

Florin BELC

**RECICLAREA STRATURILOR
RUTIERE EXISTENTE**

CUPRINS

1. CARACTERISTICI ALE TEHNOLOGIILOR DE RECICLARE	4
1.1. Clasificarea tehnologiilor de reciclare	4
1.2. Studii prealabile	9
1.2.1. Investigații de teren	9
1.2.2. Investigații de laborator	10
1.3. Lianți utilizați	12
2. TEHNOLOGII DE RECICLARE LA RECE	20
2.1. Reciclarea cu ciment	20
2.1.1. Avantaje și dezavantaje	21
2.1.2. Studiul structurii rutiere existente	22
2.1.3. Determinarea dozajelor	25
2.1.4. Dimensionarea stratului reciclat cu ciment	28
2.1.5. Execuția lucrărilor de reciclare cu ciment	30
2.1.5.1. Pregătirea suprafeței	30
2.1.5.2. Dozarea apei și cimentului	30
2.1.5.3. Omogenizarea componentilor	32
2.1.5.4. Compactarea și finisarea suprafeței	34
2.1.5.5. Protecția suprafeței	36
2.1.6. Controlul calității lucrărilor	36
2.1.2.1. Controlul pe durata desfășurării lucrărilor	37
2.1.2.2. Controlul după realizarea stratului	38
2.1.3. Costul lucrărilor	39
2.2. Reciclarea cu emulsie bituminoasă sau bitum spumat	40

1. CARACTERISTICI ALE TEHNOLOGIILOR DE RECICLARE

Cu toate că există încă suficiente incoerențe în terminologia adoptată de diferite țări sau autori, tehnologiile de reciclare a materialelor rezultate din unele straturi rutiere vechi se împart în general în următoarele două categorii (terminologie susținută și de Comitetul de terminologie al Asociației Mondiale de Drumuri prin Dicționarul Tehnic Rutier și Lexicul Tehnologiilor Rutiere și al Circulației Rutiere):

- tehnologii de retratare, care se referă la activități desfășurate la rece, la fața locului sau în fabrici. Retratarea în fabrici este puțin dezvoltată pe plan mondial până în prezent;

- tehnologii de reciclare, care se referă la procedee tehnice desfășurate întotdeauna la cald (la fața locului sau în fabrici fixe).

După anul 1970 tehnologiile de reciclare și retratare a unor straturi rutiere s-au dezvoltat continuu ajungând în prezent la o gamă largă de procedee tehnologice, utilaje, lianți de adaos etc. Reutilizarea materialelor din straturile rutiere vechi se încadrează în preocupările actuale ale specialiștilor de dezvoltare a unor tehnologii care să urmărească preponderent protecția mediului, valorificarea resurselor naturale și ameliorarea cadrului de viață a colectivităților teritoriale.

Reciclarea și retratarea materialelor din straturile rutiere vechi constituie o sursă de economisire a materialelor primare (agregate naturale, bitum), iar tehnologiile folosite răspund cu eficiență cerințelor legate de protecția mediului ambiant. Pe de altă parte, de exemplu, în cazul reciclării materialelor bituminoase, performanțele obținute sunt comparabile cu ale mixturilor asfaltice cu agregate naturale noi.

1.1. Clasificarea tehnologiilor de reciclare

Clasificarea tehnologiilor de reciclare și retratare disponibile în prezent se poate efectua după o gamă largă de factori: temperatura de preparare și punere în operă (la cald și la rece), locul de preparare a amestecului (in situ sau în fabrici fixe), tehnologia de reciclare (funcție de natura liantului utilizat), respectiv funcție de principiul adoptat pentru rezolvarea problemei (de suprafață sau structurală) etc.

Tehnologiile de retratare sunt practicate în totalitate la fața locului și utilizează materialele rezultate din straturi rutiere vechi. În principiu, procedeul constă în frezarea straturilor existente pe o anumită adâncime, urmată eventual de un adaos de materiale rutiere de corectare a granulozității și apă. Materialul rezultat se tratează cu un liant cu ajutorul unui utilaj complex cu funcționare continuă, urmând ca stratul rutier obținut să fie un strat de rezistență (de fundație sau de bază), respectiv un strat de legătură. Stratul respectiv poate fi acoperit cu un nou strat de uzură.

În tabelul 1.1 se prezintă o posibilă clasificare a tehnologiilor de retratare in situ utilizată de specialiștii francezi (Comitetul francez de tehnici rutiere) și a cerințelor la care acestea pot răspunde. Clasificarea ilustrează mai multe caracteristici ale acestor soluții tehnice, astfel:

- tehnologiile de acest tip pot folosi diverși lianți (bituminoși, hidraulici sau micști). Lianții bituminoși utilizați pot fi emulsiile bituminoase sau bitumul spumat, lianții hidraulici sunt, în general, diferite tipuri de ciment, iar lianții compuși sunt cimentul și o emulsie bituminoasă sau cimentul și un bitum spumat;

- retratarea poate fi utilizată pentru tratarea straturilor rutiere existente până la adâncimi de 30 cm;

- soluțiile tehnice pot fi adaptate pentru o retratare structurală sau de suprafață, în funcție de grosimea stratului obținut.

În cazul ranforsării structurale se reutilizează și materialele din stratul de bază, iar capacitatea portantă a structurii de rezistență este îmbunătățită, în timp. Printr-o reciclare de suprafață se retratează doar straturile de la suprafața structurii rutiere, cu refacerea etanșeității, rugozității și texturii.

Preocupări pentru implementarea unor astfel de tehnologii datează din anii 50, dar primele tehnologii moderne de acest tip datează de la mijlocul anilor 80 când au apărut aproape simultan în SUA (Oregon, Indiana), Canada și Europa (Franța, Italia, Germania). Progresele înregistrate în domeniul utilajelor de reciclare și apariția lianților modificați au condus la accelerarea dezvoltării acestor soluții tehnice alternative.

Pentru reciclarea straturilor bituminoase vechi la cald există în tehnica rutieră o gamă largă de tehnologii, respectiv o varietate importantă de utilaje și dispozitive prin care acestea pot fi materializate practic. Aceste tehnologii se pot dezvolta la fața locului sau în fabrici de reciclare a amestecurilor asfaltice recuperate.

În tabelul 1.2 se prezintă o clasificare a tehnologiilor de reciclare in situ, cu precizarea condițiilor de utilizare (tipul stratului bituminos asupra căruia se lucrează).

Există o anumită ambiguitate în domeniul clasificării utilizate în acest domeniu pe plan internațional, legată de faptul că încălzirea amestecului asfaltic se face fie în stratul existent, fie în interiorul utilajului de reciclare, după frezarea și preluarea acesteia.

Tabelul 1.1.

Caracteristica	Tipul retratării				
	Retratăre cu emulsie bituminoasă (bitum spumat)			Reciclare cu ciment	Reciclare cu liant compozit
	Clasa 1	Clasa 2	Clasa 3	Clasa 4	Clasa 5
Obiectiv	Ranforsare structurală	Reabilitarea straturilor de suprafață		Ranforsare structurală	Ranforsare structurală sau corectarea unei defecțiuni a straturilor de suprafață
Principiu	Îmbunătățirea caracteristicilor mecanice și geometrice ale structurii rutiere, cu folosirea unei părți a straturilor de rezistență vechi și eventual regenerarea bitumului la clasa 2		Retratărea îmbrăcămintei bituminoase cu regenerarea bitumului	Crearea unui nou strat de rezistență sau a unui nou strat de suprafață (clasa 5), cu sau fără materiale de aport, cu sau fără modificarea cotei inițiale a straturilor superioare	
Materiale din straturi rutiere vechi	3...4 cm îmbrăcămintea bituminoasă și straturi inferioare nestabilizate cu bitum	4...8 cm îmbrăcămintea bituminoasă și straturi inferioare stabilizate sau nu cu bitum	Exclusiv materiale bituminoase prin integrarea interfeței cu stratul suport	Total sau parțial îmbrăcămintea bituminoasă. Total sau parțial straturile inferioare de rezistență. Eventual o parte a infrastructurii	Total sau parțial îmbrăcămintea bituminoasă și total sau parțial straturile inferioare de rezistență
Liant	Emulsie bituminoasă	Emulsie bituminoasă (bitum pur sau regenerant)	Emulsie bituminoasă (cu bitum regenerant)	Ciment sau liant hidraulic rutier	Amestec de ciment sau liant hidraulic rutier și emulsie bituminoasă
Dozaj de liant de adaos	3...5 % bitum rezidual	1...3 % bitum rezidual	max. 2 % bitum rezidual	3...6 %	3...7 % liant compozit
Grosimea stratului	10...15 cm	5...12 cm	5...12 cm	20...30 cm	10...30 cm

Tabelul 1.2.

Strat bituminos reciclat din:	Reciclare pe adâncime redusă (cu frezare la cald)			Reciclare în adâncime	
	Termo-reprofilare	Termo-regenerare	Termo-reciclare	cu frezare la cald	cu frezare la rece
Betoane asfaltice deschise	●	●	●		●
Betoane asfaltice în strat subțire					●
Anrobate bituminoase	●	●	●		●
Betoane asfaltice drenante				●	
Betoane asfaltice	●	●	●		●

Situațiile în care se recomandă utilizarea unor astfel de tehnologii sunt următoarele:

- fisurarea stratului de uzură (a îmbrăcămintei) ca urmare a îmbătrânirii liantului bituminos, cu necesitatea regenerării acestuia;
- realizarea relipirii de suport a unui strat de uzură gros (cu sau fără o frezare parțială în prealabil);
- refacerea planeității în profil transversal sau a rugozității, eventual în prezența unor deformații plastice reduse;
- refacerea etanșității stratului de uzură sau a porozității betoanelor asfaltice drenante.

Reciclarea mixturilor asfaltice recuperate în fabrici fixe constă în omogenizarea în malaxoare a mixturii asfaltice mărunțite corespunzător (dimensiuni sub 40 mm, respectiv 13...32 mm pentru folosirea în straturi de legătură sau de uzură) cu agregate naturale noi (35...90 %) și liant (în mod curent 1...3 %), urmată de transportul și punerea în operă a acesteia. Liantul utilizat poate să se caracterizeze sau nu prin proprietăți regenerante, funcție de caracteristicile bitumului vechi, iar mixtura asfaltică veche trebuie să fie bine dezagregată la introducerea în fluxul tehnologic. Pentru utilizarea unor astfel de tehnologii este necesară utilizarea unor fabrici special adaptate acestui scop. De regulă, se asigură re folosirea unui procent de 20...40 % din mixtura asfaltică nou preparată și mai rar un procent de 50...80 %.

Un exemplu al interesului manifestat pentru tehnologiile de reciclare și retratare este oferit de Franța care, la cca 40 mil. t/an mixturi asfaltice produse, reutilizează peste 5 mil. t/an mixturi asfaltice, din care 40 % fără tratare cu lianți (consolidare acostamente, realizare de substraturi etc.) și 10 % prin reciclare la cald în fabrici.

Aplicarea tehnologiilor de reciclare sus-menționate se poate efectua doar în prezența unei capacități portante corespunzătoare a structurii de rezistență și a unor deformații plastice care să nu se datoreze compoziției mixturilor asfaltice din straturile bituminoase.

De asemenea, trebuie subliniat că, indiferent de tehnologia de retratare sau

de reciclare adoptată, soluția tehnică și dozajele utilizate trebuie să se efectueze pe baza unui studiu aprofundat, cu luarea în considerare a tuturor punctelor sensibile. Pe de altă parte, procesul tehnologic trebuie atent urmărit în timpul execuției, cu luarea măsurilor care se impun pentru corectarea dozajelor și ajustarea etapelor tehnologice. De exemplu, reușita tehnologiilor de retratare este strâns legată de exigențele de calitate impuse pe perioada derulării lucrărilor (controlul granulozității, cu eventuala corectare a acesteia, respectarea dozajului de liant, atingerea omogenității corespunzătoare, punerea în operă controlată etc.).

În altă ordine de idei, trebuie efectuată o diferențiere între „reciclare” și „stabilizare”. Procesul tehnologic de stabilizare se referă la tratarea terenului de fundare, rambleurilor sau stratului de formă, în timp ce reciclarea se referă la reutilizarea materialelor rutiere existente în diferite straturi rutiere.

Stabilizarea se practică în cazul terenurilor cu umiditate ridicată sau cu capacitate portantă redusă. Stabilizarea se efectuează la fața locului, cu utilaje care permit omogenizarea pământului cu liantul (var, ciment sau lianți puzzolanici) răspândit înaintea utilajului sau introdus la nivelul malaxorului prin intermediul unei soluții apoase. Dozajul pentru apa de aport este determinat funcție de umiditatea pământului care urmează să fie tratat.

De regulă, materialele sensibile la apă pot fi tratate cu var pentru creșterea stabilității și îmbunătățirea capacității portante. Există și situații în care tratarea pământurilor trebuie efectuată cu un amestec de var cu ciment sau, eventual, doar cu ciment. Astfel, alegerea liantului trebuie să țină seama de condițiile hidrologice locale și de tipul pământului din terenul de fundare. Grosimea pe care se efectuează terenul de fundare rezultă din tipul terenului de fundare, regimul hidrologic și capacitatea portantă care se urmărește a fi atinsă la nivelul patului drumului (frecvent grosimi de 30...80 cm, în unul sau două straturi). De aici rezultă necesitatea dezvoltării utilajelor de reciclare și apariția unor mașini tot mai puternice.

Trebuie remarcat faptul că tendința manifestată pe plan internațional, din ce în ce mai mult, este de a integra stratul de formă în structura de rezistență, mai ales în ceea ce privește îngheț-dezghetul.

De asemenea, se remarcă tendința de a folosi pentru anumite pământuri stabilizări cu lianți bituminoși (emulsii bituminoase sau bitum spumat). Bineînțeles că pământul stabilizat trebuie să fie compatibil cu liantul folosit (de exemplu pământuri necoezive puțin argiloase). Avantajele rezultate în aceste situații sunt legate de deschiderea rapidă a circulației de șantier pe stratul tratat și de lipsa fisurării din contracție a acestuia (unul dintre dezavantajele principale ale stabilizării cu ciment).

Reciclarea nu se realizează asupra unui pământ ci asupra unui ansamblu compozit constituit din mai multe straturi care sunt tratate la sfârșitul perioadei lor de exploatare. Rezultă că tehnologia aplicată în această situație nu este legată de construcția complexului rutier, ci de reconstrucția sau întreținerea structurii de

rezistență. Reciclarea are un cu totul alt obiectiv decât stabilizarea, acela de a ameliora capacitatea portantă și starea tehnică a suprafeței de rulare, cu adaptarea lor la creșterea traficului sau a sarcinii pe osie. Utilajele folosite pentru realizarea unei reciclări pot fi de același tip sau asemănătoare cu cele utilizate pentru stabilizări de pământuri sau pot fi mai sofisticate și multifuncționale.

Pentru simplificare și o mai bună comprehensiune, în continuare pentru toate tehnologiile de retratare sau reciclare se va utiliza un singur termen, cel de reciclare.

1.2. Studii prealabile

Înainte de efectuarea oricărei lucrări de retratare sau reciclare este obligatorie efectuarea unor investigații amănunțite asupra sectorului considerat. Acest studiu urmează să scoată în evidență care tehnologie este oportună, ce tip de liant trebuie să fie folosit și în ce dozaj, dacă este necesară sau nu corectarea granulozității, care sunt lucrările necesare de efectuat înaintea reciclării etc. Aceste studii sunt obligatorii cel puțin din două raționamente, și anume:

- tehnologiile de reciclare (retratare) sunt relativ noi, cu evoluție rapidă, dar și cu necesitatea adaptării perfecte la situația concretă din teren;
- fiecare dintre aceste metode are o anumită particularitate legată fie de experiența antreprenorului, fie de caracteristicile tehnice ale utilajelor care se folosesc.

Totalitatea operațiilor legate de studiul preliminar se pot grupa în două categorii: investigații de teren și investigații de laborator.

1.2.1. Investigații de teren

Investigațiile de teren trebuie efectuate cu un timp suficient de mare înainte de efectuarea reciclării pentru a scoate în evidență toate particularitățile sectorului omogen considerat. Se pot distinge trei campanii de măsurători, astfel:

- o inspecție vizuală a sectorului pentru a determina pentru fiecare bandă de circulație, în principal, defecțiunile care evidențiază îmbătrânirea liantului, respectiv fenomenele de deformații plastice sau de oboseală;
- o campanie de măsurare a capacității portante pe întreaga lungime a sectorului și cu o densitate constantă (de regulă cu pârgă Benkelman sau cu deflectometre cu sarcină dinamică);
- o campanie de prelevare a carotelor din structura rutieră existentă (câte una la fiecare 500 m de drum sau la fiecare 5 000 m² de parte carosabilă). În cadrul acestei etape se urmărește determinarea grosimii și a materialelor din care sunt realizate straturile rutiere, a nivelului la care se găsește patul drumului și a condițiilor de drenare a apelor subterane. Probele prelevate din toate straturile rutiere trebuie separate și marcate corespunzător, după care vor fi transferate în laborator pentru încercări suplimentare.

Este recomandat ca pe fiecare sector omogen identificat prin carote (în ceea ce privește materialele care urmează să fie decapate pentru reciclare) să se efectueze frezarea unei suprafețe, pe cât posibil, cu o freză identică cu cea cu care se va lucra efectiv. Asupra materialului granular obținut se vor efectua încercări specifice de laborator în vederea obținerii dozajelor optime de materiale de aport (lianți, apă, materiale granulare pentru corectarea granulozității etc.). După normele franceze se recomandă ca materialul obținut prin frezare să aibă dimensiunea maximă a granulei de 31,5 m (99 % treceri prin sita de 50 mm), iar trecerile prin sita de 2,0 mm să fie de 25...35 %, respectiv prin sita de 0,06 mm de 4...8 %. Suprafețele pe care s-a efectuat frezarea trebuie corectate prin completare cu materiale granulare noi până la efectuarea reciclării.

Această soluție de creare a eșantionului pentru realizarea încercărilor în laborator este cea optimă deoarece conduce la obținerea unei granulozități a materialului frezat identică cu cea din timpul aplicării tehnologiei, cu condiția ca freza și viteza de înaintare să fie aceleași. Pe de altă parte, se poate constata care este proporția de bolovani, plăci, elemente grosiere etc. care rezultă prin frezare și trebuie înlăturate din amestec (de regulă, manual), precum și alți parametri legați de tehnologia de frezare.

O altă soluție posibilă este de a realiza decaparea unei cantități suficiente de material de pe fiecare sector omogen (min. 50 kg), pe întreaga grosime a straturilor care urmează să fie reciclate. Materialul rezultat se concasează apoi în laborator pentru obținerea eșantionului de lucru, urmând să fie supus analizei pentru determinarea dozajelor și particularităților tehnologice.

Dacă sectorul de lucru analizat are o alcătuire omogenă, atunci numărul de eșantioane va fi de min. 2/km, în timp ce, dacă sectorul are o alcătuire eterogenă a straturilor care urmează să fie reciclate, se poate ajunge la un număr de probe reprezentative de 5/km.

1.2.2. Investigații de laborator

Investigațiile de laborator care se efectuează asupra eșantionului de material care trebuie reciclat vizează în principal determinarea dozajelor optime, a caracteristicilor de compactare și a compatibilității liantului de aport cu liantul inițial.

Etapetele care trebuie parcurse în cadrul studiului de laborator sunt următoarele:

- omogenizarea eșantionului rezultat prin unul dintre procedeele descrise anterior și prelevarea unei probe reprezentative pentru încercări de laborator;
- determinarea granulozității materialului rezultat prin frezare sau concasare în laborator;
- stabilirea dacă este necesară corectarea granulozității, urmată de determinarea materialelor de aport și a dozajelor cu care acestea intră în amestecul final. Rezultă granulozitatea materialului care urmează să intre în noul strat rutier;

- determinarea dozajului de liant din amestecul final obținut și a caracteristicilor acestuia (dacă bitumul trebuie regenerat, dacă se pretează la regenerare etc.), precum și a caracteristicilor liantului de aport;
- determinarea compatibilității dintre liantul inițial și cel de aport, cu evidențierea particularităților tehnologice care trebuie avute în vedere;
- determinarea caracteristicilor de compactare Proctor modificat pentru diferite dozaje de liant de aport și apă de omogenizare;
- reglarea dozajului de liant și apă prin încercări cu presa giratorie (analizarea volumului de goluri obținut pe epruvete la un anumit număr de girații);
- prepararea de epruvete în vederea determinării caracteristicilor materialului reciclat, funcție de tipul acestuia (stabilizare cu ciment, cu liant bituminos sau cu ciment și liant bituminos), în conformitate cu încercările descrise în capitolul 2;
- verificarea rezultatelor obținute în raport cu valori recomandate, respectiv verificarea rezultatelor obținute în laborator cu cele obținute pe un sector experimental (util de executat înainte de începerea șantierului pentru realizarea ultimelor corecții la dozaje și tehnologie de lucru).

Trebuie reținut faptul că nu există standarde internaționale general acceptate în domeniul tehnologiilor de reciclare (dozaje, caracteristici care trebuie obținute, tipuri de încercări de laborator pentru verificarea calității, tehnologii de lucru etc.), iar caracteristicile care urmează să se obțină sunt strâns legate de rolul stratului reciclat în noua structură rutieră.

Referitor la granulozitate, sunt, în general, solicitate următoarele condiții obligatorii:

- procentul de părți fine (treceți prin sita de 0,08 mm) trebuie să fie suficient pentru formarea masticului în amestec;
- fracțiunea grosieră din amestec să fie suficientă pentru a se obține stabilitatea și rezistența stratului reciclat;
- granulozitatea amestecului să fie continuă pentru facilitarea compactării.

Desigur că particularitățile legate de granulozitatea amestecului care se reciclează depind de rolul stratului care urmează să se construiască și de tipul liantului de aport utilizat. De exemplu, pentru situația reciclării cu emulsie bituminoasă, se prezintă două granulozități recomandate pe de o parte de specialiștii italieni pentru reciclarea pe autostrăzi și drumuri cu trafic greu (tabelul 1.3), respectiv pe de altă parte de cei americani, în special pentru drumuri cu trafic mediu și ușor (tabelul 1.4).

Există și situații în care întreaga structură de rezistență este demolată, iar materialele existente în straturile rutiere se pot recupera și depozita în vederea reutilizării în cadrul unor tehnologii rutiere. Demolarea se poate efectua pe întreaga grosime a structurii de rezistență, cu amestecarea și depozitarea ca atare a materialelor obținute, sau pe fiecare strat rutier în parte, cu depozitarea separată a materialelor rutiere rezultate (fig. 1.1).

Tabelul 1.3.

Sita, mm	Treceri, în %
30,00	100
25,50	70...95
15,00	45...70
2,50	35...60
5,00	25...50
2,00	18...38
0,40	6...20
0,18	4...14
0,075	4...8

Tabelul 1.4

Sita, mm	Treceri, în %
40,00	100
25,00	90...100
20,00	-
12,50	60...80
9,50	-
4,75	25...60
2,16	15...45
0,30	3...20
0,075	1...7

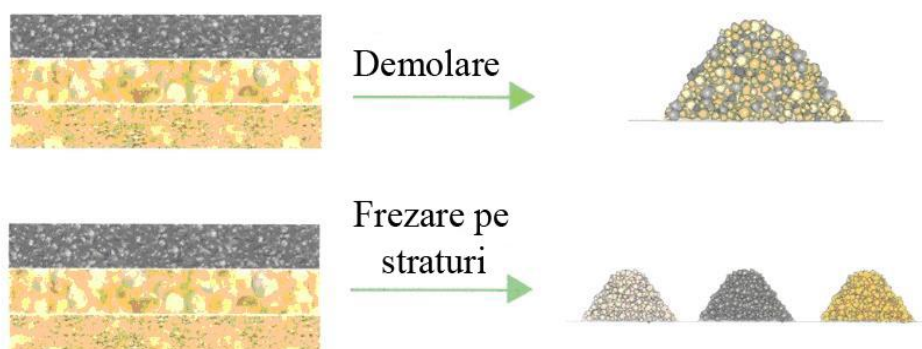


Fig. 1.1. Soluții de recuperare a materialelor din structuri rutiere demolate.

Pentru determinarea granulozității amestecului care urmează să fie reciclat se recomandă luarea în considerare a grosimilor posibile ale stratului reciclat prezentate în tabelul 1.1. De asemenea, dozajele de liant care se vor considera pentru efectuarea încercărilor de laborator se vor înscrie între limitele prezentate în același tabel, funcție de tehnologia de lucru considerată.

1.3. Lianți utilizați

Pentru reciclarea la rece a straturilor rutiere existente lianții care se pot utiliza sunt cimentul, emulsia bituminoasă, bitumul spumat sau o combinație dintre un liant hidraulic cu unul bituminos.

Conform rapoartelor tehnice ale Asociației Mondiale de Drumuri, tipul cimentului folosit în cadrul tehnologiilor de reciclare este mai puțin important pentru reușita lucrării decât umiditatea amestecului și densitatea stratului obținută prin compactare. În majoritatea situațiilor se pot utiliza tipurile de ciment existente pe piață, cu analizarea ușurinței de procurare și a prețului. Totuși se impun de subliniat următoarele:

- dacă mai multe tipuri de ciment sunt disponibile atunci se va alege cel cu rezistențe medii (clasa 32,5). Într-adevăr aceste cimente se caracterizează printr-o perioadă mai îndelungată disponibilă pentru punerea în operă, o degajare mai mică de căldură de hidratare și apariția unui număr mai redus de fisuri de contracție în stratul rutier obținut. În aceste situații dozajul uzual de ciment utilizat este de 3,0...6,0 % din masa scheletului mineral uscat;

- cimente cu rezistențe mari (de exemplu din clasa 42,5) nu trebuie utilizate decât în situații speciale (de exemplu când reciclarea se execută la temperaturi scăzute);

- utilizarea unui ciment cu rezistențe mari poate conduce la doze de liant extrem de reduse (2,0...2,5 % din masa scheletului mineral uscat), fapt ce poate să influențeze distribuția uniformă a liantului în materialul reciclat. În acest caz va apărea obligativitatea introducerii cimentului în procesul tehnologic sub formă de soluție, iar timpul necesar desfășurării activității de compactare se va micșora semnificativ;

- cele mai bune cimente pentru realizarea reciclării de straturi rutiere (și în general pentru realizarea de straturi rutiere stabilizate) sunt cele care au un conținut ridicat de adaosuri (puzzolane naturale sau artificiale, respectiv zgură granulată sau de furnal etc., adică tipurile: CEM II, CEM III, CEM IV sau CEM V) și mai puțin cimente Portland (CEM I).

