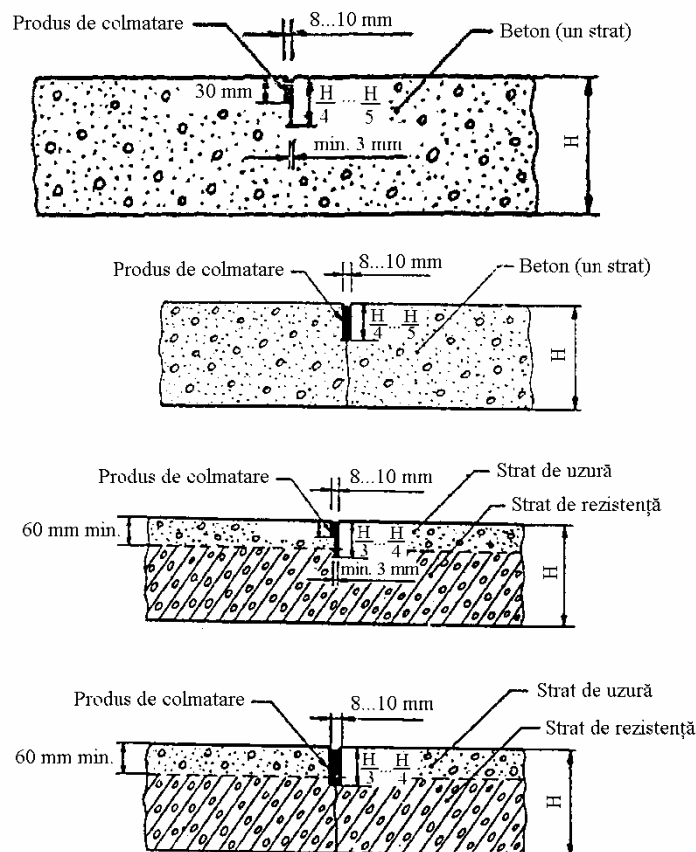


Fig. 63. Rosturi de contracție.

Mașinile speciale folosite pentru tăierea rosturilor sunt prevăzute cu discuri având coroana din diamant, corindon sau alte abrazive (carbură de siliciu).

La toate tipurile de mașini pentru tăierea rosturilor de contracție, este necesară o cantitate mare de apă, atât pentru operația de tăiere propriu-zisă, cât și pentru spălarea rosturilor, ultima operație fiind esențială pentru asigurarea aderenței materialului folosit pentru colmatare.

Pentru utilizarea eficientă a produselor de colmatare se practică tăierea rosturilor de contracție cu lățimi diferite pe înălțimea acestora, rezultând secțiunile din fig. 64.

Studii franceze au scos în evidență randamentele și duratele de exploatare pentru diferite tipuri de discuri conform tabelului 19.

De asemenea, din aceste studii a rezultat că viteza de lucru și durata de exploatare a discurilor depinde de natura agregatelor minerale utilizate în betonul de ciment al stratului de uzură. În tabelul 20 sunt prezentate aceste valori, în cazul rosturilor transversale având 5 cm adâncime și 4 mm lățime, tăiate cu o mașină cu disc cu diamant.

Se constată că întrebuințarea agregatelor calcaroase la realizarea betoanelor rutiere prezintă interes în cazul executării prin tăiere a rosturilor de contracție (calcarele conducând la scăderea coeficientului de dilatație și la mărirea rezistenței la întindere a betonului).

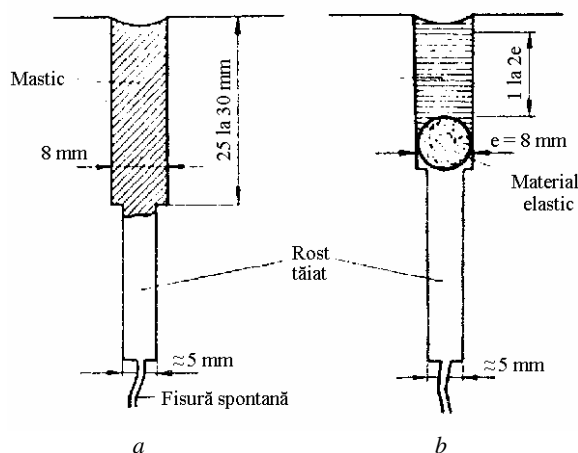


Fig. 64. Secțiuni transversale prin rosturi de contracție:
a – colmatare cu mastic bituminos; *b* – colmatare cu materiale elastice și mastic.

Randamente de tăiere a rosturilor de contracție

Tabelul 19

Tipul discului	Timpul de tăiere a unui rost de 8 m, minute	Lungimea de exploatare a unui disc, m
Cu diamante	12...15	200...220
Cu abrazivi	20...25	25...30

Influența agregatelor naturale la tăierea rosturilor

Tabelul 20

Natura agregatelor naturale	Viteza medie de lucru, m/min	Lungimea de exploatare a unui disc, m
Silex	1,00	80...300
Granit	1,50	300...600
Bazalt	1,50	500...900
Porfir	1,75	600...1 000
Calcar	2,50	1 000...3 000

Colmatarea rosturilor de contracție în cazul executării lor prin tăiere se realizează prin umplerea lor până la suprafața îmbrăcămintei cu materiale elastice și adezive la suprafața betonului, care să permită dilatarea și contracția betonului și să asigure impermeabilitatea rostului.

Se cunosc diferite tehnologii și materiale pentru colmatarea rosturilor de contracție:

- cu masticuri bituminoase turnate la cald;
- cu produse de punere în operă la rece (paste pe bază de elastomeri sau rășini epoxidice);
- cu produse prefabricate care se introduc în rost (neopren, cauciuc etc.).

Folosirea materialelor din cauciuc de diferite forme (tuburi sau șnururi de cauciuc) a condus la obținerea unor rezultate foarte bune, metoda fiind aplicabilă atât la construcția îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment, cât și ulterior în cazul întreținerii acestora.

Tubul de cauciuc trebuie să aibă un diametru exterior de 1,15...1,40 ori deschiderea rostului pentru a fi bine fixat în rost, în care se introduce prin presare sau prin loviri mecanice.

Soluția prezintă avantaje având în vedere că tubul de cauciuc, fixat bine între pereții rostului, realizează o bună etanșare a acestuia, iar volumul de materiale de colmatare care se toarnă deasupra tubului este mai redus. Se elimină astfel în mare măsură defecțiunea cauzată de masticul în exces la rosturi în cazul dilatării betonului, iar dacă masticul este îndepărtat de circulație, rostul rămâne în continuare etanș.

