



Raport de Cercetare 1:
POSSIBILITĂȚI DE UTILIZARE A DEȘEURILOR
INDUSTRIALE ÎN LUCRĂRI DE DRUMURI
~ SINTEZĂ DOCUMENTARĂ ~

Conducator științific - Prof. Univ. Dr. Ing. Mihai DICU

Doctorand - Ing. Catalina LIXANDRU

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

CUPRINS

1. INTRODUCERE. SCOPUL LUCRĂRII	2
2. DEȘEURI INDUSTRIALE.....	7
2.1. Generalități	7
2.2. Tipuri de deșeuri industriale.....	16
3. MODALITĂȚI DE UTILIZARE A DEȘEURILOR INDUSTRIALE ÎN CONSTRUCȚIA STRUCTURILOR RUTIERE	19
3.1. Agregate	19
3.1.1. Agregate naturale	19
3.1.2. Agregate artificiale	21
3.1.2.1. Generalități	21
3.1.2.2. Posibilități de utilizare ale agregatelor artificiale.....	22
3.1.2.3. Observații	28
3.1.3. Agregate reciclate.....	29
3.1.3.1. Generalități	29
3.1.3.2. Posibilități de utilizare ale agregatelor reciclate	32
3.1.3.3. Observații	36
3.2. Filerul	38
3.2.1. Generalități	38
3.2.2. Posibilități de utilizare a filerelor în compoziția mixturilor afaltice ecologice	39
3.2.3. Observații	42
3.3. Lianții	43
3.3.1. Generalități	43
3.3.2. Posibilități de utilizare a lianților în compoziția mixturilor asfaltice ecologice	48
3.3.3. Observații	72
4. CONCLUZII	74
5. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	75
6. BIBLIOGRAFIE	76

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

1. INTRODUCERE. SCOPUL LUCRĂRII

Programul de pregătire avansată în cadrul Școlii Doctorale U.T.C.B. având ca temă **“MIXTURI ASFALTICE ECOLOGICE CU ADAOS DE COMPUȘI OBȚINUȚI PRIN PRELUCRAREA DEȘEURILOR INDUSTRIALE”** are următoare structură pe perioada celor 3 ani de studii doctorale:

I. Discipline Opționale

- ✓ **D.O. 1:** Managementul proiectelor de cercetare științifică;
- ✓ **D.O.2:** Geotehnică și fundații;
- ✓ **D.O.3:** Modelare matematică și calcul numeric.

II. Discipline Elective

- **D.E.1:** Caracteristicile fizico-mecanice ale componentelor mixturilor asfaltice ecologice;
- **D.E.2:** Prelucrarea statistică a rezultatelor încercărilor de laborator pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice ecologice;

III. Rapoarte de Cercetare



R.C.1: Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară;

- **R.C.2:** Cercetări de laborator privind posibilitatea utilizării deșeurilor industriale la proiectarea rețetelor materialelor utilizate la execuția drumurilor;
- **R.C.3:** Evaluarea performanțelor materialelor rutiere care au în componența deșeuri industriale prin teste complexe de laborator.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Primul raport de cercetare presupune o detaliere precum și o clasificare a deșeurilor industriale și precizări privind posibilitățile de utilizare ale acestora în construcția drumurilor.

Scopul principal al acestui raport este de a furniza cât mai multe informații despre contribuția diferitelor componente în mixturile asfaltice care să conducă în același timp la performanțe foarte bune ale mixturii dar și să satisfacă cerințele de mediu, prin utilizarea anumitor componente care influențează negativ calitatea vieții zilnice a oamenilor.

Dezvoltarea unei infrastructuri adecvate de transport, precum și modernizarea celei existente, impun găsirea unor soluții de finanțare dar și utilizarea unor materiale mai ieftine, eventual locale, având în vedere că amplasarea unor astfel de programe necesită consumuri de agregate naturale, lianți etc., dificil de asigurat din sursele tradiționale. În acest sens, se urmărește exemplul țărilor dezvoltate și încadrarea în reglementările UE privind legislația de mediu.

De obicei, țările cu economie puternică știu și folosesc la maxim soluțiile alternative din necesitatea de a proteja mediul și de a folosi materiale care sunt presupuse a fi deșeuri însă, în realitate, acestea reprezintă o alegere viabilă, cu avantaje tehnico-economice sigure.

Cu rolul de a îndeplini acest scop este necesar să se analizeze contribuția separată a diferitelor componente în mixtura asfaltică și să se evalueze din punct de vedere al calității și al proprietăților dezvoltate.

Astfel se reușește să se decongestioneze anumite spații care pot fi redat spre utilizare, eliminarea factorilor care afectează terenul și apa de suprafață, se reușește să se reintroducă în utilizare materiale care sunt considerate deșeuri însă, prin prelucrare, acestea sunt din nou valorificate și aduc proprietăți îmbunătățite ale mixturilor asfaltice.

Este foarte bine cunoscut faptul că industria construcțiilor are o importanță semnificativă asupra volumului și diversității subproduselor și a deșeurilor industriale reciclate.

Lucrările rutiere valorifică deșeurile industriale cu scopul stabilizării straturilor din alcătuirea sistemului rutier, în strânsă legătură cu lucrările în domeniul geotehnicii și fundațiilor.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Aceste lucrări ingineresti au responsabilitate față de mediul înconjurător, prin acțiuni de evaluare al impactului tehnologiei, sau a utilizării materialelor compozite care, prin reciclare, au adăugate deșeuri.

Integrarea și contribuția materialelor și a lucrărilor de construcții la dezvoltarea durabilă constituie una dintre provocările fundamentale ale prezentului și viitorului industriei construcțiilor.

Deșeurile sunt definite ca fiind acele substanțe sau obiecte de care deținătorul se debarasează. În general, deșeurile reprezintă ultima etapă din ciclul de viață al unui produs (intervalul de timp între data de fabricație a produsului și data când acesta devine deșeu). (Dex online, 2001)

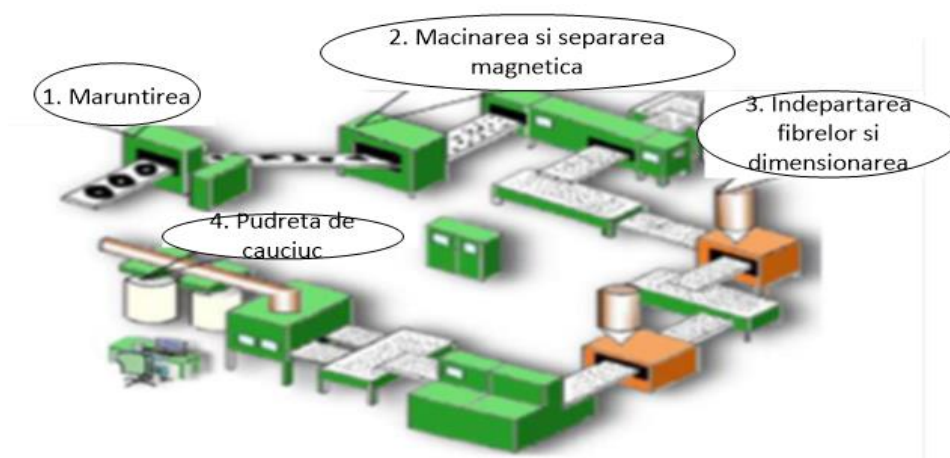


Figura 1. Schema unei instalații de prelucrare a anvelopelor uzate

În prezent, problema gestionării deșeurilor se afirmă din ce în ce mai mult, din cauza impactului negativ al acestora tot mai pronunțat asupra mediului înconjurător precum și datorită creșterii cantității și diversității lor. Depozitarea deșeurilor pe sol fără respectarea unor cerințe minime reprezintă o serie de riscuri majore atât pentru mediul ambiant cât și pentru sănătatea populației prin posibilitatea de a fi evacuate în cursurile de apă și arderea necontrolată a acestora.

De aceea, legislația europeană transpusă prin actele normative naționale a impus o nouă abordare a problematicii referitoare la deșeuri, plecând de la necesitatea de a economisi resursele naturale, ținând cont de reducerea costurilor de gestionare precum și de a găsi soluții eficiente în procesul de diminuare a impactului asupra mediului produs de deșeuri.

Gestionarea deșeurilor are ca obiective principale prevenirea și reducerea producerii de deșeuri și a gradului de pericolozitate al acestora, care se caracterizează prin:

- dezvoltarea de „tehnologii curate”, adică cu consum redus de resurse naturale;

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

- dezvoltarea tehnologiei și comercializarea de produse care prin modul de fabricare, utilizare sau eliminare nu au impact sau au cel mai mic impact posibil asupra creșterii volumului sau pericolității deșeurilor, ori asupra riscului de poluare;
- dezvoltarea de tehnologii adecvate pentru eliminarea finală a substanțelor periculoase din deșeurile destinate valorificării;
- valorificarea materială și energetică a deșeurilor, cu transformarea acestora în materii prime secundare, sau utilizarea deșeurilor ca sursă de energie.

Rezultatul va consta în protejarea resurselor naturale prin folosirea materiilor prime secundare din deșeuri și reducerea poluării mediului cauzată de eliminarea lor.

Documentele strategice naționale care reglementează gestionarea deșeurilor cuprind două componente principale: Strategia Națională și Planul Național de Gestionare a Deșeurilor care constituie instrumentele de bază prin care se asigură implementarea în România a politicii Uniunii Europene în domeniul deșeurilor. (Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor, 2015)

Prin natura lor, deșeurile periculoase au cel mai mare impact potențial asupra mediului înconjurător și sănătății populației. Ținând cont de proprietățile lor specifice (de exemplu: inflamabilitate, corozivitate, toxicitate), este necesar ca activitățile de gestionare a deșeurilor periculoase să fie abordate într-un mod riguros.

Deșeurile periculoase sunt reprezentate de activități economice precum: industria extractivă, industria de prelucrare a țițeiului, cocsificarea cărbunelui, fabricarea substanțelor și produselor chimice, industria metalurgică, industria de mașini și echipamente, precum și industria mijloacelor de transport.

Deșeurile periculoase, generate în anul 2006 în cantitate de 1,05 milioane tone, au reprezentat 0,33% din totalul deșeurilor generate (inclusiv deșeuri din industria extractivă).

Deșeurile industriale generate de unitățile economice sunt depozitate în spații de depozitare proprii, situate în incinta sau în afara unităților. Odată cu aderarea României la Uniunea Europeană, multe dintre depozitele de deșeuri neconforme cu cerințele legislației în vigoare au sistat activitatea.

Proiectele respective vor acoperi aglomerările urbane și rurale, la nivel județean și regional. De asemenea, se urmărește extinderea și finalizarea sistemelor de management al deșeurilor, astfel încât acestea să acopere întregul teritoriu al țării.

Scopul îl constituie crearea unui sistem modern de management al deșeurilor care să contribuie la reducerea cantității de deșeuri depozitate, prin stabilirea unui sistem adecvat care să trateze fiecare tip de deșeuri în parte, în vederea protejării mediului.

În paralel, se vor derula proiecte cu ajutorul cărora populația să conștientizeze efectele nefaste ale deșeurilor, având în vedere faptul că, pentru realizarea sistemelor eficiente de gestionare integrată a deșeurilor nu este suficientă doar dezvoltarea infrastructurii, ci și implicarea populației. A contribui la conservarea și re folosirea resurselor existente este mai mult decât dovada unei bune politici civice, este exact ceea ce trebuie să facă fiecare cetățean în vederea protejării mediului în care trăim. Reducerea volumului de deșeuri depozitate și

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

protejarea resurselor naturale presupun implementarea sistemului de colectare selectivă a deșeurilor, valorificarea și reciclarea deșeurilor re folosibile.

Prin implementarea prevederilor legale în activitatea curentă a agenților economici și a administrațiilor publice locale, se preconizează că impactul gestionării deșeurilor asupra mediului și sănătății umane se va reduce semnificativ.

Conform legislației în vigoare, obiectivul general al Strategiei Naționale de Gestionare a Deșeurilor și al Planului Național de Gestionare a Deșeurilor, este dezvoltarea unui sistem integrat de gestionare a deșeurilor, eficient din punct de vedere economic și care să asigure protecția sănătății populației și a mediului.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

2. DEȘEURI INDUSTRIALE

2.1. Generalități

Pământul este plin de resurse. În realitate nu există deșeuri, doar uneori se întâmplă să apară o lipsă de cunoștințe și abilitate să se transforme deșeurile în materiale valoroase. Această lucrare poate fi un bun exemplu pentru cum ar putea fi transformate deșeurile industriale în materiale necesare în construcția drumurilor.

Depozitarea a fost încurajată prin evidențierea potențialului mai redus de poluare a apelor și solului, al majorității deșeurilor granulare din industria materialelor de construcții. În timp, s-a constatat că acest tip de gestionare afectează factorii de mediu, apele de suprafață, cele subterane și chiar și solul, indiferent dacă materialele depozitate sunt considerate inerte. Metoda optimă de gestionare a deșeurilor (figura 2) o reprezintă valorificarea, în corelație cu potențialul economic și tehnologic precum și ținând cont de restricțiile legislației de mediu. (Maria Gheorghe, 1999)



Figura 2. Posibilități valorificare deșeuri

Ultimele două decenii au fost caracterizate printr-o creștere generalizată a conștientizării mediului înconjurător. Fenomenele meteorologice recente (și nu numai), pe o scară globală, au confirmat necesitatea unei schimbări rapide spre o atentă și sigură dezvoltare durabilă.