- pe de altă parte, pe lângă avantajele menționate anterior, cimenturile cu puzzolane și/sau zgură sunt recomandate în medii agresive, iar cimenturile cu zgură oferă în plus și o rezistență ridicată la atacul sulfatilor;

- cimenturile cu adaosuri se hidratează încet, fapt care impune luarea măsurilor necesare pentru evitarea evaporării apei din stratul rutier creat (protejarea suprafeței cu o peliculă de bitum rezultată dintr-o emulsie bituminoasă stropită după terminarea compactării). Pe de altă parte, pelicula de liant nu trebuie să fie deteriorată prin circulația de șantier, deci va trebui acoperită cu agregate naturale mărunte;

- există posibilitatea producerii și utilizării de „cimente rutiere speciale”, care conțin, în general, o cantitate redusă de clincher și sunt adaptate sectorului rutier. Acestea sunt mai grosiere decât majoritatea tipurilor de ciment și dezvoltă o priză foarte lentă (începerea prizei se poate produce după mai mult de 10 ore de la preparare).

În România, în afara cimenturilor obișnuite, pentru realizarea reciclărilor se poate utiliza cimentul special pentru drumuri CD 40 sau liantul special DOROPORT TB (produs în trei clase de rezistență: 12,5, 22,5 și 32,5 și cu un timp de începere a prizei de cca 3 ore).

În ceea ce privește emulsiile bituminoase care se pot utiliza pentru realizarea tehnologiilor de reciclare a unor straturi rutiere existente, se disting trei situații particulare, și anume:

- primul caz (numit A, după documentele Asociației Mondiale de Drumuri)

corespunde pentru stabilizarea unor materiale granulare netratate cu lianți (sau când acestea alcătuiesc un strat care se reciclează), deci conduce la obținerea unui balast stabilizat cu emulsie bituminoasă. În acest caz, caracteristicile chimice ale emulsiei bituminoase trebuie stabilite în funcție de conținutul de părți fine din materialul granular și de activitatea acestora. Cele mai recomandate sunt emulsiile bituminoase cationice pentru stabilizări (tabelul 1.5), cu adaptarea tipului de bitum la condițiile climaterice ale regiunii în care se lucrează. Astfel, pentru un trafic redus sau mediu și o climă temperată, se vor utiliza bitumuri tip 70/100 sau 180/220, iar pentru zone foarte reci (de exemplu Scandinavia) se pot folosi bitumuri cu penetrația de până la 400·1/10 mm. De asemenea, în toate situațiile, pot fi folosite și emulsii bituminoase anionice, cu analizarea corectă a adezivității acestora la agregatele naturale disponibile;

- cazul B este tipic pentru operațiile de reciclare la fața locului, la rece, a amestecurilor asfaltice frezate (reconstrucția unui strat de bază sau a unui strat de legătură), cu materiale care au o granulozitate continuă și un conținut redus de părți fine. Emulsiile bituminoase cele mai folosite în acest caz sunt cele cationice cu rupere lentă, realizate cu un bitum cu viscozitate redusă (respectiv cu un agent de regenerare a bitumului vechi);

- cazul C este tipic pentru reciclarea la fața locului a materialelor bituminoase provenite din stratul de uzură. Se pot folosi emulsii bituminoase cationice sau anionice semi-lente, care conțin un procent semnificativ de fluxant (5...10 %).

Caracteristicile emulsiilor bituminoase utilizate în fiecare dintre cazurile menționate anterior sunt prezentate în tabelul 1.5 (după normele Comitetului European de Standardizare), cu observația că emulsiile bituminoase permit nenumărate posibilități de ajustare a caracteristicilor lor funcție de tipul materialului reciclat (adaptarea adezivității și a timpului de rupere).

Tabelul 1.5.

Caracteristica	Normă	Caz		
		A	B	C
Conținut de liant, în %	EN 1428	55...65	60...65	60...70
Indice de rupere, în %	EN 13075-1	> 160	120...180	80...140
Timp de amestecare cu părți fine, în s	EN 13075-2	> 180	> 180	-
Stabilitatea amestecului cu cimentul, în g	EN 12848	≤ 2	-	-
Adezivitatea prin încercarea de imersiune în apă, în %	EN 13614	≥ 75	≥ 75	≥ 75
Liant rezidual în amestec (EN 1431)	Penetrație	EN 1426	Se adaptează la condițiile climaterice și de trafic, respectiv la caracteristicile liantului bituminos din stratul reciclat	
	Punct de înmuiere în bilă	EN 1427		
	Viscozitate	EN 12595		
Conținut de fluxant, în %	EN 1431	0..2	0..2	5...10

Agenții de regenerare din emulsia bituminoasă utilizată sunt destinați echilibrării raportului asfaltene/maltene din liantul bituminos îmbătrânit, cu aducerea acestuia la o anumită ductilitate. Se urmărește reducerea susceptibilității la temperaturi scăzute pentru liantul bituminos din stratul vechi. Liantul de regenerare trebuie să acționeze ca un lubrifian, cu observația că adăugat în proporții ridicate poate compromite stabilitatea noului strat bituminos sau produce exsudarea suprafeței de rulare (dacă acesta este strat de uzură).

Regenerarea liantului din straturile bituminoase vechi este necesară deoarece în timp, sub influența factorilor tehnologici și de exploatare, bitumul își pierde proprietățile sale reologice și se durifică (fig. 1.2).

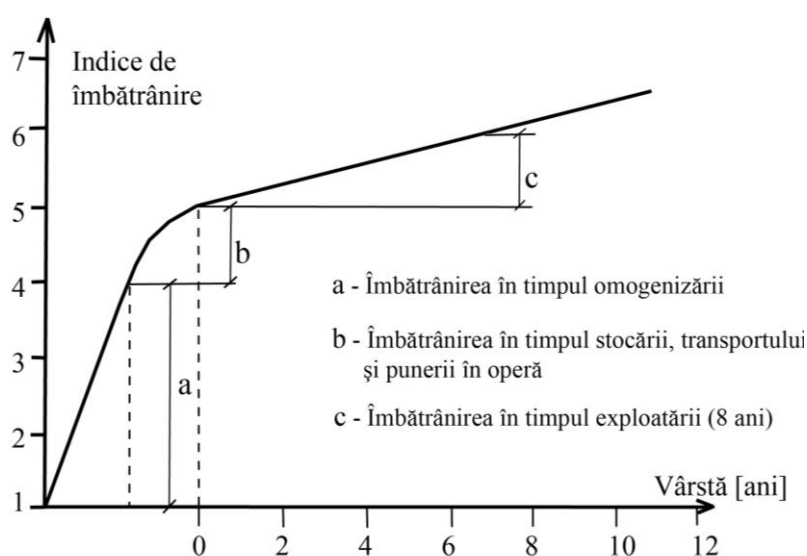


Fig. 1.2. Evoluția îmbătrânirii liantului din straturile bituminoase în timp.

Pentru obținerea regenerării trebuie căutat un bitum compatibil cu bitumul îmbătrânit caracterizat prin proprietățile sale clasice (penetrație, punct de înmuiere înel și bilă și viscozitate la 60 °C). Tipul și dozajul emulsiei bituminoase utilizate la reciclare trebuie să fie astfel stabilite încât să permită corectarea caracteristicilor bitumului din stratul existent.

În urma îmbătrânirii, bitumul din stratul rutier existent poate ajunge la o penetrație de 5...20·1/10 mm, iar pentru reușita operațiilor de reciclare și de regenerare a bitumului vechi trebuie să se cunoască dozajul bitumului vechi și cum poate fi adus la proprietățile necesare liantului din noul strat rutier.

Prin tehnologia de regenerare la cald cele două tipuri de bitumuri se pun în contact la o temperatură ridicată. Se reține faptul că un material vechi cu bitumul având penetrația mai mică de 10·1/10 este dificil de reciclat, iar pentru un bitum cu penetrația mai mare de 30·1/10 nu este utilă folosirea unui regenerant, ci se

amestecă bitumul vechi cu bitum de consistență redusă. Bitumul pentru regenerare se calculează cu ajutorul relației următoare:

$$100 \cdot \log P = a \cdot \log P_1 + b \cdot \log P_2 \quad (1.1)$$

în care:

P este penetrația bitumului regenerat, în 1/10 mm;

P_1 – penetrația bitumului îmbătrânit, în 1/10 mm;

P_2 – penetrația bitumului nou, în 1/10 mm;

a – procentul de bitum vechi, în %;

b – procentul de bitum regenerant, în %.

Relația anterioară se poate aplica și cu înlocuirea penetrației cu punctul de înmuiere inel și bilă. În ambele cazuri suma $a + b = 100$.

La rece, aplicarea acestei legi este limitată și nu poate fi utilizată din următoarele două motive:

- bitumul este rece, cu o temperatură maximă de frezare pe timp de vară de cca 40 °C, fapt care ușurează fenomenele de difuziune, dar cu variații mari;

- numai o peliculă superficială de bitum de pe suprafața granulelor intră în procesul de regenerare (o grosime de 0,1...0,3 mm), chiar după o perioadă de timp îndelungată. Nu se pot calcula astfel exact coeficienții a și b (relația 1.1).

În aceste condiții, se pare că tendința de a utiliza, în materialul reciclat la rece, un dozaj de bitum rezidual provenit în proporție de 2/3 din emulsia bituminoasă de aport și restul de 1/3 din bitumul vechi nu este realistă și se impune creșterea dozajului de bitum nou.

Ca regenerant se utilizează un ulei introdus în emulsia bituminoasă în proporție de 0,1...0,3 % din masa materialului frezat uscat.

Studiile existente demonstrează faptul că regenerarea bitumului vechi și întărirea materialului reciclat durează o perioadă îndelungată de timp (minimum câteva săptămâni). Pe de altă parte, procesele respective sunt facilitate de temperatură, motiv pentru care aplicarea tehnologiei este preferabil să se efectueze vara sau în perioada cea mai caldă a zilei de lucru. În plus, temperatura atmosferică ridicată îmbunătățește lucrabilitatea amestecului și permite obținerea unei bune compactări a stratului rutier reciclat (fig. 1.3), bineînțeles în concordanță cu utilizarea unor compactoare adaptate tehnologiei respective (grele, vibratoare și cu verificarea gradului de compactare).

Emulsia bituminoasă este preferabil să fie realizată cu bitum modificat. Modificarea liantului se poate efectua fie prin adăugarea de polimeri în bitum, înainte de producerea emulsiei, fie prin introducerea de latex în soluția apoasă, în cadrul procesului tehnologic de preparare a emulsiei bituminoase.

Bitumul spumat este un liant bituminos produs la fața locului prin intermediul unor dispozitive speciale atașate malaxorului utilajului care realizează reciclarea.

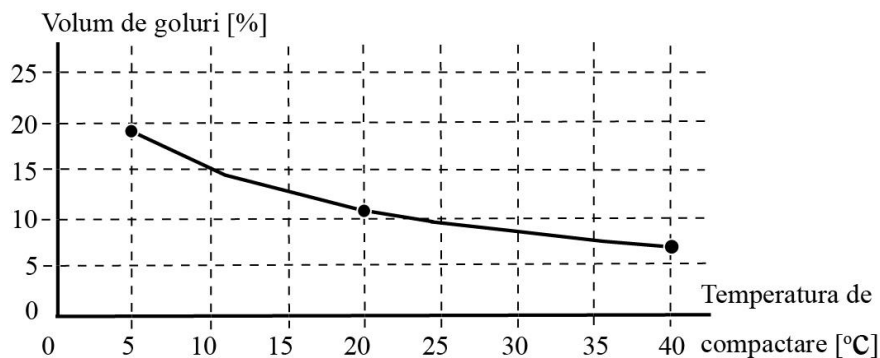


Fig. 1.3. Evoluția volumului de goluri din stratul reciclat cu emulsie, funcție de temperatura atmosferică.

Procesul de preparare a liantului constă, în principiu, în injectarea într-o cameră de expansiune prin bitumul cald (170 °C) a unei mici cantități de apă (cca 2...3 %) și de aer (fig. 1.4). Bitumul spumat este pulverizat apoi direct în malaxorul utilajului cu care se efectuează reciclarea.

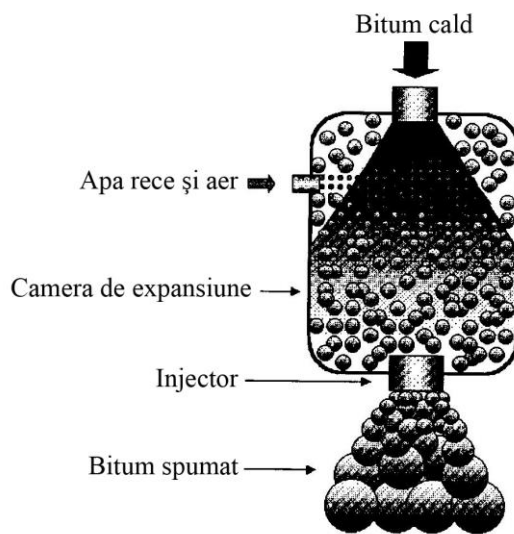


Fig. 1.4. Tehnologia de preparare a bitumului spumat.

Reciclarea straturilor vechi cu bitum spumat are practic aceleași obiective ca și retratarea cu emulsie bituminoasă, iar dozajele de bitum rezidual și grosimea de lucru rămân aceleași. Particularitățile care apar rezultă din modul de introducere în amestec a liantului.

Bitumurile care se folosesc în mod frecvent pentru prepararea bitumului spumat au penetrația de 60...250·1/10 mm, cu o frecvență mai mare a celor cu

penetrația de cca 100·1/10 mm. Bitumurile cu consistență ridicată sunt, de regulă, evitate din considerente legate de colmatarea duzelor de pulverizare și de calitatea mai redusă a spumei de bitum (dispersie mai slabă a bitumului în amestec).

Penetrația nu este singura caracteristică a bitumului care trebuie analizată pentru prepararea bitumului spumat. Astfel, literatura de specialitate menționează alte două caracteristici care trebuie considerate, și anume:

- raportul de expansiune (HEU), definit prin raportarea volumului maxim al spumei la volumul inițial de bitum;

- timpul jumătății perioadei de fluiditate ($\tau_{1/2}$), care este o caracteristică a stabilității bitumului spumat. Reprezintă timpul, în secunde, scurs până când volumul maxim al spumei se diminuează cu jumătate.

Pe de altă parte, factorii care influențează calitatea bitumului spumat sunt numeroși, cei mai importanți fiind cantitatea de apă injectată și temperatura bitumului (fig. 1.5).

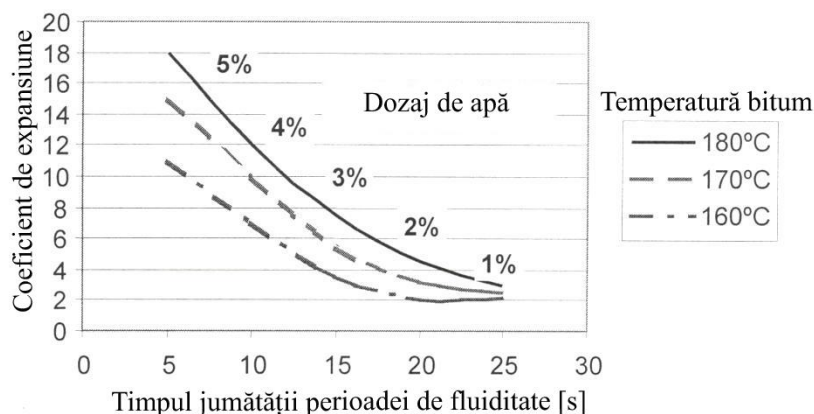


Fig. 1.5. Influența factorilor de compoziție asupra calității bitumului spumat.

Se apreciază că valorile admisibile pentru gradul de expansiune trebuie să fie mai mari de 10 (cu minimum absolut 7), respectiv pentru timpul jumătății perioadei de fluiditate a bitumului spumat de 20...30 s (cu minimum absolut 7 s).

Pentru analizarea calității bitumului spumat cele două caracteristici nu trebuie analizate separat, ci împreună. Astfel, Comitetul tehnic C 7/8 al Asociației Mondiale de Drumuri (AIPCR/PIARC) propune introducerea unui indice al bitumului spumat (FI), definit astfel:

$$FI = \frac{-\tau_{1/2}}{\ln 2} \left(4 - ER_m - 4 \ln \left(\frac{4}{ER_m} \right) \right) + \left(\frac{1+c}{c} \right) ER_m \cdot t_s \quad [-] \quad (1.2)$$

în care:

t_s este timpul de injecție necesar pentru producerea bitumului spumat, în s;
 ER_m – raportul maxim dintre volumul bitumului spumat imediat după terminarea injecției și volumul inițial de bitum;
 $\tau_{1/2}$ – timpul jumătății perioadei de fluiditate, în s;
 c – coeficient determinat pe baza unei diagrame.

Indicele FI se poate determina în condiții de laborator cu o instalație de producere a bitumului spumat. Un indice FI mai mare de 125 este recomandat dacă temperatura agregatelor naturale este de min. 25 °C, respectiv de min. 200 dacă temperatura materialului reciclat este de 10...15 °C. Pentru obținerea acestor caracteristici este necesară utilizarea unui agent de spumare, iar pentru temperaturi mai mici de 10 °C nu se prevede realizarea de lucrări.

2. TEHNOLOGII DE RECICLARE LA RECE

Reciclarea la rece (retratarea) se poate aplica asupra îmbrăcăminților bituminoase vechi, inclusiv cu frezarea unei grosimi a stratului de bază sau stratului superior de fundație realizate din materiale granulare tratate sau nu cu lianți bituminoși. Particularitățile tehnologiilor posibile se conturează, în general, ca urmare a tipului de liant utilizat, și anume: ciment, emulsie bituminoasă, bitum spumat sau un liant compus alcătuit din ciment și un liant bituminos (emulsie bituminoasă sau bitum spumat).

2.1. Reciclarea cu ciment

Reciclarea (retratarea) straturilor rutiere vechi cu ciment urmărește o ranforsare structurală a complexelor rutiere degradate prin crearea unui nou strat de rezistență (de fundație sau de bază) din materialele existente pe o anumită adâncime în structura rutieră existentă (uneori se poate lua în considerare și stabilizarea unei părți a infrastructurii). Grosimea maximă a stratului reciclat poate fi de 30...35 cm și este dată, de regulă, de performanțele utilajului cu care se lucrează, iar grosimea minimă nu trebuie să coboare sub 20 cm, pentru a evita eventualele suprafețe subdimensionate care să fisureze rapid prin oboseală.

În aceste condiții, tehnologia urmărește în principal următoarele obiective:

- transformarea și modificarea caracteristicilor unor straturi rutiere degradate într-un strat cu capacitate portantă omogenă și cu caracteristici mecanice cunoscute, adaptat noilor solicitări;
- sporirea capacității portante a structurii rutiere, în concordanță cu traficul;
- îmbunătățirea durabilității prin creșterea insensibilității la factorii climaterici;
- protejarea infrastructurii sau a straturilor de fundație din complexul rutier ale căror caracteristici sunt uneori inferioare celor prevăzute de norme, prin reducerea tensiunilor și deformațiilor suportate de acestea.

Prin retratarea cu ciment, capacitatea portantă a structurii rutiere noi va fi considerabil îmbunătățită, iar tensiunile și deformațiile relative sub stratul stabilizat vor fi semnificativ reduse. În plus, fâgașele existente pot fi remediate, iar posibilitatea de producere a altora noi este substanțial diminuată, dacă dimensionarea stratului stabilizat este corectă.

Trebuie reținut faptul că reușita reciclării cu ciment este mai puțin legată de condițiile climaterice din timpul lucrului, în raport cu alte tehnologii de reciclare la rece. Se recomandă totuși ca lucrările să se desfășoare la temperaturi atmosferice de min. 2 °C, iar dacă pe timpul nopții se preconizează îngheț la sol, stratul se va proteja cu o folie de polietilenă. De asemenea, trebuie evitat lucrul pe timp de ploaie deoarece se ajunge la modificarea dozajului de apă, cu toate inconvenientele legate de aceasta.

2.1.1. Avantaje și dezavantaje

Reciclarea la rece cu ciment este o tehnologie concurentă cu tehnologiile clasice care prevăd ranforsarea structurilor rutiere existente cu noi straturi (bituminoase, din agregate naturale stabilizate cu lianți sau din beton de ciment). Ambele tipuri de tehnologii au ca obiectiv creșterea capacității portante a structurii rutiere existente, dar prin mijloace și cu costuri diferite.

Înainte de aplicarea uneia dintre cele două tehnologii este indicat să se efectueze un studiu tehnico-economic și de mediu care va lua în considerare:

- costurile totale (execuție, întreținere pe aceeași perioadă de timp considerată, cheltuielile de protecția mediului etc.), inclusiv cele legate de o eventuală supralărgire a părții carosabile sau a consolidării acostamentelor, cu asigurarea funcționării echivalente a celor două soluții tehnice;
- prognozarea rezultatelor care se pot obține prin aplicarea reciclării, cu considerarea calității materialelor frezate și a dozajelor de liant folosite;
- calitatea finală a noii structurii rutiere obținute, considerând modul în care aceasta răspunde solicitărilor din trafic și condiții climaterice;
- ușurința procurării unor materiale rutiere noi și a costurilor acestora;
- problemele legate de asigurarea racordării noii cote a îmbrăcăminților rutiere la lucrările de artă și la accesele laterale (riverani, intersecții etc.).

Pe de altă parte, reciclarea la rece poate fi privită ca o stabilizare la fața locului a unor materiale granulare, deoarece liantul utilizat pentru reciclare modifică caracteristicile fizice și chimice ale materialului frezat, provenit din straturile rutiere. În aceste condiții, principalele avantaje ale tehnologiei sunt:

- utilizează materiale rutiere existente, fără a fi necesar transportul de agregate naturale la fabricile de preparare a amestecurilor și nici al materialelor compozite de la fabrici la locul de punere în operă;
- reutilizează materiale rutiere vechi, poluante, impropriei straturilor rutiere în condițiile tehnice existente și care prin aplicarea unor tehnologii clasice ar trebui, de regulă, înlăturate din corpul drumului;

- uniformizează capacitatea portantă a structurii rutiere și planeitatea suprafeței stratului rutier rezultat;
- permite obținerea unor straturi rutiere cu capacitate portantă semnificativ mai mare decât a unor straturi din materiale granulare, pentru grosimi identice;
- reduce deșeurile provenite din sectorul de construcții rutiere și diminuează volumul de agregate naturale noi care este necesar pentru ranforsarea capacității portante a drumurilor existente, cu toate avantajele de mediu asociate;
- permite reabilitarea separată numai a benzilor de circulație care suportă traficul foarte greu, cu menținerea structurii pe celelalte benzi de circulație;
- permite reducerea costurilor pentru reabilitarea structurilor rutiere degradate;
- permite reducerea deteriorării rețelei de drumuri locale prin considerentul că nu sunt necesare foarte multe materiale rutiere noi de transportat și pus în operă;
- facilitează lărgirile părții carosabile odată cu lucrările de reabilitare, cu eliminarea rosturilor longitudinale dintre structura rutieră veche și cea din casete;
- diminuarea poluării cauzată de circulația diferitelor utilaje în timpul lucrărilor clasice de ranforsare;
- menținerea nemodificată sau apropiată de valoarea inițială a cotei noii îmbrăcămini rutiere, cu avantajele care rezultă din racordarea acesteia la drumurile laterale, accese, lucrări de artă etc.

Principalele dezavantaje ale acestor tehnologii rutiere sunt următoarele:

- o omogenitate mai redusă decât în situația preparării amestecului în fabrici fixe;
- posibila apariție de fisuri longitudinale când benzile adiacente nu sunt corect legate;
- apar, de regulă, fisuri transversale din contracție care în timpul exploatării se transmit prin straturile bituminoase superioare;
- o perioadă de reabilitare mai lungă decât în situația unei simple ranforsări cu straturi bituminoase, fără frezare.

În general, inconveniente legate de aplicarea acestei tehnologii se referă în principal la existența fisurilor din contracție care se transmit în timp, sub efectul traficului și al variațiilor de temperatură, prin straturile bituminoase superioare. Există în schimb suficiente tehnologii de încetinire a transmiterii fisurilor, iar fisurile apărute la nivelul suprafeței de rulare, dacă sunt tratate corespunzător (colmatate), nu creează nici un fel de probleme structurale și nu afectează confortul sau siguranța circulației rutiere.

2.1.2. Studiul structurii rutiere existente

Pentru stabilirea particularităților tehnologiei de reciclare cu ciment este obligatoriu de realizat un studiu aprofundat asupra situației existente de pe sectorul de drum care urmează să fie tratat.

În primul rând, proiectantul trebuie să se documenteze cu privire la

totalitatea lucrărilor realizate pe sectorul respectiv de drum, pe cât posibil utilizând băncile de date tehnice ale administratorului (anul modernizării, tipurile de straturi și grosimile acestora, lucrările de întreținere efectuate, starea tehnică, caracteristicile materialelor din straturile actuale etc.). Aceasta permite, în final, reducerea numărului de carote prelevate din structura rutieră existentă, cu condiția ca informațiile obținute să confirme datele furnizate de administrator, precum și împărțirea lungimii de drum considerate în sectoare omogene (din punct de vedere al realizării lucrărilor de reciclare). Din păcate, datele existente la administratorul drumului fie sunt eronate sau insuficiente, fie lipsesc în totalitate, motiv pentru care proiectantul trebuie să efectueze numărul de sondaje menționat anterior.

Etașa următoare este legată de revizia vizuală a stării structurale, cu evaluarea defecțiunilor existente. Se urmăresc în special următoarele:

- evaluarea gravității, extinderii și cauzelor care stau la baza defecțiunilor;
- separarea sectoarelor pe care se evidențiază același tip de defecțiuni, aceeași stare de degradare și care au un aspect asemănător;
- evidențierea sectoarelor care au nevoie de o rectificare a nivelmentului sau de o lărgire a părții carosabile;
- determinarea eventualelor probleme legate de existența bordurilor, căminelor de vizitare, gurilor de scurgere, acceselor sau intersecțiilor etc.;
- determinarea suprafețelor cu defecțiuni extrem de grave (burdușiri, cedări, degradări din îngheț-dezgheț etc.) care vor trebui tratate separat și refăcute structural înainte de realizarea reciclării;
- determinarea problemelor structurale care țin de capacitatea portantă a terenul de fundare și de drenarea apelor subterane, care la rândul lor vor trebui abordate înaintea reciclării;
- determinarea problemelor legate de gabarit.