La noi în țară se utilizează un mastic bituminos având următoarea compoziție:

– bitum D 81/120	40 %;
– deșeuri de cauciuc	8 %;
– fibre textile	4 %;
– praf de azbest	48 %.

Prepararea masticului se face în instalații mobile, încălzindu-se mai întâi bitumul la 180...200 °C, după care se introduc treptat celelalte componente ale masticului, operația durând 3...4 h.

Avantajele realizării rosturilor de contracție prin tăiere sunt legate de mecanizarea execuției lucrărilor și de calitatea superioară obținută prin această metodă, rosturile obținute fiind uniforme, cu muchii bine conturate.

4.6.5. Rosturi amenajate

Amenajarea rosturilor de dilatație sau de contracție cu gujoane sau armături este prevăzută de unele prescripții tehnice în cazul drumurilor cu trafic intens și greu sau în cazul când stratul suport nu este executat din materiale stabilizate și unde se poate manifesta fenomenul de pompaj.

Acest tip de amenajare asigură transmiterea în bune condiții a eforturilor dintr-o dală în alta, în cazul solicitărilor la încovoiere din încărcările verticale ale circulației autovehiculelor, facilitând conlucrarea acestora pe toată durata exploatarei.

În fig. 65 este prezentată amenajarea unui rost de dilatație cu gujoane, conform prescripțiilor tehnice de la noi din țară.

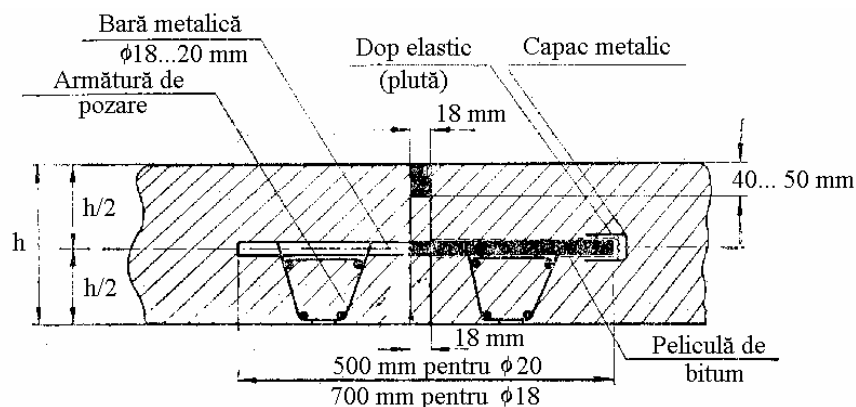


Fig. 65. Amenajarea rosturilor de dilatație cu gujoane.

Gujoanele se montează paralel cu axa longitudinală a dalelor, la distanțe variabile de 30...40 cm și mai reduse la margini. Pentru păstrarea cu precizie a poziției lor în timpul operațiilor de turnare a betonului, gujoanele se montează în panouri (fig. 66).



Fig. 66. Îmbrăcămintă rutieră cu ancore în rostul de contact longitudinal și armarea rosturilor transversale.

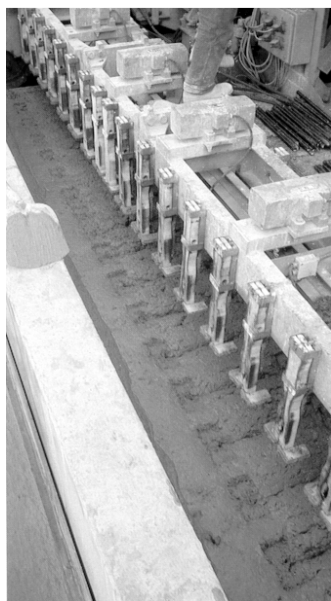


Fig. 67. Dispozitiv pentru introducerea armăturilor în rosturi.

Nerespectarea paralelismului între gujoane antrenează eforturi de întindere mari în beton, ajungându-se la fisurarea dalei la extremitatea gujoanelor. Gujoanele se încastrează, alternativ, în una din dale și se deplasează liber în cealaltă; partea din gujon care se deplasează se unge cu bitum pentru a împiedica aderența betonului. Cursa gujoanelor se asigură prin prevederea unor manșoane având diametrul cu 3...4 mm mai mare decât al gujoanelor; spațiul liber de 2 cm adâncime, asigurat de manșon, se umple cu pâslă, câlți sau plută.

În fig. 67 este prezentat un utilaj care asigură mecanizarea lucrărilor de montare a armăturilor la rosturile transversale de contracție. Se folosesc armături din oțel-beton cu diametrul de 25...30 mm și lungimi de 45...50 cm.

Introducerea armăturilor se face prin vibrație în betonul proaspăt.

4.7. Condiții de calitate, controlul calității și recepția lucrărilor

4.7.1. Condiții de calitate

Condițiile prevăzute de prescripțiile tehnice de la noi din țară privind *elementele geometrice* ale îmbrăcăminților din beton de ciment sunt următoarele:

- grosimea îmbrăcăminții rezultă din calcule de dimensionare și trebuie să fie de minimum 18 cm. Grosimea stratului de uzură trebuie să fie de 6 cm;

- lăţimea de turnare a dalei de beton poate fi de 2,50...8,50 m. Abaterea limită este de ± 15 mm;
- profilul transversal se realizează sub formă de acoperiş cu două pante ale căror valori trebuie să fie de 2 % pentru drumuri în aliniament şi în curbe fără supraînălţări, străzi, bretele şi căi de rulare ale aerodromurilor şi de 1...1,5 % pentru piste de aerodromuri. Profilul transversal al unei căi unidirecţionale la autostrăzi trebuie să aibă o pantă unică de 2 %. Abaterea limită la pantă este de $\pm 0,4$ %. Pentru drumuri cu curbe supraînălţate şi pentru platforme de parcare, panta transversală este cea dată în proiect. Abaterea limită este de ± 4 mm/m cu condiţia asigurării pantei de scurgere a apelor;
- în profilul longitudinal al drumului proiectat, abaterea limită locală la cotele îmbrăcămintei din beton de ciment, în axă, sunt ± 10 mm la autostrăzi, piste de aerodromuri, drumuri şi străzi de clasa tehnică sau categoria I şi II şi $\pm 20...30$ mm pentru alte clase tehnice sau categorii de drumuri şi străzi.