Deșeurile reprezintă resturile tehnologice, produsele și materialele cu termene de garanție depășite, produse uzate fizic care nu mai au valoare de întrebuințare, precum și resturile menajere. Clasificarea deșeurilor se face după mai multe criterii, în general se iau în considerare următoarele categorii de deșeuri:

- Deșeuri menajere – provenite din sectorul casnic sau din sectoare similare, mica și marea industrie, sectorul public sau administrativ, comerț, etc.;
- Deșeuri stradale – specifice căilor de circulație publică, provenite din activitatea cotidiană a populației, din spațiile verzi, din depunerea substanțelor solide în atmosferă;
- Deșeuri voluminoase – provenite din demolarea sau construirea de obiective industriale sau civile, sau de alte proveniențe care, datorită dimensiunilor lor nu pot fi preluate cu sistemele obișnuite de pre colectare sau colectare, ci necesită o tratare diferențială;

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

- d. Deșeuri industriale – provenite din desfășurarea proceselor tehnologice și care au natură diferită, în funcție de specificul unității industriale. Cele mai mari cantități de deșeuri industriale provin din activitățile miniere;
- e. Deșeuri agricole – provenite de la unitățile agricole și zootehnice sub forma de gunoi de grajd, deșeuri animaliere de la abatoare și din industria cărnii, deșeuri vegetale de la fabricile de zahăr, ulei, etc.;
- f. Deșeuri periculoase – precum cele toxice, inflamabile, explozive, radioactive, infecțioase, spitalicești sau de altă natură care reprezintă direct sau indirect un pericol pentru lumea vie;
- g. Deșeuri nepericuloase – deșeurile care nu se descompun în elemente periculoase care să afecteze viața omului, dar se acumulează în cantități uriașe afectând într-un fel sau altul mediul.

Reciclarea deșeurilor industriale la nivel mondial (2015)					
	Germany	65%		EU average	42%
	Austria	62%		Estonia	40%
	Belgium	57%		France	39%
	Netherlands	50%		Italy	38%
	Luxembourg	47%		Finland	34%
	Slovenia	47%		Bulgaria	27%
	Sweden	47%		Portugal	27%
	UK	46%		Spain	27%
	Denmark	45%		Hungary	26%
	Ireland	45%		Poland	25%
	Czech Republic	24%		Lithuania	21%
	Cyprus	21%		Greece	18%
	Croatia	16%		Latvia	16%
	Slovakia	13%		Malta	13%
	Romania	1%			

Source: Eurostat

Figura 3. Deșeuri industriale generate în anul 2015

Gestionarea deșeurilor industriale (vezi figura 3 și 4) reprezintă un domeniu amplu, care include mai multe activități:

- i. *Recuperarea* ceea ce presupune activități de colectare, transport, stocare, selecționare și prelucrare a deșeurilor. Astfel, deșeul recuperat poate fi reintrodus într-un flux tehnologic prin reciclare internă sau reciclare externă.

Reciclarea internă (directă) reprezintă reintroducerea deșeurilor industriale recuperate în același tip de proces tehnologic care le-a produs.

Reciclarea externă (reutilizarea) reprezintă activitatea de reintroducere a deșeului recuperat într-un proces tehnologic total diferit de cel care l-a produs.

- ii. *Deșeul industrial* (provenit din industria minerală) reprezintă un material solid sau lichid, cu compoziție complexă, care nu este adecvat pentru utilizarea

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

inițială. Deșeul are valoare economică nulă sau negativă pentru producător. Pentru un deșeu obținut în urma unui proces industrial denumirea corectă este de materie primă secundară, datorită faptului că acestea sunt destinate recuperării și comercializării și astfel devin subproduse industriale sau produse secundare.

- iii. *Deșeul ultim* care rezultă dintr-un proces industrial sau după un tratament de neutralizare (denocivizare) și nu se mai poate extrage partea valorificabilă. (Maria Gheorghe, 1999)

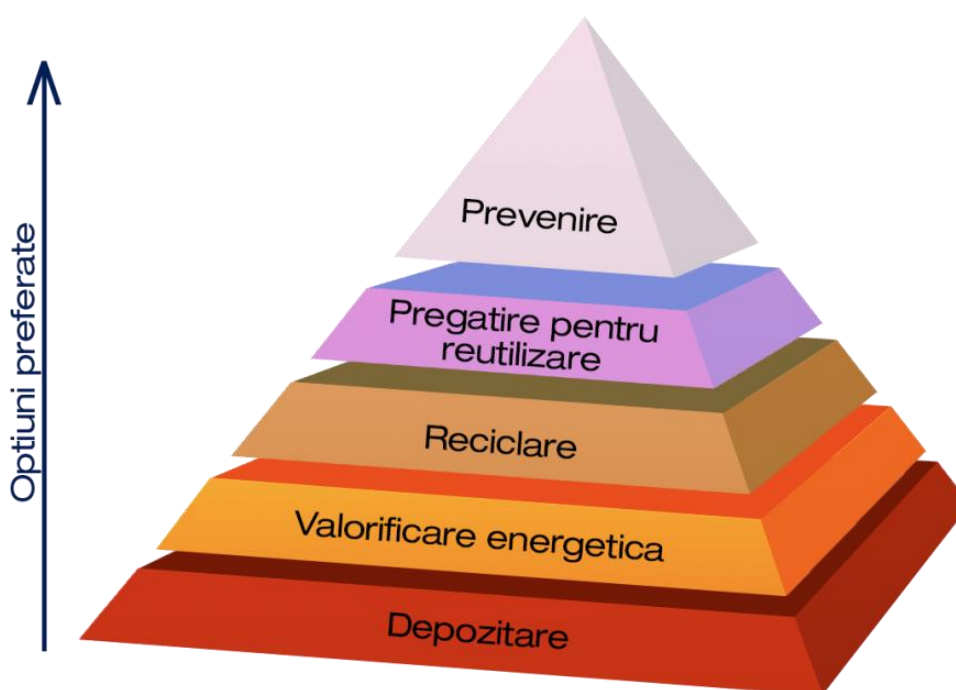


Figura 4. Gestionarea deșeurilor industriale

Materiile prime tradiționale au început să se reducă semnificativ sau chiar să fie epuizate datorită nevoilor crescânde de materiale de construcții în cursul ultimelor decenii.

În plus față de nevoia de materiale de construcții, ne confruntăm cu depozitarea deșeurilor industriale în cantități foarte mari unde, de cele mai multe ori, nu se ia în calcul și protecția mediului.

Mixturile asfaltice ecologice sunt mixturi asfaltice care au o compoziție modificată prin adăugarea de materiale de natură vegetală, minerală sau organică ce provin din prelucrarea superioară a unor deșeuri industriale.

Produsele românești utilizate la mixturile asfaltice sunt obținute prin prelucrarea superioară a deșeurilor reciclabile din industria chimică, textilă, siderurgică, prin tehnologii nepoluante, ecologice (produse cu valoare adăugată). Acestea sunt ușor accesibile și sunt

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

competitive cu cele de import, fiind utilizate într-un domeniu de mare interes național – infrastructura rutieră (figura 5).



Figura 5. Exemple posibilități de reciclare

Mixturile asfaltice ecologice (figura 6) sunt de mare utilitate socială, întrucât rezolvă atât probleme de protecția mediului prin reutilizarea acestor materiale care ocupă inutil terenuri care pot fi redat circuitului activității sociale, cât și protecția mediului prin înlăturarea posibilității ca infiltrații dăunătoare din componentele acestor materiale neutilizabile să afecteze subsolul, solul, apa de suprafață, aerul, cu implicații asupra sănătății și curățeniei mediului înconjurător. (Lixandru Cătălina, 2014)

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”



Figura 6. Mixtură asfaltică ecologică

De asemenea, există și soluții de reciclare-regenerare cu diverse adaosuri la straturi rutiere uzate în perioada de exploatare a unui drum. Reutilizarea materialelor din zestrea drumului existent a devenit o necesitate în ultima vreme, când a apărut și o criză de materiale de calitate și s-a restrâns și baza de producție a acestora. În plus, calculele tehnico economice, au pus în evidență eficiența tehnologiilor de reciclare-regenerare, prin faptul că se reduc costurile de transport ale materialelor necesare, precum și costurile de producție, depozitare etc. (Diaconu Elena, et al., 2014)

În acest fel, reutilizarea materialelor (figura 7) deja existente în structura rutieră prin ameliorarea calității lor realizată cu materiale de adaos, va constitui una dintre direcțiile de cercetare ale tezei de doctorat.

Dozajele de mixtură asfaltică se stabilesc în funcție de mai mulți parametrii: sectorul de drum pe care se va aplica mixtura asfaltică, poziția stratului în structura rutieră, traficul și condițiile de exploatare ale drumului, caracteristicile stratului suport (rigid sau deformabil), grosimea stratului, perioada de execuție.

Mixtura asfaltică ecologică se poate caracteriza ca fiind un material compozit constituit din trei faze, caracteristicile fiecărui component în parte influențând răspunsul final al amestecului:

- Faza solidă – reprezentată de agregate și fibre sau eventualii aditivi minerali;
- Faza lichidă sau vâsco-elastică – reprezentată de liantul bituminos;
- Faza gazoasă – reprezentată de volumul de goluri.

Proprietățile mixturilor asfaltice ecologice pot fi atât elastice, plastice cât și vâscoase. Mixturile asfaltice ecologice au astfel o comportare complexă datorită existenței fenomenelor plastice care depinde foarte mult de viteza de deformare, astfel, cu cât viteza de deformare este mai mare, comportarea elastică devine mai importantă comparativ cu cea vâscoasă, iar dacă viteza de deformare este mai mică comportarea vâscoasă devine mai importantă decât cea elastică.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

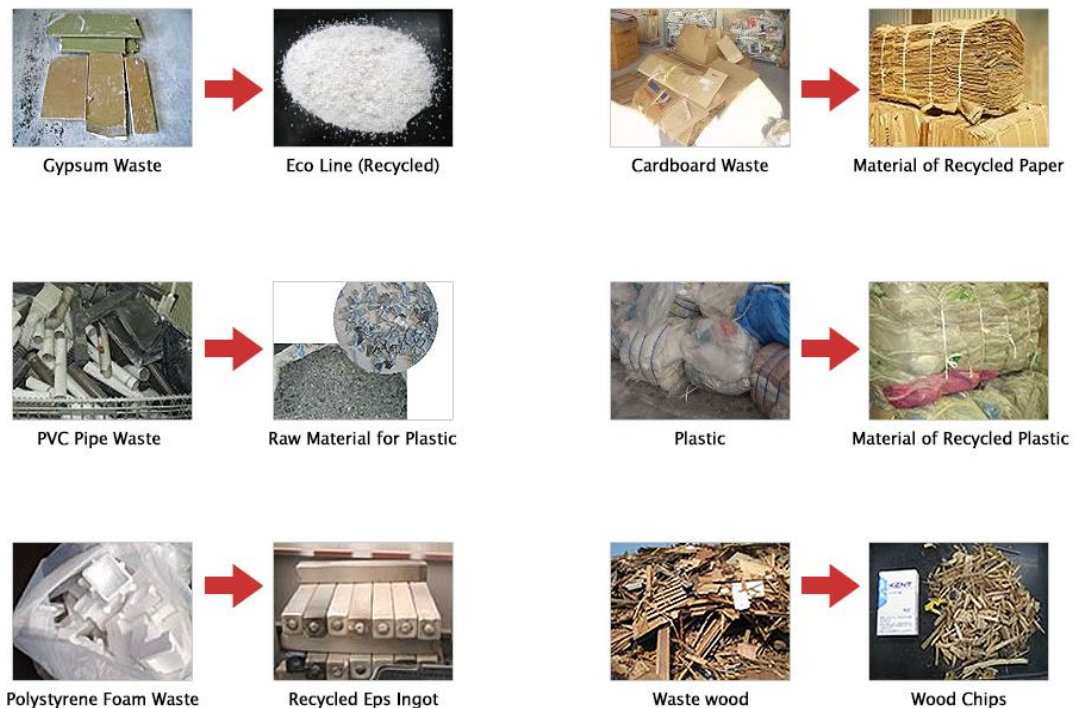


Figura 7. Reciclare materiale

Pe de altă parte, este foarte bine cunoscut că datorită proprietăților generale ale lianților, proprietățile mixturilor asfaltice vor depinde foarte mult de temperatură, astfel la temperaturi joase caracterul elastic este mai pronunțat comparativ cu cel vâscos și invers, respectiv la temperaturi ridicate caracterul vâscos este mai pronunțat față de caracterul elastic.

Cu scopul de a obține mixturi asfaltice ecologice cu caracteristici fizico-mecanice corespunzătoare trebuie avute în vedere și următoarele condiții:

- proiectarea unui dozaj pentru mixtura asfaltică astfel încât stratul bituminos ce urmează a fi executat cu aceasta să reziste solicitărilor și condițiilor de exploatare;
- producerea mixturii asfaltice în condițiile proiectate folosindu-se instalații care permit alocarea dozajelor optime;
- punerea în operă a mixturii asfaltice ecologice în condiții de calitate corespunzătoare; efectuarea unei compactări deosebit de îngrijite, respectându-se în totalitate tehnologia și condițiile de compactare.

Mixturile asfaltice ecologice realizate în dozaje corespunzătoare, puse în operă și compactate în bune condiții asigură realizarea unor straturi rutiere durabile și care oferă utilizatorilor un confort sporit. Proprietățile bune ale mixturilor asfaltice sunt datorate caracteristicilor bune ale materialelor ce alcătuiesc compoziția mixturilor.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Solicitările de încărcare-descărcare exercitate asupra drumului, conduc la apariția degradărilor în timp. Materialul din sistemul rutier își pierde rezistența și se degradează din cauza însumării efectelor, după un număr foarte mare de cicluri. La baza straturilor asfaltice în timpul solicitărilor din trafic apar eforturile de întindere care conduc la apariția deformațiilor de întindere și acționează mai ales asupra masticului bituminos.

În anul 2015 (figura 8), drumurile publice pe teritoriul țării noastre totalizau 86 080 km din care 747 km autostrada (4,2%), 17 110 km (20,2%) drumuri naționale, 35 587 km (37,7%) drumuri județene și 32,190 km (37,9%) drumuri comunale. (DSU România, 2015)

Aproximativ 44,5% din lungimea drumurilor modernizate și 52,3% din lungimea drumurilor cu îmbrăcămînți ușoare rutiere aveau durata de serviciu depășită la jumătatea anului trecut. În plus, liniile de cale ferată date în folosința publică ce sunt în exploatare însumau 10.770km.