În situația unei eterogenități ridicate și a lipsei bazei de date tehnice rutiere, pentru culegerea informațiilor legate de starea tehnică a îmbrăcăminteii rutiere se poate recurge la un echipament de investigație performant (radar), care va permite obținerea în mod continuu a datelor, deplasându-se cu o viteză de 60...80 km/h (fig. 2.1). Aparatul nu scutește proiectantul de efectuarea sondajelor în structura rutieră deoarece nu permite furnizarea de informații legate de grosimea și alternanța straturilor din structura rutieră.

De asemenea, se impune culegerea tuturor informațiilor disponibile despre existența unor utilități subterane (în special cele situate la o adâncime mai mică de 15 cm față de cota la care se prevede a se ajunge cu operația de frezare).

În cadrul acestei etape de studii de teren este recomandabil să se efectueze și carote în structura rutieră pentru verificarea naturii și grosimii straturilor existente (pentru verificarea eventualelor date furnizate de către administrator). În caz contrar, se va proceda la efectuarea numărului de sondaje necesar astfel încât să se obțină sectoarele omogene pentru aplicarea reciclării.



Fig. 2.1. Radar pentru investigarea stării suprafeței de rulare.

Probele obținute din carote sau prin frezare (așa cum s-a descris în paragraful 5.2.1) trebuie analizate în laborator conform principiilor generale descrise la pct. 5.2.2.

Pentru asigurarea unei calități adecvate în cazul reciclării cu ciment se impune efectuarea unor încercări suplimentare, și anume:

- determinarea caracteristicilor de compactare Proctor modificat (ρ_{dmax} și w_{opt}) pentru fiecare dozaj de ciment considerat;

- determinarea umidității în stare naturală a materialului care urmează să fie reciclat (se poate stabili apa de aport pentru a se ajunge la umiditatea optimă de compactare);

- determinarea dacă materialul care urmează să fie tratat conține produși care împiedică sau reduc priza cimentului. Este vorba de sulfați (ghipsuri), sulfuri (pirite) și materiale organice. Conform normelor românești, pentru agregate naturale stabilizate cu ciment, se acceptă un echivalent de nisip de min. 30 %, un indice de plasticitate de max. 10 % și un conținut de materiale organice și humus de max. 4 %;

- determinarea cantității și a reactivității părților fine din materialul de tratat, utilizând fie valoarea indicelui de plasticitate fie valoarea de albastru de metil. În cazul unor materiale contaminate se poate apela la utilizarea varului pentru neutralizarea efectului negativ al argilei. Soluția optimă se va stabili doar prin încercări de laborator.

Totalitatea analizelor de laborator descrise, cumulate cu cele de la pct. 5.2.2 (determinarea granulozității, verificarea funcției de o zonă de granulozitate prescrisă și corectarea acesteia cu materiale de aport), trebuie să permită adaptarea tipului și dozajului la caracteristicile materialului care va fi reciclat.

Defecțiunile structurale ale vechii structuri rutiere trebuie reparate cu

tehnologii adecvate, cu eliminarea cauzelor care le-au produs. Se reține faptul că pierderea locală a capacității portante a structurii rutiere se datorează în majoritatea cazurilor alterării capacității portante a terenului de fundare (ca urmare a unei drenări defectuoase a apelor subterane). Se impune deci luarea măsurilor de decapare a întregului complex rutier, asanarea zonei drumului cu captarea și drenarea apelor subterane și refacerea terenului de fundare și a structurii de rezistență cu materiale corespunzătoare, până la nivelul îmbrăcămintei existente.

Studiile de teren care se efectuează trebuie să analizeze inclusiv starea acostamentelor, mai ales în situația în care se urmărește consolidarea acestora, lărgirea părții carosabile sau realizarea de benzi de încadrare. Este necesară prelevarea de probe pentru încercări de laborator și de pe suprafața acostamentelor, mai ales în situațiile în care acostamentele sunt realizate din materiale granulare sau au în componență diferite straturi rutiere.

În general, pentru lărgiri ale părții carosabile (realizarea benzilor de încadrare) sau pentru consolidarea acostamentelor este recomandat ca materialul existent să fie decapat pe o adâncime corespunzătoare, cu realizarea în casete a unor straturi rutiere de fundație din materiale granulare (dimensionate corespunzător pentru a avea aceeași capacitate portantă ca și vechea structură de rezistență). În final, reciclarea se va executa pe întreaga lățime, cu eliminarea rostului dintre vechea și noua structură rutieră. Obiectivul unei astfel de soluții este de a se uniformiza pe cât posibil capacitatea portantă la nivelul stratului reciclat atât în profil longitudinal, cât și transversal.

2.1.3. Determinarea dozajelor

Dozajele de lucru trebuie să rezulte în urma unor studii de laborator care să ia în considerare amestecul real de material rezultat din frezarea straturilor rutiere vechi și materialele pietroase de aport, pe baza principiilor enunțate anterior.

Materialul granular de aport poate fi adăugat pentru corectarea granulozității materialului frezat sau pentru obținerea grosimii dorite a stratului final. Adăugarea lui se efectuează prin așternere uniformă și continuă pe îmbrăcămintea care se retratează. Dacă se constată că granulozitatea scheletului mineral obținut prin frezare este prea grosieră se poate încerca varianta diminuării vitezei de înaintare a frezei, cu scopul fragmentării mai pronunțate a materialului existent în straturile care se reciclează.

Pe de altă parte, materialul obținut prin frezarea straturilor rutiere existente poate conține elemente grosiere (mai mari de 80...100 mm), care vor trebui înlăturate manual sau cu ajutorul unor utilaje speciale.

Scopul final urmărit este de a crea pentru materialul care se reciclează o granulozitate continuă, care să se înscrie într-o zonă de granulozitate bine determinată, respectiv de a se înlătura din amestec fragmentele cu dimensiunea mai mare decât o anumită valoare. Astfel, conform normelor românești, pentru agregatele naturale stabilizate cu ciment, curba de granulozitate recomandată este

cea din fig. 2.2, cu un coeficient de neuniformitate de min. 8 %, iar dimensiunea maximă a granulei din amestec este de 63 mm.

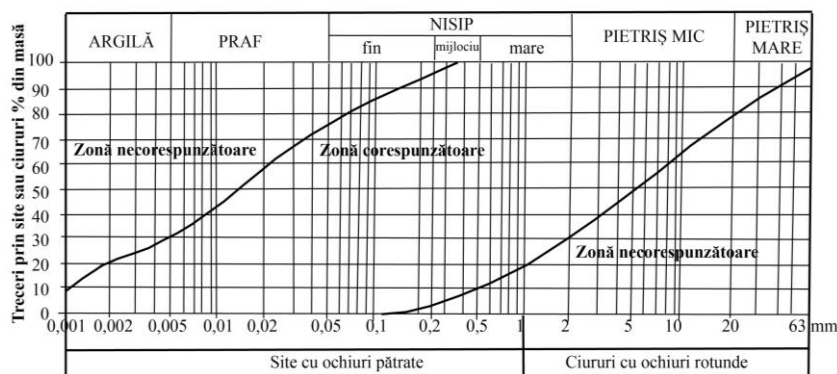


Fig. 2.2. Zona de granulozitate pentru agregatele naturale stabilizate cu ciment.

Unele norme europene recomandă pentru straturi de fundație stabilizate cu ciment utilizarea unei granulozități a scheletului mineral adoptată după curba lui Tabot, și anume:

$$P = 100 \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^{0,4} \quad [\%] \quad (2.1)$$

în care:

- P este procentul de granule care trec prin sita de dimensiune d, în %;
- D – dimensiunea maximă a granulelor acceptate în amestec;
- d – dimensiunea sitei considerate din seria standardizată, în mm.

Dozajul de apă se va stabili pe baza umidității reale a amestecului care se reciclează și a umidității optime de compactare. Umiditatea materialelor stabilizate cu ciment are o deosebită importanță atât pentru obținerea unor caracteristici de compactare corespunzătoare, cât și a unor rezistențe mecanice prevăzute. În toate situațiile (laborator sau teren), gradul de compactare care se obține trebuie să fie de min. 98 %.

Dozajul de ciment utilizat este, în general, de 3..6 % din masa materialului uscat, urmărindu-se obținerea unei rezistențe la compresiune la șapte zile de 2,5 MPa. Această valoare este puțin mai mică decât cea prevăzută pentru straturile de fundație noi stabilizate cu ciment pentru care se prevede o rezistență la compresiune la șapte zile de 3,0 MPa (pentru România vezi tabelul 2.2). Pe de altă parte, trebuie reținut faptul că în cazul lucrărilor de reciclare nu se poate obține aceeași uniformitate a materialelor utilizate ca și în cazul unor agregate naturale stabilizate cu ciment. În concluzie, se impun valori admisibile mai ridicate pentru a se putea acoperi și anumite eterogenități care pot să apară la realizarea straturilor reciclate. Unele studii arată că pentru obținerea unor caracteristici ale stratului

reciclat apropiate de ale unui strat din agregate naturale stabilizate cu ciment ar trebui utilizat un dozaj de ciment de 4,5...6,0 % din masa materialului reciclat uscat.

De asemenea, se impune verificarea și a altor caracteristici fizico-mecanice ale materialului rezultat prin reciclare (vezi cap. 2). De exemplu, modulii de elasticitate obținuți pentru diferite situații de reciclare de către specialiștii francezi, la un an de la execuție, sunt prezentați în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1.

Caracteristici ale reciclării		Modul de elasticitate, MPa
Material de reciclat	Execuție	
Schelet mineral de bună calitate și cu granulozitate omogenă	Utilaje performante	20 000
Alte cazuri	Utilaje performante	16 000
Schelet mineral de bună calitate și cu granulozitate omogenă	Alte cazuri	16 000
Alte cazuri	Alte cazuri	11 000

Se constată o influență importantă atât a calității materialului care se reciclează, cât și a performanțelor utilajelor utilizate (mod de răspândire a liantului, caracteristicile utilajului de frezare și omogenizare, caracteristicile compactoarelor etc.). Oricum valorile rămân inferioare celor ale agregatelor naturale stabilizate cu ciment (vezi pct. 2.11.1).

Pe de altă parte, determinări efectuate pe carote prelevate din straturi reciclate cu ciment, la o vârstă a stratului de 1...2 ani, au condus la obținerea unor valori ale rezistenței la întindere de 0,4...2,0 MPa, respectiv a unor moduli de elasticitate de 3 500...37 000 MPa, care pun în evidență încă o dată că astfel de lucrări conduc și la oarecare eterogenitate a rezultatelor obținute.

Experiența acumulată în acest domeniu este încă redusă atât în țara noastră, cât și pe plan internațional, motiv pentru care încă nu sunt conturate anumite relații între rezistențele mecanice ale materialelor reciclate (rezistență la compresiune, rezistență la întindere etc.).

Se impune, de asemenea, continuarea cercetărilor privind influența conținutului de mixturi asfaltice frezate din materialul care se reciclează asupra rezistențelor mecanice și modulului de elasticitate. Informațiile disponibile până în prezent arată că pentru un conținut de materiale bituminoase mai mic de 50 % în amestecul care se reciclează nu se obține o reducere a rezistenței la întindere, chiar dacă modulul de elasticitate se micșorează. Acest fenomen este favorabil pentru diminuarea fisurării din contracție, dar rezultatele nu pot fi considerate deocamdată certe.

2.1.4. Dimensionarea stratului reciclat cu ciment

Dimensionarea stratului reciclat cu ciment implică calcularea grosimii acestuia și a straturilor bituminoase superioare, funcție de caracteristicile materialelor utilizate. Pentru aceasta trebuie cunoscute caracteristicile de dimensionare ale materialelor și adoptată o metodă de dimensionare corespunzătoare (de regulă metodă rațională de dimensionare).

Calculul de dimensionare a unei astfel de soluții tehnice nu ia în considerare deformabilitatea inițială a complexului rutier deoarece prin reciclarea cu ciment se obține o modificare generală a capacității portante a structurii rutiere existente. Totuși, dacă există suspiciuni în ceea ce privește capacitatea portantă a straturilor inferioare de fundație sau a terenului de fundare trebuie efectuate în prealabil măsurători de capacitate portantă (de exemplu cu deflectometre cu sarcină dinamică) și identificate măsurile tehnice care trebuie aplicate înainte de efectuarea reciclării sau renunțarea la această tehnologie și adoptarea reconstrucției totale a structurii de rezistență. Se apreciază că la baza stratului reciclat capacitatea portantă trebuie să fie cel puțin cea corespunzătoare unui indice CBR de 20 %.

Rezultatele publicate până în prezent pe plan internațional arată că alura curbei de oboseală a materialelor obținute prin reciclarea cu ciment este asemănătoare cu cea obținută pentru agregate naturale stabilizate cu ciment (pantă redusă, cu avantajele și dezavantajele descrise la punctul 2.11.3). Pentru a evita condițiile de subdimensionare apărute ca urmare a eterogenității de grosime și calitate a materialelor reciclate se recomandă ca grosimea stratului reciclat cu ciment să nu fie mai mică de 20 cm (se intenționează evitarea unor cedări prin oboseală premature ale stratului reciclat).

Legea de oboseală a acestor materiale este de forma următoare:

$$\sigma / \sigma_0 = 1 - (1/a) \cdot \log N \quad [\%] \quad (2.2)$$

în care:

σ este tensiunea de întindere la care se produce ruperea epruvetei după un număr de cicluri N , în MPa;

σ_0 – tensiunea de întindere de rupere la o singură încărcare, în MPa;

a – coeficient cu valoarea de 12...16;

N – numărul de cicluri de solicitare.

Traficul luat în considerare pentru calculul straturilor reciclate cu ciment este mult mai ușor de prognozat decât pentru situația unor drumuri noi și se obține ca rezultat al recensămintelor de circulație. Pentru calculul stratului reciclat, funcție de metoda utilizată, traficul poate fi considerat în următoarele variante:

- media zilnică anuală a vehiculelor grele pe parcursul primului an după reabilitare;

- numărul cumulat de vehicule grele care urmează să solicite structura pe durata de exploatare prognozată;

- numărul cumulat de osii standard echivalente (variantă adoptată și în

metoda de dimensionare a straturilor de ranforsare din România, vezi cap. 9).

În situația în care nu există date de recensământ, se poate proceda la efectuarea unui studiu de trafic înainte de realizarea lucrărilor de reabilitare care implică un strat obținut prin reciclare la rece.

Pentru dimensionare este necesară cunoașterea modulului de elasticitate (implicat și coeficientul Poisson). S-a văzut că aceste valori, la un an de la execuție, variază în limite foarte largi (cca 10 000...20 000 MPa), funcție de omogenitatea materialului stabilizat, conținutul de mixturi asfaltice frezate, tipul utilajelor utilizate, dozajul de ciment etc. (vezi tabelul 2.1). Astfel, pentru materiale reciclate de tip granular de bună calitate și cu un conținut de mixturi asfaltice frezate de max. 10 % se poate face asimilarea stratului reciclat cu un strat din agregate naturale stabilizate cu ciment (modul de elasticitate de 20 000 MPa). În cazul unor materiale contaminate cu argilă, calitatea stratului rutier obținut tinde spre caracteristicile unui nisip stabilizat cu ciment (moduli de elasticitate după reciclare de 6 000...10 000 MPa). Coeficientul Poisson considerat în mod uzual este 0,25.

Există preocupări ca pe baza studiilor și observațiilor efectuate asupra tehnologiei de reciclare cu ciment să se întocmească cataloage de dimensionare. Este cazul specialiștilor spanioli care propun adoptarea grosimii stratului reciclat cu ciment în conformitate cu factorii considerați în tabelul 2.2

Tabelul 2.2.

Media zilnică de osii standard de 130 kN ¹⁾	Grosime strat reciclat cu ciment, în cm	Grosime îmbrăcăminte bituminoasă, în cm
800...2 000	35	15
400...800	35	12
200...400	30	12
100...200	25	12
50...100	25	10
25...50	22	8
12...25	20	5
Sub 12	20	Tratament bituminos dublu

¹⁾ Pe banda de circulație care se dimensionează, în primul an de exploatare

În general, pentru calculul straturilor reciclate cu ciment trebuie avut în vedere faptul că, cel mai adesea în exploatare, se obțin caracteristici mai apropiate de ale unui nisip stabilizat cu ciment decât ale unor agregate naturale stabilizate cu ciment. Din acest motiv, tehnologia este în primul rând recomandată pentru drumuri cu trafic redus sau mediu, dar cu posibilități de aplicare și pe drumuri cu trafic foarte greu, dacă grosimea straturilor bituminoase este corect adaptată situației.

2.1.5. Execuția lucrărilor de reciclare cu ciment

Realizarea lucrărilor cuprinde, în principal, următoarele operații tehnologice: pregătirea suprafeței (realizarea lărgirilor, curățarea, adaosul de agregate naturale de aport, scarificarea structurii existente pe grosimea de reciclare etc.), răspândirea liantului, adăugarea apei, omogenizarea, realizarea rosturilor transversale pentru împiedicarea fisurării din contracție, precompactarea, rectificarea profilului transversal, compactarea finală și protecția suprafeței. Unele dintre acestea pot să lipsească dintr-un anumit lanț tehnologic, funcție de condițiile locale existente.

2.1.5.1. Pregătirea suprafeței

Înainte de efectuarea reciclării propriu-zise toate defecțiunile care evidențiază pierderi de capacitate portantă în complexul rutier existent trebuie reparate, iar cauzele care au condus la apariția acestora înlăturate. În paralel, se realizează toate lucrările necesare de lărgire a părții carosabile existente, cu asigurarea unei capacități portante egale la nivelul inițial al suprafeței de rulare.

Funcție de caracteristicile materialelor care se reciclează și de utilajele disponibile, înainte de realizarea dozării liantului și apei, mai pot fi necesare următoarele lucrări:

- scarificarea straturilor existente pe grosimea pe care se efectuează lucrările de reciclare, activitate care se poate realiza cu un autogreder, freză, buldozer cu scarificator etc. (fig. 2.3);
- eliminarea bolovanilor sau fragmentelor de material mai mari de 80 mm, activitate care se poate realiza manual sau cu utilaje agricole. Dacă elementele grosiere sunt într-o cantitate semnificativă se poate apela la un concasor fix sau mobil;
- nivelarea materialelor scarificate, concasate etc. din straturile rutiere existente;
- adăugarea materialelor granulare de aport (pentru creșterea grosimii stratului reciclat, pentru corectarea granulozității sau pentru asigurarea planeității din profil longitudinal și transversal), dacă sunt necesare în situația concretă considerată.

În fig. 2.4 se prezintă un exemplu de răspândire a agregatelor naturale pentru creșterea grosimii stratului reciclat pe un drum cu trafic redus.

Grosimea finală a stratului reciclat cu ciment nu trebuie să depășească 35 cm, datorită condițiilor de realizare a gradului de compactare corespunzător la baza stratului.

2.1.5.2. Dozarea apei și cimentului

Apa se stropește în mod frecvent cu ajutorul unui autostropitor, cu dozarea corectă pentru obținerea în cadrul materialului reciclat a umidității optime de compactare Proctor modificat. Pentru reglarea dozajului de apă se iau în

considerare toți factorii care intervin (umiditatea inițială a amestecului care se reciclează, umiditatea optimă de compactare, cantitatea de apă care se evaporă în timpul procesului tehnologic, eventuala cantitate de apă introdusă în amestec prin apa de ciment, dacă cimentul se dozează în soluție apoasă). Rezultă că dozajul de apă trebuie ajustat zilnic de laboratorul de șantier, funcție de condițiile climaterice (temperatură atmosferică, ploaie, vânt etc.).



Fig. 2.3. Frezarea straturilor asupra cărora se va realiza reciclarea.



Fig. 2.4. Aport de agregat natural pentru creșterea grosimii stratului reciclat.

Dozarea cimentului se realizează cu utilaje specifice care permit fie răspândirea liantului în mod continuu și uniform pe suprafața de tratat înaintea reciclatorului (fig. 2.5), fie prin introducerea cimentului prin intermediul unei ape de ciment direct în malaxorul utilajului de reciclat (fig. 2.6).



Fig. 2.5. Răspândirea cimentului în pulbere.



Fig. 2.6. Răspândirea liantului în soluție apoasă.

Dozatoarele de ciment în pulbere sunt dotate cu un buncăr de ciment și un sistem de dozare a liantului care poate fi dependent sau independent de viteza de înaintare. Utilajul trebuie astfel pregătit încât poluarea atmosferică să fie minimă.

Dozatoarele care asigură prepararea apei de ciment sunt dotate cu un buncăr de ciment, un rezervor de apă și un malaxor pentru prepararea apei de ciment, respectiv un dozator gravimetric pentru ciment, un dozator volumetric

pentru apă și o pompă pentru introducerea amestecului la nivelul malaxorului reciclatorului. Cantitatea de apă suplimentară, conform dozajului, se poate introduce la nivelul malaxorului prin intermediul unei cisterne de apă care se deplasează în același timp cu utilajul de reciclare și cu dozatorul de apă de ciment.

Avantajele tehnologiei de dozare a cimentului în soluție apoasă sunt:

- posibilitatea aplicării tehnologiei în condiții atmosferice vitrege (vânt, ploaie slabă);

- precizia ridicată a dozării cimentului și apei (se pot urmări electronic);

- omogenizarea mai bună a amestecului care se reciclează;

- funcționarea continuă a reciclării, cu prepararea directă a apei de ciment;

- evitarea poluării cu praf sau cu ciment;

- diminuarea timpilor de întrerupere pentru schimbarea sau alimentarea dozatoarelor de ciment în pulbere.

Totuși, aplicarea acestei tehnologii poate ridica probleme în situația în care amestecul de retratat are umiditatea mai mare decât umiditatea optimă de compactare. În acest caz se impune scarificarea materialelor pentru reciclare și uscarea lor parțială înaintea reciclării.

Pentru suprafețe mici sau înguste (platforme, largiri etc.) dozarea cimentului se poate efectua manual prin împărțirea îmbrăcăminte de tratat în suprafețe regulate. Această împărțire este astfel efectuată încât suprafețele să fie egale și să corespundă, în conformitate cu dozajul de liant calculat, cantității de ciment conținută de un sac. Se continuă cu împrăștierea liantului uniform în interiorul suprafețelor respective și cu realizarea reciclării.

2.1.5.3. Omogenizarea componentelor

Primele tehnologii de tipul celor de reciclare au constat în stabilizarea pământurilor pentru terasamente sau straturi de formă, folosind utilaje de tipul celor agricole. Pornind de la acest principiu, reciclatoarele s-au dezvoltat permanent, ajungând în prezent la o varietate largă, adaptate la toate categoriile de drumuri și toate tipurile de structuri rutiere.

O primă categorie de reciclatoare, similară cu utilajele folosite la stabilizarea pământurilor, se caracterizează prin faptul că au ca element de lucru un tambur rotativ, cu un anumit număr de dinți care, în interiorul unei camere de omogenizare, asigură fragmentarea și amestecarea pământului cu liantul și apa. Fragmentarea se face prin ridicarea materialului spre incinta camerei de omogenizare, în timp ce o frezare spre material ar conduce la obținerea unui procent mai redus de fragmente grosiere, dar și a unei viteze de înaintare mai mici.

Dozarea cimentului se face, de regulă, în soluție apoasă, în paralel cu dozarea apei, printr-un sistem de pompe care aduc componentii respectivi în camera de omogenizare prin intermediul unor furtunuri flexibile (fig. 2.6). După omogenizare, amestecul este scos, ca urmare a înaintării utilajului, prin partea din spate a mașinii.

Ca principiu general, frezele utilizate pentru reciclarea straturilor rutiere existente se caracterizează printr-un număr de dinți mai mare pentru a asigura o omogenizare mai bună (fig. 2.7) decât cele folosite pentru tratarea pământurilor (cca jumătate sau o treime din cei folosiți în primul caz). De asemenea, pentru reciclare se utilizează, în mod frecvent, freze cu dinții dispuși sub formă elicoidală, în timp ce pentru stabilizarea pământurilor dinții sunt dreupți sau în formă de L. Totuși, există constructori de utilaje care propun același tip de utilaj pentru ambele activități.

Reciclatoarele din această gamă sunt extrem de variate, dispunând de o putere de 300...1 200 CP și putând realiza reciclarea pe o lățime de 2,0...4,5 m și o adâncime de până la 40 cm.

Pe de altă parte, utilajele respective pot dispune sau nu de următoarele dotări și facilități:

- o incintă a frezei reglabilă pe înălțime, ceea ce permite modificarea volumului malaxorului, funcție de adâncimea de reciclare;
- un control electronic al adâncimii de reciclare;
- o posibilă înclinare a frezei funcție de panta transversală a drumului;
- controlul automat al dozajului de apă și de ciment;
- controlul puterii combinei pentru a adapta viteza în scopul obținerii unui randament optim.



Fig. 2.3. Freză pentru reciclare.



Fig. 2.8. Reciclator dezvoltat din raboteză.

Alte tipuri de utilaje care se pot utiliza pentru reciclarea cu ciment sunt:

- reciclator care are la bază un utilaj de tip raboteză (fig. 2.8). Utilajul permite fragmentarea materialului, înlăturarea elementelor grosiere printr-o grindă amplasată în fața compartimentului de malaxare, omogenizarea scheletului mineral obținut cu apă și ciment (eventual apă, ciment și emulsie bituminoasă) și așternerea amestecului rezultat în cordon. În spatele utilajului există un dozator reglabil pe înălțime care permite răspândirea materialului în fața unei grinzi telescopice vibratoare ce precompactează stratul rezultat. Pentru reciclarea cu ciment utilajele de acest tip au o putere de cca 600 CP, cu o lățime de lucru de cca 2,00 m și cu o

adâncime de fragmentare de până la 40 cm;

- utilaje care dispun de un rotor separat pentru fragmentarea materialelor din straturile rutiere, urmând ca omogenizarea componentilor să se efectueze într-un al doilea compartiment care dispune de un tambur cu palete. Materialul omogenizat este distribuit printr-o trapă situată în spatele utilajului;

- utilaje care dispun în plus față de freza pentru fragmentare și de un concasor care permite mărunțirea materialului dislocat din straturile rutiere vechi până la dimensiuni de max. 50 mm, înainte de pătrunderea scheletului mineral într-un malaxor cu două axuri;

- alte utilaje care au drept scop creșterea randamentului. Acestea sunt dotate cu un malaxor care omogenizează materialul de reciclat, în prealabil frezat cu un alt utilaj (fig. 2.3). Aceste utilaje, efectuând doar omogenizarea, pot să lucreze pe lățimi mai mari (3,00...4,75 m sau chiar până la 5,75 m) și permit reciclarea numai cu ciment sau cu ciment și emulsie bituminoasă. De asemenea, ele pot avea un buncăr pentru sortul de agregat natural cu care se poate corecta granulozitatea. Omogenizarea se efectuează într-un malaxor cu două axuri longitudinale cu palete, care se rotesc în sens contrar, urmând ca punerea în operă să se realizeze prin intermediul unei grinzi vibratoare, care asigură și precompactarea.