Condiţiile de calitate privind **regularitatea suprafeţei** de rulare sunt următoarele:

- denivelările locale admisibile în profil longitudinal, măsurate sub o lată de 3 m lungime, pe fiecare bandă de beton sunt de 4 mm pentru viteze de proiectare mai mari de 100 km/h, 5 mm pentru viteze de proiectare de 50...100 km/h şi 6 mm pentru viteze de proiectare mai mici de 50 km/h;
- abaterile maxime admisibile la cotele îmbrăcămintei în axa benzii faţă de cotele din proiect sunt de $\pm 10...30$ mm, în funcţie de categoria drumului sau străzii;
- denivelările locale admisibile în sens transversal, măsurate sub lata de 3 m lungime, sunt de ± 4 mm;
- denivelările locale admisibile între două benzi de beton adiacente, la rostul longitudinal de contact, sunt de 2 mm;
- denivelările locale la rosturile transversale nu se admit la autostrăzi, piste de aerodromuri, cu $V_p > 100$ km/h, iar pentru alte drumuri şi străzi se admit denivelări de 2 mm.

4.7.2. Controlul calităţii lucrărilor

În primul rând, se accentuează importanţa utilizării unor materiale componente ale betoanelor de ciment rutiere, de o calitate corespunzătoare, conform prescripţiilor tehnice prezentate în paragraful 2. Calitatea acestora trebuie urmărită ritmic pe toată durata execuţiei lucrărilor pentru a putea lua măsurile corespunzătoare în caz de necesitate.

De asemenea, zilnic se efectuează şi controlul calităţii betonului.

Pentru controlul calităţii lucrărilor la realizarea betoanelor de ciment rutiere, pe lângă fiecare staţie de betoane trebuie să funcţioneze un laborator de şantier, dotat cu personal de specialitate şi aparatură de laborator necesară controlului calităţii materialelor componente ale betonului (ciment, agregate, apă) şi a execuţiei betonului.

Pe marile şantiere rutiere, pe lângă laboratoarele de şantier, beneficiarul are un laborator de control care colaborează cu constructorul la verificarea şi asigurarea calităţii lucrărilor.

De regulă, constructorul şi beneficiarul fixează trei posturi de supraveghere a calităţii lucrărilor cu betoane rutiere:

- în staţia de betoane (unde se urmăreşte calitatea materialelor şi prepararea betonului);
- la locul de punere în operă (unde se urmăreşte calitatea stratului suport, condiţiile meteorologice, transportul betonului, aşternerea şi compactarea betonului, strierea şi protejarea suprafeţei);

- la realizarea operațiilor finale (unde se urmărește tăierea și colmatarea rosturilor, finisarea lucrărilor și deschiderea circulației).

Controlul de calitate al îmbrăcăminților rutiere executate din beton de ciment se referă, în primul rând, la:

- tipul, marca, proveniența, priza și constanța de volum, rezistențele mecanice și starea de conservare a cimentului;
- felul, natura, conținutul de părți levigabile și de corpuri străine, granulozitatea, forma și umiditatea agregatelor;
- felul, proveniența și starea aditivului;
- lucrabilitatea, gradul de compactare, aspectul, densitatea aparentă, tendința de separare a apei, granulozitatea scheletului mineral, conținutul de apă, conținutul de agregate mari, raportul apă/ciment, volumul de aer occlus în cazul betonului proaspăt;
- rezistența la încovoiere și compresiune pe epruvete preparate din betonul proaspăt.

Verificarea betonului din punct de vedere al compactării, al legăturii între straturi, precum și al grosimii straturilor se face pe carote prelevate din îmbrăcămintă.

Regularitatea suprafeței de rulare se asigură printr-un control permanent și o intervenție (remediere) imediată în timpul execuției lucrărilor.

Verificarea grosimii îmbrăcămintei din beton de ciment se efectuează prin măsurători directe la marginea benzilor la fiecare 200 m și pe carote scoase din îmbrăcămintă.

Activitatea de control al calității în timpul execuției lucrărilor nu se rezumă la înregistrarea statistică a datelor încercărilor și observațiilor efectuate. Această activitate face parte din activitatea de producție, îndreptată spre dirijarea diverselor compartimente de execuție în vederea obținerii unor lucrări de cea mai bună calitate. În cadrul ei se formulează decizii imediate și se execută intervenții deosebit de eficiente, cum sunt:

- modificarea dozajelor de fabricație în funcție de umiditatea și granulozitatea agregatelor;
- reglarea funcționării dozatoarelor;
- reglarea duratei de malaxare și de vibrare a betonului;
- eliminarea defecțiunilor privind regularitatea suprafeței de rulare și a elementelor geometrice prescrise pentru îmbrăcămintea rutieră.

La baza acestei activități de control al calității lucrărilor, în timpul execuției acestora, stau norme și instrucțiuni tehnice, îndrumătoare ale activității de laborator de șantier precum și prescripțiile cuprinse în documentația tehnică a lucrărilor.

4.7.3. Recepția lucrărilor

La terminarea lucrărilor se efectuează o serie de constatări privind calitatea și modul de execuție a acestora. Caracteristicile de calitate luate în considerare sunt acelea care constituie obiectul controlului de calitate atât la proiectarea cât și la execuția lucrărilor. Acest act de constatare cuprinde două faze:

- recepția preliminară și
- recepția finală a lucrărilor.

Organizarea, modul de desfășurare și obiectivele urmărite cu ocazia acestora cunosc o reglementare legală.

Recepția preliminară se efectuează atunci când toate lucrările prevăzute în documentație sunt complet terminate.

Recepția finală se face după o perioadă de garanție de 3 ani de la data recepției preliminare.

5. Tipuri speciale de îmbrăcămînți rutiere rigide

Betonul utilizat în mod curent pentru realizarea îmbrăcămînților rutiere prezintă, așa cum s-a arătat, unele inconveniente legate mai ales de o rezistență redusă la întindere și contracții mari, care provoacă fisurarea dalelor.

În scopul obținerii unor îmbrăcămînți rutiere cu o durată de exploatare îndelungată, fără fisuri și defecțiuni, se fac studii aprofundate pentru ridicarea caracteristicilor mecanice ale betoanelor prin:

- îmbunătățirea performanțelor betonului rutier obișnuit;
- crearea de noi tipuri de betoane de ciment;
- armarea îmbrăcămînților rutiere din beton de ciment.

Îmbunătățirea performanțelor betoanelor rutiere se poate realiza prin:

- utilizarea în amestec a unor cimenturi cu rezistențe ridicate la îngheț-dezghet repetat și la variațiile de temperatură ale îmbrăcămînței în exploatare;
- folosirea cimenturilor expansive pentru reducerea sau eliminarea efectului contracției;
- utilizarea aditivilor superplastifianți;
- folosirea revibrării betonului în perioada de priză;
- folosirea mașinilor cu cofraje glisante etc.