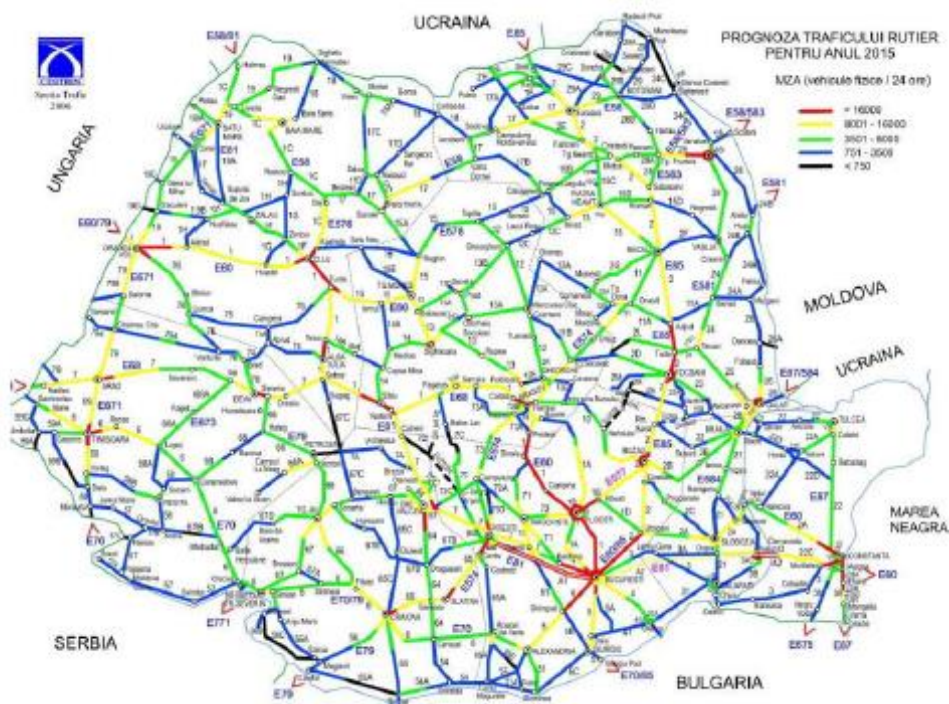


Figura 8. Prognoza traficului rutier pentru anul 2015

Mixturile asfaltice ecologice (figura 9) pot oferi soluții pentru situații problematice cu care ne confruntăm atât pe plan național cât și internațional. (SR EN 933-1, 2013)

Într-adevăr, cuvântul durabilitate este din ce în ce mai des utilizat la nivel mondial (uneori făcându-se abuz) are scopul de a indica pe termen lung responsabilitatea de întreținere, care conține conceptele de mediu, economice și sociale, de asemenea cuprinde conceptul de administrare și gestionarea utilizării responsabile a resurselor.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

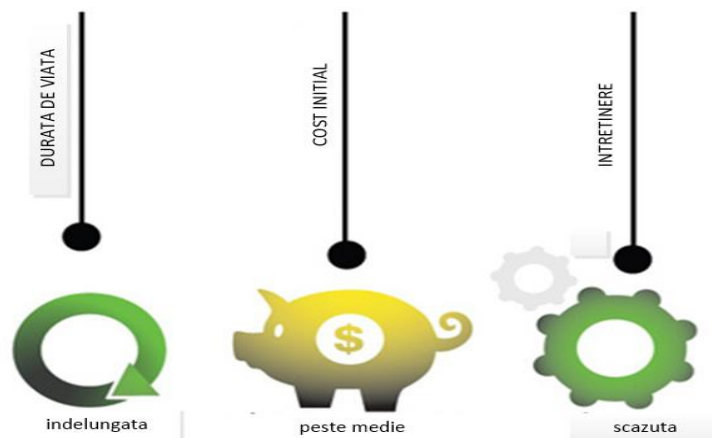


Figura 9. Conceptul durabilității

Conceptul legat de *durabilitate* este o provocare socială care presupune, printre alți factori, urmărirea legilor naționale și internaționale, planificarea urbană și de transport, precum și stilul de viață al oamenilor. În prezent, reevaluarea de bune practici (cum ar fi reutilizarea și reciclarea lucrurilor folosite) și dezvoltarea de noi tehnologii care economisesc resursele, sunt subiecte de interes comun pentru mai multe sectoare.

Dezvoltarea acestor așa numite *tehnologii verzi* conduc la posibilitatea de evaluare a energiei, de la caz la caz, a emisiei de dioxid de carbon și la salvarea costurilor referitoare la consumul de resurse neregenerabile. Amprenta de carbon, denumită și amprenta CO₂, reprezintă emisiile totale de gaze cu efect de seră produse într-un anumit interval de timp. În epoca constrângerilor de emisii de carbon, posibila reducere a amprentei transporturilor de marfă nu ar trebui să fie respinsă la evaluarea impactului de construcții rutiere.

Drumurile au fost îndreptate către această direcție de mai mulți ani, prin utilizarea rațională a materialelor reciclate în multe soluții tehnice diferite. Utilizarea mai multor soluții precum: RAP (Recycled/Reclaymed Asphalt Pavement), agregate secundare și utilizarea de pudră de cauciuc au avantaje de necontestat pentru a face economie de resurse, prin reciclarea materialelor valoroase.

Tehnologia mixturilor asfaltice cu adaos de cauciuc a fost dezvoltată într-un moment când termenul *sustenabilitate* era departe de a fi un subiect atât de dezvoltat și utilizat. Cu toate acestea, este o tehnologie care susține mediul, care în timp a demonstrat a oferi performanțe mecanice foarte bune în toate condițiile climatice, care durează mai mult comparativ cu mixturile asfaltice convenționale și nu solocită mai puțină întreținere. Nu în ultimul rând, proiectarea mixturii asfaltice care conține soluții ecologice reciclate permite reducerea zgomotului și optimizarea acustică. (Antunes I., et al., 2006)

Reciclarea diverselor materiale utilizate în construcții nu este o noutate. Romanii au folosit deșeurile de construcții precum ceramica în confecționarea betonului. (Delatte N.J., 2001)

Oricum, în zilele noastre, făcând excepție de la marile dezastre naturale sau de la războaie și câteva țări europene, actuala reciclare a fracției minerale din materialele de construcție este mai degrabă o regulă decât o excepție. (Prof. Dr. Enric Vasquez et al, 2012)

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Sporirea interesului în dezvoltarea durabilă și mai specific în construcții durabile, ca și reacție a societății la problemele globale sociale și de mediu, poate fi un factor decisiv la creșterea ratei de reciclare în viitorul apropiat. A fost demonstrat ca recilarea implică și fenomenul de *durabilitate*, bazat pe măsuri de rezistență și încercări pe probe experimentale de laborator. (Vandecasteele C. & van der Sloot H. , 2011) (Prof. Dr. Enric Vazquez, 2012)

Cele mai importante proprietăți cerute de mixturile asfaltice sunt: stabilitate, durabilitate, flexibilitate, rezistență la oboseală, rezistență la deformări permanente, rezistență la derapaj, impermeabilitate și lucrabilitate. (Castelo Branco, et al., 2008)

În literatura de specialitate, atât pe plan național cât și internațional, se menționează mai multe soluții care pot fi utilizate cu scopul de a îmbunătăți performanțele mixturilor asfaltice care au în compoziție diverse adaosuri de natură ecologică obținute prin reciclarea diverselor deșeuri.

○ Aditivi

Aditivii (figura 10) se pot utiliza în vederea atingerii performanțelor mixturilor asfaltice la nivelul cerințelor. Aceștia pot fi adaugați direct în bitum (precum agenții de adezivitate sau aditivii de mărire a lucrabilității) fie în mixtura asfaltică (precum fibrele minerale sau organice, polimeri, etc.).

În urma unui studiu preliminar se va stabili atât tipul cât și dozajul aditivilor efectuat în laborator, fiind utilizați în funcție de realizarea cerințelor de performanță specificate.



Figura 10. Exemple aditivi

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

2.2. Tipuri de deșeuri industriale

1) Cenuși de termocentrală

La arderea în suspensie de gaz a cărbunilor fin măcinați în focarele centralelor termice rezultă 15-25% zgură de focar, care se depune în instalația de ardere și 78-85% cenuși separate de gazele de ardere în sisteme de desprăfuire mecanică sau electrostatică. Frațiunile granulometrice mai groasere de cenușă se depun în cicloane, iar cele fine, numite cenuși volante (zburătoare) sunt captate în electrofiltre.

Cantitățile cele mai mari de cenușă sunt utilizate în lucrări de umplutură și de stabilizare a pământurilor, în condițiile corelării densității și umidității cenușii cu compactibilitatea.

În plus, se utilizează în compoziția amestecurilor asfaltice preponderent ca înlocuitor al părții fine din agregate cu scopul îmbunătățirii lucrabilității și impermeabilității acestora. Studiile efectuate au demonstrat că oferă caracteristici îmbunătățite tuturor straturilor din compoziția structurilor rutiere.

2) Zguri de furnal

Zgura de furnal este cel mai important subprodus al industriei siderurgice prin cantitatea disponibilă, precum și prin domeniile de reutilizare existente și potențiale. Aceasta se formează la obținerea fontei în furnal, ca produs secundar al reacțiilor de reducere a oxizilor de fier cu monoxidul de carbon, provenit de la arderea cocsului.

Cantitatea de zgură rezultată depinde într-o pondere foarte mare de performanțele procedurii utilizate, cele mai eficiente procese de obținere a fontei pot produce 250-300 kg zgura per tona de fontă, iar raportul mediu, zgură/fontă este de 0,8.

Zgura vitrificată se obține prin răcirea bruscă a topiturii de zgură. În funcție de fluidul de răcire se obține zgura granulată (prin răcirea cu apă) și zgura expandată (prin răcirea cu aer).

3) Zgura cristalizată

Zgura cristalizată este obținută prin răcirea lentă a topiturii; se caracterizează prin stabilitate chimică și duritate.

S-a observat că în decursul mai multor ani, după ce a fost concasată în fundația drumurilor prezintă coeziune de cimentare, fără a se utiliza activator. Acest lucru este posibil datorită oxidării sulfurilor în sulfați de calciu, care creează punți de legătură între granule.

4) Zgura granulată

Material granular sticlos, format prin răcirea rapidă prin scufundare în apă a zgurii de furnal topite.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Zgura granulată este o materie primă esențială în industria construcțiilor, reprezintă substituentul parțial al clincherului Portland, cimentului și agregatelor. De asemenea, poate substitui parțial sau total nisipul și agregatele componente în lucrări de infrastructură în construcții rutiere, civile și industriale, în special pe plan local.

5) Zgura de oțelărie

Oțelul se obține din fontă prin tratament termic, impuritățile obținute în urma acestui proces se separă în formă oxidată în zgură. Zgurile de oțelărie sunt clasificate după procedeul de obținere a oțelului în două tipuri: zguri de convertizor cu oxigen (BOS) și zgurile de cuptor cu arc electric (EAF).

Zgura de convertizor are proprietăți hidraulice slabe, în comparație cu zgura granulată de furnal care se poate utiliza doar în cantități mici, controlate ca adaos hidraulic. În Europa, SUA, Japonia sunt utilizate în proporție de până la aproximativ 90%.

Datorită instabilității volumice (prin caracterul expansiv) agregatele din zgură de oțelărie deferizate se utilizează doar pentru construcții nestructurale, printr-o procesare și selecție adecvată, precum și posibilitatea de a fi utilizate în compoziția mixturilor asfaltice, în special în stratul de fundație.

Această topitură are un conținut important de oxid de fier care face necesară reciclarea în convertizor. Pentru construcții este importantă utilizarea zgurii de oțelărie deferizate. Se produce aproximativ 120-160 kg zgură/tona de oțel.

Cercetările studiate au demonstrat că zgurile de furnal pot înlocui agregatele naturale, iar experimentele efectuate au fost detaliate asupra straturilor de fundație cât și asupra straturilor de bază.

6) Silicea ultrafină

Silicea ultrafină este un subprodus rezultat la producerea, în cuptoare cu arc, a aliajelor cu siliciu precum și a siliciului prin reducerea cuarțului de înaltă puritate cu cocs, în cuptor electric. Pentru colectarea silicei ultrafine din emisiile gazoase de la cuptorul cu arc se utilizează filtre cu saci, protejate cu sisteme de răcire a gazelor.

O atenție deosebită a fost acordată în ultimii ani asupra utilizării puzzolanelor artificiale, din care reziduurile de silice coloidală, folosite ca adaos în cimenturi, betoane și mixturi asfaltice.

Protecția atmosferei a fost interesul inițial pentru silicea ultrafină, prin limitarea emisiilor cu pulberi în suspensie. Producerea și comercializarea unei game largi de aditivi superfluidizanți a fost ulterior dezvoltată, aceștia fiind puternic reducători ai cantității de apă din beton, astfel a deschis largi posibilități tehnologice pentru folosirea silicei ultrafine ca substituent parțial al cimentului, în mixturi asfaltice de performanță, cât și în mortare fluide, pentru lucrări de impermeabilizare.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

7) Sterile carbonifere

Sterilele carbonifere sunt deșeuri care apar în urma exploatării minelor de cărbuni și sunt formate dintr-un amestec de minerale și roci care însoțesc zăcămintele de cărbune.

Acestea rezultă în cantități enorme, în special în cazul exploatării cărbunilor inferiori. Raportul steril/cărbune variază în funcție de caracteristicile geologice ale zăcămintului, de tehnologia de extracție și de prelucrare.

De exemplu: în Anglia și Polonia raportul este de 0,6-0,7 t steril/t cărbune, în Germania 0,86t steril/ t cărbune iar în Franța 1t steril/1 tonă cărbune.

Acumularea de steril carbonifer în halde are consecințe enorme asupra degradării suprafețelor de teren, pe care le scot din circuitul natural. În plus, degradarea fizico-chimică (sub acțiunea factorilor meteo) determină mărunțirea și solubilizarea compușilor poluanți care trec în sol, în apele freatice și în apele de suprafață.

Direcțiile de valorificare promovează simultan și protecția mediului (datorită faptului că se reduce volumul de deșeu) și se protejază resursele naturale de materii prime prin substituire cu steril carbonifer.