2.1.5.4. Compactarea și finisarea suprafeței

Trebuie reținut faptul că înainte de începerea compactării sau după finalizarea acesteia (funcție de tehnologia de preîntâmpinare a transmiterii fisurilor din contracție aleasă) este recomandat ca între stratul reciclat cu ciment și straturile superioare bituminoase să se aplice o soluție antifisuri (vezi cap. 9).

Reușita lucrărilor de reciclare ca și a celor de realizare a straturilor rutiere din agregate naturale stabilizate cu ciment depinde semnificativ de operația de compactare (vezi pct. 2.11.4).

Pentru obținerea unei densități corespunzătoare pe toată grosimea stratului (inclusiv la baza acestuia) și, implicit, pentru obținerea unei comportări corespunzătoare a stratului reciclat la oboseală, trebuie să se dispună de compactoare grele și foarte grele (compactoare vibratoare, compactoare cu pneuri sau compactoare mixte). Se recomandă ca sarcina liniară statică exprimată în N/cm de rulo vibrant să fie în concordanță cu grosimea stratului compactat (tabelul 2.3).

Tabelul 2.3.

Tipul compactorului vibrator	Sarcina statică raportată la lungimea ruloului, în N/cm	Grosimea recomandată a stratului retratat, în cm
Ușor	100...200	10...15
Mediu	200...400	15...25
Greu	Peste 400	25...35

Cele mai utilizate compactoare pentru situația analizată sunt compactoarele vibratoare (unul sau ambele rulouri vibratoare) sau mixte (un rulo vibrator și o osie cu pneuri, cele două osii fiind legate printr-o articulație).

Cu cât materialul de compactat este mai curat și cu conținut de argilă mai redus, cu atât este mai eficientă compactarea stratului cu compactoare vibratoare, respectiv se poate crește grosimea stratului cu obținerea unui grad de compactare corespunzător. Conform tabelului 2.3 rezultă necesitatea utilizării unor compactoare vibratoare grele care să asigure compactarea unor straturi mai groase de 20 cm (condiție impusă, de regulă, straturilor reciclate cu ciment).

Pe de altă parte, utilizarea unor astfel de compactoare poate conduce la o compactare necorespunzătoare a părții superioare a stratului reciclat, fenomen care se observă prin apariția de fisuri fine la nivelul suprafeței. Metoda de corectare a unei astfel de compactări deficitare constă în utilizarea unui compactor cu pneuri tractat (cu sarcina de 300...1 000 kN, cu una sau două osii cu pneuri) sau autopropulsat (cu sarcina de 100...400 kN, având 7...9 pneuri astfel configurate încât să asigure compactarea întregii lățimi a suprafeței). Compactarea eficientă în adâncime a straturilor stabilizate cu ciment depinde de sarcina pe pneu și de presiunea de umflare a acestuia. Pentru straturi reciclate cu ciment se folosește o sarcină pe roată de min. 30 kN și o presiune de umflare de min. 0,7 MPa.

Pornind de la constatările menționate anterior, în general, se recomandă utilizarea unui atelier de compactare alcătuit dintr-un compactor cu pneuri și unul cu un rulo vibrator (fig. 2.9), chiar dacă se întâlnesc și situații în care se folosesc compactoare cu două rulouri vibratoare.



Fig. 2.9. Atelier de compactare.



Fig. 2.10. Nivelarea stratului reciclat.

Operația de compactare trebuie să se efectueze cât mai repede după prepararea amestecului deoarece:

- se urmărește evitarea evaporării apei, fenomen care este cu atât mai rapid cu cât stratul este mai afânat și condițiile atmosferice mai vitrege (soare, vânt etc.);
- timpul până la care se manifestă tendința de întărire a materialului reciclat este destul de scurt (2...3 ore, funcție de temperatura atmosferică și tipul cimentului). În plus, se va urmări obținerea unor condiții de lucru prin care

materialul reciclat de pe o bandă de circulație să nu înceapă să se întărească înainte ca reciclarea pe cealaltă bandă să fie terminată (inclusiv compactarea stratului).

După precompactarea stratului reciclat pe o bandă de circulație (obținerea unui grad de compactare de 90...92 %) se recomandă nivelarea suprafeței obținute cu un autogreder, în scopul obținerii pantelor transversale proiectate (fig. 2.10).

În final se procedează la finalizarea compactării. Se va urmări obținerea unui grad de compactare de 100 %, cu o medie pe întreaga grosime a stratului reciclat de min. 97 %.

În toate situațiile, se recomandă ca înainte de începerea lucrărilor să se efectueze un sector experimental. Această activitate permite corectarea tehnologiei de compactare (tipuri de compactoare și număr de treceri pentru fiecare compactor, grosimea), respectiv determinarea influenței umidității materialului, stabilirea necesității folosirii unui întârziator de priză, testarea tehnologiei antifisuri etc.

2.1.5.5. Protecția suprafeței

Protecția și tratarea ulterioară a stratului obținut prin reciclare cu ciment trebuie să urmărească reducerea pierderii de apă din acesta, precum și protejarea împotriva condițiilor climaterice și a traficului. Tehnologia cea mai frecventă care se utilizează pentru protecție constă în stropirea uniformă și continuă a unei pelicule de emulsie bituminoasă cationică. Emulsia bituminoasă stropită urmărește utilizarea unei cantități de 600 g/m² bitum rezidual.

Dacă pe stratul reciclat urmează să se circule imediat după execuție, atunci pelicula bituminoasă se va acoperi cu pietriș curat 4-8 cu un dozaj de 4...6 L/m². Deschiderea circulației de șantier se poate face după ruperea emulsiei bituminoase, dar cu viteze reduse pentru a se preveni desgrădarea stratului reciclat, chiar dacă soluția optimă este cea în care stratul nu este solicitat de traficul de șantier pe o durată de minimum șapte zile după execuție (timp necesar creșterii rezistențelor mecanice și formării fisurilor de contracție).

În aceste condiții, următorul strat bituminos se poate realiza imediat după terminarea protecției, sau după o anumită perioadă de timp de la realizarea reciclării (preferabil după minimum o săptămână de la reciclare).

2.1.6. Controlul calității lucrărilor

Controlul calității are drept scop, pe de o parte, urmărirea modului de desfășurare a lucrărilor și de corectare a anumitor deficiențe constatate în timpul reciclării, respectiv, pe de altă parte, verificarea calității stratului rutier obținut.

Este recomandat ca în toate situațiile, așa cum a fost menționat și anterior, condițiile de lucru să se determine pe baza rezultatelor obținute pe un sector experimental realizat cu aceleași materiale și utilaje ca și cele care se vor utiliza pe șantier. Se verifică în special condițiile comportării la punerea în operă a dozajului calculat (lucrabilitate, umiditate, granulozitate etc.) și condițiile în care se poate obține gradul de compactare proiectat (tipuri de compactoare și număr de treceri).

2.1.6.1. Controlul de calitate pe durata desfășurării lucrărilor

Înainte de începerea lucrărilor, pentru avizarea surselor de materiale, trebuie verificate atât calitatea materialelor de aport (agregate naturale, ciment, apă și eventuale adaosuri) care urmează să fie folosite, cât și documentele furnizorului privind calitatea produselor respective. Trebuie să se aibă în vedere că variația sau diminuarea calității acestor materiale poate compromite întreaga lucrare.

De asemenea, calitatea acestor materiale trebuie verificată periodic pe durata lucrărilor prin intermediul laboratorului de șantier al antreprenorului.

În afara verificării calității materialelor de aport, pe durata derulării șantierului, o importanță deosebită pentru reușita lucrărilor o are respectarea dozajelor determinate în laborator, precum și menținerea condițiilor de omogenizare și punere în operă a materialului reciclat.

Dozajul de ciment se poate verifica, funcție de modul de punere în operă, astfel:

- dacă cimentul se răspândește în pulbere în fața reciclatorului, atunci cantitatea de ciment dozată se determină prin intermediul unei tăvi de masă și suprafață cunoscute amplasată în fața răspânditorului de ciment (se determină prin diferență masa de ciment din tavă și se raportează la unitatea de suprafață). Se va avea în vedere verificarea mai frecventă a dozajului de ciment în zilele cu vânt;

- dacă cimentul se introduce sub formă de soluție în compartimentul de omogenizare al reciclatorului, atunci informațiile privind dozajele, furnizate prin microprocesor, trebuie verificate de minimum două ori pe zi prin compararea cantității de ciment ce figurează consumată și cea care s-a consumat efectiv pentru prepararea apei de ciment.

În ambele situații, dozajul de ciment care trebuie pus în operă pe o suprafață unitară se determină la începutul lucrărilor funcție de grosimea și densitatea stratului reciclat.

Respectarea dozajului de apă este esențială pentru obținerea gradului de compactare și a rezistențelor mecanice prognozate prin încercări de laborator. Sunt preferate reciclatoarele care pot să controleze cantitatea de apă introdusă în camera de omogenizare. Verificarea umidității materialului reciclat trebuie efectuată la fiecare 200...500 m² de strat reciclat prin metode rapide de șantier. Se va acorda o atenție specială verificării umidității în zilele călduroase, ploioase sau cu vânt.

Verificarea granulozității urmărește încadrarea curbei de granulozitate a scheletului mineral în zona de granulozitate prescrisă și reglarea vitezei de înaintare a reciclatorului (frezei dacă cele două lucrează separat) astfel încât fragmentarea materialelor din straturile vechi să corespundă cerințelor de granulozitate pentru materialul reciclat. Se prevede cel puțin o verificare pe zi a granulozității materialului din spatele reciclatorului, cu o îndesire a verificărilor în perioada imediat următoare începerii lucrărilor pe un șantier nou.

Omogenitatea materialului reciclat trebuie verificată în primul rând vizual, dar și prin prelevarea periodică de probe de material pentru investigații de laborator

(determinarea densității în stare uscată, prepararea de epruvete pentru determinarea rezistențelor mecanice, modulului de elasticitate, legilor de oboseală etc.).

Compactarea se verifică prin determinarea densității în stare uscată efective pe șantier cu densitatea în stare uscată maximă stabilită prin încercarea Proctor modificat (calcularea gradului de compactare). Densitatea în stare uscată efectivă se determină prin încercări directe sau indirecte de șantier. Literatura de specialitate internațională precizează necesitatea utilizării unei sonde nucleare cu care pot fi efectuate verificări de densitate la fiecare 200 m² de strat.

Verificarea adâncimii pe care s-a efectuat reciclarea constă de fapt în verificarea grosimii stratului reciclat. Această verificare are o importanță pe termen scurt și una pe termen lung. Pe termen scurt, verificarea grosimii stratului reciclat permite stabilirea dacă dozajul de liant folosit a fost corespunzător (la o grosime mai mare de strat, dozajul de ciment utilizat va fi mai mic decât cel calculat). Pe termen lung, grosimea stratului reciclat este strâns legată de capacitatea portantă a structurii rutiere. Din păcate, verificarea grosimii stratului se poate realiza, în condiții optime, numai după întărirea materialului, prin executarea de carote (recomandabil două pe kilometru). Pe de altă parte, se pot efectua verificări ale grosimii stratului, înainte de compactare, prin prelevarea de probe pe întreaga adâncime (recomandabil două pe fiecare zi de lucru).

Antreprenorul trebuie să verifice permanent planeitatea stratului obținut și să ia măsuri pentru îmbunătățirea acesteia prin lucrări de reprofilare a suprafeței precompactate, cu scopul evitării unor consumuri ulterioare nejustificate de mixturi asfaltice pentru atingerea pantelor transversale și declivităților din proiect.

2.1.6.2. Controlul de calitate după realizarea stratului

Verificările care se impun la terminarea lucrărilor urmăresc determinarea grosimii stratului reciclat, respectiv a rezistențelor mecanice și a capacității portante ale acestuia.

Verificarea grosimii stratului se realizează prin carote (1 sau 2 pe fiecare kilometru), cu observația că materialul trebuie să aibă rezistențe suficiente pentru a-și păstra coeziunea în timpul prelevării probei. Grosimea stratului reciclat trebuie să fie cel puțin egală cu grosimea prevăzută inițial, iar, în caz contrar, diferența de grosime trebuie rectificată prin creșterea grosimii straturilor bituminoase. La limită, se poate ajunge la demolarea și refacerea stratului reciclat.

Pe carotele prelevate se mai pot determina densitatea, modulul de elasticitate, rezistența la compresiune și rezistența la întindere.

Determinarea capacității portante la nivelul stratului reciclat se efectuează prin măsurarea de deflexiuni în următoarele două variante:

- la termen scurt (3...7 zile după construcție), situație în care se urmărește verificarea omogenității și identificarea eventualelor suprafețe sensibile care trebuie tratate cu atenție suplimentară pe viitor (creșterea grosimii straturilor bituminoase sau chiar refacerea stratului reciclat). Literatura de specialitate

remarcă faptul că realizarea unor astfel de măsurători este costisitoare și conduce la perturbarea activității de șantier;

- la termen lung (după 28 zile de la construcție), caz în care se urmărește determinarea capacității portante a structurii până la nivelul stratului reciclat. Practic nici aceste măsurători nu sunt necesare, mai ales în varianta în care capacitatea portantă a întregii structuri rutiere va fi verificată după realizarea straturilor bituminoase.

Suprafața de rulare trebuie să aibă o textură uniformă, fără segregări, și pante transversale apropiate de cele ale îmbrăcămintei bituminoase. Valoarea indicelui global IRI trebuie să fie de max. 5 m/km (determinată pe întreaga lungime a sectorului) și de max. 4 m/km (pe cel puțin 50 % din lungimea sectorului).

Lățimea stratului reciclat nu trebuie să fie în niciun punct mai mică decât cea specificată în proiect, cu observația că pentru realizarea stratului nu trebuie admisă utilizarea parțială a materialelor necorespunzătoare din acostament.

Pentru completarea rezultatelor privind calitatea lucrărilor se efectuează încercări pe epruvetele preparate pe parcursul derulării lucrărilor cu material prelevat din stratul reciclat și cu o densitate asemănătoare cu cea obținută pe șantier. Se urmărește determinarea rezistenței la compresiune, a rezistenței la întindere și, eventual, a modului de elasticitate la 7 și 28 zile.

2.1.3. Costul lucrărilor

Pentru compararea eficienței economice a diferitelor soluții tehnice care se pot aplica la un moment dat pe un sector de drum (de exemplu între ranforsarea cu reciclarea unor straturi existente și ranforsarea cu construcția exclusiv de straturi noi) trebuie considerate toate costurile care apar pe întreaga perioadă de exploatare considerată (construcție, întreținere, exploatare etc.). De asemenea, valoarea rezultată din durata de exploatare reziduală de la sfârșitul perioadei de exploatare prognozată (dacă aceasta există) trebuie dedusă din costurile totale considerate.

Fără să se prezinte un calcul de acest tip, se consideră interesante de evidențiat costurile estimate de specialiștii spanioli (la nivelul anului 2003) pentru lucrări de reciclare cu ciment, eventual pentru a fi comparate cu valorile practicate de antreprenorii români pentru realizarea unor lucrări similare. Astfel, în tabelul 2.4 este prezentată structura costurilor pentru realizarea unui strat reciclat cu ciment cu grosimea de 20 cm, respectiv 30 cm. Costurile respective ajung la o valoare de 2,63...3,50 EURO/m² pentru un strat reciclat de 20 cm grosime, respectiv de 3,60...4,83 EURO/m² pentru un strat reciclat de 30 cm grosime, valori care includ aplicarea soluției antifisuri (prefisurarea) și a peliculei de protecție.

Trebuie reținut faptul că pe măsură ce suprafața reciclată crește, influența prețului de manipulare și reglare a utilajelor de lucru asupra costului lucrărilor se diminuează, deci cheltuielile pe unitatea de suprafață sunt mai mici. Din contră, cu cât suprafața de reciclat este mai mică, cu atât costurile lucrărilor pe unitatea de suprafață sunt mai mari.

Tabelul 2.4.

Element de cost	Prețul pentru un strat de 20 cm, în EURO		Prețul pentru un strat de 30 cm, în EURO	
	Minim	Maxim	Minim	Maxim
Ciment	0,88	1,42	1,32	2,21
Reciclator	1,08	1,29	1,57	1,85
Echipe auxiliare	0,37	0,43	0,40	0,46
Lucrări auxiliare (reprofilare, prefisurare etc.)	0,03	0,03	0,04	0,04
Protecție	0,27	0,27	0,27	0,27
Preț total	2,63	3,50	3,60	4,83

De asemenea, trebuie reținut faptul că prețul unei lucrări de reciclare cu ciment poate fi influențat semnificativ și de alți factori (volumul agregatelor naturale de aport, folosirea sau nu a unor aditivi, volumul lucrărilor de lărgiri etc.).

2.2. Reciclarea cu emulsie sau bitum spumat

Dezvoltarea și perfecționarea continuă a utilajelor destinate reciclării la rece a straturilor rutiere existente a permis diversificarea tehnologiilor de acest tip, funcție de condițiile locale existente (capacitate portantă a structurii existente, intensitatea traficului, tipul agregatelor naturale și al lianților de aport care se pot procura cu cheltuieli minime, capacitatea utilajelor disponibile și volumul lucrărilor care trebuie executate etc.). Aceasta demonstrează o flexibilitate ridicată a tehnologiilor de reciclare la rece și o adaptare a acestora aproape la orice situație concretă din teren.

Reciclarea in situ cu emulsie bituminoasă sau bitum spumat este un exemplu clar al unei alternative la tehnologia de retratare la rece cu ciment. În principiu, reciclarea la rece cu un liant bituminos constă în frezarea sau fragmentarea materialelor existente pe adâncimea considerată pentru retratare, urmată de, în același timp sau într-o a doua etapă, omogenizarea acestora cu emulsie bituminoasă sau bitum spumat. Se continuă cu punerea în operă și compactarea noului material compozit, rezultatul final fiind obținerea unui nou strat rutier cu caracteristici readaptate solicitărilor din trafic și condiții climaterice.

În amestec se poate adăuga var sau ciment într-un dozaj redus (maximum 2,0 %) pentru reducerea plasticității (dacă materialul reciclat conține fracțiuni argiloase sau prăfoase), respectiv pentru creșterea valorii modulului de elasticitate și a rezistențelor mecanice ale stratului în primele zile după punerea în operă. Trebuie reținut faptul că materialele obținute prin reciclarea cu un liant bituminos și ciment (2% sau mai mult) au proprietăți asemănătoare cu cele rezultate prin

retratarea cu ciment, chiar dacă modulul de elasticitate este mai mic.

Reciclarea la rece cu emulsie bituminoasă sau bitum spumat se poate aplica pentru atingerea următoarelor obiective:

- stabilizarea unui strat de bază sau de fundație din materiale granulare (pe întreaga grosime sau parțial), împreună cu materialele rezultate din îmbrăcămintea bituminoasă veche și degradată, cu scopul obținerii unui strat de bază nou care să contribuie la creșterea capacității portante a structurii rutiere;

- retratarea straturilor bituminoase existente deteriorate prin oboseală, cu scopul creării unui nou strat de bază;

- eliminarea neconlucrării dintre straturile bituminoase existente prin reciclarea îmbrăcămintei bituminoase și a părții superioare a stratului de bază bituminos;

- reciclarea exclusiv a stratului de uzură, cu scopul înlăturării defecțiunilor apărute ca urmare a îmbătrânirii excesive a bitumului;

- stabilizarea la fața locului a unor materiale granulare existente pentru obținerea unui strat superior de fundație sau a unui strat de bază.

Cu toate că utilajele disponibile pot asigura frezarea pe o adâncime de până la 35 cm, practic reciclarea la rece cu lianți bituminoși se aplică pe grosimi semnificativ mai mici pentru a se permite o corectă omogenizare a componentelor și o evaporare în timp rezonabil a apei (în cazul folosirii emulsiei bituminoase). Astfel, straturile bituminoase existente se pot recicla la rece cu emulsie bituminoasă pe o grosime de 5...12 cm, iar materialele granulare pe o grosime de 10...15 cm. În cazul utilizării bitumului spumat se pot recicla straturi bituminoase cu grosimea maximă de 15 cm și straturi din agregate naturale netratate cu lianți cu grosimea de max. 30 cm.

2.2.1. Avantaje și dezavantaje

Comparând aceste tehnologii de reciclare cu tehnologiile clasice de ranforsare a complexelor rutiere, se pot constata următoarele avantaje ale retratării cu lianți bituminoși a materialelor existente în anumite straturi rutiere:

- economisirea de materiale noi (agregate naturale și bitum) pentru realizarea unor straturi rutiere care să conducă la creșterea capacității portante a complexului rutier;

- reducerea cheltuielilor energetice produse prin uscare, transport etc., cu considerarea întregului circuit al materialelor de la producere și până la punerea în operă;

- reducerea necesităților de transport pentru realizarea lucrărilor de întreținere, cu impact favorabil asupra micșorării solicitării infrastructurii rutiere și a protecției mediului ambiant (reducere consumuri de carburant, pneuri, piese etc.);

- limitarea lucrărilor de reparații nestructurale care ar trebui efectuate înainte de așternerea unor noi straturi bituminoase;

- redarea rapidă în circulație a suprafețelor reabilite, la puțin timp după

finalizarea compactării.

Din punct de vedere tehnic, tehnologiile de reciclare cu lianți bituminoși permit:

- reabilitarea unei singure benzi de circulație, dacă este necesar;
- refacerea planeității în profil transversal și profil longitudinal (cazul unor lungimi de undă reduse), cu aport de agregate naturale noi;
- acceptarea unor anumite fluctuații ale compoziției materialelor care se retratează;
- reducerea solicitărilor verticale din trafic exercitate asupra straturilor inferioare în timpul lucrărilor de reabilitare, în raport cu soluția decapării și refacerii straturilor rutiere superioare.

Dezavantajele acestor tehnologii rezultă din considerentele următoare:

- caracteristicile materialelor din straturile rutiere existente care nu sunt corespunzătoare pentru reciclare (fragmente grosiere, pavele, conținut ridicat de argilă, eterogenitate ridicată etc.);
- portanța redusă a straturilor rutiere inferioare sau a terenului de fundare care nu permite deplasarea utilajelor de reciclare, menținerea unei adâncimi de frezare constantă și obținerea unui grad de compactare adecvat;
- prezența geotextilelor la interfața straturilor reciclate;
- existența a numeroase racorduri laterale (intersecții, accese etc.);
- condițiile climaterice nefavorabile care nu permit nici omogenizarea corespunzătoare și nici maturizarea materialului reciclat (temperaturi foarte scăzute, precipitații frecvente etc.);
- nivelul performanțelor mecanice solicitate (modulul de elasticitate și rezistența la oboseală sunt mai reduse decât cele care se obțin pentru straturi bituminoase realizate la cald);
- grosimea relativ redusă a stratului reciclat cu emulsie bituminoasă din considerente de a se permite evaporarea apei conținută inițial în material;
- necesitatea protejării stratului reciclat cu, cel puțin, un strat bituminos realizat la cald sau cu un tratament bituminos (pe drumuri cu trafic redus).

Aceste diverse considerente demonstrează care sunt limitele utilizării reciclării la rece cu lianți bituminoși, limite care depind atât de natura stratului (straturilor) care se retratează și de condițiile de trafic, cât și de capacitatea portantă a straturilor suport și de condițiile climaterice.

2.2.2. Studiul situației existente

O evaluare a situației concrete din teren este necesară pentru a determina dacă aplicarea soluției de reciclare la rece cu lianți bituminoși este posibilă și în ce condiții (tipul defecțiunilor existente, alcătuirea structurii rutiere, grosimea straturilor bituminoase, intensitatea traficului rutier, condițiile climaterice etc.).

Tipul și anvergura studiilor de teren efectuate nu sunt specifice reciclării cu lianți bituminoși și au fost prezentate în paragrafele anterioare (vezi pct. 5.2.2 și

2.1.2), fiind generale pentru toate tehnologiile de retratare la fața locului a materialelor din straturile rutiere existente. Aceste studii trebuie să determine dacă și în ce condiții se poate aplica reciclarea in situ cu lianți bituminoși.

În mod particular, pentru reciclarea la fața locului cu lianți bituminoși trebuie determinată omogenitatea structurii rutiere în profil transversal și profil longitudinal prin sondaje repartizate uniform în profil longitudinal pe fiecare bandă de circulație. Sondajele trebuie să fie repartizate uniform și în profil transversal (mijlocul și marginile benzilor de circulație). Se urmărește determinarea grosimii straturilor rutiere, a legăturii dintre straturile bituminoase, a conținutului de fragmente grosiere, dar și a umidității, granulozității și plasticității materialului frezat care urmează să fie retratat. În plus, pentru materialele bituminoase obținute prin frezare trebuie stabilit în laborator dozaajul de liant și caracteristicile acestuia (cel puțin penetrația și punctul de înmuiere în bilă).

De asemenea, este deosebit de important să se determine dacă în profil transversal alcătuirea structurii de rezistență este identică, deoarece pot să existe situații în care drumul s-a dezvoltat în etape succesive cu diferite structuri rutiere, respectiv dacă structura rutieră actuală are o capacitate portantă suficientă pentru a se recurge la realizarea unui strat de bază prin reciclare cu lianți bituminoși (atât pentru o bună desfășurare a lucrărilor de reciclare, cât și pentru obținerea unei capacități portante prognozate pentru noua structură rutieră).

În principiu, funcție de obiectivul urmărit prin reciclarea la rece cu lianți bituminoși, principalele caracteristici care trebuie studiate sunt descrise în continuare.

În cazul reconstrucției unui strat de bază sau de fundație, cu utilizarea inclusiv a îmbrăcămintei bituminoase subțiri existente, pentru realizarea unor lucrări de ranforsare a complexului rutier, se remarcă faptul că urmează să se obțină practic un strat din agregate naturale stabilizate cu emulsie bituminoasă cu grosimea de max. 15 cm, respectiv cu bitum spumat cu grosimea de max. 30 cm.

Pentru drumuri cu trafic redus, se poate ajunge la reciclarea unui material cu un conținut semnificativ de părți fine. Tratarea acestuia se va face funcție de plasticitatea părților fine, astfel:

- pentru un indice de plasticitate mai mare de 12 % se va recomanda aplicarea altei tehnologii;
- pentru un indice de plasticitate de 6...12 % se poate lua în considerare pretratarea materialului cu var (dozaaj 1...2 %);
- pentru un indice de plasticitate mai mic de 6 % se aplică tehnologia fără lucrări suplimentare.