Tipul de beton utilizat se diferențiază și se notează în general, în funcție de: clasa betonului, lucrabilitate, marca și tipul cimentului, mărimea agregatelor. De exemplu, betonul rutier folosit în stratul de uzură al îmbrăcămînților rutiere se notează astfel:

BcR 45 - L₂ - CD 40 - 0/25, sau

BcR 50 - L₂ - P 45 - 0/25.

Tipurile speciale de betoane ce se iau în considerare pentru a fi folosite la îmbrăcămînțile rutiere sunt:

- betonul cu armare dispersă;
- betonul cu polimeri.

Betoanele cu armare dispersă sunt materiale relativ noi și se obțin prin înglobarea în masa betonului a unei anumite cantități de fibre discontinue (de oțel, de sticlă etc.). Aceste betoane au rezistențe la întindere sporite, o foarte bună comportare la acțiuni dinamice și la oboseală, precum și o rezistență sporită la uzură.

Betoanele cu polimeri nu au cunoscut până în prezent o folosire prea largă, datorită costului relativ ridicat.

În ceea ce privește **armarea îmbrăcămînților rutiere rigide**, acest aspect permite sporirea distanței între rosturile transversale de contracție putând conduce la eliminarea lor în cazul utilizării armării continue sau a armăturii pretensionate.

Principalele structuri utilizate în diferite țări sunt prezentate în fig. 68.

Soluția cu dale lungi de 15...100 m din beton armat cu rosturi gujonate nu este indicată a se folosi, fiind abandonată de țările care au utilizat-o.

Betonul armat continuu cu armătură de rezistență longitudinală prezintă fisuri foarte fine care apar datorită contracției betonului la distanțe medii de 1,5 m.

Acest tip nou de îmbrăcăminte rutieră, fără rosturi amenajate, a fost aplicat pentru prima dată în S.U.A. și Belgia.

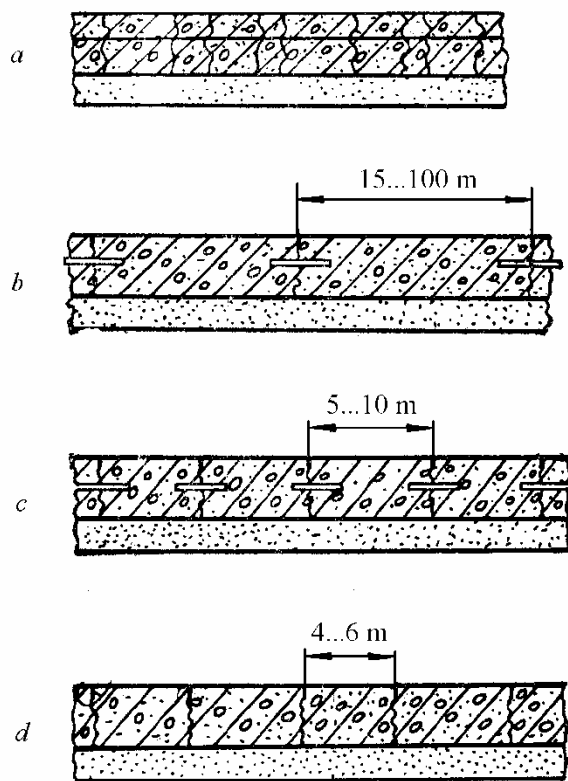


Fig. 68. Tipuri de îmbrăcăminte rutieră rigidă (secțiuni longitudinale): *a* – beton armat continuu; *b* – dale lungi din beton armat, cu rosturi gujonate; *c* – dale scurte, cu rosturi gujonate; *d* – dale scurte, cu rosturi fără armături.

În paragrafele următoare sunt prezentate principalele caracteristici ale îmbrăcăminților din beton armat, precum și unele tipuri mai deosebite de îmbrăcăminți rutiere (îmbrăcăminți prefabricate, macadam cimentat).

5.1. Îmbrăcăminți din beton armat

În ultimele decenii s-au înregistrat, în mai multe țări, încercări pentru a aplica și în domeniul rutier tehnica armării și precomprimării elementelor din beton de ciment. Începând din anul 1970 se cunoaște o intensificare a aplicării unor asemenea soluții în realizarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment.

Alegerea soluțiilor cu beton armat sau beton armat precomprimat este impusă de dorința reducerii deschiderii fisurilor, a eliminării rosturilor din îmbrăcăminte precum și pentru a obține economii de materiale prin reducerea grosimii stratului rutier.

Metoda armării dalelor de beton urmărește ca prim obiectiv eliminarea sau reducerea fisurării dalelor în urma contracției betonului, permițând în acest fel dispunerea rosturilor transversale de contracție la 10...20 m distanță între ele, în loc de 6 m. De obicei, se utilizează ca armătură o plasă din oțel-beton, aproximativ $3...5 \text{ kg/m}^2$, așezată în partea superioară a dalei.

În general, plasa se așază la 5 cm sub partea superioară a dalei sau, de regulă, între stratul de uzură și cel de rezistență. Se utilizează armături din oțel-beton cu diametrul de 10...16 mm, acordându-se o atenție deosebită consolidării marginilor și colțurilor dalelor.

Avantajele obținute în urma aplicării metodei sunt: reducerea numărului de rosturi și micșorarea deschiderii fisurilor din contracție, însă dezavantajele pe care le prezintă: consum de metal în plus, execuție anevoioasă nu au favorizat răspândirea pe scară largă a acestei metode de armare a îmbrăcăminților rutiere.

În continuare, se prezintă unele tipuri de betoane armate folosite la îmbrăcămințile rutiere rigide (cu fibre de oțel, armate continuu, precomprimate).

5.1.1. Îmbrăcăminți din beton armat cu fibre de oțel

Betonul armat cu fibre de oțel este un material nou de construcții, în care fibrele sunt dispuse discontinuu și repartizate discret în masa betonului.

Principiul armării este bazat pe aderența dintre fibre și beton, ceea ce permite transferul unei părți însemnate de efort de la beton la fibre. Acest transfer se realizează în momentul în care betonul începe să se deformeze sub acțiunea încărcărilor sau din contracție.

Caracteristicile fizico-mecanice îmbunătățite ale betonului armat cu fibre de oțel, cum ar fi: rezistența la întindere și comportarea la fisurare, rezistența la îngheț-dezgheț, rezistența la uzură, îl recomandă pentru a fi utilizat ca îmbrăcămintă rutieră rigidă sau la repararea unor îmbrăcăminți din beton de ciment degradate.