Beneficiile economice și tehnice sunt datorate utilizării sterilelor carbonifere în diferite domenii, precum:

- lucrări hidrotehnice;
- lucrări rutiere în special pentru straturile de fundație ale structurilor rutiere (lucrări portuare, lucrări de stabilizare terenuri, ca și umplutură nu este nevoie de o procesare prealabilă, este o valorificare primară);
- lucrări de reabilitare a terenurilor degradate (umplere a cavitațiilor subterane și a celor de suprafață);
- ca materie primă pentru materiale de construcții precum fabricarea cimentului, a ceramicii de zidărie și a agregatelor sinterizate.

În România gestionarea deșeurilor industriale a scăzut în ultimii ani datorită recesiunii economice manifestată în industrie și mai ales în sectorul minier. În schimb structura deșeurilor, în funcție de sectoarele de proveniență a rămas aceeași. (Maria Gheorghe, 1999)

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

3. MODALITĂȚI DE UTILIZARE A DEȘEURILOR INDUSTRIALE ÎN CONSTRUCȚIA STRUCTURILOR RUTIERE

În prezent, problema gestionării deșeurilor se manifestă tot mai intens din cauza creșterii cantității și diversității acestora, precum și al impactului lor negativ, tot mai pronunțat asupra mediului înconjurător. Depozitarea deșeurilor pe sol fără respectarea unor cerințe minime, evacuarea în cursurile de apă și arderea necontrolată a acestora reprezintă o serie de riscuri majore atât pentru mediul ambiant, cât și pentru sănătatea populației.

De aceea, legislația europeană transpusă prin actele normative naționale a impus o nouă abordare a problematicii deșeurilor, plecând de la necesitatea de a economisi resursele naturale, de a reduce costurile de gestionare și de a găsi soluții eficiente în procesul de diminuare a impactului asupra mediului produs de deșeuri.

Gestionarea deșeurilor cuprinde toate activitățile de colectare, transport, tratare, valorificare și eliminare a deșeurilor, inclusiv monitorizarea acestor operații și monitorizarea depozitelor de deșeuri după închiderea lor.

3.1. Agregate

Agregatele, indiferent de natura și proveniența lor, trebuie să îndeplinească anumite caracteristici tehnice printre care:

- Determinarea granulozității;
- Segregarea;
- Forma curbei de granulozitate;
- Determinarea caracteristicilor geometrice;
- Determinarea echivalentului de nisip;
- Determinarea coeficientului de activitate al nisipului de concasaj;
- Rezistența de sfărâmare a pietrei sparte în stare naturală;
- Rezistența de sfărâmare prin șoc mecanic a pietrei sparte în stare uscată;
- Coeficientul de uzură determinat cu mașina Los Angeles;
- Coeficient de uzură determinat cu mașina Deval;
- Rezistența la îngheț-dezghet;
- Determinarea valorii de albastru;
- Determinarea coeficientului de impurități.

3.1.1. Agregate naturale

Agregatele naturale sunt materiale granulare, de origine minerală, ce provin din sfărâmarea naturală sau artificială a rocilor. Structura rutieră conține aproximativ 85% agregate naturale din masa totală a acesteia, ceea ce reprezintă 50-70% din valoarea suprastructurii rutiere.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

În funcție de lucrările la care urmează să fie utilizate, agregatele naturale de balastieră precum nisipul, pietrișul și balastul pot fi nepreucrare sau prelucrate (spalare, sortare, concasare, în vederea obținerii corecției granulozității).

Agregatele naturale și piatra prelucrată (figura 11) se clasifică după cum urmează:

- agregate naturale de balastieră: nisip, pietriș, balast, bolovani;
- agregate naturale și piatra prelucrată:
 - piatra prelucrată (fasonată) pentru pavaje: pavele, calupuri, borduri, butise;
 - agregate naturale sfărâmate artificial: piatra brută/spartă, criblura, nisip de concasaj.

Agregatele naturale de balastieră se găsesc în albiile râurilor, în balastiere și în unele depozite naturale izolate.

Agregatele naturale și piatra prelucrată sunt materialele obținute prin extragerea și prelucrarea rocilor din zăcămintele masive (agregate naturale sfărâmate artificial și piatra prelucrată/fasonată pentru pavaje) în formele și dimensiunile necesare lucrărilor rutiere.

Piatra naturală folosită la lucrările de căi de comunicații terestre provin, în principal, din roci magmatice, metamorfice și sedimentare.



Figura 11. Tipuri agregate

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

3.1.2. Agregate artificiale

3.1.2.1. Generalități

În categoria agregatelor artificiale (figura 12) pentru drumuri se încadrează materiale de origine minerală, obținute prin extragerea și prelucrarea zăcămintelor de roci, sub forma de agregate naturale concasate artificial și piatră prelucrată (fasonată) pentru pavaje, în formele și dimensiunile necesare lucrărilor rutiere, precum și zgura de oțelărie sau zgura de furnal înalt.



Figura 12. Agregate artificiale

Exploatarea agregatelor naturale din albiile râurilor și din masivele muntoase ridică serioase probleme de mediu și de protecție a naturii și de aceea în ultimul timp s-a pus accent pe problema înlocuirii lor.

Cele mai adecvate din punct de vedere al proprietăților fizico-mecanice sunt zgurile siderurgice și de oțelărie, deșeuri care prin prelucrare și sortare la dimensiuni adecvate, pot înlocui cu succes, parțial sau total, agregatele de carieră și balastieră utilizate în lucrări de drumuri.

România va trebui să găsească rapid variante de folosire, la construcția sistemelor rutiere, a unor deșeuri rezultate din activitățile industriale, între care, cenușa de termocentrală mai ales că aceasta este în prezent, și va fi și în viitor, o sursă importantă de poluare, prin cantitățile mari în care rezultă și prin suprafețele de teren necesare depozitării ei în halde.

În țara noastră, se generează anual milioane de tone de deșeuri din care cantități importante sunt stocate în depozite de deșeuri industriale care ocupă mari suprafețe de teren și afectează calitatea mediului, în special a apelor subterane și de suprafață.

Depozitarea deșeurilor pe teren descoperit reprezintă în România calea cea mai frecvent întâlnită pentru utilizarea deșeurilor industriale, peste 75% din deșeurile generate fiind depozitate în fiecare an, costurile cu construcția acestor depozite fiind considerabile.

În România, problemele cu care se confruntă industria energetică, principalul generator de cenuși zburătoare (figura 13), industria de extracție a țițeiului, principalul generator de șlam de foraj dar și industria metalurgică prin diferitele tipuri de zguri produse, ridică probleme majore de mediu și economice.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”



Figura 13. Cenuși antrenate de acțiunea vântului

În majoritatea cazurilor, reziduurile provenite din industriile energetică, petrolieră și metalurgică au fost considerate deșeuri fără utilizare, iar evacuarea și neutralizarea lor reprezintă prin operațiile de transport, manipulare și depozitare, cheltuieli neproductive importante care majorează prețul de cost al resurselor obținute.

Având în vedere înăsprirea legislației privind depozitarea deșeurilor și, în același timp, conservarea resurselor naturale, agregatele artificiale oferă perspectiva fundamenării unui concept nou de dezvoltare durabilă, prin valorificarea superioară a deșeurilor industriale.

Din punct de vedere științific utilizarea agregatelor artificiale din zguri siderurgice sau zguri de oțelărie este dezbătută la nivel național cât și mondial și s-a demonstrat că prin utilizarea acestora se aduc contribuții însemnate la reducerea poluării, la protecția mediului, la creșterea gradului de ecoeficiență și la reducerea costurilor de producție pe km de drum asfaltat.

În România, cercetările privind zgurile de furnal au fost inițiate de savantul Șerban Solacolu, de la Universitatea Politehnică București, încă din anii 1952-1957, ale cărui lucrări (documente științifice de referință) au stat la baza cercetării și dezvoltării tehnologiei lianților cu zgură. În anii 1960-1962 colective de cadre didactice din Universitatea Tehnică de Construcții București, specialiști în institutele de cercetare de nivel național, au creat și dezvoltat produse și tehnologii, metode de încercare și evaluare, prescripții tehnice de proiectare și execuție, privind valorificarea subproduselor și deșeurilor industriale în construcții.

În industria construcțiilor rutiere se pot utiliza produse care poartă marca Uniunii Economice Europene, care au fost identificate și controlate pentru a putea fi utilizate în lucrări de construcții, care să corespundă celor șase exigențe esențiale: stabilitatea, securitatea la incendii, igiena și respectul față de mediul înconjurător, securitatea la utilizare, confortul acustic și economia de energie. De fapt, succesul reutilizării constă în trei factori: caracterizarea fizico-chimică, performanța și educația. Caracterizarea fizico-chimică presupune stabilirea calităților produselor cu scopul de a determina dacă acestea pot fi considerate opțiuni de valorificare sau de eliminare a deșeurilor. (Maria Gheorghe, 1999)

3.1.2.2. Posibilități de utilizare ale agregatelor artificiale

E. Diaconu și Ș. Lazăr au studiat valorificarea zgurii de oțelărie în îmbrăcămințile bituminoase cilindrate la cald în anul 2009. În cadrul acestui studiu s-au efectuat încercări în

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

vederea utilizării zgurilor de oțelărie sub 8 mm pentru înlocuirea criblurii în mixturile asfaltice. S-a urmărit stabilirea cantității optime de zgură de oțelărie care poate fi folosită ca înlocuitor în compoziția unei mixturi asfaltice tip AB2.

În acest scop s-au confecționat și încercat probe pentru trei rețete de mixtură asfaltică cu zgură de oțelărie sort 0-8mm în procente de 20%, 50% și 100%.

Rezultatele obținute au demonstrat că se poate folosi zgura de oțelărie sortul 0-8mm la agregat pentru mixturile asfaltice tip AB2 pentru cel puțin un procent de 50% . S-a mai precizat că pentru a înlocui total criblura cu zgura de oțelărie, cantitatea de bitum necesară în mixtură trebuie să fie mai mare cu cca. 10%. (Diaconu Elena & Lazăr Ștefan Marian, 2009)

Iriciuc Cristian în teza de doctorat intitulată „*Utilizarea zgurii concasate de oțelărie în mixturile asfaltice folosite la drumuri*” (Iași 2011) a efectuat un studiu privind înlocuirea agregatelor convenționale cu agregate artificiale (sursa DSU Rutier) în cadrul căruia a confecționat 5 rețete de mixturi asfaltice (BA 8, BA 16, BAR 16, BA 25, BAD 25). În urma numeroaselor experimente efectuate în laborator a observat că proprietățile fizico-mecanice recomandă toate tipurile confecționate de mixturi asfaltice ca mixturi convenționale, iar din punct de vedere al agregatelor din zgură de oțelărie s-a determinat că pot înlocui cu succes agregatele clasice. (Iriciuc Cristian, 2011)

Laurențiu Stelea și Georgeta Grîsîc au făcut cercetări în anul 2012 asupra utilizării zgurilor în construcția de drumuri și anume au înlocuit agregatele naturale cu agregate din zgură. În prima etapă s-a studiat zgura de furnal granulată de la Galați (LIDONITUL) și s-au făcut determinări pe sortul 0-63 mm, iar în partea a doua a studiului s-a studiat zgura de furnal expandată de la Hunedoara pe sorturile 0-4, 4-8, 8-16 și 0-63mm. Astfel s-a demonstrat că prin procesarea chimică și fizică a unei zguri siderurgice (cu condiția să se scadă conținutul de CaO sub 4%) se asigură granulozitatea sorturilor, coeficientul de formă al granulelor, rezistența la uzură Los Angeles, rezistența la strivire, coeficientul de gelivitate, adezivitatea la bitum, însemnând că agregatele artificiale provenite din zguri de furnal pot fi utilizate la lucrări de drumuri și autostrăzi. (Stelea Laurențiu & Grîsîc Georgeta, 2012)

Pe plan mondial, un studiu efectuat în Malaesia cu scopul de a determina proprietățile Hot Mix Asphalt (tabel 1, 2, 3) în momentul în care se utilizează agregate din zgura siderurgică, s-a demonstrat că: mixtura asfaltică obținută cu agregate din zgură are o valoare mai mare a conținutului optim de bitum comparativ cu aceeași mixtură asfaltică dar cu agregate convenționale. Acest lucru este posibil datorită gradului mai mare de porozitate al agregatelor din zgură.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Tabel 1. Conținut optim de bitum

Tip mixtură		Conținut optim de bitum (%)	Valori din stas SPJ/KR/1988
ACW 14	Zgură	6,7	5-7%
	Clasică	5,0	
ACB 28	Zgură	5,7	4-6%
	Clasică	4,3	

Tabel 2. Rezultatele încercării Marshall și specificații pentru mixtura ACW 14

Parametru	Specificație stas	Valoarea optimă a conținutului de bitum	
		Zgură	Mixtură clasică (de control)
VFB (%)	75-85	78	79,5
VTM (%)	3-5	5	3,4
Stabilitate (KN)	>500	2200	1339,0
Indice de curgere (mm)	>2.0	4,3	2,2
Modul de rigiditate (MPa)	>250	512	623,0

Tabel 3. Rezultatele încercării Marshall și specificații pentru mixtura ACB28

Parametru	Specificație stas	Valoarea optimă a conținutului de bitum	
		Zgură	Mixtură clasică (de control)
VFB (%)	65-80	70	72,6
VTM (%)	3-7	6,3	3,97
Stabilitate (KN)	>450	2300	1662,0
Indice de curgere (mm)	>2.0	4,7	4,53
Modul de rigiditate (MPa)	>225	489	367,0

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Modulul rezilient reprezintă modulul de rigiditate dinamic al mixturilor asfaltice și se determină prin încercarea acestora la încovoiere sub efort constant. Modulul de rigiditate furnizează informații despre gradul de deformare al materialului sub acțiunea unei încărcări date, depinde de valorile deformațiilor permanente și de fenomenul de fisurare din oboseală, depinde de temperatură și de viteza cu care este aplicată încărcarea.

Rezultatele încercării de modul rezilient (figura 14) au demonstrat că mixtura cu zgură are valori mai mari comparativ cu mixtura cu agregate convenționale. Mai mult, temperatura influențează și ea rezultatele acestei încercări.