Pentru structuri rutiere care conțin un strat de bază din agregate naturale corespunzătoare, calitatea materialului care se reciclează va fi apropiată de cea a agregatelor naturale utilizate la prepararea mixturilor asfaltice la rece. Din acest motiv condițiile care se impun materialului frezat sunt oarecum similare. Astfel, pentru un balast stabilizat cu emulsie se solicită ca:

- echivalentul de nisip să fie de min. 60 % (sau valoarea de albastru de metilen pe fracțiunea 0/D să fie de max. 1,0 g/kg);
- curba de granulozitate să fie continuă, cu dimensiunea maximă a granulelor de 31,5 mm și cu 25...35 % treceri prin sita de 2,0 mm, respectiv de 4...8 % prin sita de 0,08 mm.

Pentru agregate naturale tratate cu bitum spumat procentul de părți fine poate fi mai ridicat decât în cazul emulsiei bituminoase.

În situația în care se urmărește reciclarea straturilor bituminoase existente și a părții superioare a stratului granular inferior (din agregate naturale sau balast stabilizat cu ciment) se recomandă ca în materialul pentru reciclare să existe max. 25 % fracțiuni provenite din stratul inferior (pentru obținerea unei bune omogenizări și anrobări). În acest caz, grosimea de reciclare este limitată la 12 cm.

Proprietățile materialului care se reciclează sunt similare cu cele menționate anterior, cu observația că dimensiunea maximă a granulelor din amestec se limitează la 25 mm, iar bitumul vechi să nu fie foarte consistent (penetrația de min. 10·1/10 mm și punctul de înmuiere în apă și bilă mediu de max. 70 °C). Prin caracteristicile impuse bitumului vechi se încearcă evitarea utilizării pentru reciclare a unui bitum de consistență foarte scăzută care să conducă la probleme de stabilitate a stratului nou. Este recomandat că pentru țări cu climă temperată să nu se utilizeze pentru reciclare lianți bituminoși proveniți dintr-un bitum cu penetrația mai mare de 220·1/10 mm.

Dacă se urmărește reciclarea exclusiv a îmbrăcămintei bituminoase existente, grosimea maximă de lucru poate fi de max. 12 cm, cu condiția obținerii unei compactări corespunzătoare pe întreaga grosime a stratului retratat. Condițiile impuse materialului care se reciclează sunt în principiu similare cu cele din cazul precedent.

2.2.3. Determinarea dozajelor

Determinarea dozajelor de lucru pentru materialele reciclate la rece cu lianți bituminoși rămâne în principal empirică. Aceasta deoarece caracteristicile obținute în laborator pot să nu fie verificate pe șantier din cauza fenomenelor care decurg din ruperea emulsiei, maturizarea materialului reciclat, evaporarea apei din strat etc. Din acest motiv, pe plan internațional, practicile de determinare a dozajelor de lucru sunt diverse, dar cu următoarele etape principale obligatorii:

- determinarea caracteristicilor materialului care se reciclează (omogenitate, granulozitate și necesitatea unui aport de agregate naturale pentru corectarea granulozității, plasticitatea părților fine, dozajul și caracteristicile bitumului vechi), conform precizărilor din paragraful anterior și de la pct. 5.2;
- alegerea liantului de aport conform pct. 5.3;
- studiul compatibilității (adezivității) dintre liantul de aport și agregatul natural (în cazul reciclării de agregate naturale netratate cu lianți bituminoși);
- determinarea umidității optime pentru compactarea materialului reciclat

și calcularea modului în care aceasta se obține (umiditatea inițială a materialului frezat, cantitatea de apă din emulsie etc.). Pentru reciclarea cu emulsie bituminoasă se apreciază că o bună compactare se obține pentru o umiditate de 1,5...2,5 %, dacă materialul reciclat este obținut exclusiv din frezarea straturilor bituminoase, respectiv de 3,0...5,0 %, dacă materialul frezat conține în totalitate sau parțial agregate naturale neanrobate cu bitum. În această etapă de studiu se determină și timpul de rupere a emulsiei bituminoase în condițiile analizate. Pentru reciclarea cu bitum spumat se apreciază că umiditatea trebuie să se situeze la cca $0,7 \cdot w_{opt}$ Proctor modificat;

- determinarea dozajului optim de liant rezidual care trebuie adăugat pe baza analizării caracteristicilor mecanice obținute în laborator.

Pentru determinarea dozajului de liant se efectuează încercări de laborator cu diferite procente de liant de aport adăugat. Și în acest domeniu recomandările efectuate de diferite țări sunt variate. Se reține că dozajele cele mai frecvente sunt cele precizate în tabelul 5.1, cu următoarele precizări în cazul emulsiei bituminoase:

- dacă se reciclează exclusiv materiale obținute din straturi bituminoase, atunci emulsia bituminoasă utilizată va fi într-un procent de 2,0...3,0 %;

- dacă se reciclează materiale parțial sau total neanrobate cu bitum, dozajul de emulsie bituminoasă va fi de cca 7,0 %.

Pe de altă parte, la determinarea dozajului de liant trebuie să se țină seama și de procentul de nisip și părți fine conținut de materialul pentru reciclat. Astfel, pentru reciclarea cu bitum spumat, Africa de Sud recomandă studierea dozajelor precizate în tabelul 2.5.

Tabelul 2.5.

Treceri prin sita de 4,75 mm, %	Treceri prin sita de 0,075 mm, în %	Dozaj de bitum spumat, în % din masa agregatului uscat
< 50	3,0...5,0	2,5
	5,0...7,5	3,0
	7,5...10,0	3,5
	> 10	4,0
> 50	3,0...5,0	3,0
	5,0...7,5	3,5
	7,5...10,0	4,0
	> 10	4,5

Dimensiunile epruvetelor preparate, condițiile de păstrare și tipul încercărilor de laborator prin care se determină caracteristicile materialelor reciclate la rece cu lianți bituminoși sunt diferite pe plan internațional. În principal,

se realizează studii pe epruvete tip Marshall, păstrate în diferite condiții și încercate cu scopul determinării stabilității amestecului și a sensibilității la apă a acestuia. Astfel, Spania, pentru reciclarea cu emulsie bituminoasă, propune păstrarea epruvetelor cilindrice într-o etuvă la temperatura de 50 °C până la masă constantă (circa trei ore), după care se procedează la încercarea epruvetelor la compresiune simplă fără și cu imersare în apă.

Dozajul optim de emulsie se deduce impunând valorile limită ale rezistenței la compresiune fără imersare în apă (R), respectiv cu imersare (r) din tabelul 2.6 (funcție de intensitatea traficului greu).

Tabelul 2.6.

Intensitatea traficului	R, în MPa	r, în MPa	r/R, în %
200...2 000 vehicule grele pe bandă	3,0	2,5	75
< 200 vehicule grele pe bandă	2,5	2,0	70

Specialiștii francezi propun caracteristicile limită din tabelul 2.7, pe baza încercării Duriez (vezi pct. 2.9) și a determinării volumului de goluri cu presa giratorie (vezi pct. 2.8), funcție de clasa reciclării studiate (tabelul 1.1).

Tabelul 2.3.

Caracteristica	Clasa 1	Clasa 2	Clasa 3
Încercarea Duriez:			
- volum de goluri, în %	-	15,00	14,00
- r/R	0,55	0,65	0,70
- R la 14 zile, în MPa	1,50	3,00	5,00
Volumul de goluri cu presa giratorie, după 100 rotații, max., în %	-	25,00	25,00
Caracteristicile liantului după reciclare		Micșorarea punctului de înmuiere în apă și bilă cu 5...15 °C	

Se poate aprecia că determinarea dozajelor pentru materiale reciclate la rece cu lianți bituminoși trebuie să parcurgă aceleași etape ca și în cazul calculării dozajelor pentru mixturi asfaltice produse la cald, cu impunerea unor valori limită adaptate acestor tipuri de materiale (caracteristici fizico-mecanice inferioare).

Studiile efectuate în acest sens se efectuează pe eșantioane reprezentative obținute de pe șantier, în aceleași condiții ca și în cazul reciclării cu ciment, iar înainte de începerea lucrărilor este obligatorie verificarea dozajelor calculate pe un sector experimental realizat în condițiile de lucru ale șantierului.

2.2.4. Dimensionarea stratului reciclat cu lianți bituminoși

Pentru dimensionarea unor astfel de straturi bituminoase se urmărește determinarea rigidității și legilor de oboseală ale materialelor componente.

Valorile modulului de rigiditate la 15 °C obținute de specialiștii francezi, la câteva luni după preparare, au următoarele valori:

- pentru materiale granulare neanrobate reciclate in situ cu emulsie bituminoasă: 1 500...2 500 MPa;
- pentru materiale care conțin 75...90 % mixturi asfaltice din straturi rutiere vechi: 2 000...3 000 MPa;
- pentru materiale care conțin min. 90 % mixturi asfaltice din straturi rutiere vechi: 3 000...4 000 MPa.

O corelare între rezultatele încercării Duriez și valoarea modulului de rigiditate propusă de aceiași specialiști este prezentată în tabelul 2.8.

Tabelul 2.8.

Rezultatele încercării Duriez	Modulul estimat la 15 °C și 10 Hz, în MPa
Materiale neanrobate, reciclate cu emulsie cu caracteristicile: - R la 14 zile de 1,5...2,2 MPa și r/R de min. 0,55 - R la 14 zile de 2,2...3,0 MPa și r/R de min. 0,55	1 500 2 500
Materiale conținând 75...90 % mixturi frezate cu caracteristicile: - R la 14 zile de max. 4,0 MPa și r/R de min. 0,65 - R la 14 zile mai mare de 4,0 MPa și r/R de min. 0,65	2 000 3 000
Materiale conținând min. 90 % mixturi frezate cu caracteristicile: - R la 14 zile de min. 4,0 MPa și r/R de min. 0,70 - alte cazuri	4 000 3 000

Pentru reciclarea cu bitum spumat, unele determinări efectuate pe plan mondial au condus la obținerea următoarelor valori ale modulului de rigiditate:

- prin încercarea la compresiune diametrală: 2 000...2 500 MPa;
- pe reciclarea unor materiale care conțin agregate naturale concasate de bună calitate: 2 500...5 000 MPa;
- prin calcul indirect pe baza unor măsurători de deflexiune: 1 000...2 000 MPa, în prima lună după realizarea stratului, și cca 5 000 MPa, după câțiva ani de la execuție.

Valoarea coeficientului lui Poisson se consideră de 0,35, în baza experimentărilor efectuate până în acest moment pe plan mondial.

Calculul de dimensionare al unei structuri rutiere cu un strat de bază sau de fundație obținut prin reciclare la rece cu lianți bituminoși pornește de la intensitatea traficului rutier, funcție de care se stabilește, de regulă, tipul și grosimea îmbrăcămintei rutiere. Astfel, conform normelor franceze, clasele de trafic funcție

de media zilnică anuală (în vehicule grele), sunt cele prezentate în tabelul 2.9.

Tabelul 2.9.

Clasa trafic	T5	T4	T3		T2		T1		T0		TS		TE _x
			T3-	T3+	T2-	T2+	T1-	T1+	T0-	T0+	TS-	TS+	
MZA	0	25	50	85	150	200	300	500	750	1200	2000	3000	5000

Un vehicul greu reprezintă un camion cu masa totală de min. 35 kN.

Funcție de clasa de trafic se alege și în cazul straturilor rutiere obținute prin reciclare tipul îmbrăcămintei, astfel:

- pentru drumuri cu trafic redus (clasă de trafic cel mul T3) stratul reciclat poate fi protejat cu un tratament bituminos sau un șlam bituminos;
- pentru drumuri cu o clasă de trafic încadrată în intervalul T3...T1 se realizează un covor asfaltic foarte subțire;
- pentru clase de trafic T2+...T1+ se realizează un covor asfaltic cu grosimea de min. 4 cm;
- pentru alte clase de trafic sunt necesare studii suplimentare pentru realizarea îmbrăcămintei.

În aceste condiții, dimensionarea unei structuri rutiere care conține un strat reciclat cu lianți bituminoși implică în primul rând verificarea deformației specifice verticale pe terenul de fundare (vezi metoda standard descrisă în cap. 10). Pentru comparație se prezintă aici valoarea admisibilă a deformației specifice verticale după normele franceze:

$$\varepsilon_{z_{adm}} = 1200 \cdot N^{-0,222} \quad [\text{microdef}] \quad (2.3)$$

în care:

$\varepsilon_{z_{adm}}$ este deformația specifică verticală de compresiune pe terenul de fundare, în microdeformații;

N – traficul de calcul, în osii standard de 115 kN.

În plus, funcție de existența sau nu a unui strat bituminos superior, se impune verificarea deformației specifice de întindere la baza îmbrăcămintei bituminoase și eventual la baza stratului reciclat. Pentru realizarea acestor verificări este necesar să se determine legile de comportare ale materialelor respective, pornind de la încercări cu tensiuni sau deformații specifice impuse (vezi pct. 2.7).

2.2.5. Realizarea lucrărilor de reciclare cu lianți bituminoși

Lucrările de reciclare a straturilor rutiere existente cu lianți bituminoși se realizează, de regulă, sub circulație, motiv pentru care ele trebuie organizate să se poată desfășura pe o bandă de circulație sau pe o jumătate de parte carosabilă la drumurile cu mai multe benzi de circulație. În acest sens, se vor determina de la început numărul necesar de treceri ale frezei și poziția rostului longitudinal, funcție de lățimea de lucru a frezei.

2.2.5.1. Pregătirea suprafeței

Lucrările pregătitoare trebuie să urmărească crearea unor condiții în care derularea operației de reciclare să se desfășoare fără întreruperi neprogramate. Ca urmare, lucrările pregătitoare vizează următoarele activități:

- repararea sau realizarea dispozitivelor pentru colectarea și evacuarea apelor subterane, cu scopul asanării terenului de fundare (acolo unde se impune acest lucru, ca urmare a umidității excesive la nivelul patului drumului);

- înlăturarea tuturor obstacolelor din corpul drumului care ar împiedica frezarea cu adâncime constantă a materialelor din straturile rutiere existente;

- realizarea unei frezări preliminare la nivelul îmbrăcămintei bituminoase, cu scopul a obține un nivel constant al stratului reciclat. Această operație se poate practica îndeosebi în mediul urban unde trebuie păstrată cota existentă la bordură, iar stratul obținut prin reciclare urmează să fie protejat cu un covor asfaltic sau o îmbrăcăminte bituminoasă realizate la cald;

- corectarea profilului longitudinal și transversal, pentru a se asigura o regularitate a grosimii de reciclare și, implicit, o planeitate adecvată a stratului obținut. Este vorba de tratarea corespunzătoare a suprafețelor care prezintă fâgașe de adâncime sau gropi adânci (mai ales la adâncimi de reciclare reduse). De asemenea, se poate lua în considerare corectarea pasului de proiectare din profil longitudinal, condiții în care este necesară o adâncime de reciclare importantă;

- repararea defecțiunilor locale structurale (degradări din îngheț-dezghet, burdușiri, cedări ale complexului rutier etc.);

- decaparea pământului din acostamente pe adâncimea de reciclare pentru a se evita contaminarea materialului reciclat, mai ales dacă acesta este nivelat cu un autogreder;

- curățarea suprafeței care se tratează pentru evitarea contaminării cu pământ, impurități, praf etc.;

- realizarea sectoarelor experimentale care să adapteze tehnologia și utilajele disponibile la condițiile din teren.

Temperatura optimă de realizare a tehnologiei de reciclare cu emulsie bituminoasă sau bitum spumat este de 15...30 °C, iar lucrul trebuie oprit pe timp de ploaie. Pentru tehnologia de lucru cu emulsie bituminoasă se recomandă ca temperatura atmosferică să nu coboare sub 5 °C, în timp ce pentru tehnologia cu bitum spumat se recomandă ca agregatele naturale să aibă o temperatură de min. 10 °C pentru a se putea realiza o dispersie corectă a liantului în amestec.

2.2.5.2. Dozarea liantului și apei

Starea pompelor de injectare a fluidelor în camera de omogenizare, respectiv a dispozitivelor de dozare a apei și liantului, trebuie verificate înainte de începerea lucrului, cu obligativitatea verificării funcționării și a curățării duzelor de minimum două ori pe zi sau la fiecare oprire. Dispozitivele de dozare și injectare a apei și liantului bituminos în incinta de omogenizare trebuie să permită repartizarea

cât mai uniformă a fluidelor în masa materialului care se reciclează și reglarea dozajului de fluide în funcție de viteza de înaintare a utilajului (fig. 2.11) sau de masa materialului care intră în malaxorul asociat utilajului de frezare.

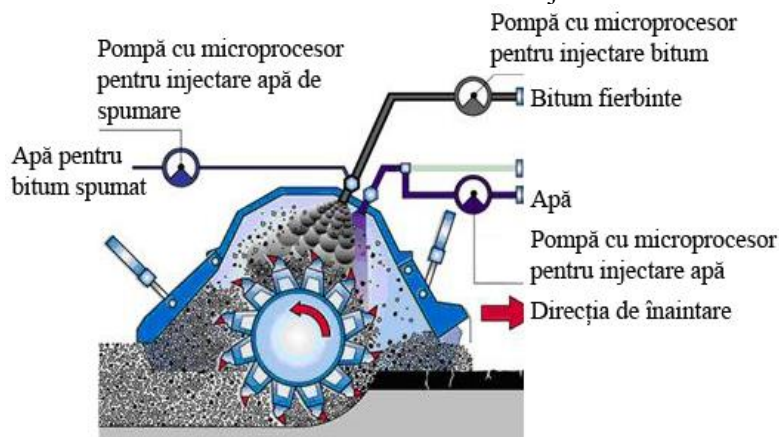


Fig. 2.11. Injectarea apei și a liantului bituminos în incinta de omogenizare.

Dozajul de apă, așa cum s-a arătat anterior, se determină pornind de la umiditatea optimă de compactare a materialului reciclat, diminuată corespunzător pe baza umidității materialului care se reciclează și a cantității de apă conținută de liantul bituminos (emulsia bituminoasă). Dozajul de apă calculat trebuie să țină seama inclusiv de condițiile climaterice în care se lucrează, mai ales în condiții de lucru la temperaturi ridicate.

Dozarea liantului (emulsie bituminoasă sau bitum spumat) se poate efectua, funcție de tipul utilajului folosit, odată cu frezarea (fig. 2.11), sau într-o etapă separată de omogenizare a componentilor într-un malaxor asociat, după fragmentarea materialelor din straturile existente.

Dozajele de liant utilizate sunt cele prezentate în tabelul 5.1, funcție de tipul tehnologiei de reciclare adoptate. Pe de altă parte, utilajul de reciclare trebuie să permită respectarea următoarelor exigențe:

- în cazul emulsiei bituminoase, se recomandă ca dozajul de liant să nu difere de cel proiectat cu mai mult de $\pm 10\%$, ceea ce conduce la necesitatea ca dispozitivul de dozare să poată asigura un debit de emulsie chiar sub 15 L/min.;

- în cazul bitumului spumat, trebuie urmărit ca dozajul de liant și caracteristicile specifice ale liantului obținut (timpul de expansiune și durata de separare a fazelor) să rămână constante pe întreaga durată a lucrărilor. Se urmărește ca debitul de bitum spumat să nu varieze față de cel proiectat cu mai mult de $\pm 0,5\%$, ceea ce conduce la o precizie a dozării bitumului de $\pm 0,6\%$.

În cazul în care se prevede ca în amestec să se introducă și un liant hidraulic (pentru creșterea rigidității stratului rezultat) sau var (pentru reglarea

plasticității materialului obținut prin frezarea straturilor rutiere existente) se procedează la răspândirea liantului, în mod uniform și continuu, înaintea utilajului de reciclare prin una dintre metodele descrise la paragraful 2.1. Metoda recomandată este cea de introducere a liantului sub forma unei soluții apoase direct în incinta de malaxare, caz în care cantitatea respectivă de apă va conduce la diminuarea apei de aport.

2.2.5.3. Omogenizarea componentelor

Înainte de începerea frezării straturilor rutiere existente pe adâncimea proiectată (este de preferat ca abaterile de la această adâncime să nu fie mai mari de $\pm 1,5$ cm), antreprenorul trebuie să ia măsurile care se impun pentru corectarea granulozității scheletului mineral obținut prin frezare (dacă încercările de laborator certifică faptul că acest lucru este necesar). Corectarea granulozității se practică în următoarele situații:

- curba de granulozitate a scheletului mineral rezultat prin frezare este necorespunzătoare, iar pentru aducerea acesteia în zona de granulozitate prescrisă se folosesc agregate naturale de aport;
- creșterea rezistențelor mecanice ale scheletului mineral rezultat prin frezare;
- grosimea stratului obținut prin reciclare urmează să fie mai mare decât grosimea pe care se realizează frezarea, iar creșterea grosimii stratului se realizează prin aport de agregate naturale noi.

Agregatele naturale de aport se pot introduce în amestec în următoarele două soluții tehnice, funcție de tipul utilajului folosit pentru realizarea reciclării:

- prin răspândire uniformă și continuă cu ajutorul unui autogreder sau răspânditor înaintea frezei, situație în care se poate miza și pe o reprofilare a suprafeței îmbrăcăminteii actuale (vezi fig. 2.4);
- la nivelul malaxorului, prin dozarea dintr-un buncăr situat în combina pentru realizarea reciclării (fig. 2.12).

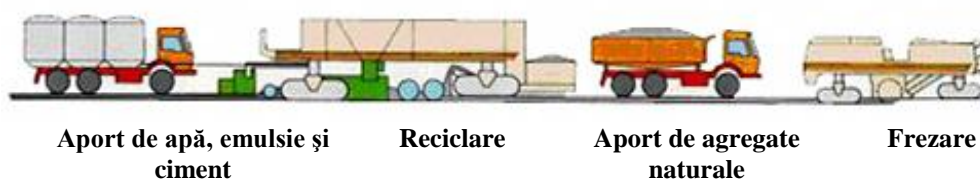


Fig. 2.12. Aport de agregate naturale la nivelul combinei de omogenizare.

Realizarea reciclării la rece cu lianți bituminoși se poate realiza pe plan mondial cu o gamă largă de utilaje. Aceste utilaje derivă din cele create inițial pentru stabilizarea pământurilor, asigurând, de regulă, la o singură trecere un complex de operații: frezare, concasare, omogenizare, punere în operă și precompactare. De asemenea, există tehnologii prin care complexul de operații sus-

menționate este asigurat prin mai multe utilaje care lucrează în coloană.

Dintre soluțiile tehnologice aplicabile și utilajele folosite se menționează în continuare câteva variante.

Reciclarea cu un ansamblu de utilaje care lucrează în coloană, soluție tehnică aplicată mai ales în S.U.A și Canada pentru retratarea îmbrăcăminte bituminoase pe o grosime de 4...6 cm (fig. 2.13). Atelierul are în componență o freză puternică care lucrează, în general, pe întreaga lățime a benzii de circulație (până la 3,80 m), urmată de un sortator și concasor al materialului frezat (fig. 2.14), de un malaxor și de un răspânditor-finisor care preia amestecul obținut din cordon. Apa, emulsia bituminoasă sau liantul pentru prepararea bitumului spumat sunt legate de utilajele precedente prin furtunuri adecvate.



Fig. 2.13. Atelier de reciclare la rece cu lianți bituminoși.



Fig. 2.14. Sortator și concasor pentru materialele frezate în scopul reciclării.

Agregatele naturale de aport, dacă sunt necesare, se răspândesc înaintea atelierului de utilaje. De asemenea, cimentul și, mai ales, varul (des utilizat de

aceste state) se împrăștie în fața frezei cu ajutorul unui răspânditor adecvat. Materialul obținut prin omogenizarea cu liantul bituminos poate fi trecut direct în buncărul răspânditorului sau lăsat în covor de unde este preluat de răspânditor, la o distanță de 50...100 m.

Reciclarea cu un utilaj complex care asigură realizarea tuturor operațiilor prezentate anterior, și anume: frezare, sortare, concasarea fracțiunii grosiere și omogenizarea materialelor cu un malaxor orizontal cu două axe (fig. 2.15). Amestecul obținut este răspândit în cordon de unde este preluat de un răspânditor, iar cisternele de apă, emulsie bituminoasă sau bitum (pentru bitumul spumat) sunt amplasate imediat înaintea acestui utilaj complex. Eventualele agregate naturale de aport se răspândesc înaintea utilajului.

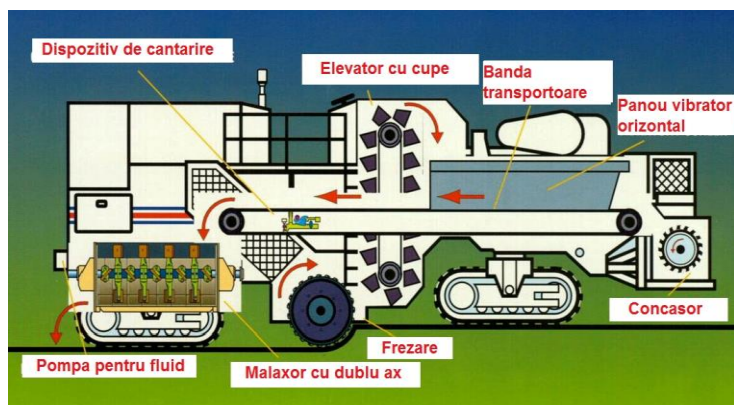


Fig. 2.15. Utilaj complex pentru reciclarea la rece cu lianți bituminoși.



Fig. 2.12. Utilaj care asigură frezarea, omogenizarea și punerea în operă.

Reciclarea cu utilaje care permit frezarea, omogenizarea și punerea în operă a amestecului rezultat (fig. 2.16) este diferită de precedentele tehnologii prin faptul că nu se realizează sortarea și concasarea scheletului mineral rezultat prin frezarea straturilor rutiere existente (este necesar ca prin frezare să se obțină o bună fragmentare a materialelor vechi). Omogenizarea cu liantul bituminos se poate realiza fie în incinta de frezare a utilajului, fie într-un malaxor separat dotat cu tambur transversal și în care liantul este pulverizat prin mai multe duze. Răspândirea materialului reciclat se efectuează prin trecerea pe sub o grindă vibrată care asigură și precompactarea stratului. Celelalte utilaje funcționează în mod similar cu tehnologiile anterioare.