În ultimul deceniu, betonul armat cu fibre de oțel a fost folosit de mai multe țări (S.U.A., Anglia, Japonia etc.) la realizarea unor lucrări rutiere (tabelul 21).

La noi în țară au fost efectuate studii și cercetări în acest domeniu efectuându-se experimentări cu acest material la repararea îmbrăcăminților din beton de ciment, pe baza cărora, în anul 1980, au fost aprobate instrucțiuni tehnice specifice pentru folosirea betonului armat cu fibre de oțel.

Fibrele de oțel au lungimi cuprinse între 20 și 50 mm și diametre între 0,20 și 0,50 mm alese astfel încât raportul lungime/diametru să fie în jur de 100, iar raportul lungimea fibrei/dimensiunea minimă a elementului de beton să fie cuprins între 0,4 și 0,6.

Procentul optim de armare volumetric μ_v este cuprins între 1,5 și 2,0 %, dozajul de fibre de oțel F stabilindu-se cu relația:

$$F = \frac{\mu_v}{100} \rho_f = \frac{\mu_g}{100} \rho_b \quad [\text{kg/m}^3] \quad (37)$$

în care:

ρ_f este densitatea fibrelor de oțel (7 850 kg/m³);

ρ_b – densitatea betonului proaspăt (2 400 kg/m³);

μ_g – procentul de armare masiv.

Pentru îmbunătățirea lucrabilității și a comportării la îngheț-dezgheț a betonului armat cu fibre de oțel se impune utilizarea aditivului mixt DISAN A.

Granulozitatea agregatelor se alege astfel încât sorturile mici să se prezinte cel puțin 50 % din masa agregatului total, aspect ce conduce la obținerea unei lucrabilități mai bune și la creșterea aderenței materialului față de fibre.

Beton armat cu fibre de oțel folosit în îmbrăcămînți rigide

Tabelul 21

Denumirea lucrării, Țara	Caracteristicile lucrării		Caracteristicile fibrelor		Ciment kg/m ²
	Suprafață	Grosime, cm	d, l mm	μ, %	
Construcție îmbrăcăminte drum S.U.A., Ohio, 1971	152 m 1 bandă	10,2	-	2,0	-
Ranforsare îmbrăcăminte drum S.U.A., Michigan, Warren, 1972	333 m 4 benzi	7,6	0,25x0,56x25,4	1,0 1,5	480
Ranforsare îmbrăcăminte drum S.U.A., Iowa, 1973	6,7x4 800 m	5,1...10,2	0,25x0,56x25,4 0,63x63,5	0,45 0,75 1,2	355...445
Parching aeroport S.U.A., Texas	22 572 m ²	10,2	0,25x12,75	1,5	-
Ranforsare îmbrăcăminte drum Anglia, Șoseaua M 10, 1974	200 m 2 benzi	6...8	0,5x38	0,4 0,67 1,00	-
Construcție stradă Canada, Calgary Campus	7,3x55 m	7,6...17,8	0,25x19	0,5 1,0	300...325
Câmp manevră vehicule grele S.U.A., Texas Fort Hood, 1974	20 000 m ²	10...13	0,3x12,7	1,5	235+105 cenușă
Reparare îmbrăcăminte drum România, DN 68 A, Lugoj-Ilia, 1976	3,5x18 m	5...6	0,28x30	1,0 1,5	450
Pistă aerodrom S.U.A., Iowa, Cedar Rapids, 1972	23x27 m	5,1...10,2	0,41x25,4 0,63x63,5	1,5 1,1	450
Pistă aerodrom S.U.A., New York, Kennedy, 1974	37x53 m 15x37 m	12,7 21,5	0,63x63,5	1,26	450
Ranforsare tablier pod beton S.U.A., Minnesota, Winona, 1972	9,2x29 m	6,35... 12,7	0,25x12,6	1,5	450
Ranforsare tablier pod S.U.A., Iowa, Greene County, 1973	49 m	7,6	0,25x0,56x25,4	1,2	450

În continuare se prezintă un dozaj folosit în țara noastră pentru un beton armat cu fibre de oțel:

- ciment 450 kg/m³;
- nisip 0-3 900 kg/m³;
- nisip 3-7 653 kg/m³;
- fibre de oțel 120 kg/m³;
- soluție DISAN (20 %) 6,75 L/m³;
- raport A/C 0,55.

Prepararea betonului de ciment cu fibre de oțel necesită o atenție mai mare la amestecare, introducerea fibrelor făcându-se manual, transportul și turnarea betonului realizându-se după aceeași tehnologie ca cea a betonului obișnuit.

Grosimea stratului din beton armat cu fibre de oțel trebuie să fie de minimum 5 cm.

Prin folosirea betonului armat cu fibre de oțel, față de un beton rutier obișnuit, rezistența la întindere din încovoiere crește cu 50...100 %, uzura este mai redusă cu 30 %, iar energia de deformare (aria închisă de diagrama încărcare-săgeată) este de 3...5 ori mai mare.

Betonul armat cu fibre de oțel, deși prezintă caracteristici fizico-mecanice superioare, datorită costurilor ridicate, este indicat a se folosi la îmbrăcămînți rutiere de grosime redusă și la repararea locală a îmbrăcămînților rutiere din beton de ciment.

5.1.2. Îmbrăcămînți rutiere armate continuu

Una din metodele cele mai răspândite de utilizare a betonului armat în domeniul rutier este aceea a realizării îmbrăcămînților din beton cu armătură continuă. Aceste tipuri de îmbrăcămînți rutiere se caracterizează prin absența totală a rosturilor transversale, care se execută doar la întreruperea lucrului sau cu rol de rost de dilatație în dreptul lucrărilor de artă. Studiile efectuate asupra îmbrăcămînților rutiere executate din beton armat continuu în Belgia, Germania, Marea Britanie, Elveția și Franța au condus la formularea următoarelor concluzii:

- se observă o comportare în general foarte bună a îmbrăcămînților pentru diverse tipuri de straturi portante, diverse procente de armare longitudinală (cuprinse între 0,3 și 0,7 %) sau diferite tipuri de armătură (rețea de bare, plasă sudată, bare nelegate etc.);
- se poate aplica metoda cofrajelor glisante la punerea în operă a betonului (fig. 69);
- se pot realiza îmbrăcămînți cu fisuri transversale având deschiderea sub 0,5 mm (cu o dispunere relativ mai densă) prin care nu se produce infiltrarea apei; în acest sens se recomandă procente ridicate de armătură, cu diametrul relativ mai mic și realizarea unei bune aderențe între armătură și beton;
- se constată o bună autoprotecție împotriva coroziunii metalului prin formarea și depunerea pe armătură a unor cantități de hidroxid de calciu liber provenit din hidratarea cimentului precum și a prafului impregnat cu hidrocarburi;
- la capacități portante identice, soluția betonului armat conduce la economii de 20...25 % beton față de soluția betonului obișnuit;
- de asemenea, se pot obține importante economii de ciment, menținându-se caracteristicile fizico-mecanice și geometrice ale betonului obișnuit; în cazul aplicării betonului armat dozajul de ciment se poate reduce cu până la 15 %.