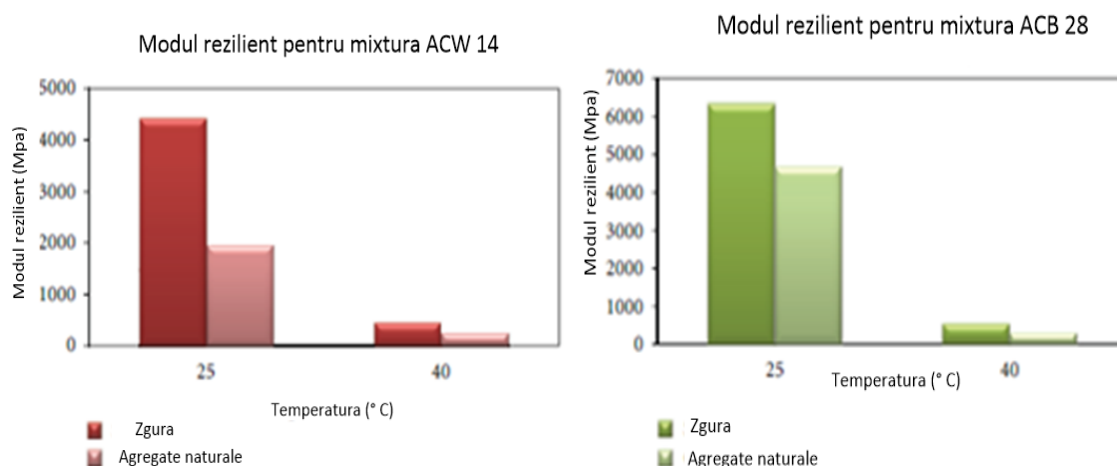


Figura 14. Modulul rezilient pentru mixtura ACW14 (roșu) și pentru ACB28 (verde)

În ceea ce privește încercarea la fâgășuire (figura 15), mixtura confecționată cu agregate din zgură are o forță de coeziune mai mare față de mixtura convențională. Astfel se poate observa, în urma rezultatelor obținute, că mixtura asfaltică care are în compoziție agregate din zgură prezintă o rezistență mai mare comparativ cu mixtura asfaltică convențională.

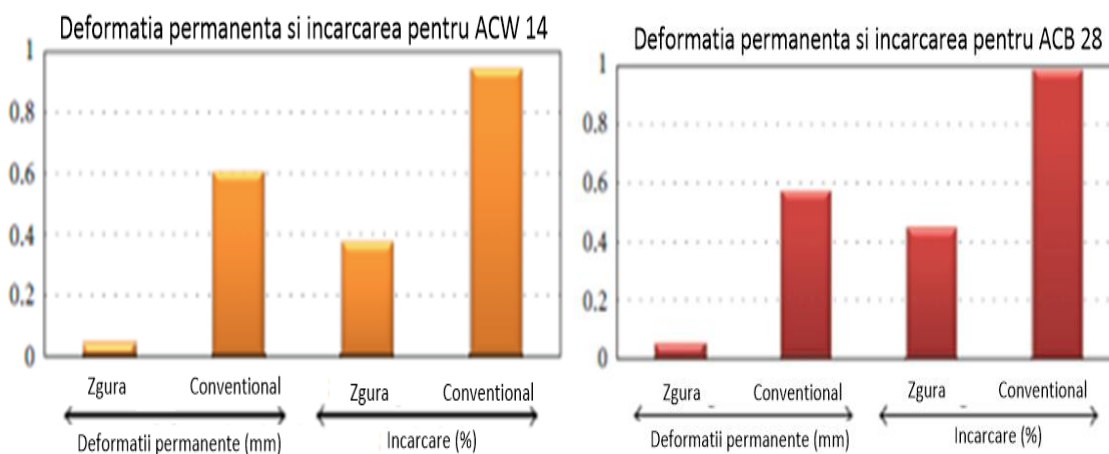


Figura 15. Încercarea de fluaj

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Încercarea la fluaș ne prezintă că mixtura cu agregate din zgură are deformări permanente mai mici comparativ cu agregatele convenționale. Motivul din spatele acestui rezultat se datorează proprietăților zgurilor siderurgice care au o mai mare aderență față de mixtura asfaltică.

Rezultatele acestui studiu sugerează că utilizarea agregatelor din zgură sunt benefice pentru mediul înconjurător și, în același timp, reduce utilizarea agregatelor naturale neregenerabile în construcția drumurilor.

Cu rezultatele excelente obținute pentru modul rezilient și cu potențialul redus la fâgășuire, este recomandat ca zgurile siderurgice să fie utilizate ca înlocuitori ale agregatelor clasice pentru o dezvoltare durabilă în sectorul construcției de drumuri. (Mohd Rosli Hainin, 2012)

Studiul efectuat de cercetătorii Ludfi Djakfar, Hendi Bowoputro și Yulvi Zaika din Indonesia în anul 2013 a demonstrat că utilizarea agregatelor din zguri în mixturi asfaltice poroase oferă cele mai bune performanțe ale mixturii asfaltice, atât pentru stabilitate cât și pentru permeabilitate. (Djakfar Ludfi, 2014)

În Croația s-a studiat, la Universitatea din Zagreb de către cercetătorii Praveen Mathew, Leni Stephen, Jaleen George, posibilitatea utilizării zgurilor siderurgice în producția mixturilor asfaltice.

O parte dintre rezultatele obținute în urma încercărilor de laborator sunt reprezentate în tabelulele 4 și 5:

Tabel 4. Comparatie asupra caracteristicilor mecanice ale agregatelor utilizate

Proprietăți	Metoda	Agregate din zgură	Agregate naturale
Rezistență la spargere (LA) (%)	EN 1097-2	13	29
Rezistență la abraziune (micro-Deval) (%)	EN 1097-1	8	11
Rezistența la îngheț (Mg_2SO_4 , % din greutate)	EN 1367-2	1,0	1.7
Rezistența la îngheț, îngheț-dezghet (% din greutate)	EN 1367-1	0,4	0.3
Valoarea indicelui de șlefuire (PSV)	EN 1097-8	70	32
Absorbția de apă (Mg/m^3)	EN 1097-6	>1	<1
Denitate (Mg/m^3)	EN 1097-6	3.4	2.6

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Tabel 5. Rezultatele încercărilor asupra proprietăților fizice și mecanice ale mixturilor asfaltice

Proprietăți fizice și mecanice ale mixturilor asfaltice	Unitate de măsură	Agregate din zgură AB11	Agregate naturale AB11
Conținut de bitum solubil (EN 12697-6)	% (m/m)	5,1	5,4
Densitatea (EN 12697-6)	kg/m ³	2724	2368
Densitatea maximă (EN 12697-5)	kg/m ³	2927	2469
Volum de goluri (EN 12697-5)	% (v/v)	6,9	4,1
Volum de goluri în scheletul mineral (EN 1269-8)	% (v/v)	20,6	16,6
Volum umplut cu liant (EN 12697-8)	% (v/v)	66,3	75,4
Stabilitate (EN 12697-34)	kN	15,2	11,7
Curgere tangențială (EN 12697-34)	mm	1,1	0,9
Curgere (EN 12697-34)	mm	2,5	1,9
Coeficient Marshall (EN 12697-34)	kN/mm	6,1	6,2
Masa probei uscate	g	1249,7	1243,5
Temperatura de încercare	°C	25,0	25,0
Sensibilitatea la apă a probelor bituminoase (EN 12697-12)	kPa	1608 (25°C)	1513 (25°C)
Sensibilitatea la apă a probelor bituminoase (EN 12697-12)	kPa	1287 (40°C)	1215 (40°C)
Raportul rezistenței la tracțiune indirectă	%	80,0	80,3
Rezistența la rupere indirectă	kPa	3988 (5°C)	3638 (5°C)
Rezistența la rupere indirectă	kPa	1847 (25°C)	1700 (25°C)
Modulul de rigiditate (IT_CY) (EN 12697-26)	MPa	7128	5642

În urma numeroaselor încercări de laborator efectuate pe mixturi care au în compoziție adaus de agregate din zguri (dar și comparație între proprietățile fizice pe agregate naturale și cele obținute din zgură; proprietăți fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice cu zguri, comparativ cu cele clasice; făgășuire, rezistența la derapaj și textura suprafeței mixturilor asfaltice) s-a concluzionat că zgurile pot înlocui cu succes agregatele naturale, precum și că evaluarea zgurilor

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

are rezultate geometrice, fizice și proprietăți mecanice care satisfac caracteristicile necesare pentru utilizarea lor în mixturile asfaltice. (Praveen Mathew, 2013)

În Arabia Saudită producția anuală în anul 2002 era de 350 000 tone de zgură și se estima că în 2003 producția să crească la 500 000 tone. Marea problemă în Arabia Saudită este clima, datorită temperaturilor ridicate, acestea sunt fenomene extrem de comune în structurile flexibile care influențează foarte mult deformările permanente în mod special denomenul de fângășuire și rezistența la oboseală. Utilizarea agregatelor din zguri în mixturile asfaltice pot fi benefice în mai multe moduri. Acestea pot depăși performanțele agregatelor naturale în ceea ce privește rezistența la derapaj și o durată de viață la oboseală mai mare. (Khan Ziauddin, et al., 2003)

Dimitri Deneele și ceilalți au efectuat un studiu în cadrul Laboratorului Central de Poduri și Șosele din Franța cu scopul de a îmbunătăți cunoștințele despre mixturile asfaltice ce au în compoziție zguri provenite din valorificarea deșeurilor industriale. Astfel, după numeroase studii efectuate pe mixturi asfaltice cu diferite procente de zgură au ajuns la concluzia că aceasta poate fi benefic utilizată în construcția drumurilor. Cu toate acestea, cerințele tehnice ar trebui verificate mai intens, în special pentru secțiunile de drumuri cu scopul de a îmbunătăți în principal beneficiile economice și ecologice. (Dimitri Deneele, 2005)

Un raport efectuat de Alexander Brand din cadrul Departamentului de Transporturi din Illinois în decembrie 2011, dezvoltă un studiu documentar despre utilizarea materialelor reciclate și recuperate în construcția autostrăzilor din Illinois în două mari capitole ce oferă informații despre tipurile, cantitățile, costurile și unde au fost utilizate aceste materiale în Illinois în anul 2010. Sinteza documentară începe cu cercetări asupra zgurilor de furnal răcite în aer datorită faptului că din întreaga producție de agregate artificiale provenite din prelucrarea superioară a deșeurilor din industria siderurgică din Statele Unite ale Americii s-a raportat că acestea au fost utilizate în procent de 90%. De exemplu, dacă sunt incluse în compoziția Hot Mix Asphalt aceste agregate dau proprietăți de frecare excepționale și oferă stabilitate îmbunătățită, în schimb, au un mic dezavantaj și anume necesită o cantitate mai mare de liant pentru a fi anrobate corespunzător. În anul 2010 s-a estimat că au fost utilizate 1 639 tone pentru construcția autostrăzilor, iar costul acestora însumând aproximativ 11 768 \$. (Alexander S. Brand, September, 2014)

3.1.2.3. Observații

Datorită faptului că expoatarea agregatelor naturale din albiile râurilor și din masivele muntoase implică probleme grave de mediu s-a luat în considerare posibilitate înlocuirii acestora. Studiile efectuate cu acest scop au demonstrat că prin prelucrare și sortare la dimensiuni adecvate cele mai adecvate din punct de vedere al proprietăților fizico-mecanice sunt zgurile siderurgice și de oțelărie, deșeuri care pot înlocui cu succes agregatele de carieră și balastieră.

Dezbatut atât la nivel național cât și mondial din punct de vedere științific, utilizarea agregatelor artificiale din zguri siderurgice sau zguri de oțelărie, s-a concluzionat că utilizarea

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

acestora se aduc contribuții însemnate la reducerea poluării, la protecția mediului, la creșterea gradului de ecoeficiență și la reducerea costurilor de producție pe kilometrul de drum asfaltat.

Dezvoltarea durabilă în sectorul construcției de drumuri se datorează rezultatelor excelente obținute pentru modul rezilient și cu potențial redus la fângășuire al utilizării zgurilor în compoziția mixturilor asfaltice ca înlocuitor al agregatelor clasice.

În plus, dacă zgurile siderurgice sunt incluse în compoziția HMA acestea dau proprietăți de frecare excepționale și oferă stabilitate îmbunătățită, în schimb, au un dezavantaj mic reprezentat de necesitatea unei cantități mai mare de liant pentru a fi anrobate corespunzător.

O analiză economică arată că se pot obține reduceri importante ale prețului agregatelor, betonului și aditivilor și chiar ale prețului în ceea ce privește realizarea în ansamblu a unor structuri rutiere cu îmbrăcămînți din beton, pe seama bunei comportări și a caracteristicilor semnificativ sporite în raport cu valorile normate, ca urmare a utilizării unui adaos de cenușă de termocentrală, cenușă care trebuie să respecte rigorile unui flux tehnologic de obținere, în conformitate cu reglementările standardizate.

3.1.3. Agregate reciclate

3.1.3.1. Generalități

Dezvoltarea către o viață mai bună a condus societatea să exploreze planeta în ultimii zeci de ani într-un mod incontrollabil. Această lucră a rezultat într-un mod rapid de reducere a resurselor naturale, împingând societatea să caute alternative noi, durabile.

În domeniul tehnologiei de punere în operă a mixturilor asfaltice (figura 16), reciclarea acestora poate fi văzută ca o obținere de durată, așa cum este un proces de producție cu beneficiu asupra mediului dar și asupra economiei. (Bressi Giorgio, Volpe Gianpaolo, Pavesi Elisabetta & ANPAR - Associazione Nazionale Produttori Aggregat, 2011)



Figura 16. Agregate reciclate din mixtură asfaltică

În majoritatea țărilor, cantitatea mixturilor asfaltice reciclate și producția de noi mixturi asfaltice cu conținut de RAP este într-o continuă creștere. (PIARC, 2002) Numeroase studii au fost efectuate în ultimii ani asupra conținutului ridicat de RAP (de până la 60%) care este în mare parte limitat de partea practică de producție a mixturilor asfaltice în teren. (PIARC, 2002)

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Cercetările asupra reciclării mixturilor asfaltice au condus la apariția unei tehnici inovatoare, numită reciclare totală, care reutilizează 100% RAP în mixturile asfaltice reciclate (figura 17). Această nouă tehnologie utilizează aditivi cu scopul de a îmbunătăți performanțele, în particular poate utiliza și o combinație a unui rejuvenator cu un reactivator. (Martin ZAUMANIS, 2014)



Figura 17. Reciclarea agregatelor

Îmbrăcămintea asfaltică rutieră deteriorată se caracterizează printr-o calitate slabă în exploatare și degradări fizice, cum ar fi crăpături, fâgașe și suprafață lunecoasă de rulare.