Tehnologiile care se bazează pe un atelier alcătuit dintr-o freză și un utilaj pentru omogenizarea și punerea în operă a materialului reciclat pot face apel la una dintre următoarele soluții pentru trecerea scheletului mineral frezat spre combina de reciclare:

- dispunerea materialului frezat în cordon și preluarea acestuia cu un elevator cu cupe;

- încărcarea materialului frezat în autocamioane, urmată de descărcarea acestuia într-un buncăr al utilajului de reciclare (fig. 2.12). Într-o astfel de situație se poate efectua frezarea întregului material, urmată de asigurarea planeității suportului și realizarea unei amorsări, înainte de așternerea noului strat reciclat;

- transferarea materialului frezat în buncărul utilajului de reciclare cu o bandă transportoare.

De regulă, omogenizarea se efectuează într-un malaxor cu două axe paralele cu palete, emulsia bituminoasă fiind pulverizată dintr-un rezervor tampon situat pe reciclator sau dintr-o cisternă care se deplasează odată cu utilajul de reciclare. De asemenea, utilajul poate să dispună de un siloz pentru adaosuri pulverulente (de regulă var).

Alte reciclatoare pot dispune de un sistem dublu de omogenizare: într-un prim compartiment (cu ax transversal) se amestecă scheletul mineral obținut prin frezare cu agregatele naturale de aport, iar omogenizarea finală se realizează într-un malaxor cu două axe longitudinale echipate cu palete.

Punerea în operă se realizează cu ajutorul unei grinzi vibrante grele care asigură așternerea pe o lățime de 2,50...4,50 m și precompactarea stratului rezultat.

O altă soluție de atelier de reciclare cu lianți bituminoși constă în utilizarea unui utilaj care asigură frezarea și omogenizarea componentilor, urmat de un răspânditor al amestecului obținut (dispus în cordon de reciclator). Această configurație nu permite o omogenizare a componentilor într-un malaxor separat față de compartimentul de frezare (fig. 2.17). Apa și emulsia bituminoasă (respectiv bitumul pentru producerea bitumului spumat) sunt depozitate în autocisterne care se deplasează odată cu utilajul de reciclare și care sunt legate prin furtunuri adecvate de acesta. Eventualele agregate naturale de aport și adaosuri pulverulente (var sau ciment) se vor răspândi înaintea utilajului. Pentru diminuarea

poluării, aditivii (cimentul sau varul) se pot adăuga în compartimentul de omogenizare printr-o soluție apoasă. Lățimea de lucru a unor astfel de utilaje variază în limite largi (1,00...3,50 m). Materialul reciclat este dispus în cordon în spatele reciclatorului, iar punerea în operă se realizează cu un răspânditor-finisor independent.



Fig. 2.13. Utilaj care asigură frezarea și omogenizarea, cu așternere în cordon.



Fig. 2.18. Utilaj care asigură frezarea și omogenizarea, cu așternere în strat.

Un alt tip de tehnologie este asemănătoare cu precedenta, cu diferența principală că atelierul de lucru nu dispune de un răspânditor separat, reciclatorul asigurând și așternerea amestecului preparat (fig. 2.18). Aceste reciclatoare sunt derivate din utilajele folosite pentru stabilizarea pământurilor, fiind preferate în multe situații ca urmare a simplității, robusteții și costului mai scăzut. Pe de altă parte, dezavantajele lor principale sunt următoarele:

- nu asigură o omogenitate corespunzătoare a materialelor în profil transversal (materialele sunt preluate și repuse în operă aproximativ în aceeași zonă a profilului transversal), chiar dacă asigură o omogenizare corespunzătoare pe verticală (se omogenizează materialul pe toată grosimea stratului frezat);
- imposibilitatea obținerii unei omogenități corespunzătoare pe toată suprafața tratată din punctul de vedere al rezistențelor mecanice;
- lipsa așternerii cu o grindă vibratoare și a precompactării, motiv pentru care se pot obține caracteristici de planeitate necorespunzătoare.

Analizând tehnologiile de reciclare cu lianți bituminoși din tabelul 5.1 (clasa 1, clasa 2 și clasa 3), cu particularitățile fiecăreia dintre ele (grosime de tratare, lianți utilizați, scop urmărit), și luând în considerare atelierele de reciclare sus-menționate, se pot imagina tehnologiile de lucru descrise în fig. 2.19...2.21.

Trebuie remarcat faptul că în cadrul tehnologiilor descrise anterior nu se poate efectua amorsarea cu un utilaj independent, motiv pentru care aceasta se efectuează printr-o rampă de stropire a emulsiei bituminoase fixate înainte de așternerea materialului reciclat.

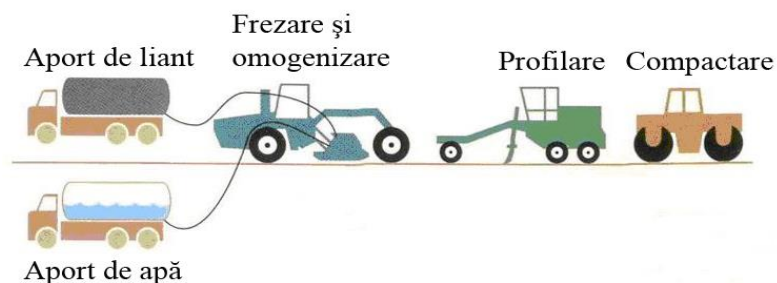


Fig. 2.19. Atelier pentru realizarea unei reciclări din clasa 1.

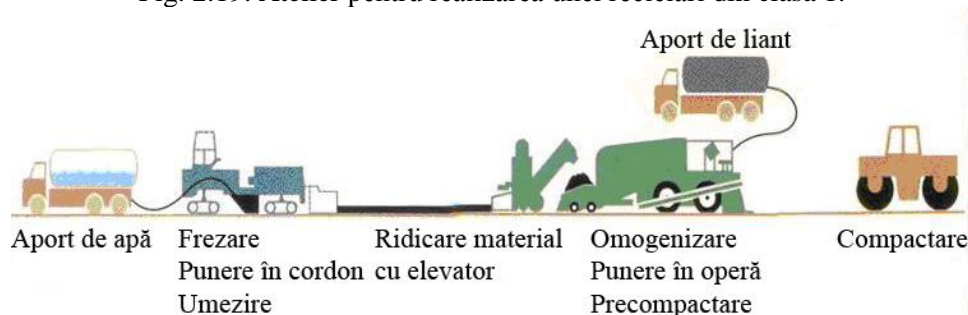


Fig. 2.19. Atelier pentru realizarea unei reciclări din clasa 2.

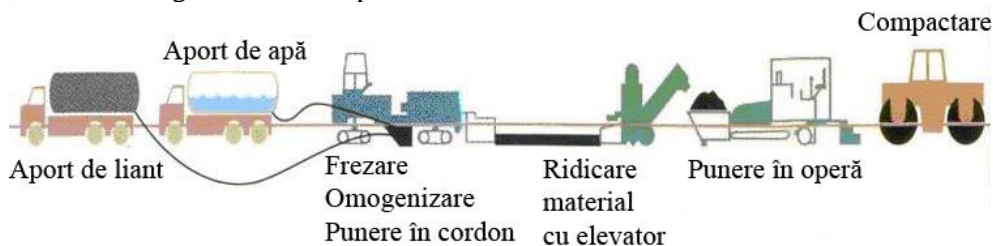


Fig. 2.19. Atelier pentru realizarea unei reciclări din clasa 3.

Pentru realizarea unei reciclări din clasa 1 nu este necesară amorsarea, dar pentru reciclările din clasa 2 și 3 această operație este obligatorie. Dacă atelierul conține un elevator pentru preluarea materialului de reciclat din cordon, se impune curățarea cât mai bună a suportului de părțile fine rezultate prin frezare, înainte de efectuarea amorsării, cu scopul creșterii eficienței amorsării.

2.2.5.4. Compactarea și tratarea stratului reciclat

Ca și în cazul materialelor reciclate la rece cu ciment, stratul rutier obținut prin reciclarea cu lianți bituminoși necesită prezența unei energii de compactare ridicate. De regulă, se recomandă asocierea unui compactor vibrator cu rulouri

netede cu o masă de min. 11,00 t pentru straturi subțiri (4...6 cm) și de min. 15,00 t pentru alte grosimi (care va executa la început câteva treceri fără vibrare), cu un compactor cu pneuri cu o sarcină pe roată de min. 50 kN și o presiune de umflare a pneurilor de 0,8 MPa. În final, se recomandă executarea câtorva treceri cu un compactor static cu rulouri netede pentru asigurarea uniformității suprafeței.

Și în acest caz este de preferat ca numărul de treceri al fiecărui compactor considerat să se determine pe baza rezultatelor obținute pe un sector experimental, cu urmărirea atingerii gradului de compactare prevăzut în caietele de sarcini.

Pe de altă parte, alegerea tehnologiei de compactare trebuie să aibă în vedere atingerea unui compromis acceptabil între compactitatea stratului și planeitatea suprafeței acestuia. Astfel, rezultatele obținute până în prezent demonstrează faptul că pe durata compactării pierderea de apă din materialul reciclat este neglijabilă, spre deosebire de încercările de laborator (compactarea unui strat rutier de acest tip permite mișcarea apei în interiorul materialului, spre deosebire de epruvete unde apa este împinsă spre exterior, ca urmare a dimensiunilor lor reduse). În aceste condiții, compactarea stratului trebuie efectuată până în momentul ruperii emulsiei (aparitia apei la suprafața stratului), moment după care apare fenomenul de „saltea” care împiedică obținerea unei îndesări mai bune și conduce la alterarea planeității suprafeței. Rezultă faptul că stratul rutier obținut va conține după terminarea compactării o cantitate importantă de apă, iar volumul de goluri inițial va fi ridicat (13...19 %).

Evaporarea apei din stratul rutier poate dura câteva săptămâni sau câteva luni, funcție de grosimea stratului, condițiile climaterice (temperatură și umiditatea atmosferică), consistența și dozajul de liant de aport, creșterea coeziunii materialului reciclat, traficul suportat de strat etc. În urma evaporării apei se produce creșterea rigidității stratului reciclat, fenomen care este mai accentuat în primele 2...3 săptămâni după execuție. După această perioadă de timp în stratul reciclat rămâne un procent redus de apă (cca 1 %) și studiile efectuate pe plan mondial susțin că uscarea totală a materialului este dificilă.

2.2.5.5. Protecția suprafeței

După finalizarea compactării, se poate proceda la stropirea suprafeței stratului reciclat cu o peliculă de emulsie bituminoasă diluată cu apă, cu un dozaj de bitum rezidual de 250...350 g/m², urmată de răspândirea de criblură 4-8 (4-6) cu un dozaj minim posibil (4...6 kg/m²). Această activitate este recomandată în situațiile în care există pericolul deteriorării suprafeței stratului reciclat ca urmare a unor condiții atmosferice neprielnice (temperaturi scăzute sau riscul producerii unor ploii puternice în următoarele 48 ore după realizarea reciclării).

Straturile bituminoase superioare nu trebuie realizate înainte de evaporarea apei din stratul reciclat și de creșterea rigidității acestuia (2...3 săptămâni după execuție, sau chiar mai mult dacă umiditatea atmosferică este ridicată și temperatura scăzută). Dacă temperatura atmosferică este mai mare de cca 25 °C

atunci această perioadă poate fi diminuată la câteva zile.

Din considerentele menționate anterior, se va manifesta prudență în adoptarea acestei soluții de reciclare în zone geografice umede sau reci, respectiv pe sectoare care prezintă multiple intersecții (cu frânări, accelerări și staționări frecvente) sau trasee cu multiple racordări care necesită supraînălțări.

2.2.6. Controlul calității lucrărilor

Având în vedere eterogenitatea materialelor frezate în profil longitudinal și transversal, normele de verificare a calității la acest tip de lucrări trebuie să reflecte o anumită flexibilitate pentru a permite antreprenorului să corecteze din mers neconformitățile care pot să apară în procesul de reciclare. Anumite tendințe manifestate pe plan mondial de a impune la acest gen de lucrări verificări de calitate bazate pe caracteristicile mecanice ale amestecurilor produse nu au dat rezultate, acestea fiind abandonate ca urmare a dificultăților de prelevare de epruvete corespunzătoare și regulate din stratul reciclat (epruvete întregi pe toată grosimea stratului, compacte, nefisurate).

În aceste condiții, pentru asigurarea calității lucrărilor se verifică:

- caracteristicile liantului de aport și ale eventualelor aditivi (varul sau cimentul). Acestea se analizează pe baza fișelor de conformitate emise de producători pentru fiecare produs în parte, dar și prin încercări de laborator efectuate de către antreprenor și consultant pentru confirmarea calității materialelor utilizate. Genul acesta de analize se efectuează la aprovizionarea materialelor și nu se acceptă păstrarea lor în șantier decât în condițiile respectării calității prevăzute;

- dimensiunea maximă a granulei materialului care se reciclează și granulozitatea scheletului mineral. Verificările de acest gen se realizează, de regulă, înainte de începerea șantierului, pe un sector experimental realizat în aceleași condiții ca și cele care se vor aplica pe șantier. Pentru șantiere mari se impune efectuarea acestor verificări cu regularitate (de regulă la începerea zilei de lucru);

- modul de funcționare a dispozitivelor de dozare a liantului și aditivilor, de frezare și de omogenizare. Dacă utilajele folosite dispun de un sistem automat de verificare a dozajelor, atunci informațiile obținute în acest mod pot fi acceptate în cadrul documentelor de șantier pentru justificarea respectării dozajelor de lucru. La șantiere mai mari de 50 000 m² se recomandă verificarea valorilor afișate automat prin încercări la fața locului. În cazul utilajelor care nu dispun de un sistem automat de control al dozajelor de liant și aditivi se impune verificarea și reglarea dispozitivelor de dozare prin încercări preliminare pe șantier;

- verificarea modului în care se modifică consistența liantului bituminos de aport prin omogenizarea cu cel existent în straturile bituminoase vechi. Se determină diferența dintre punctul de înmuiere înel și bilă al bitumului final obținut și cel al bitumului de aport, cu recomandarea ca ecartul obținut să fie de 5...15 °C;

- adâncimea de frezare și grosimea stratului rezultat (dacă ele sunt diferite); acestea se verifică prin măsurarea adâncimii de pătrundere a frezei și prin sondaje manuale realizate în stratul care se reciclează;

- umiditatea amestecului pus în operă. Aceasta se reglează, așa cum s-a arătat anterior, prin încercări de laborator și prin testele realizate pe sectorul experimental. În timpul lucrărilor această caracteristică trebuie verificată periodic pe durata zilei de lucru deoarece umiditatea amestecului poate fi influențată semnificativ de condițiile climaterice și de umiditatea materialelor din straturile care se frezează;

- realizarea amorsării, care se verifică, de regulă, vizual, urmărindu-se ca pulverizarea emulsiei bituminoase să se realizeze uniform cu toate duzele funcționale;

- planeitatea stratului, care se verifică pe durata lucrărilor vizual și se iau măsurile care se impun dacă se constată o așternere și precompactare deficitară a stratului;

- gradul de compactare obținut se determină prin procedeele clasice. Se urmărește ca volumul de goluri remanent inițial să nu depășească 20 %.

După finalizarea lucrărilor se poate proceda la verificarea planeității stratului obținut cu analizatorul de profil longitudinal (APL) și a rugozității geometrice.

2.2.3. Costul lucrărilor

Costul lucrărilor de reciclare la rece cu lianți bituminoși diferă semnificativ de la un șantier la altul, funcție de întinderea suprafeței de reciclat, productivitatea zilnică a atelierului, adâncimea de frezare, aportul sau nu de agregate naturale noi, natura materialelor și lianților folosiți, distanțele de la care se transportă materialele de aport și costul acestora, costurile legate de exploatarea utilajelor și retribuirea personalului etc.

De regulă, productivitatea atelierelor de reciclare este de 2 500...8 000 m²/zi, cu o valoare acceptabilă de 4 500 m²/zi. În aceste condiții, costul unitar obținut pe șantier de mică întindere este semnificativ mai mare decât în cazul unor șantiere extinse. Prețul unitar este indicat fie la m² de suprafață reciclată (considerând o grosime medie a stratului final obținut), fie la m³ de material tratat.

Pe de altă parte, costul lucrărilor de reciclare nu poate fi tratat independent de costurile legate de realizarea straturilor superioare. Se impune evaluarea tehnico-economică a soluției tehnice în ansamblul acesteia, în comparație cu alte variante aplicabile pentru o anumită situație concretă.

3. TEHNOLOGII DE RECICLARE LA CALD

Reciclarea la cald a straturilor bituminoase vechi se poate realiza printr-o gamă largă de tehnologii, respectiv cu o varietate importantă de utilaje și dispozitive. Aceste tehnologii se pot dezvolta la fața locului sau în fabrici de reciclare a mixturilor asfaltice recuperate. Alegerea unei anumite tehnologii trebuie să aibă loc ca urmare a unui studiu tehnico-economic efectuat pentru situația analizată (grosimea straturilor bituminoase, consistența liantului vechi, caracteristicile scheletului mineral din straturile bituminoase existente, capacitatea portantă a complexului rutier analizat, planeitatea și tipul defecțiunilor apărute la nivelul suprafeței de rulare etc.).

3.1. Tehnologii de reciclare la fața locului

Tehnologiile de reciclare la cald in situ constau în principiu în încălzirea îmbrăcămintei bituminoase existente pe o anumită grosime, frezarea acesteia, urmată de omogenizarea (cu sau fără adaos de agregate naturale și lianți noi), așternerea și compactarea noii mixturi asfaltice. Procedeele utilizate în acest scop sunt: termoreprofilarea, termoregenerarea și termorecyclarea.

3.1.1. Termoreprofilarea

Termoreprofilarea are drept scop refacerea uniformității suprafeței de rulare în profil transversal și longitudinal prin încălzirea îmbrăcămintei bituminoase vechi și scarificarea (frezarea) acesteia, urmată de așternere și compactare, fără adaos de materiale noi și fără ridicarea materialului de pe suport. Tehnologia nu produce nici o modificare a naturii materialului inițial, iar aplicarea ei se face pe grosimi de 4...6 cm. Obiectivele urmărite prin termoreprofilare sunt legate de înlăturarea defecțiunilor geometrice ale suprafeței de rulare (făgașe datorită uzurii, suprafață șlefuită etc.). Se poate obține și o oarecare îmbunătățire a rugozității suprafeței de rulare prin redistribuirea granulelor scheletului mineral.

Operația de termoreprofilare se execută cu un utilaj complex care poate realiza următoarele activități (fig. 3.1):

- încălzirea îmbrăcăminte bituminoase cu panouri radiante cu raze cu infraroșu sau cu flacără;
- scarificarea ușoară a stratului bituminos;
- nivelarea și precompactarea materialului în noul strat.

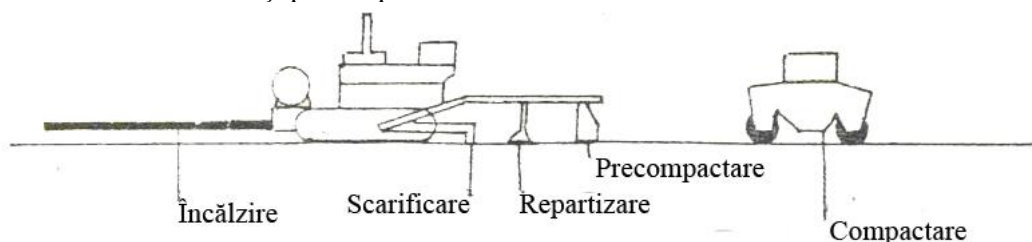


Fig. 3.1. Tehnologia termoreprofilării.

Parametrii principali care influențează reușita tehnologiei de termoreprofilare sunt temperatura de încălzire a îmbrăcăminte bituminoase existente și adâncimea de scarificare. În general, se recomandă obținerea unor temperaturi de încălzire de 200...300 °C, ceea ce poate conduce la o îmbătrânire importantă a bitumului în timpul procesului tehnologic. Rezultă că tehnologia poate da rezultate foarte bune în situația reciclării unei îmbrăcăminte bituminoase realizată cu un bitum de consistență redusă sau în exces. Pe de altă parte, aplicarea tehnologiei pe îmbrăcăminte bituminoase vechi, cu bitum îmbătrânit, nu va conduce la rezultate corespunzătoare.

Din cele menționate anterior rezultă că tehnologia de termoreprofilare poate fi oportună în următoarele situații:

- îmbrăcăminte bituminoase vechi cu grosimea de min. 4...5 cm, șlefuite sau cu fâgașe de max. 2,0 cm;
- structuri rutiere cu capacitate portantă corespunzătoare;
- îmbrăcăminte bituminoase cu caracteristici corespunzătoare în ceea ce privește granulozitatea scheletului mineral, dozajul de liant și consistența acestuia (nu se recomandă aplicarea tehnologiei pentru bitumuri cu penetrația mai mică de 20·mm).

Termoreprofilarea poate fi urmată de protejarea suprafeței cu un tratament bituminos sau covor asfaltic subțire realizat la rece.

3.1.2. Termoregenerarea

Termoregenerarea urmărește refacerea uniformității și îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale unei îmbrăcăminte bituminoase vechi, în general, prin ridicarea parțială a materialului de pe suportul său. Acest lucru se realizează prin

încălzirea îmbrăcămintei vechi, scarificarea (frezarea) acesteia, reutilizarea totală sau parțială a materialelor obținute (reprofilare și precompactare), urmată de așternerea unui strat bituminos nou și compactare. Tehnologia nu face apel la nici un fel de adaos de lianți sau agregate naturale, cu excepția celor utilizate pentru noul strat de uzură.

Tehnologia se realizează cu un grup de utilaje alcătuit din (fig. 3.2):

- dispozitive de încălzire cu raze infraroșii;
- dispozitiv de scarificare sau frezare;
- dispozitiv complex cu șneac pentru ridicarea, transportul, repartizarea și nivelarea mixturii asfaltice încălzite și scarificate;
- autobasculante pentru transportul mixturii asfaltice noi;
- răspânditor-finișor pentru punerea în operă a noului strat de uzură și precompactarea acestuia;
- atelier de compactare a noii îmbrăcăminți bituminoase.

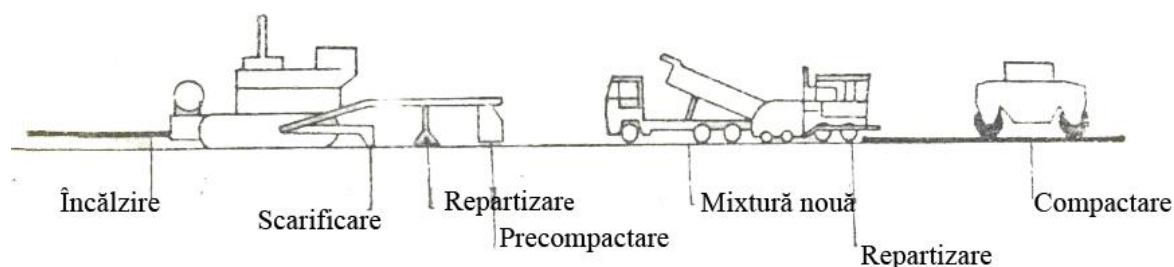


Fig. 3.2. Tehnologia termoregenerării.

Termoregenerarea constă dintr-o termoreprofilare, urmată de realizarea unui strat de uzură bituminos nou, subțire, cu grosimea de 1,5...2,0 cm (min. 40 kg mixtură asfaltică pe m²).

Obiectivele principale urmărite se referă la: refacerea planeității și rugozității suprafeței de rulare, rectificarea unor fâgașe de dimensiuni reduse, repararea îmbrăcăminților bituminoase fisurate sau cu pelade, respectiv restabilirea impermeabilității unor îmbrăcăminți poroase.

Aplicarea termoregenerării se poate face cu rezultate bune în următoarele situații:

- îmbrăcăminți bituminoase cu grosimea de min. 4...5 cm;
- structuri rutiere cu capacitate portantă corespunzătoare;
- profiluri transversale cu fâgașe de max. 3,0 cm;
- îmbrăcăminți bituminoase care să nu aibă ca liant un bitum excesiv de îmbătrânit (penetrația de max. 20·1/10 mm).

În afara parametrilor care influențează reușita termoreprofilării, în cazul termoreprofilării se impune asigurarea unei temperaturi la suprafața stratului reprofilat de 100...110 °C (pentru a se asigura o bună aderență între stratul de

reprofilare și stratul subțire care va constitui stratul de uzură).

Termoreprofilarea se poate aplica pe o singură bandă de circulație (pe banda sau benzile de circulație care prezintă defecțiuni dintre cele menționate anterior) în cadrul drumurilor cu mai multe benzi sau a drumurilor urbane, cu menținerea nivelului vechii îmbrăcămînți rutiere. Pentru aceasta, o parte corespunzătoare din mixtura asfaltică scarificată va fi îndepărtată (în concordanță cu cantitatea de mixtură asfaltică nouă așternută în stratul de uzură), urmând să fie refolosită la alte lucrări.

3.1.3. Termoreciclarea

Termoreciclarea este tehnologia prin care se urmărește reutilizarea mixturilor asfaltice din îmbrăcămînți bituminoase vechi prin încălzire, scarificare (frezare), omogenizarea mixturii asfaltice vechi cu materialele de corectare necesare (agregate naturale, mixturi asfaltice, lianți de regenerare), urmată de repunerea în operă a materialului obținut. Stratul obținut poate fi acoperit cu un nou strat de uzură.

Termoreciclarea este cea mai frecventă tehnologie de reciclare la fața locului aplicată în tehnica rutieră actuală.

Tehnologia se realizează cu utilaje complexe care asigură (fig. 3.3):

- încălzirea îmbrăcămînței bituminoase și menținerea temperaturii până la scarificare cu ajutorul unor preîncălzitoare echipate cu panouri radiante;
- scarificarea stratului bituminos, urmată, funcție de utilaj, de aducerea materialului în cordon sau de menținerea pe suprafața inițială;
- omogenizarea mixturii asfaltice vechi cu materialele de adaos necesare (agregate naturale și/sau liant de regenerare, respectiv, dacă este necesar, fibre, polimeri etc.) destinate îmbunătățirii comportării la formarea fâgașelor;
- așternerea materialului cu răspânditor-finishorul, urmată de compactarea cu utilaje corect adaptate la grosimea stratului.