Fig. 69. Realizarea îmbrăcămînților din beton de ciment armate continuu cu ajutorul mașinilor cu cofraje glisante.

Armătura continuă realizează transferul de sarcini în masa betonului în dreptul fisurilor, pe care le menține în general închise.

Reducerea volumului de materiale poate fi ilustrată în baza exemplului unor prescripții belgiene, care prevăd pentru un anumit trafic foarte intens, în loc de o structură rutieră rigidă cu beton simplu de 82 cm grosime totală, o structură rutieră de 66 cm grosime, având îmbrăcămintea de 20 cm grosime din beton armat continuu.

Criteriul de calcul în baza căruia se determină procentul de armătură longitudinală se bazează pe faptul că armătura poate prelua eforturi unitare de întindere, care să nu depășească valoarea de $0,75 \sigma_{el}$ (adică 0,75 din valoarea limitei de elasticitate) considerându-se totodată că în beton apare o fisură înaintea atingerii acestei limite. Prin urmare rezultă:

$$A_{at} = 0,75 \sigma_{el} \geq A_b \cdot R_t + n \cdot A_a \cdot R_t \quad (38)$$

în care:

A_{at} – este suprafața armăturii în secțiunea transversală, în cm^2 ;

σ_{el} – limita de elasticitate convențională a oțelului, în daN/cm^2 ;

A_b – suprafața secțiunii transversale a îmbrăcămintei rutiere, în cm^2 ;

R_t – rezistența la întindere a betonului, în daN/cm^2 ;

n – coeficientul de echivalență; raportul modulilor de elasticitate ai oțelului, E_a , și betonului, E_b , adică:

$$n = \frac{E_a}{E_b} \quad (39)$$

Rezultă un procent de armare conform relației:

$$p = \frac{R_t}{0,75\sigma_{el} - n \cdot R_t} \cdot 100 \quad [\%] \quad (40)$$

În ceea ce privește apariția și existența fisurilor fine în îmbrăcămințile rutiere din beton armat continuu, acestea nu se consideră defecțiuni ale stratului rutier.

Lungimea de ancoraj, pentru o distribuție uniformă a eforturilor unitare de aderență între armătură și beton, este:

$$L_a = \frac{R_t \cdot \Phi \cdot A}{4\tau_{ad} \cdot A_a} \quad [\text{m}] \quad (41)$$

Distanța medie între două fisuri este:

$$\lambda_f = \frac{R_t^2 \cdot \Phi}{4\tau_{ad} \left(\frac{A_a}{A_b} \right)^2 \cdot E_a \cdot \left(\alpha \Delta T + \varepsilon \cdot \frac{R_t}{E_b} \right)} \quad [\text{m}] \quad (42)$$

Deschiderea medie a unei fisuri este:

$$l_f = \frac{R_t^2 \cdot \Phi \left(1 + n \frac{A_a}{A_b} \right)}{4 \tau_{av} \left(\frac{A_a}{A_b} \right)^2 \cdot E_a} \quad [\text{mm}] \quad (43)$$

Aceste relații sunt aproximative, semnificația notațiilor fiind:

L_a – lungimea totală de ancoraj a armăturii în betonul de ciment, pe ambele părți ale fisurii produse, în mm;

Φ – diametrul barei armăturii longitudinale, în mm;

τ_{ad} – efortul unitar de aderență între oțel și beton, în daN/cm²;

λ_f – distanța medie între două fisuri vecine, în m;

α – coeficientul de dilatație termică a betonului, în mm/mm °C;

ΔT – diferența de temperatură între temperatura la betonare și temperatura minimă, la mijlocul stratului, în °C;

ε – coeficientul de contracție liniară a betonului, în mm/mm;

l_f – deschiderea unei fisuri, în medie, în mm.

Bineînțeles, aceste relații nu pot avea în vedere cu exactitate o serie de factori reali, cum sunt variația caracteristicilor fizico-mecanice ale betonului în masa acestuia sau dificultățile care intervin la determinarea precisă a valorilor R_t , E_b , ΔT , ε , τ_{ad} etc. Totuși studiile amintite demonstrează utilitatea acestora pentru calculele preliminare aproximative.

Apariția fisurilor longitudinale în banda de beton armat continuu și influența asupra acestora a armăturii transversale este mai puțin studiată. Se recomandă totuși utilizarea relației următoare, pentru determinarea cantității de armătură transversală a' :

$$a' = \frac{f \cdot B \cdot g}{2 \cdot 0,75 \sigma_{el}} \quad [\text{cm}^2/\text{m}] \quad (44)$$

în care:

f este coeficientul de frecare între stratul de beton și stratul suport;

B – lățimea de betonare, în m.

Panourile de armături care urmează a fi sudate între ele în vederea realizării armăturii continue a îmbrăcămintei se confecționează în uzine sau pe loc, așezarea lor înaintea betonării făcându-se cu ajutorul unor suporti metalici (fig. 70).

Studiile și realizările cunoscute până în prezent pe plan mondial recomandă, în cazul construcției autostrăzilor cu trafic foarte intens, acceptarea armării continue a îmbrăcămintei rutiere din beton de ciment, avându-se în vedere avantajele pe care le prezintă, dintre care se subliniază următoarele:

- realizarea economiilor la ciment și agregate naturale, inclusiv transportul și punerea în operă a acestora;
- realizarea unei suprafețe de rulare netede, fără rosturi transversale (eliminând riscul fenomenului de pompaj);
- reducerea volumului de lucrări de întreținere prin eliminarea rosturilor.



Fig. 70. Armarea continuă cu bare de oțel sudate la îmbrăcămințile rutiere.

5.1.3. Îmbrăcăminți din beton armat precomprimat

O formă mai avansată de aplicare a betonului armat la realizarea îmbrăcăminților rutiere o constituie tehnologia precomprimării și postcomprimării betonului. În general, se pot deosebi două categorii de sisteme aplicate:

- tipul dalelor individuale;
- tipul fâșiilor continue.