Deteriorarea îmbrăcăminții asfaltice rutiere este influențată în mare măsură de condițiile climaterice aspre, de volumul ridicat de trafic, precum și de modul de construcție al drumului și de calitatea lucrărilor de întreținere. Așa cum este prezentat și în figura 18, procesul de deteriorare al îmbrăcăminții asfaltice rutiere se accelerează după câțiva ani de exploatare, dar reabilitarea din timp prin reasfaltare sau reciclare poate restaura calitatea îmbrăcăminții asfaltice rutiere și se extinde astfel durata de viață a respectivei artere rutiere.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

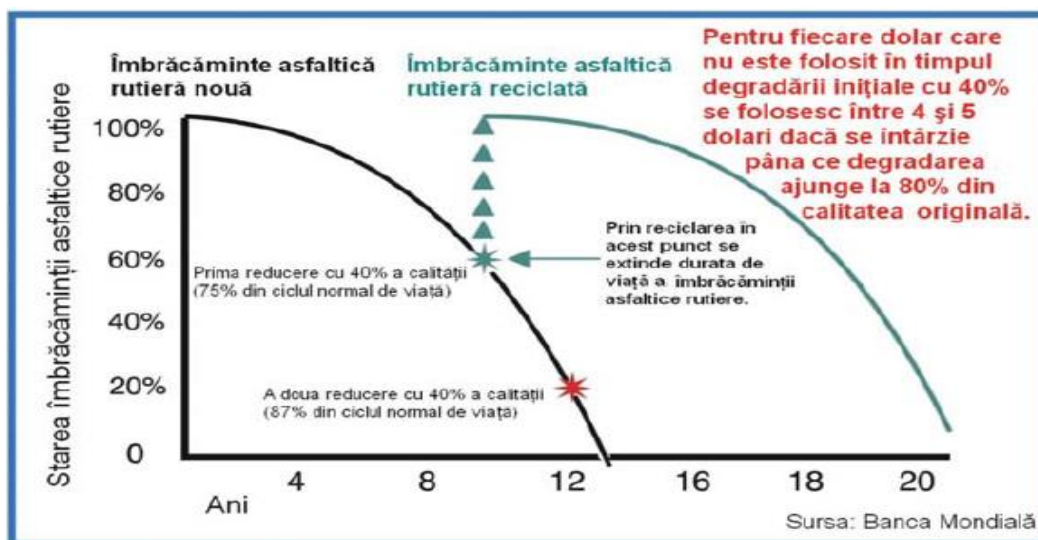


Figura 18. Procesul de deteriorare al îmbrăcăminții asfaltice rutiere

Studiile efectuate de Banca Mondială au arătat că reciclarea îmbrăcăminții asfaltice rutiere este deosebit de eficientă din punct de vedere al costurilor, mai ales atunci când este executată înainte ca deteriorarea să ajungă într-un stadiu extrem de avansat.

De zeci de ani, cei responsabili cu calitatea îmbrăcăminții rutiere, au încercat diferite metode de reciclare pentru a putea folosi mai bine agregatele și bitumul existent (figura 19) în mixturile asfaltice deteriorate.

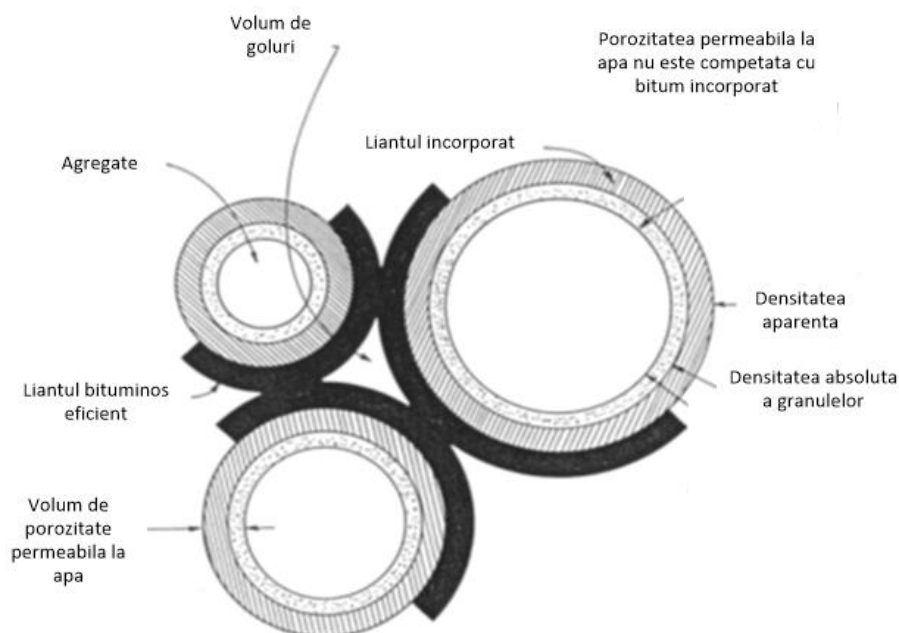


Figura 19. Compoziție mixtură asfaltică

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

3.1.3.2. Posibilități de utilizare ale agregatelor reciclate

Utilizarea mixturii asfaltice reciclate (RAP) în HMA a devenit din ce în ce mai populară datorită unui număr mare de factori, cel mai notabil, datorită rarității spațiului necesar depozitării mixturii asfaltice frezate, scăderea cantității agregatelor naturale de înaltă calitate și prețul tot mai mare al combustibilului necesar punerii în operă a straturilor rutiere. (Hugo M. Silva, et al., 2010)

Prin frezarea îmbrăcăminții asfaltice degradate și aplicarea unor soluții de reciclare prin ameliorarea calității materialelor recuperate, determinate prin cercetări de laborator aferente studiilor specifice de regenerare a funcțiilor structurale ale rețetei mixturii asfaltice, se obține un material bituminos cu caracteristici fizico mecanice acceptabile reutilizării în sistemul rutier (figura 20).

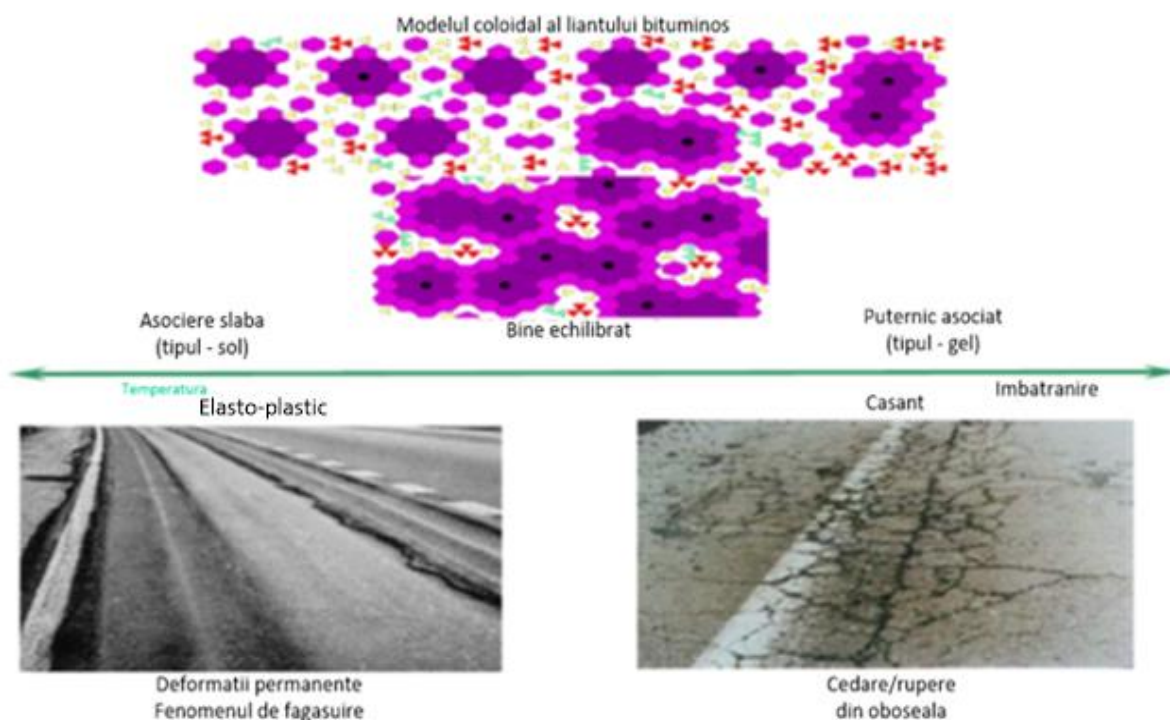


Figura 20. Efectul îmbătrânirii și al temperaturii asupra liantului bituminos (partea de sus) și în structuri rutiere (partea de jos), unde simbolurile utilizate reprezintă: saturatele reprezentate cu galben, hidrocarburile aromatice sunt cu roz, rășinile sunt reprezentate cu roșu iar asfaltenele cu mov (punctele negre simbolizează starea oxidată)

În exemplul care urmează, se pune în evidență etapele de cercetare în laborator pentru determinarea caracteristicilor reziduale ale mixturii asfaltice recuperate prin frezare, prin comparație cu o rețetă similară obținută cu agregat nou:

- În prima etapă se face o analiză granulometrică a materialului frezat și recuperat pentru reciclare prin comparație cu rețeta similară determinată cu agregat nou (figura 21);

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

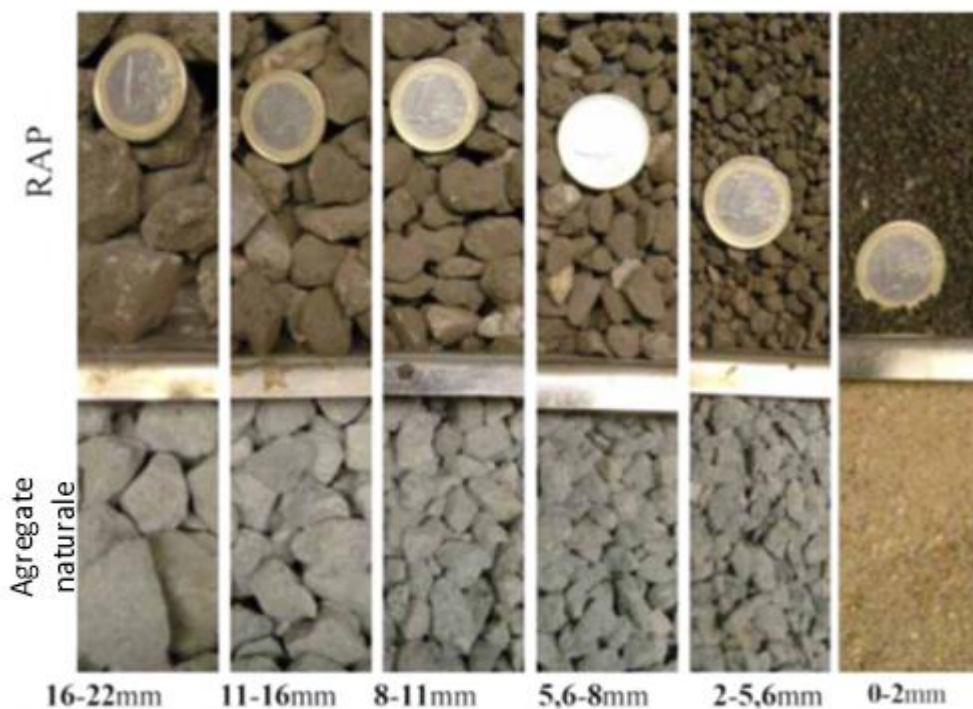


Figura 21. Agregate naturale versus agregate reciclate din mixtura

- Apoi se fac rețete cu amestecuri de agregate în proporții predeterminate, raportate la utilizarea de agregat nou pentru studii de performanță în laborator pe mixtură asfaltică reciclată (figura 22).

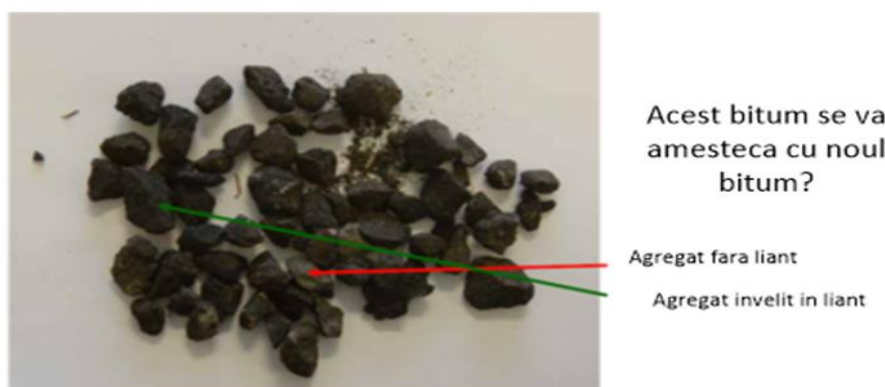


Figura 22. Agregate cu și fără liant

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Tabel 6. Compoziția mixturii asfaltice

Dimensiune (mm)	RAP	0% RAP	30% RAP		60% RAP		Normativ
		Material natural	30% RAP	Material natural	60% RAP	Material natural	
>C22.4	0.0	1.2	0.0	1.2	0.0	1.2	1.2
C22.4– C16	6.0	12.2	1.8	10.4	3.6	8.6	12.2
C16-C11.2	11.0	6.6	3.3	3.3	6.6	0.0	6.6
C11.2-C8	14.0	20.2	4.2	16.0	8.4	11.8	20.2
C8-C5.6	9.2	7.0	2.8	4.2	5.5	1.5	7.0
C5,6-C2	16,3	9,8	4,9	4,9	9,8	0,0	9,8
Nisip natural (0/2)	35,7	37,0	10,7	26,3	21,4	15,6	37,0
<0.063	7.8	6.0	2.3	3.7	4.7	1.3	6.0
Total (%)	100.0	100.0	30.0	70.0	60.0	40.0	100.0
Bitum	4.3	4.5	1.3	3.2	2.6	1.9	4.5

Tabel 7. Metoda de confecționare

Metoda de malaxare în laborator	Cod	Condițiile de preîncălzire și temperaturi (°C)		RAP	
		Agregate naturale	RAP	Umiditate	Conținut
Metoda standard	SM	170	170	0%, 4%	0, 30, 60
Încălzire parțială	PW	>170	130	0%, 4%	30, 60
Metoda îmbunătățită	UPG	>>170	23	0%, 4%	30, 60

-
- În urma malaxării la temperatură controlată se fac ulterior studii de performanță pe mixtură asfaltică reciclată și se determină rețeta optimă care se aplică apoi în teren (figura 23).