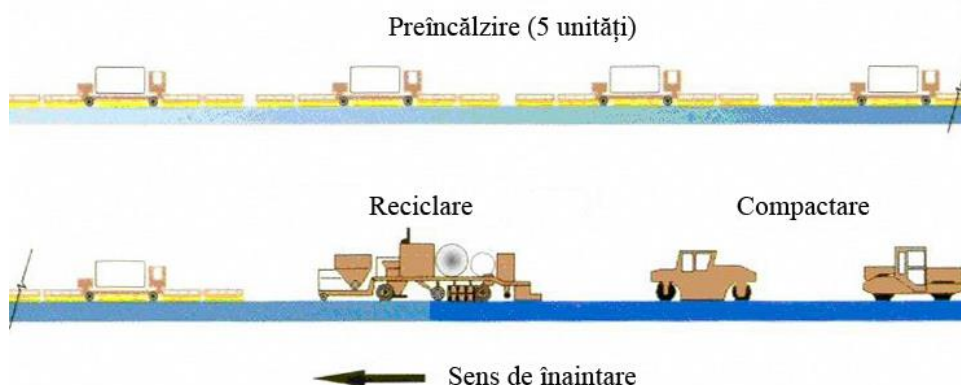


Fig. 3.3. Tehnologia termoreciclării.

Domeniile de utilizare ale acestei tehnologii sunt următoarele:

- tratarea unor defecțiuni de adâncime cum este dezlipirea unui strat bituminos gros de suportul său. Dacă stratul este prea gros se prevede o frezare prealabilă, astfel încât să se recicleze numai o grosime compatibilă cu capacitatea utilajului, cu atingerea interfeței desprinse și a părții superioare a stratului suport (1...2 cm din acesta);

- evitarea fisurării îmbrăcăminților bituminoase vechi datorate îmbătrânirii liantului prin folosirea unui liant regenerant;

- refacerea uniformității transversale a îmbrăcăminților bituminoase cu fâgașe provocate de fluajul mixturii asfaltice, prin introducerea în amestec, după caz, a unor agregate naturale preanrobate, respectiv a unui liant pentru îmbunătățirea caracteristicilor bitumului vechi sau pentru completarea necesarului de liant ca urmare a adaosului de agregate noi, precum și alți aditivi determinați prin studiul dozajului în laborator;

- reciclarea straturilor de uzură din betoane asfaltice subțiri sau betoane asfaltice drenante cu adaos de bitum - polimeri pentru refacerea caracteristicilor mixturii asfaltice inițiale;

- crearea unui strat antifisuri de 2 cm din mixtura asfaltică existentă, cu adaosul unui mortar asfaltic bogat în nisip, bitum - polimer și eventual fibre. Stratul respectiv se va interpune între noul strat de uzură și straturile inferioare stabilizate cu lianți hidraulici.

Încălzirea îmbrăcămintei bituminoase vechi se realizează cu mai multe utilaje cu panouri radiante cu infraroșii (fig. 3.3), care permit obținerea unei temperaturi de 100...150 °C pe o adâncime de 4...6 cm. Suprafața de încălzire minimă este de 175...200 m² și trebuie să fie mărită până la 250...300 m² pentru grosimi de reciclare mari sau condiții climatice dificile. Viteza de înaintare a atelierului de reciclare este de 2...6 m/min. și trebuie adaptată condițiilor de lucru astfel încât la baza stratului reciclat temperatura să fie de min. 80 °C.

Frezarea stratului existent, înmuiat pe 2...4 cm, trebuie să se realizeze cu ajutorul unei freze rotative sau cu un tambur scarificator. Agregatele naturale și eventual fibrele de aport se vor introduce înaintea frezării prin răspândirea lor pe suprafața tratată, în timp ce eventualele mixturi asfaltice de adaos se vor putea introduce fie înainte, fie după malaxarea componentelor. Omogenizarea componentelor se va face cu malaxoare cu palete verticale rotative (fig. 3.4) sau cu ax orizontal și palete (fig. 3.5).

Profilarea și precompactarea noului strat se realizează cu o grindă finisoare atașată utilajului de reciclare, iar dacă eventuala mixtură asfaltică de adaos se introduce după malaxor atunci aceasta nu se va mai omogeniza cu restul materialului rămânând ca strat superior. Compactarea finală se va realiza cu un atelier de compactare clasic.

Lățimile de lucru pot fi de 2,5...4,0 m, cu condiția ca atelierul de reciclare

să dispună de rampe de încălzire, de scarificatoare și rampe finisoare extensibile. Se pot recicla 6 000...10 000 m²/zi îmbrăcăminte (grosimi de 3...4 cm și 4,0 m lățime), respectiv 3 000...6 000 m²/zi îmbrăcăminte (grosimi de 6...7 cm și 4,0 m lățime).

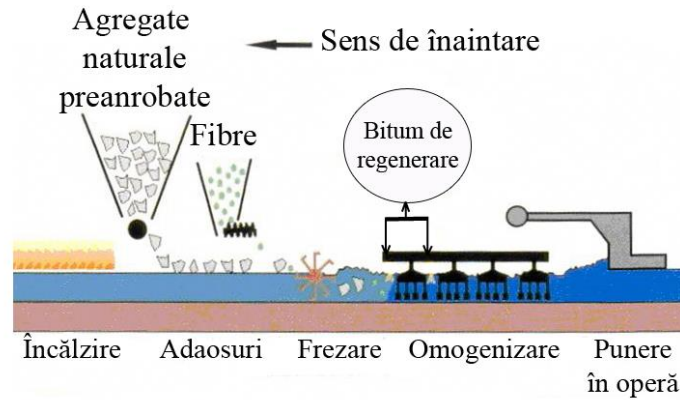


Fig. 3.4. Utilaj cu freză rotativă și malaxor cu palete verticale.

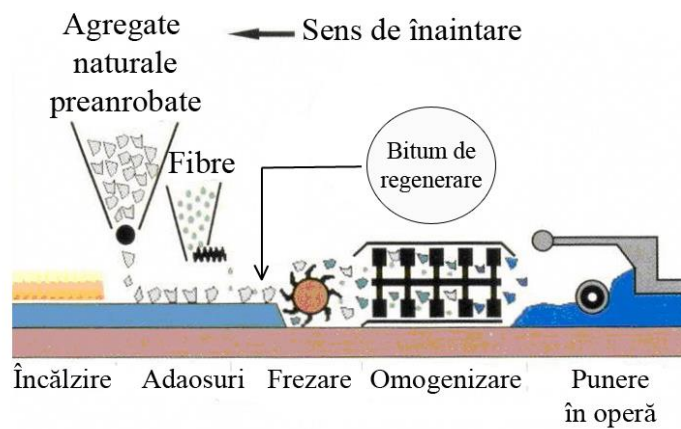


Fig. 3.5. Utilaj cu tambur rotativ și malaxor cu ax orizontal.

- Limitele utilizării tehnologiei de termoreciclare sunt legate de:
- eterogenitatea mixturii asfaltice din stratul care se reciclează (conținut și caracteristici ale liantului vechi, granulozitatea scheletului mineral, omogenitatea de ansamblu a mixturii care se reciclează etc.);
 - capacitatea de încălzire a utilajelor atelierului de reciclare;
 - condițiile meteorologice (ploaie, timp frigos, vânt puternic etc.);

- elementele geometrice ale drumului pe care se lucrează (raze de curbură reduse, declivități foarte mari etc.);
- grosimea ridicată a stratului bituminos care se reciclează care nu permite încălzirea în adâncime a acestuia;
- condiții locale care conduc la întreruperea tehnologiei sau la răcirea stratului înainte de realizarea reciclării.

În ceea ce privește investigațiile care trebuie efectuate înainte de începerea lucrărilor, nu se pot menționa diferențe semnificative între această tehnologie și cele menționate în capitolul anterior. În acest context, sunt obligatorii studiile de teren și de laborator prin care să se determine omogenitatea mixturii asfaltice care se va recicla, compoziția și calitatea materialelor conținute de aceasta, grosimea stratului și legătura sa cu stratul suport etc.

De asemenea, pornind de la rezultatele obținute în urma analizării mixturii asfaltice din stratul bituminos vechi, trebuie să se determine, prin cercetări specifice de laborator, dozajele și calitatea materialelor de aport care trebuie introduse prin reciclare (bitum, agregate naturale, fibre etc.), astfel încât noul strat bituminos să corespundă cerințelor impuse.

Este recomandat ca înainte de începerea lucrărilor să se realizeze testarea tehnologiei pe un sector experimental realizat în condițiile următorului șantier.

Pe durata lucrărilor, principalele puncte sensibile care trebuie urmărite și principalele verificări care se impun sunt următoarele:

- la punerea în operă se va verifica adâncimea de reciclare, temperatura la nivelul dintre stratul reciclat și suport (min. 80 °C), dozajul materialelor de aport și viteza de înaintare a utilajului;
- în timpul activității de compactare se va determina temperatura mixturii asfaltice (înainte de începerea compactării și la terminarea compactării), respectarea compoziției proiectate în laborator (granulozitate și dozaj de liant), caracteristicile liantului rezultat (punctul de înmuiere înel și bilă) și gradul de compactare;
- pe carote prelevate din stratul reciclat se determină: gradul de compactare, volumul de goluri, grosimea stratului, legătura obținută cu suportul și eventual anumite caracteristici mecanice;
- la nivelul suprafeței de rulare se verifică planeitatea și rugozitatea. Se constată, în general, o ameliorare semnificativă a planeității și un nivel al macrotexturii apropiat de cel al unor straturi bituminoase noi, dar mai neuniformă ca aspect.

Termorecyclarea este o tehnologie rutieră de întreținere de mare randament, motiv pentru care eficiența sa economică este cu atât mai mare cu cât suprafața de reciclat crește (este recomandabilă, în general, pentru suprafețe de min. 50 000 m²). Este o tehnologie ușor de aplicat (chiar și noaptea), cu punerea în operă a stratului nou și cu evacuarea eventualelor materiale rapid. Este de luat în considerare pentru repararea benzilor de circulație destinate traficului greu pe care s-au produs fâgașe,

deoarece se poate păstra nivelul actual al îmbrăcămintei rutiere.

3.2. Tehnologii de reciclare în fabrici fixe

Reciclarea în fabrici fixe constă în omogenizarea în diferite tipuri de malaxoare a mixturii asfaltice mărunțite corespunzător (dimensiuni sub 40 mm, respectiv 13...32 mm pentru folosirea în straturi de legătură sau de uzură) cu agregate naturale noi (35...90 %) și liant (în mod curent 1...3 %), urmată de transportul și punerea în operă a acesteia. Liantul utilizat poate să se caracterizeze sau nu prin proprietăți regenerante, funcție de caracteristicile bitumului vechi, iar mixtura asfaltică veche trebuie să fie bine dezagregată la introducerea în fluxul tehnologic.

3.2.1. Avantaje și dezavantaje

Reciclarea mixturilor asfaltice la scară industrială a fost implementată în S.U.A. în anul 1976, cu prilejul primei crize petroliere mondiale. În Europa (în Franța, de exemplu) dezvoltarea acestor tehnologii a luat avânt în prima jumătate a anilor 80. După această perioadă, antreprenorii s-au axat pe promovarea unor tehnologii de reciclare la cald în fabrici fixe care să permită re folosire a unui procent redus de mixtură asfaltică veche în raport cu mixtura asfaltică produsă (10...25 %), în timp ce tehnologiile care permit reciclarea unei cantități mai mari de mixtură asfaltică veche au fost privite cu o încredere mai redusă.

Aplicarea tehnologiei de reciclare la cald în fabrici fixe se poate organiza în următoarele situații:

- întreținerea unui strat de uzură (îmbrăcămintă bituminoasă) vechi cu defecțiuni frecvente și pe suprafețe extinse (fisurare accentuată din oboseală, fâgașe, gropi, fisuri și crăpături etc.), respectiv cu defecțiuni de dozaj sau execuție (pierderea stabilității concretizată prin fâgașe, vâluriri sau refulări, legătură dintre straturi neasigurată etc.);

- repararea unei îmbrăcăminți bituminoase fisurate ca urmare a transmiterii fisurilor din contracție din stratul de fundație din agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici (mai ales în cazul în care nu se pot așterne noi straturi bituminoase ca urmare a necesității păstrării nivelului actual al îmbrăcămintei);

- ranforsarea unor structuri rutiere existente, cu realizarea unui strat de bază cu ajutorul materialelor recuperate din vechea îmbrăcămintă și cu executarea unei îmbrăcăminți bituminoase cu materiale noi.

Principalele avantaje ale acestor tehnologii sunt legate de:

- valorificarea mixturilor asfaltice cu caracteristici fizico-mecanice necorespunzătoare provenite din demolarea unor straturi rutiere vechi sau realizate defectuos (mixturi asfaltice cu stabilitate redusă, neasigurarea legăturii dintre straturi etc.), cu economisirea unor resurse naturale (bitum, agregate naturale,

combustibili necesari asigurării transportului de materiale noi etc.);

- evitarea formării de deșeuri ultime (mixturile asfaltice provenite din demolări se pot utiliza la o gamă redusă de lucrări rutiere de întreținere), care să aibă un efect negativ asupra mediului înconjurător;

- reducerea cererii de agregate naturale și lianți noi pentru lucrările rutiere;

- reducerea consumului de energie necesar pentru producerea unor agregate naturale și lianți noi.

Dezavantajele legate de aplicarea acestor tehnologii sunt următoarele:

- dificultatea colectării tuturor mixturilor asfaltice frezate de pe șantierele de drumuri dintr-o anumită regiune la fabrica fixă care permite reciclarea;

- costurile legate de transportul, depozitarea, selectarea, concasarea etc. mixturilor asfaltice recuperate, înainte de introducerea în procesul tehnologic;

- gradul redus de refolosire (10...15 %) care poate asigura o omogenitate a mixturii asfaltice obținute comparabilă cu a uneia produsă cu materiale noi;

- eterogenitatea mixturilor asfaltice recuperate de diferite șantiere care ar presupune concasarea, omogenizarea și apoi determinarea caracteristicilor mixturii asfaltice care intră în procesul de reciclare;

- modificările tehnologice care trebuie efectuate la o anumită fabrică dacă aceasta nu este destinată să lucreze exclusiv cu mixtură asfaltică recuperată.

În condițiile menționate anterior, se poate contura ideea că acest tip de tehnologii este interesant din punct de vedere tehnico-economic, iar concluziile la care s-a ajuns pe plan mondial sunt următoarele:

- omogenitatea mixturii asfaltice cu material recuperat este comparabilă cu a unei mixturi asfaltice noi dacă procentul de refolosire este de 10...15 %;

- producerea unor astfel de mixturi asfaltice se poate face în condiții bune în fabrici uscător – malaxor;

- punerea în operă se realizează cu tehnologia clasică, chiar dacă la mixturile asfaltice care conțin un procent ridicat de mixtură asfaltică recuperată trebuie acordată o atenție sporită activității de compactare datorită lucrabilității mai reduse;

- nu există o îmbătrânire suplimentară a liantului ca urmare a procesului tehnologic de producere a noii mixturi asfaltice;

- se pot produce mixturi asfaltice pentru stratul de uzură dar cu limitarea procentului de material refolosit (10...15 %) și cu stăpânirea caracteristicilor acestuia pentru întreaga mixtură asfaltică produsă;

- obținerea rugozității nu este o problemă dacă se respectă dozajele de lucru pentru obținerea unui strat de uzură;

- rezultatele cele mai bune se obțin atunci când tehnologia se aplică pe un șantier bine determinat, astfel încât caracteristicile materialelor recuperate sunt mai ușor de stăpânit iar adaptarea tehnologiei de lucru este funcție de condițiile locale din teren.

3.2.2. Studii preliminare

Structura studiilor preliminare care trebuie realizate înainte de aplicarea tehnologiilor de reciclare la cald în fabrici fixe nu diferă semnificativ de cele care au fost prezentate pentru tehnologiile de reciclare la rece (cap. 6). Din acest motiv nu se va insista asupra acesteia, ci se vor prezenta succint etapele care trebuie parcurse, astfel:

- investigarea îmbrăcămintei rutiere existente, cu luarea deciziei privind tipul activității de întreținere (refacerea îmbrăcămintei sau ranforsarea structurală a complexului rutier);

- frezarea stratului (straturilor) care face obiectul reciclării în fabrici fixe, cu transportul materialului rezultat în șantier și cu concasarea acestuia pentru atingerea dimensiunii maxime a granulei specifică noii mixturi asfaltice;

- analiza materialului obținut din punctul de vedere al: omogenității și granulozității, calității liantului (dozaj și consistență) și al eventualului conținut de gudron. Conținutul de gudron în mixtura asfaltică veche trebuie să conducă la interdicția utilizării aceluși material în cadrul unei tehnologii de reciclare de orice fel (din considerente de asigurare a sănătății muncii și protecție a mediului). Există mai multe metode pentru determinarea conținutului de gudron dintr-o mixtură asfaltică, astfel: spray de detectare, cromatografie în strat subțire, cromatografie în fază lichidă, cromatografie în fază gazoasă cu spectrometru de masă;

- determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale agregatelor naturale conținute în mixtura asfaltică frezată, cu scopul verificării dacă acestea corespund cerințelor noului strat (mai ales când se urmărește refacerea îmbrăcămintei);

- determinarea conținutului de corpuri străine sau contaminante din materialul destinat reciclării. Conform unor state europene, corpurile străine (resturi de betoane de ciment sau materiale din stratul inferior netratat cu bitum, țiglă etc.) nu trebuie să depășească un procent de 5,0 %, pentru producerea unei mixturi asfaltice pentru stratul de bază, respectiv 1,0 %, pentru o mixtură asfaltică destinată îmbrăcămintei bituminoase. De asemenea, elementele contaminante (metale, materiale sintetice, sticlă) nu trebuie să depășească procentul de 0,1 %;

- determinarea în laborator a dozajelor de materiale, funcție de performanțele fabricii existente și de caracteristicile mixturii asfaltice care urmează să se prepare. Se determină: tipul și dozajul de agregate naturale de aport, respectiv dozajul și tipul liantului nou (se urmărește regenerarea bitumului vechi, conform relației 5.1). Studiile efectuate în acest domeniu arată că un procent de material reciclat de max. 20 % nu influențează în mod evident consistența liantului din mixtura asfaltică produsă.

Dozajele calculate trebuie verificate în laborator prin încercări specifice, urmând ca valorile obținute să fie comparate cu cele normate. Cel mai frecvent se efectuează determinări pe epruvete Marshall (stabilitate, indice de curgere, densitate aparentă, absorbție de apă), dar analizele pot fi realizate cu o gamă largă

de metode (analizarea volumului de goluri cu presa giratorie, încercarea triaxială, determinarea legilor de oboseală și a rezistenței la deformații plastice, determinarea modulului de rigiditate etc.).

În plus, prin încercările de laborator efectuate trebuie să se determine și alți parametri care trebuie respectați în procesul tehnologic de preparare a mixturii asfaltice, și anume:

- temperatura de încălzire și durata acestei încălziri, astfel încât să nu se producă o durificare a bitumului din materialul care se reciclează;
- timpul de malaxare pentru atingerea omogenității dorite;
- tipul eventualelor aditivi (fibre, de exemplu) și locul lor de introducere în fluxul tehnologic.

Dimensionarea acestor straturi se realizează, de regulă, prin metode raționale de calcul, motiv pentru care este important să se cunoască caracteristicile de deformabilitate ale stratului obținut (modul de rigiditate și coeficientul lui Poisson), respectiv legea de oboseală a materialului utilizat.

3.2.3. Fabrici pentru reciclarea la cald a mixturilor asfaltice

Fabricile utilizate pentru reciclarea la cald a mixturilor asfaltice pot fi de diferite tipuri, determinând atât dozajul de mixtură asfaltică reciclată, cât și productivitatea. În principiu, se pot evidenția tipurile de fabrici din tabelul 3.1.

Tabelul 3.1.

Tip fabrică	Introducerea materialului de reciclat	Transfer termic	Grad maxim de reciclare recomandat, în %	Factori limitativi
Discontinuu	În malaxor sau prin elevator cu cupe calde	Conducție	15,00	Evacuare vapori de apă și colmatare filtre
Discontinuu	În uscător-reciclator	Conducție	25,00	Colmatare elevator cu cupe calde
Discontinuu	În uscător paralel	Convecție și conducție	50,00	Afectare mediu
Uscător-malaxor (în echicurent)	În partea mijlocie a uscătorului-malaxor (sau împreună cu agregatele naturale)	Convecție și conducție	30,00	Colmatare filtre
Uscător-malaxor (în contracurent)	În partea mijlocie a uscătorului-malaxor	Conducție	50,00	Supraîncălzire agregate și temperatura în uscător

Gradul de perfecționare a fabricii este determinant atât în ceea ce privește calitatea mixturii asfaltice produse, cât și emisiile de noxe în mediul ambiant. Automatizarea unor astfel de fabrici conduce la îmbunătățirea semnificativă a fluxului tehnologic și a calității mixturii asfaltice obținute.

Dintre aceste tipuri de fabrici, cele mai des întâlnite sunt cele în flux discontinuu cu un uscător separat pentru încălzirea mixturii asfaltice recuperate. Acestea pot conduce la creșterea procentului de material reciclat (până la cca 80 %), cu utilizarea mixturii asfaltice astfel obținute în straturi de fundație sau de bază.

În afara tipurilor de fabrici menționate în tabelul 3.1 pot fi întâlnite, mai rar, fluxuri tehnologice care permit predozarea materialului de reciclat (de regulă în procent redus de 5...10 %) odată cu agregatele noi, prin amestecarea celor două componente ale scheletului mineral. Dezavantajul acestor tehnologii constă în faptul că se reciclează practic doar agregatele naturale, liantul fiind ars la nivelul uscătorului în contracurent.

În continuare se descriu caracteristicile principalelor tipuri de fabrici care se pretează pentru reciclarea la cald a mixturilor asfaltice.

3.2.3.1. Fabrică discontinuă fără uscător pentru materialul reciclat

Această soluție constă în introducerea materialului recuperat neîncălzit direct în malaxor sau la nivelul ieșirii agregatelor naturale noi din uscător, prin intermediul unui buncăr separat dotat cu cântar. Într-o astfel de soluție este necesar să se asigure prin construcție colectarea și evacuarea vaporilor și prafului care se degajă la introducerea în malaxor a materialului de reciclat. Aceasta se asigură prin construirea deasupra malaxorului a unui coș de decompresie dotat cu un obturator care se deschide câteva secunde imediat după introducerea materialului de reciclat. Acesta este legat de malaxor prin intermediul unei carcase care asigură colectarea emisiilor de la nivelul malaxorului.

Există două soluții tehnice pentru realizarea acestor fabrici, fiecare dintre ele cu mai multe variante de alcătuire, astfel:

- fabrici în flux discontinuu cu adăugarea materialului de reciclat (cântărit în prealabil) la nivelul malaxorului (fig. 3.6.a), unde intră direct în contact cu agregatele naturale supraîncălzite (până la cca 275 °C) și cântărite separat. Se impune o limitare a temperaturii de încălzire a agregatelor naturale noi pentru a se evita deteriorarea unor dispozitive ale fabricii.

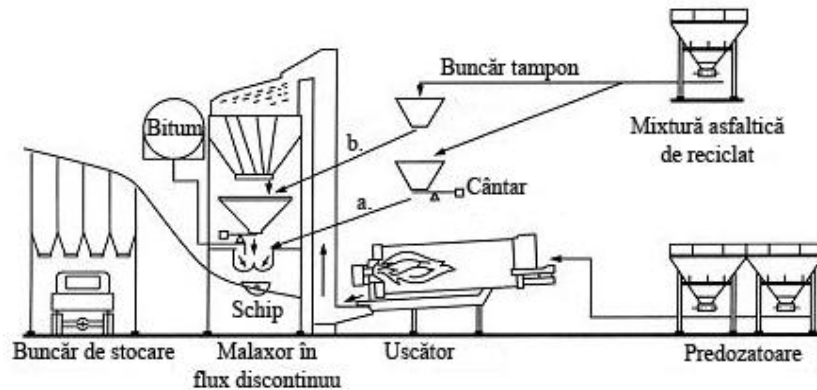


Fig. 3.6. Reciclare la cald cu adăugarea materialului de reciclat în malaxor.

Materialul de reciclat se poate introduce la nivelul dispozitivului de cântărire a agregatelor noi (fig. 3.6.b), situație în care nu se mai poate face dozarea separată a componentelor (agregate naturale noi și material recuperat).

Înainte de dozarea bitumului cald, pentru evitarea îmbătrânirii liantului, se recomandă o uniformizare a temperaturii scheletului mineral în malaxor;

- fabrici în flux discontinuu cu adăugarea materialului de reciclat la nivelul elevatorului cu cupe calde (fig. 3.7), caz în care pe traseul de transport al agregatelor se obține o omogenizare a materialelor și a temperaturii acestora, ca urmare a timpului mai mare în care se află în contact. De asemenea, volumul de vapori eliminat este mai redus decât pentru fabricile de tipul anterior. Pe de altă parte, nu există posibilitatea cântăririi separate a agregatelor naturale noi și a reglării granulozității scheletului mineral la nivelul dozării agregatelor naturale pe sorturi.

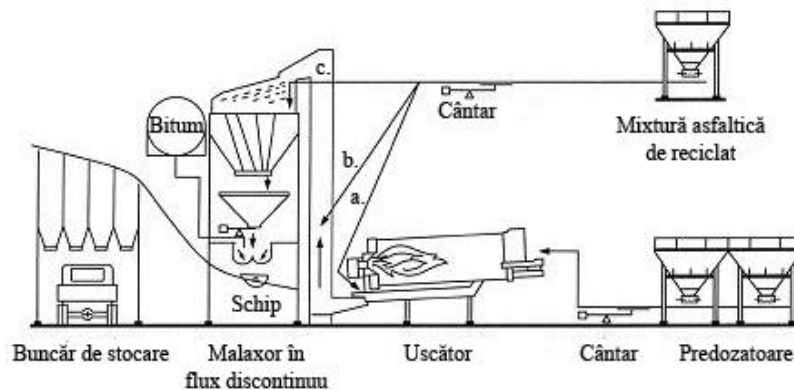


Fig. 3.7. Reciclare la cald cu adăugarea materialului de reciclat la nivelul elevatorului cu cupe calde.

Fabricile din prima categorie permit reciclarea a cca 10 % material bituminos, dacă acesta are umiditate ridicată, respectiv max. 20 %, dacă materialul de reciclat este uscat. Fabricile din a doua categorie permit reciclarea unei cantități mai reduse de mixtură asfaltică recuperată (cca 5 % dacă materialul este umed și 8...10 % dacă acesta este uscat).

3.2.3.2. Fabrică discontinuă cu uscător-reciclator

Procesul tehnologic propus în cadrul acestor fabrici urmărește încălzirea materialului care se reciclează simultan cu agregatele naturale noi în interiorul unui uscător-reciclator adaptat acestui scop. Materialul care se reciclează poate fi introdus în malaxorul-reciclator în două variante, și anume:

- prin intermediul unui inel de reciclare situat pe uscător (fig. 3.8.a și 3.9);
- cu ajutorul unei benzi transportoare (fig. 3.8.b).