Din categoria tipului de *dale individuale*, se evidențiază următoarele sisteme:

- sistemul de precomprimare, utilizându-se două reazeme provizorii, care servesc la realizarea comprimării dalei, respectiv la ancorarea armăturii (a cablurilor), reazemele fiind așezate la cele două capete ale tronsonului. Cablurile sunt dispuse longitudinal, iar după realizarea eforturilor unitare de întindere în acestea, se execută betonarea întregului tronson. Rosturile transversale de lucru sunt dispuse la 100...200 m distanță între ele. Precomprimarea este realizată de-a lungul întregului tronson de îmbrăcămintă rutieră, prin aderența betonului la oțel. Se realizează totodată, o bună protecție a armăturii împotriva agenților corozivi;

- sistemul de postcomprimare poate fi aplicat cu rezultate bune în cazul fâșiilor de beton de 30...120 m lungime. După ce betonul a atins un oarecare grad de întărire, cablurile se supun întinderii. Înainte de a atinge eforturile unitare de întindere prevăzute, se aplică în canal un mortar cu lapte de ciment pentru protejarea armăturii de agenți corozivi. Dispunerea armăturilor se poate realiza în diferite soluții, așa cum se arată în fig. 71.

În cazul tipurilor de *fâșii continue*, unul dintre aspectele cele mai importante ale realizării acestora este conceperea și executarea culeelor. Acestea pot fi: culee fixă, dimensionată în funcție de rezistența terenului de fundație, sau culee elastică prin acumularea presiunii.

După execuția culeelor, se execută stratul de îmbrăcămintă rutieră, amenajându-se câte un "rost activ" la 100...300 m distanță între ele. Aceste rosturi active sunt construcții speciale, având în vedere că după întărirea betonului, în ele se introduc dispozitivele hidraulice cu ajutorul cărora se realizează progresiv comprimarea betonului. După îndepărtarea acestor dispozitive, locul acestora se betonează.

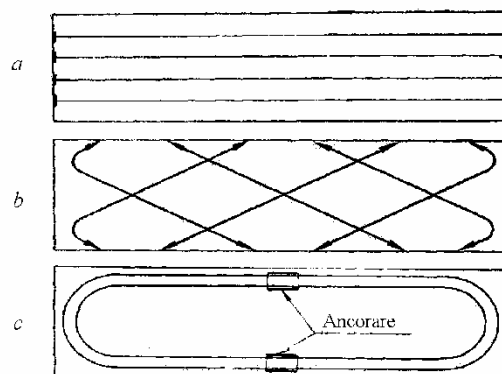


Fig. 71. Dispoziția cablurilor în sisteme postcomprimate:
a – sistem longitudinal; *b* – sistem diagonal; *c* – sistem inelar.

Unul din avantajele generale cele mai însemnate ale soluțiilor precomprimării betonului este reducerea posibilităților de apariție a fisurilor transversale la îmbrăcăminte rutieră. Totodată, se pot obține importante economii de materiale de construcție. Soluțiile devin foarte avantajoase în cazul terenurilor de fundație slabe. Cheltuielile de întreținere și reparații curente în cazul acestor tipuri de îmbrăcăminte rutiere sunt minime.

5.2. Îmbrăcăminte prefabricate din beton de ciment

În cazul drumurilor publice, până în prezent nu se cunosc rezultate deosebite cu privire la realizarea îmbrăcămintelor rutiere din beton de ciment din elemente prefabricate. Dimensiunile, și prin urmare masa relativ mare a dalelor din beton, precum și pozarea greoaie a acestora fără denivelări de 1...2 mm, nu au permis o dezvoltare simțitoare a unei asemenea tehnologii. S-au făcut unele încercări de utilizare a elementelor prefabricate la înlocuirea unor dale izolate distruse datorită greșelilor de execuție sau la ranforsarea unor îmbrăcăminte rigide

ajunse în ultima fază a duratei de exploatare, așezându-se deasupra acestora prin intermediul unor straturi de egalizare realizate din diverse materiale tratate cu lianți hidrocarbonați sau de tip special.

Utilizarea prefabricatelor din beton de ciment a găsit un teren în cazul realizării drumurilor provizorii de șantier sau de acces, la construcția trotuarelor, aleilor etc.

Folosirea prefabricatelor din beton armat prezintă avantaje tehnico-economice, dintre care se amintesc:

- perfecționarea metodelor de organizare și execuție a lucrărilor;
- alegerea unor secțiuni economice;
- efectuarea unui control riguros asupra calității betonului;
- demontarea ușoară a elementelor prefabricate și reutilizarea lor;
- reducerea duratei de execuție a lucrării;
- turnarea prefabricatelor precum și montarea lor se poate face în tot timpul

anului.

Dalele pot avea diferite forme în plan. De exemplu: formă hexagonală, pătrată, dreptunghiulară, trapezoidală. Forma dalelor se alege în așa fel încât să prezinte o lungime

cât mai redusă a rosturilor și mărimi cât mai mici ale momentelor încovoietoare ce apar sub încărcări.

Din acest punct de vedere cele mai avantajoase sunt dalele hexagonale sau pătrate.

Notă:

Raportul de activitate al Asociației Mondiale a Drumurilor (A.I.P.C.R.) prezentat la Congresul Mondial de la Kuala Lumpur (octombrie 1999) menționează și progresele obținute în concepția și realizarea structurilor rutiere compozite și a îmbrăcăminților subțiri din beton de ciment aderent la îmbrăcămințile bituminoase. Pentru sesizarea cititorului interesat prezentăm elementele principale privind temele sus menționate.

Structura rutieră compozită (S.R.C.) este alcătuită din asocierea în corpul căii a unor straturi bituminoase sau elemente modulare cu straturi din beton de ciment pervibrat.

Avantajul S.R.C. rezultă din rezistența și durabilitatea stratului din beton de ciment și din confortul oferit de stratul bituminos.

Literatura de specialitate menționează trei tipuri de structuri rutiere compozite (S.R.C.) și anume:

- S.R.C., tipul 1, alcătuită dintr-un strat bituminos pe un strat din beton de ciment pe o fundație corespunzătoare;
- S.R.C., tipul 2, compusă dintr-o îmbrăcămintă din elemente modulare (pavele, dale etc.) pe un strat din beton de ciment așezat pe o fundație adecvată;
- S.R.C., tipul 3, formată dintr-un strat (fundație) de agregate naturale tratate, acoperit cu un strat bituminos peste care se realizează stratul din beton de ciment.