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”



Figura 23. Malaxarea mixturii asfaltice

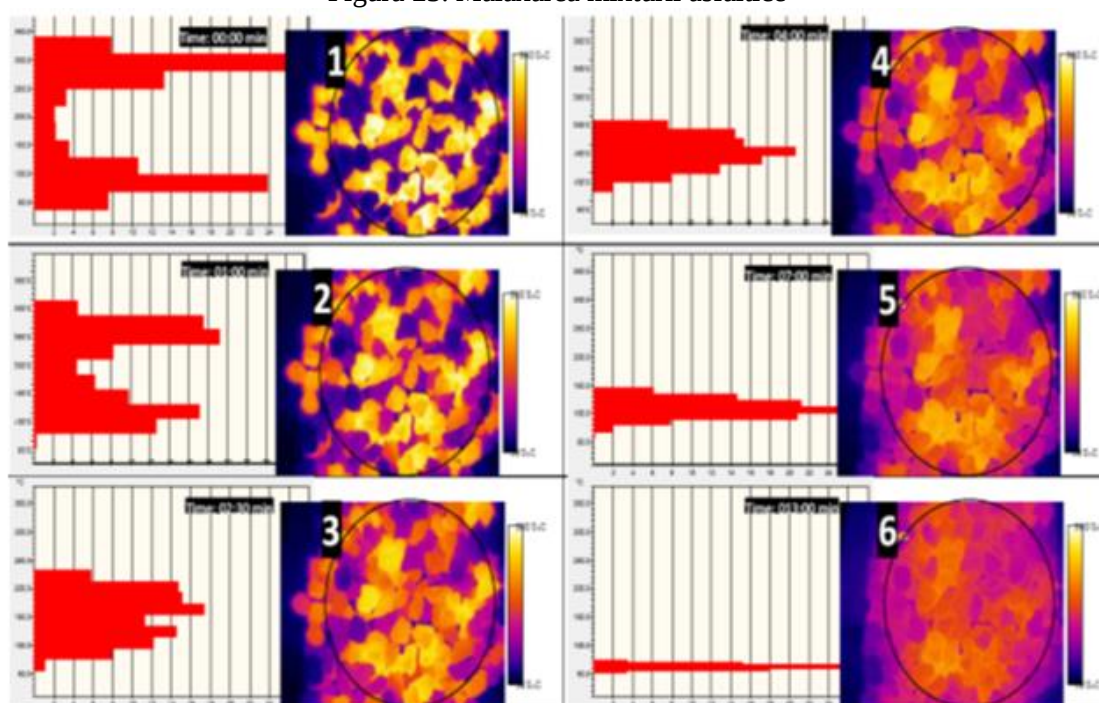


Figura 24. Schimbarea temperaturii în timp

În acest studiu se prezintă variația temperaturii din timpul malaxării (0-13 minute), în care, prin imagini obținute prin termoviziune se urmărește procesul de malaxare (figura 24).

De zeci de ani, cei responsabili cu calitatea îmbrăcăminții rutiere, au încercat diferite metode de reciclare pentru a putea folosi mai bine agregatele și bitumul existent în mixturile asfaltice deteriorate. (Andre A. Molennar, 2011)

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Mai mult de jumătate din Statele Unite ale Americii permit un procent mare de 25% RAP (Recycled Asphalt Pavement) pentru a fi utilizat în compoziția mixturilor asfaltice, cu toate acestea însă, încorporarea conținutului ridicat de RAP a fost relativ scăzut în comparație cu oferta disponibilă de RAP. O explicație pentru acest lucru îl reprezintă preocuparea legată de rezistența la oboseală precum și de rezistența la fisurare a noii mixturi obținute prin utilizarea RAP. (Angelo Benedetti, et al., 2008)

În Portugalia, University of Minho ne oferă un studiu efectuat asupra reciclării totale a mixturilor asfaltice (HMA) ca o alternativă sustenabilă pentru drumuri. Reciclarea mixturii asfaltice (RAP) ajută autoritățile care se ocupă cu drumurile să își îndeplinească scopul de a obține un sistem de transport durabil atât reducând producția materialelor provenite din deșeuri cât și reducerea consumului de materiale neregenerabile. Beneficiile de mediu și economice utilizând mixtura asfaltică reciclată în HMA pot fi împinse la limită, prin producerea de mixturi asfaltice noi cu 100% mixtură asfaltică reciclată, însă performanțele acestei alternative trebuie să fie satisfăcătoare. (Hugo Silva, et al., 2006)

Conform Pavement Recycling Executive Summary and Report (Federal Highway Administration) utilizarea materialului RAP după procesare poate să producă mixturi asfaltice reciclate la cald convenționale (Recycled Hot Mix – RHM) care este cea mai comună metodă de reciclare și este considerată o procedură standard de procesare a mixturilor asfaltice.

Angelo Benedetti și ceilalți din cadrul Asociației de Reciclare și Reutilizare a Mixturilor Asfaltice (ARRA) au demonstrat în Basic Asphalt Recycling Manual că există date tehnice din abundență ce prezintă că reciclarea mixturilor asfaltice la cald este echivalentă în cantitate și performanțe structurale cu convenționala mixtură asfaltică la cald (HMA), dacă ținem cont de fenomenul de fâgășuire, de fenomenul de cedare din oboseală și de influența factorilor climaterici. În general la reciclarea HMA, apare fenomenul de îmbătrânire mult mai redus și sunt mult mai rezistente la acțiunea apei comparativ cu o mixtură convențională HMA. (John Sullivan, 1996)

Mallick și ceilalți susțin că limita maximă a conținutului de RAP în mixturile asfaltice la cald produse în teren este considerată a fi 50%, limitată atât de limita capacității de încălzire a utilajelor din teren cât și de emisiile gazelor de hidrocarbon. Pot fi confecționate mixturi asfaltice care să conțină un procent de mixtură asfaltică de 60...70% în echipamentele disponibile din amplasamentele în teren. Există și cazuri speciale bazate pe tehnologia microundelor care a fost dezvoltată să limiteze emisiile de gaze la producerea mixturilor asfaltice la cald utilizând conținut foarte mare de RAP (de până la 100%), dar costurile de încălzire sunt mult mai mari decât la sistemele convenționale. Acest procedeu a fost descoperit și dezvoltat în California și este utilizat doar limitat. (Rajib Mallick, et al., 2007)

3.1.3.3. Observații

În urma amplei cercetări dezvoltate asupra studiilor efectuate se poate concluziona că atât condițiile climaterice, volumul ridicat de trafic precum și modul de construcție al drumului cât și calitatea lucrărilor de întreținere influențează semnificativ deteriorarea îmbrăcăminții asfaltice rutiere.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

De asemenea, s-a constatat că reabilitarea din timp, prin reasfaltare și reciclare poate restaura calitatea îmbrăcăminții asfaltice rutiere și poate astfel extinde durata de viață a structurilor rutiere.

Din punct de vedere al consumurilor s-a demonstrat că recilarea îmbrăcăminții asfaltice rutiere este deosebit de eficientă, mai ales atunci când este executată înainte ca deteriorarea să ajungă într-un stadiu extrem de avansat.

Prin frezarea îmbrăcăminții asfaltice degradate și aplicarea unor soluții de reciclare prin ameliorarea calității materialelor recuperate se obține un material bituminos cu caracteristici fizico-mecanice acceptabile reutilizării în sistemul rutier.

S-a demonstrat că beneficiile de mediu cât și cele economice utilizând mixtura asfaltică reciclată în noua mixtura asfaltică la cald pot fi împinse la limită, prin producerea de mixturi asfaltice noi cu 100% mixtură asfaltică reciclată.

Există numeroase date tehnice care prezintă că reciclarea mixturilor asfaltice la cald este echivalentă în cantitate și performanțe structurale cu convenționala mixtură asfaltică la cald dacă ne raportăm la fenomenul de fâgășuire, la fenomenul de oboseală precum și de influența factorilor climaterici. Se precizează astfel că, în cazul reciclării mixturii asfaltice la cald, apare mult mai redus fenomenul de îmbătrânire și este mult mai rezistentă la acțiunea apei comparativ cu o mixtură convențională.

Au fost studiate și alte cazuri, precum cele bazate pe utilizarea tehnologiei microundelor, care are rolul de a limita emisiile gazelor de hidrocarbon în momentul confecționării mixturilor asfaltice la cald care au în compoziție un conținut foarte mare de RAP (100%), dar în acest studiu de caz s-a observat însă că se obțin costuri de încălzire mult mai mari decât la sistemele convenționale.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

3.2. Filerul

3.2.1. Generalități

Filerul reprezintă o pulbere minerală cu granulozitatea sub 0,063mm ($<0,09$ mm= minim 80%), obținut prin măcinarea fină a rocilor calcaroase, a cretei brute sau prin stingerea în pulbere a varului bulgări, urmată de o corespunzătoare separare.

Pulberile minerale utilizate cel mai frecvent ca filer în procesul de fabricare a mixturilor asfaltice sunt:

- praful de calcar (se obține prin măcinarea rocilor calcaroase compacte, brecioase mozaicate, cu conținut de carbonat de calciu peste 90%);
- praf cretă fin măcinată (se obține prin măcinarea fină a cretei brute);
- praful de var stins în pulbere (se obține prin stingerea varului bulgări pentru construcții, cu cantități calculate stoechiometric, de apă sau de aburi, urmată de separare corespunzătoare). (Bressi Giorgio, et al., 2011)

Condițiile principale pe care trebuie să le îndeplinească filerul utilizat la prepararea mixturilor asfaltice sunt următoarele:

- asigurarea unei bune adhezivități pe granulele de filer;
- să nu reacționeze chimic cu lianții;
- granulele sale să nu fie poroase, pentru a nu se măria conținutul de liant prin absorbție;
- să nu adsoarbă în mod selectiv anumiți componenți ai bitumului și să conducă la modificarea necorespunzătoare a caracteristilor bitumului.

Tinând cont de aceste specificații întâlnite frecvent în literatura de specialitate se menționează posibilitatea utilizării sub formă de filer și a altor pulberi minerale sau artificiale, precum:

- Cimentul - care este un filer bun, însă, fiind mult mai scump, întrebuintarea lui nu este economică;
- Pudreta de cauciuc - care îmbunătățește sensibil comportarea mixturilor asfaltice, atât la temperaturi joase, cât și la temperaturi ridicate;
- Deșeurile de carbonat de calciu – care însă prezintă dificultăți de punere în operă din cauza umidității ridicate;
- Pudreta de zgură granulată;
- Praful de cărbune;
- Cenușa de termocentrală;
- Praful recuperat de la uscătoarele fabricilor de mixturi asfaltice, cu granule de până la 200 microni și care poate atinge 8% din masa agregatelor uscate;
- Filerul de sodă.

Cea mai importantă condiție de calitate pe care trebuie să o îndeplinească filerul o reprezintă finețea. O finețe exagerată poate însă dăuna mixturii asfaltice. Granulele de mărimea particulelor coloidale măresc suprafața specifică, dar în același timp favorizează umflarea

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

mixturii asfaltice sub acțiunea apei, sporesc consumul de liant și îngreunează lucrabilitatea. Unele prescripții recomandă ca filerul să nu conțină particule mai mici de 0,005 mm. Pentru determinarea suprafeței specifice a filerului se întrebuintează, în general, metodele și aparatele folosite pentru determinarea fineții cimentului.

Studiile efectuate asupra modului de comportare a masticurilor preparate din filere diferite cu bitum demonstrează că filerul de calcar conduce la cele mai bune și cele mai eficiente rezultate și, în consecință, se recomandă utilizarea lui.

O altă caracteristică importantă este reprezentată de p adezivitate sporită care apare datorită suprafeței granulelor filerului proaspăt din această cauză, se recomandă ca acesta să fie utilizat în primele 2...3 luni de la producerea lui.

3.2.2. Posibilități de utilizare a filerelor în compoziția mixturilor asfaltice ecologice

Pe plan național s-au făcut studii și evaluări privind depozitarea cenușii zburătoare rezultate la arderea cărbunilor din CET-uri în conformitate cu cerințele de mediu și a postutilizării acesteia în infrastructura rutieră.

Reziduul anorganic din procesul de ardere a cărbunilor în focarele instalațiilor termoelectrice este un solid granular cunoscut sub denumirea de subprodus de la arderea combustibililor sau, altfel spus, cenușa de termocentrală. Aceasta este o pulbere fină formată în special din particule sferice, produsă în timpul arderii combustibililor pulverizați.



Figura 25. Bazin de decantare al uzinelor sodice și cenușa captată

Cenușile de la CET-uri (figura 25) reprezintă un deșeu industrial care datorită compoziției chimice și proprietăților hidraulice, poate constitui surse noi de materii prime valorificabile în diverse domenii. La noi în țară cenușa este captată pe electrofiltre și este eliminată umed pe halde construite în acest scop. Administrarea acestor depozite presupune un

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

consum imens de apa pentru menținerea cenușii în stare umedă (adică în formă stabilă împotriva acțiunii vântului). Stabilizarea cenușii adică solidificarea acesteia constă în transformarea dintr-un solid granular într-un corp solid, cu rezistențe mecanice suficiente pentru a rezista la acțiunea agenților climatici (respectiv a vântului sau a ploii).