Uscarea se poate produce cu flacăra situată în partea frontală a uscătorului (fig. 3.8), conform soluției obișnuite, respectiv decalată în interiorul uscătorului (fig. 3.9).

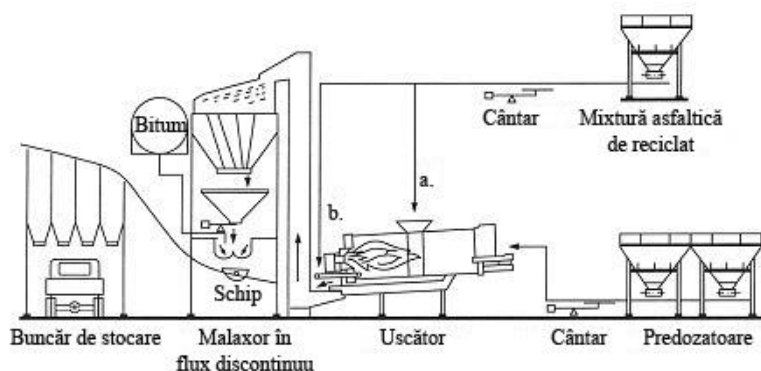


Fig. 3.8. Reciclare la cald în uscător reciclator.

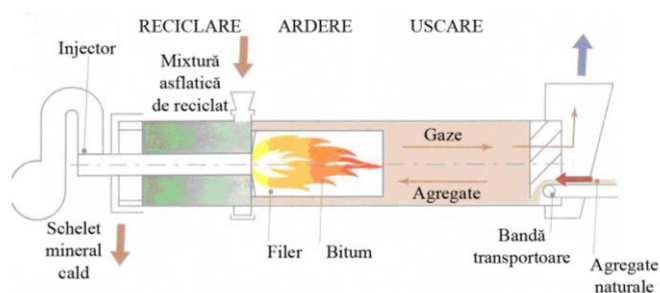


Fig. 3.9. Uscător reciclator cu injector decalat și cu posibilitatea introducerii materialului recuperat în zona mijlocie a uscătorului.

Se pot obține astfel patru variante posibile de fabrici, după cum urmează:

- introducerea materialului de reciclat cu o bandă transportoare combinată cu o încălzire standard (fig. 3.8.b), tehnologie care permite reciclarea unui procent de mixtură asfaltică recuperată de cca 10 %, dacă materialul este umed, respectiv de max. 25 %, dacă materialul este uscat;

- introducerea materialului recuperat în uscător prin intermediul unui inel de reciclare și încălzirea cu un injector dispus în poziția standard (fig. 3.8.a), cu reciclarea a max. 25 % material bituminos uscat;

- introducerea materialului de reciclat cu o bandă transportoare cu încălzirea materialelor în uscător prin intermediul unui injector prelungit în interior, situație în care se poate recicla cca 15 % material umed și max. 25 % material uscat;

- introducerea materialului recuperat printr-un inel de reciclare combinat cu un injector decalat în interiorul uscătorului (fig. 3.9), variantă în care se poate recicla până la 20 % material bituminos umed, respectiv 35...40 % material bituminos uscat.

Uscarea se efectuează pentru toate variantele în contracurent, cu adăugarea continuă a mixturii asfaltice recuperate la un anumit nivel al uscătorului de agregate naturale noi și cu dozarea discontinuă a componentelor la nivelul malaxorului. În timpul petrecut de mixtura asfaltică de reciclat în uscător trebuie să se asigure atât uniformizarea temperaturii materialelor, cât și împiedicarea arderii liantului vechi.

3.2.3.3. Fabrică cu uscător separat pentru mixtura asfaltică recuperată

Fabricile din această categorie permit omogenizarea componentelor în malaxoare în flux discontinuu, cu uscător separat pentru încălzirea mixturii asfaltice recuperate (fig. 3.10). Acestea permit încălzirea materialului bituminos destinat reciclării până la o temperatură de cca 130 °C, în timp ce temperatura agregatelor naturale noi se va regla astfel încât mixtura asfaltică preparată să ajungă la cca 160 °C.

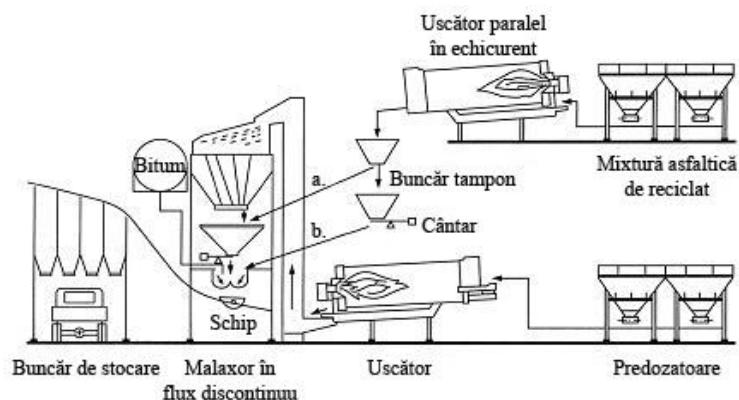


Fig. 3.10. Reciclare la cald cu uscător paralel pentru materialul reciclat.

Adaosul materialului bituminos de reciclat se poate efectua la nivelul buncărului de stocare a agregatelor naturale dinaintea malaxorului (dozarea celor două materiale se face împreună, conform fig. 3.10 a), sau în malaxor (dozarea componentelor se face separat, conform fig. 3.10 b). Timpul de preomogenizare a materialului de reciclat cu agregatele naturale noi nu trebuie să depășească cca 10 s pentru a se evita îmbătrânirea bitumului vechi, iar durata totală de malaxare trebuie să fie mai mare decât cea folosită la prepararea mixturilor asfaltice cu agregate naturale noi. Rezultă că randamentul unei anumite fabrici este mai mic dacă se lucrează cu material de reciclat, decât în cazul producerii de mixturi asfaltice.

Fabricile de acest tip permit refolosirea unui procent de până la 50 % sau chiar 80 % mixtură asfaltică recuperată, mai ales atunci când se poate garanta calitatea și omogenitatea materialului bituminos care se reciclează.

3.2.3.4. Fabrică cu uscător-malaxor

Fabricile tip uscător-malaxor permit prepararea mixturilor asfaltice în flux continuu într-un uscător special care asigură atât uscarea, desprăfuirea și încălzirea scheletului mineral, cât și omogenizarea componentelor, mixtura asfaltică fiind gata preparată la ieșirea din uscător.

Dozarea componentelor (agregate naturale, mixtură asfaltică refolosită, bitum nou, filer, aditivi) se realizează în flux continuu, cu asistarea automată a fluxului tehnologic. Agregatele naturale noi sunt introduse în partea mai înălțată a uscătorului, urmând să curgă prin acesta ca urmare a înclinării (4...6 °), a dispozitivelor constructive interioare și a rotirii. Se adaugă apoi ceilalți componenți, cu protejarea liantului bituminos (de aport sau din mixtura veche) împotriva arderii de către flacăra injectorului. Omogenizarea se realizează în partea finală a uscătorului-malaxor cu ajutorul unui sistem de brațe (fixate pe peretele interior) dotate cu palete. Procesul de uscare, încălzire și malaxare a componentelor se poate realiza în echicurent sau în contracurent.

În situația încălzirii în echicurent a materialelor în uscător, pot exista două posibilități de adaptare a fluxului tehnologic (cu uscător-malaxor sau cu uscător separat în echicurent pentru mixtura asfaltică recuperată).

Prima soluție constă într-o instalație cu uscător-malaxor în care mixtura asfaltică reciclată se introduce, în flux regulat, în capătul uscătorului cu injector, prin intermediul unei benzi transportoare, împreună cu agregatele naturale (fig. 3.11.a), sau în partea mijlocie a acestuia, printr-un inel de reciclare (fig. 3.11.b).

În ambele variante uscătorul trebuie să permită împiedicarea arderii liantului vechi prin contact cu flacăra injectorului. În partea a doua a uscătorului se adaugă bitumul cald și apoi se realizează omogenizarea componentelor. În acest caz, cantitatea de mixtură asfaltică reciclată poate fi de cca 50 %, ca și în situația unei fabrici în flux discontinuu cu uscător separat pentru materialul reciclat.

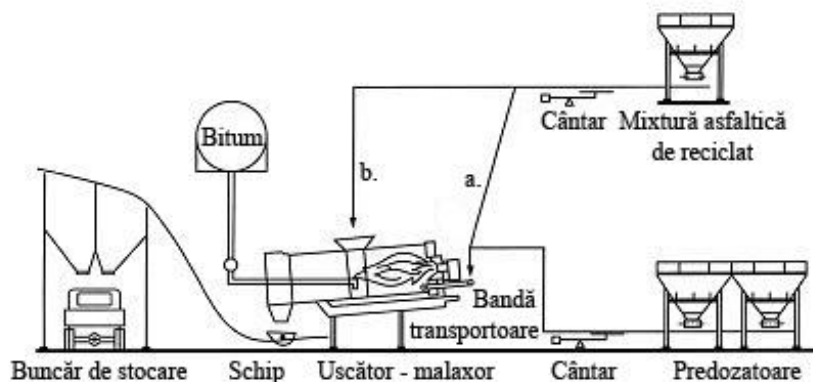


Fig. 3.11. Reciclare la cald în flux continuu cu uscător-malaxor.

Modul de funcționare a unui uscător-malaxor este ilustrat în fig. 3.12.

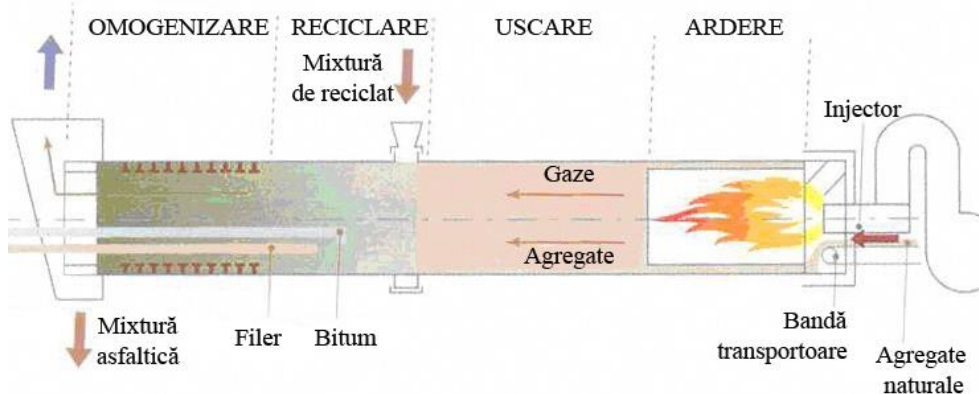


Fig. 3.12. Principiul de funcționare a unui uscător-malaxor cu reciclarea de mixturi asfaltice recuperate.

Dezavantajul important al acestor fabrici este legat de menținerea exactă a dozajelor de materiale folosite, deoarece nu există o recântărire a materialelor calde înainte de malaxare. Înseamnă că un astfel de flux tehnologic nu este recomandat în situații în care se impun schimbări frecvente ale dozajelor și materialelor utilizate, deoarece se produce o reducere a productivității și o compromitere a calității mixturilor asfaltice produse (este necesar un anumit timp pentru reglarea cantităților de materiale și reglarea fluxului tehnologic).

A doua soluție constă în încălzirea în echicurent doar a mixturii asfaltice recuperate în cadrul unui uscător paralel cu cel pentru agregatele naturale noi, care se încălzesc în contracurent (fig. 3.13).

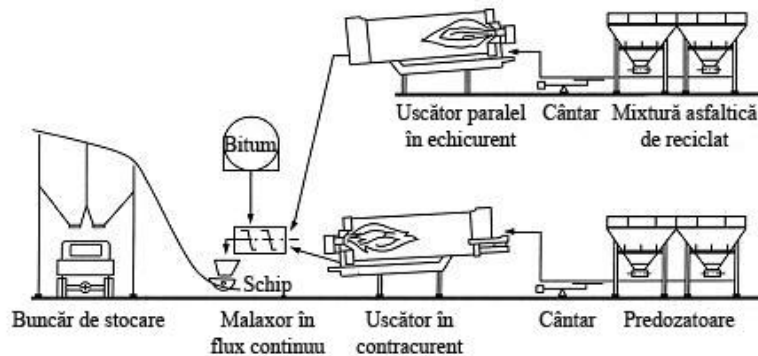


Fig. 3.13. Reciclare la cald în flux continuu cu uscător separat pentru mixtura asfaltică recuperată.

Omogenizarea agregatelor noi cu mixtura asfaltică reciclată și bitumul de adaos se realizează printr-un malaxor cu ax longitudinal (cu șnec).

În situația unei fabrici în flux continuu cu uscător-malaxor în contracurent, injectorul trebuie decalat spre interiorul uscătorului pentru a evita contactul direct dintre mixtura asfaltică de reciclat, respectiv bitumul de aport, și flacăra injectorului (fig. 3.14). Celelalte principii de preparare a mixturii asfaltice într-un uscător-malaxor rămân valabile și în acest caz.

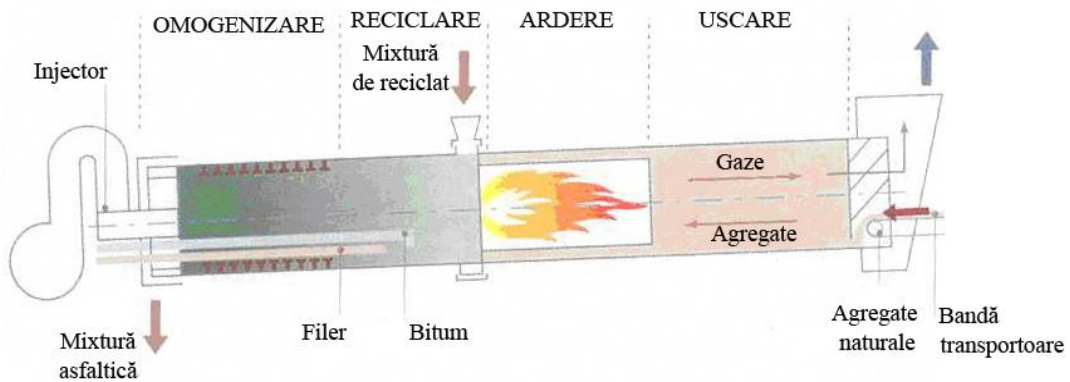


Fig. 3.14. Principiul de funcționare a unui uscător-malaxor cu injector decalat.

Agregatele naturale sunt încălzite la temperaturi mai mari decât cele obișnuite pentru prepararea mixturilor asfaltice clasice, urmând ca în spatele injectorului acestea să se omogenizeze cu mixtura asfaltică recuperată (uscarea și încălzirea acestora se vor realiza prin conducție). Amestecul astfel obținut trece apoi în partea uscătorului destinată malaxării unde este omogenizat cu bitumul și, eventual, cu filerul de aport.

Prin acest procedeu se poate reutiliza un procent de mixtură asfaltică veche de 30...50 %, funcție de umiditatea materialului care se reciclează, de condițiile atmosferice și temperatura produsului final.

În afara refolosirii mixturilor asfaltice recuperate, protecția mediului trebuie asigurată și prin reducerea poluării în timpul preparării noilor mixturi asfaltice. Astfel, se impune, în general, evitarea emisiei în atmosferă de praf în cantitate mai mare de 50 mg/Nm³, pentru fabricile mobile de mixturi asfaltice.

Pentru fabricile de reciclare în flux continuu în echicurent desprăfuirea se realizează prin decolmatarea filtrelor cu aer comprimat. Aceasta deoarece este necesară o energie de desprindere a particulelor fine ridicată datorită efectului adeziv al bitumului. Prafurile captate de filtru sunt în cantitate redusă (sub 1,0 %) și se reintroduc în uscătorul-malaxor, direct și în mod continuu.

Pentru fabricile de reciclare în flux continuu în contracurent, ca și în situația fabricilor în flux discontinuu, filtrele se decolmatează fără aer comprimat. Prafurile captate sunt reintroduse în uscătorul-malaxor fie printr-un buncăr tampon, fie printr-un dozator continuu alimentat de un siloz de alimentare intermediar.

Preluarea și transportul mixturii asfaltice la terminarea fluxului tehnologic se poate efectua în mai multe variante, funcție de înălțimea la care este situat malaxorul fabricii, astfel:

- la fabricile cu malaxorul supraînălțat față de nivelul terenului, mixtura asfaltică se descarcă într-un buncăr tampon cilindric de unde este preluată direct de autocamioane sau este transportată cu ajutorul unui schip și depozitată în buncăre de stocare;

- la fabricile cu malaxorul situat în apropierea terenului, mixtura asfaltică este preluată cu o bandă transportoare cu cupe și dirijată spre un buncăr antisezare, de unde este distribuită în buncărele de stocare ale fabricii.

Tehnologia de punere în operă și compactare nu diferă de cea utilizată în cazul mixturilor asfaltice produse la cald cu materiale în totalitate noi.

3.2.4. Costul lucrărilor

Costul mixturilor asfaltice cu material bituminos reciclat depinde de mai mulți factori: cererea de astfel de mixturi asfaltice pe piața de lucrări rutiere, cantitatea de mixturi asfaltice recuperate, prețul bitumului, numărul și productivitatea fabricilor care permit reciclarea de mixturi asfaltice, existența altor posibilități de reutilizare a mixturilor asfaltice recuperate (reciclare la rece, refolosire la lucrări rutiere fără tratare cu lianți etc.), costul investițiilor noi care să permită reciclarea etc.

În ceea ce privește investițiile care trebuie efectuate pentru adaptarea unei fabrici pentru a lucra cu material recuperat, trebuie remarcat faptul că acestea nu sunt realizate de un anumit antreprenor decât dacă există certitudinea că pe șantier poate fi colectat suficient material bituminos de reciclat și că mixturile asfaltice astfel produse își găsesc utilizarea la lucrările rutiere derulate în apropierea

amplasamentului. Aceste costuri suplimentare de adaptare a fabricii vizează, pe de o parte, procurarea și punerea în funcție a dispozitivelor care permit reciclarea (atât în ceea ce privește prelucrarea materialului de reciclat, cât și funcționarea fabricii cu acest flux tehnologic, respectiv asigurarea depozitării mixturilor asfaltice produse), iar, pe de altă parte, completarea sistemului de verificare a calității (analizarea calității materialului reciclat și a mixturii asfaltice produse, determinarea și verificarea dozajelor, urmărirea fluxului tehnologic și a temperaturilor obținute etc.)

Alți factori care pot influența cantitățile de mixturi asfaltice produse cu material recuperat se referă la: legislația în vigoare, acceptarea soluțiilor prin norme tehnice, promovarea soluțiilor tehnice de acest fel de către factorii interesați, amploarea lucrărilor rutiere realizate într-o anumită regiune geografică etc.

Rezultă că factorii care pot influența producerea de mixturi asfaltice cu material bituminos recuperat pot varia în timp, funcție de amploarea lucrărilor rutiere care se derulează, de cererea și disponibilitatea de materiale rutiere noi, de experiența și încrederea acumulate sau de variația prețului materialelor rutiere noi.

În concluzie, nu se pot formula criterii generale pentru determinarea prețului unor astfel de tehnologii de preparare a mixturilor asfaltice, ci doar comentarii privind factorii care influențează costul lucrărilor de acest gen. De exemplu, materiale bituminoase recuperate, concasate corespunzător, pot fi utilizate pentru obținerea unui amestec stabilizat cu un liant hidraulic. Această soluție alternativă poate fi preferată celei de reciclare la cald în fabrici fixe, funcție de tipul și anvergura lucrărilor rutiere derulate într-o anumită regiune.

Pe de altă parte, literatura de specialitate precizează că în țările în care legislația și normele tehnice sunt favorabile acestor tehnologii, a fost învinsă treptat și reticența antreprenorilor sau administratorilor de drumuri de a promova pe scară mai largă aceste lucrări. În aceste țări, prețul unei mixturi asfaltice cu material bituminos recuperat se pare că nu diferă semnificativ de cel al unei mixturi asfaltice cu materiale noi, motiv care conduce la concluzia că nu prețul este singurul factor care poate influența creșterea procentului de mixturi asfaltice reciclate în fabrici fixe.

Informațiile centralizate prin comitetul tehnic de specialitate al Asociației Mondiale de Drumuri arată că economiile declarate de anumite țări, ca urmare a promovării tehnologiilor de reciclare la cald în fabrici fixe, sunt de 5...12 %, în raport cu producerea de mixturi asfaltice cu materiale noi.

În afara acestui impact economic important, nu trebuie uitată influența pe care o are promovarea acestor tehnologii asupra protecției mediului înconjurător.

Rezultă că există încă suficiente pârghii de a influența dezvoltarea în continuare a acestor tehnologii, în special prin: diseminarea cunoștințelor acumulate, perfecționarea echipamentelor de reciclare, modernizarea legislației și normelor tehnice, creșterea încrederii în calitatea unor astfel de mixturi asfaltice, îmbunătățirea tehnologiilor de punere în operă etc.

BIBLIOGRAFIE

1. ARQUIE, G. și MOREL, G. **Le compactage**. Paris, Edition Eyrolles, 1988.
2. BAROUX, R. ș.a. **Thermorégénération. Recyclage en place. Recyclage en centrale**. Guide pratique de construction routière, nr. 41. Revue Générale des Routes et des Aérodrômes, nr. 589/1982.
3. BELC, F. **Contribuții la studiul și realizarea unor structuri rutiere mixte**. Teză de doctorat. Universitatea "Politehnica" din Timișoara, 1993.
4. BELC, F. **Considerații privind întreținerea și exploatarea drumurilor reabilitate**. În: Revista A.G.I.R. cu tema: „Calitatea, o problemă a tuturor”, dec. 2003, p. 59...61.
5. BELC, F. și LUCACI, G. **Tendențe actuale în aplicarea tehnologiilor de reciclare a straturilor rutiere vechi**. În: „Al XII-lea Congres Național de Drumuri și Poduri”, CD, poziția 4.3.4.
6. CHIRA, C. **Întreținerea drumurilor**. Cluj-Napoca, Editura Mediamira, 2005.
7. COSTESCU, I. și BELC, F. **Agregate naturale stabilizate în tehnica rutieră**. Timișoara, Editura Orizonturi Universitare, 1998.
8. COSTESCU, I. și BELC, F. **Drumuri urbane. Întreținerea și exploatarea drumurilor**. Litografia Universității Tehnice din Timișoara, 1995.
9. CYNA, M., OSSOLA, M.F., FOUCHARD, C. ș.a. **Les émulsions de bitume**. Paris, În: "Revue générale des routes et des aérodromes", 2006.
10. ECKMANN, B. **Performances mécaniques et dimensionnement**. Colloque de formation: "Retraitement à froid des chaussées souples", Montréal, 2007.
11. IRASTORZA-BARBET, D., OSSOLA, F.M., MARIET, I. ș.a. **Les enrobés bitumineux**. Tome 2. Paris, În: "Revue générale des routes et des aérodromes", 2003.
12. JEUFFROY, G. și SAUTEREY, R. **Contrôles de qualité en construction routière**. Paris, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1991.
13. LEVEQUE, J. **Les émulsions de bitume**. Paris, Syndicat des fabricants d'émulsions routières de bitume, 1988.
14. LUCACI, G., COSTESCU, I., BELC, F. **Construcția drumurilor**. București, Editura Tehnică, 2000.

15. MEUNIER, Y. **Reconditionnement en place des chaussées par l'ARC 700 en France et à l'étranger.** În: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr. 669/1989, p. 30...35.
16. MOREL, G. și KHAY, M. **Compactage des assises traitées aux liants hydrauliques. Comparaison des débits rouleau vibrant et compacteur à pneus.** În: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 94/1978, p. 172...175.
17. MOURATIDIS, A. **Comportement des chaussées semi-rigides fissurées.** În: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 152/1988, p. 29...36.
18. NGUYEN, D.C. și DERKY, F. **Détermination du module élastique de matériaux des chaussées traités aux liants hydrauliques avec l'essai de compression diamétrale.** În: "Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées", nr. 171/1991, p. 7...12.
19. REGIS, C. **Cours de routes. Assises de chaussées.** Paris, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1985.
20. REYPONNE, C. și CAROFF, G. **Dimensionnement des chaussées. Cours de routes.** Paris, Presses de L'Ecole Nationale de Ponts et Chaussées, 1984.
21. RUBIN, M. **Cours de routes. Contrôles de qualité.** Paris, Presses de L'Ecole Nationale de Ponts et Chaussées, 1987.
22. SAUTEREY, R., IRASTORZA-BARBET, D., DEPETTRINI, A., OSSOLA, F.M. ș.a. **Les enrobés bitumineux.** Tome 1. Paris, În: "Revue générale des routes et des aérodromes", 2001.
23. VAURITIN, J. și RAY, N. **Recommandation sur les chaussées semi-rigides.** În: "Revue générale des routes et des aérodromes", nr. 632/1986, p. 86...95.
24. * * * **Fayat recycling book.** Le groupe Fayat, 2007.
25. * * * **Recyclage des chaussées. Guides pour le retraitement en place au moyen de ciment, retraitement en place à froid à l'émulsion ou à la mousse de bitume et recyclage à chaud en centrale des enrobés bitumineux.** Comité technique AIPCR C7/8 - Chaussées routières, 2003.
26. * * * **L'entretien courant des chaussées. Guide pratique.** Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports. SETRA, France, 1990.
27. * * * **Réalisation du retraitement en place à froid type II (urbain).** Guide pour Construction Soter.
28. * * * **Le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques pour l'exécution des remblais et des couches de forme.** Routes nr. 89/2004.
29. * * * **Code de bonne pratique pour le traitement des sols à la chaux et/ou au ciment.** Recommandation R 74/04.

30. * * * **Stabilisation des sols pour couches de sous-fondation. Guide pratique.**
Complément au Code de bonne pratique R 74/04.
31. * * * **Adaptation de la “Grave Mousse” pour son emploi par l’agence EUROVIA de Reims.** EUROVIA, 2006.
32. * * * Rapoartele generale și naționale de la Congresele mondiale de drumuri Marrakech, 1991; Montréal, 1995; Kuala Lumpur, 1999; Durban, 2003; Paris, 2007 și Mexico City, 2011.
33. * * * Lucrări de drumuri. Colecția standardelor, normativelor, instrucțiunilor și legilor în vigoare în România.
34. * * * Lucrări de drumuri. Colecția standardelor europene în vigoare.