Betonul de ciment poate fi un beton de ciment clasic sau un beton de ciment cu armătură continuă.

Stratul bituminos se realizează din beton asfaltic clasic, beton asfaltic drenant, sau alt tip de mixtură asfaltică.

Elementele modulare pot fi pavele, dale din beton etc. Avantajele S.R.C. de tipul 1 sunt:

- reducerea zgomotului;
- posibilitatea alegerii îmbrăcămintei și avantajul înlocuirii acesteia în funcție de exigențe;
- eliminarea rosturilor cu inconvenientele aferente.

O atenție specială trebuie acordată aderenței dintre stratul de beton de ciment și stratul bituminos, în care scop se efectuează cercetări asupra aspectelor fizico-chimice ale interfeței beton de ciment–beton asfaltic.

S.R.C. de tipul 2 se pot realiza cu dale prefabricate din beton de forme și culori la alegere, pavele (calupuri) din piatră naturală, din ceramică etc. Alegerea dalelor se face în funcție de solicitări (pavele din piatră naturală pentru drumuri cu trafic greu, pavele din beton colorate pentru spații publice urbane ș.a.m.d.). Cel mai frecvent folosite sunt pavelele din beton de ciment.

Aplicarea unei S.R.C. de tipul 2 este avantajoasă dacă dorim să realizăm amenajări plăcute, armonioase și în cazul când din diferite motive luăm în considerare necesitatea unei eventuale demontări a pavajului.

S.R.C. de tipul 3 presupune introducerea unui strat din mixturi asfaltice (de 5 ... 15 cm grosime) peste fundația din agregate naturale. Introducerea acestui strat bituminos evită erodabilitatea fundației și apariția pompajului. Important este faptul că dacă se

realizează o foarte bună aderență între stratul bituminos și stratul din beton de ciment, grosimea dalei poate fi redusă cu 15 ... 20 %.

Betonul de ciment dintr-un strat subțire, aderent la îmbrăcămintea bituminoasă s-a utilizat în ultimii ani pentru refacerea suprafețelor cu defecțiuni de tipul fâgașelor. Soluția constă în:

- rabotarea sau frezarea îmbrăcămintei bituminoase degradate pe adâncimea necesară (2...10 cm). Grosimea stratului bituminos după frezare trebuie să fie de minimum 7,5 cm;
- aplicarea peste suprafața bituminoasă rezultată a unui strat subțire (10 cm) de beton de ciment, care trebuie să adere perfect la acesta. Aderența totală între cele două straturi este cheia reușitei acestui nou concept.

Colajul stratului bituminos la stratul din beton de ciment determină comportarea de natură monolită a sistemului, în ceea ce privește repartizarea sarcinilor.

Datorită colajului, axa neutră a betonului se deplasează din centrul stratului la baza sa. Deplasarea axei neutre spre bază micșorează tensiunile la baza stratului de beton și le situează la un nivel suportabil pentru beton.

Această structură rutieră compozită monolită oferă garanția durabilității, cel puțin din două motive, și anume:

- stratul din beton de ciment, prin rigiditatea sa, repartizează sarcinile și degajează astfel stratul bituminos;
- stratul din beton de ciment asigură protecția termică a structurii rutiere existente.

Betonul de ciment ce urmează a fi pus în operă într-un strat subțire trebuie să îndeplinească regulile specifice betonului clasic cu adaptări specifice din care se menționează:

- utilizarea de agregate foarte dure din roci masive;
- dimensiunea maximă a gregatelor sub 6 cm;
- utilizarea unui ciment de foarte bună calitate;
- necesitatea adaosului de plastifianți și fibre sintetice;
- utilizarea unui raport A/C foarte mic;
- punerea în operă, dacă este cazul, cu mașini cu cofraje glisante;
- rosturile se plasează la intervale de 20 x grosimea dalei.

Avantajele straturilor subțiri din betoane de ciment sunt:

- bună comportare la solicitările traficului;
- evită apariția fâgașelor;
- stratul este insensibil la acțiunea hidrocarburilor;
- se obține o îmbrăcămintă albă (poate fi și colorată);
- durata de exploatare îndelungată;
- cost competitiv.

Spre informare, prezentăm o soluție de acest gen aplicată recent (1997) în Franța, constând în:

- rabotarea (frezarea) pe o adâncime convenabilă (4...8 cm) a zonei cu fâgașe;
- punerea în operă a betonului de ciment într-un strat subțire cu mașina cu cofraje glisante;
- darea în exploatare a dalei executate după 24 de ore.

Dozajul betonului de ciment utilizat este prezentat în tabelul 22.

Dozajul betonului de ciment aderent

Tabelul 22

Material	Cantitate la m ³
Nisip de râu silico-calcaros 0–5	600 kg
Criblură din porfir	1 190 kg
Ciment CPACEM/52.5R	400 kg
Apă	160 L
Agent plastifiant	0,73 %
Antrenor de aer	0,22 %
Fibre de polipropilenă	0,9 kg

Peste suprafața betonului proaspăt s-a pulverizat un agent dezactivant care a permis denudarea după întărirea betonului. Rosturile au fost executate la distanțe de 0,90...1,50 m în funcție de grosimea stratului.

În ultimii ani (1996) americanii au realizat sectoare experimentale cu îmbrăcăminte rigidă din beton de ciment executată într-un strat subțire pe straturi bituminoase cu fâgașe existente pe drumuri în exploatare.

Drumul ales pentru experiment are patru benzi de circulație, structura rutieră a fost ranforsată succesiv în 14 ani prin adaosuri de straturi bituminoase, ajungându-se la o grosime a acestora de 25...30 cm. Adâncimea fâgașelor ajunsese la 50 mm.

Tehnologia aplicată a fost următoarea:

- după frezare, pe un sector de 610 m lungime s-a aplicat un strat din beton cu fibre de 10 cm grosime, pe o lățime de 3,6 m;
- în betonul de ciment s-au introdus 15 kg/m³ fibre de poliofelină;
- rosturile transversale au fost realizate la distanțe de 1,8...1,2 m iar rostul longitudinal a fost executat la 1,8 m obținându-se dale de 1,8 x 1,8 m;
- punerea în operă a betonului de ciment a fost realizată cu mașina cu cofraje glisante;
- după 30 ore de la execuție, sectorul experimental a fost dat în circulație.

După un an de la darea în exploatare, s-a constatat că sectorul experimental se comportă bine și, în consecință, s-a programat realizarea a 16 km de drum utilizându-se tehnologia sus-menționată.