S-au efectuat investigații privind:

- apa reziduală prelevată din bazinul de decantare al uzinei de sodă (precum analiza chimică a cenușii de termocentrală, analiza chimică a apei reziduale, analiza levigatului cenușii brute și analiza levigatului produselor rezultate ca matrici liante);
- caracterizarea cenușii provenind de la CET (fîneta de măcinare, determinarea umidității optime de compactare și densitatea maximă în stare uscată, determinarea indicelui de activitate hidraulică, determinarea înfoierii în funcție de umiditate);
- caracterizarea activatorilor = var, ciment, sodă, apa reziduală din bazinele de decantare (apa batal);
- elaborarea unor compoziții în vederea stabilirii dozajelor optime de cenușă și activatori;
- testarea amestecurilor de cenușă și activatori prin determinarea compoziției optime.

În vederea găsirii unei soluții pentru valorificarea în diverse lucrări rutiere a cenușii de termocentrală de la CET Govora, protocolul încercărilor de laborator a urmărit în cadrul studiului și înglobarea acesteia într-o matrice liantă utilizându-se proprietățile puzzolanice bine cunoscute ale acestor tipuri de materiale. În acest scop, au fost preparate diverse amestecuri: cenușă, var, apă de batal, ciment, produsele rezultate după întărire fiind supuse testului de levigare pentru a urmări în final, capacitatea de imobilizare ireversibilă a metalelor toxice componente ale cenușii de termocentrală în matricea silicioasă. În urma cercetărilor efectuate în acest studiu s-a concluzionat că cenușile studiate pot fi prelucrate și ulterior pot fi folosite ca filere în mixturile asfaltice având proprietăți foarte bune și aducând mixturii asfaltice beneficii precum și îndepărtarea acestora de pe suprafața terenurilor, redarea acestora în uz și protejarea mediului înconjurător prin eliminarea substanțelor nocive care ajung în teren și în apa de suprafață. (DICU Mihai & Andrei Bogdan, 2011)

Ideea utilizării cenușii de termocentrală în locul filerului (figura 26) în mixturile asfaltice nu este un concept nou. Utilizarea sa în amestecurile bituminoase a fost investigată de mulți oameni de știință, iar concluziile cercetărilor obținute pot fi rezumate după cum urmează:

Rosner și alții (1982) au folosit cenușa ca material de umplere în mixtura asfaltică, atrătând astfel că probele își păstrează rezistența, iar prin adăugarea de cenușă, rezistențele cresc. În majoritatea cazurilor, ei au considerat că rezistența mixturii asfaltice ce conține cenușă ca material de umplere este mai mare față de utilizarea ca materiale de umplere a materialelor naturale. (Rosner John, et al., 1982)

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”



Figura 26. Exemple tipuri de filer

Sankaran și Rao (1973) au făcut o comparație între utilizarea cenușii de termocentrală și alte materiale destinate ca materiale de umplere în mixturile asfaltice, cum ar fi argila și praful rezultat de la agregate. Ei au determinat că la un conținut de cenușă de 2% au obținut cea mai mare stabilitate față de celelalte materiale de umplere. (Sankaran K & Rao D, 1973)

Henning a investigat efectul cenușii de clasa C asupra proprietăților mixturii asfaltice. El a concluzionat că prin adăugarea de 4% cenușă în masa mixturii asfaltice rezultă o stabilitate ridicată, dar cu volum de goluri scăzut. Henning a declarat la fel ca și antecedenții săi cercetători, că cenușa conduce la o stabilitate mai mare după ce proba a fost imersată în apă. (Henning N.E., 1974)

Warden și alții (1952) au afirmat că cenușa este un material de umplere corespunzător în mixturile asfaltice, astfel introducerea ei asigură o stabilitate îmbunătățită, o rezistență mai bună la umiditate cât și flexibilitate. (Warden WB, et al., 1952)

Suheibani (1986) a efectuat un studiu în care s-a analizat modul de acoperire al particulelor de cenușă în funcție de mărime, remarcând astfel că un surplus de cenușă în amestec afectează vâscozitatea mixturii asfaltice. A examinat, de asemenea, efectul proprietăților cenușii zburătoare, declarând astfel că utilizarea cenușii în mixtura asfaltică ar putea conduce la economii considerabile și fără cerința suplimentară de liant în amestec.

În România, Paul Marc a studiat în cadrul tezei de doctorat și utilizarea cenușii de termocentrală la prepararea mixturilor asfaltice și a ajuns la următoarele concluzii în urma experimentelor realizate la Universitatea Politehnică din Timișoara (2011): stabilitatea Marshall determinată pentru temperaturi mai mari ca temperatura de testare cu 10°C, respectiv 20°C, datorită conductivității și căldurii specifice superioare pentru mixtura asfaltică ce conține în amestec un procent semnificativ de cenușă (7.5%, 10.0%) scade cu aproximativ 5% față de 30% pentru mixtura ce conține în amestec filer.

Modulul de rigiditate determinat la temperaturi mai mari comparativ cu temperatura de testare (15°C) cu 5°C respectiv 10°C, pentru mixtura ce conține cenușă, scade cu 30% față de 60% pentru mixtura ce conține filer, ambele având același procent de bitum.

Fluajul determinat pentru temperaturi mai mari cu 10°C, respectiv 20°C ca temperatura standard de 50°C, arată o creștere a deformației permanente cu aproximativ 58% pentru mixtura asfaltică ce conține cenușă în amestec și prezintă caracteristici termice superioare față de 68%

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

pentru mixtura ce conține filer și prezintă caracteristici termice superioare, diferența între valorile asociate vitezei de fluaj, respectiv deformației permanente este din ce în ce mai mică.

Referitor la rezistența la oboseală, se poate concluziona că datorită căldurii specifice superioare rezultate pentru proba din asfalt ce conține în amestec cenușă, valoarea deformației verticale respectiv orizontale este mai mică decât în cazul mixturii asfaltice ce conține în amestec filer. (Marc Paul, 2011)

S-a făcut un studiu cu scopul de a determina cantitatea optimă de sticlă măcinată și deșeuri din sticlă (pudră) ca filer mineral în compoziția mixturilor asfaltice la cald ca o metodă alternativă la tradiționala metodă întâlnită uzual de praf de piatră spartă.

Conținutul optim de bitum a fost determinat prin metoda Marshall de proiectare utilizând 6 procente diferite de bitum (4,0%, 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0% și 6,5%).

După stabilirea acestui parametru, au fost utilizate trei tipuri diferite de filere minerale (sticlă măcinată, deșeuri din sticlă și praf de piatră) și 6 diferite cantități de filer (4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%) au fost utilizate pentru a confecționa probele de mixtură asfaltică.

Probele au fost supuse încercării Marshall iar rezultatele au fost comparate. În urma acestui studiu s-a ajuns la concluzia că poate fi utilizată sticla măcinată precum și deșeurile din sticlă cu succes în compoziția mixturilor asfaltice ca materiale de umplere alternativă iar această soluție favorizează atât factorii de mediu cât și factorii economici. (Mehmet Saltan, et al., 2013)

3.2.3. Observații

În numeroase studii efectuate, s-a demonstrat că cenușa de termocentrală, ca material de umplere în mixtura asfaltică, are rolul de a spori rezistențele mecanice ale acesteia, față de utilizarea ca material natural de umplere.

S-a putut determina că pentru un conținut de cenușă de 2% s-a prevăzut cea mai mare stabilitate față de celelalte materiale de umplere. S-au făcut studii și pentru adăugarea de 4% cenușă în masa mixturii asfaltice, de aici rezultă o stabilitate ridicată, dar cu volum de goluri scăzut.

Mai mult, s-a analizat și modul de acoperire al particulelor de cenușă în funcție de mărime și s-a putut remarca astfel că un surplus de cenușă în amestec afectează vâscozitatea mixturii asfaltice.

Ca și concluzie s-a putut constata efectul proprietăților cenușii zburătoare, declarându-se că utilizarea acesteia în mixtura asfaltică ar putea conduce la economii considerabile, fără cerința suplimentară de liant în amestec.

Referitor la rezistența la oboseală, se poate concluziona că datorită căldurii specifice superioare rezultate pentru proba de mixtură asfaltică ce conține în amestec cenușă, valoarea deformației verticale respectiv orizontale este mai mică decât în cazul mixturii asfaltice ce conține în amestec filer uzual.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

3.3. Lianții

3.3.1. Generalități

Lianții sunt materiale naturale sau artificiale care servesc la legarea între ele a granulelor agregatelor cu care se află în contact, asigurând coeziunea acestora și impermeabilitatea îmbrăcăminților bituminoase pe tot parcursul exploatării lor. Aceștia se pot clasifica astfel: lianți minerali, puzzolanici, hidrocarbonați, micști.

Bitumul, datorită proprietăților sale de liant, realizează anrobarea agregatului cu o peliculă fină, oferind bună adezivitate pe granulele agregatelor și menținerea acestei adezivități în prezența factorilor care tind să substituie bitumul la suprafața agregatelor.

Din punct de vedere reologic, cea mai importantă manifestare a lianților o reprezintă susceptibilitatea bitumului la schimbările de temperatură. Bitumurile trebuie să reziste la eforturi termice datorate schimbărilor volumetrice (să se deformeze fără rupere și repede) și să revină elastic, nu prin curgere plastică, de la aceste mici deformații pentru a absorbi încărările de tip șoc. Bitumul se rupe atunci când tensiunea în material depășește rezistența sa la întindere. Pe lângă evitarea ruperii la temperaturi scăzute, trebuie limitate deformațiile permanente la temperaturi ridicate.

Raportul filer-bitum are o importanță și o influență deosebită asupra proprietăților fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice. Valorile acestui raport variază însă, în general, creșterea acestuia menținând constant procentul de bitum ce necesită o anrobare mai energetică și conduce la creșterea rigidității mixturii asfaltice. (Constantin Romanescu & Carmen Răcănel, ISBN:973-685-566-X)

Pe lângă domeniile de utilizare similare lianților convenționali (bitumuri, gudroane, emulsii bituminoase) bitumurile modificate sunt legate de dezvoltarea anrobatele speciale, cum ar fi cele în straturi subțiri, anrobatele drenante, anrobatele cu proprietăți antiderapante. Aplicată în prezent în majoritatea țărilor avansate, soluția câștigă teren și în țara noastră, mai ales în condițiile în care calitatea bitumului românesc este din ce în ce mai nesatisfăcătoare. (Lixandru Cătălina & Dicu Mihai, 2016)

Bitumurile modificate sunt utilizate, ca și bitumurile de bază, ca atare, la cald, sub formă de emulsie sau sub formă de soluție (după fluidificare sau fluxare) la rece, pentru realizarea de: straturi de rulare pentru drumuri cu trafic intens; îmbrăcăminți asfaltice drenante; covoare de grosime redusă; îmbrăcăminți pe poduri; tratamente de suprafață; membrane de etanșeitate; straturi rutiere intermediare pentru evitarea transmiterii fisurilor din stratul inferior în stratul superior; materiale pentru rosturi (figura 26).

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

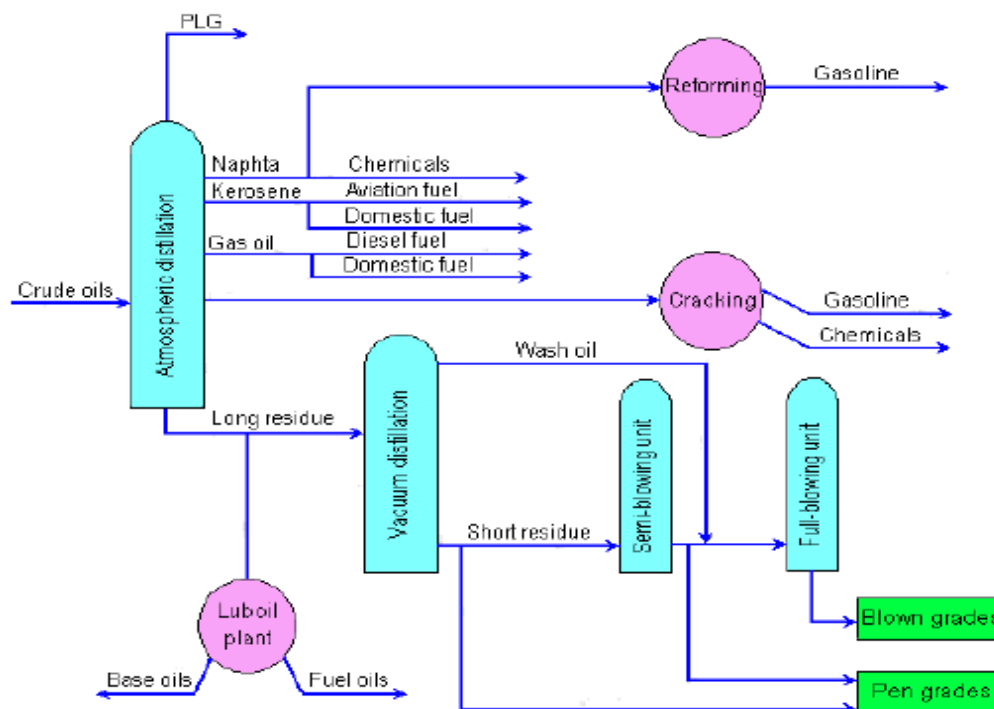


Figura 27. Reprezentarea schematică a procesului de distilare a țițeiului / Read & Whiteoak, 2003/

Introducerea aditivului sau a polimerului în bitum îi modifică structura acestuia și proprietățile fizice și mecanice având efecte favorabile atât asupra bitumului, cât și asupra anrobatului bituminos.

Lianții de bază utilizați în sectorul rutier se pot clasifica astfel:

1. Lianți bituminoși

Lianții hidrocarbonați sau bituminoși sunt amestecuri complexe de hidrocarburi de origine naturală sau obținute prin pirogenare, însoțite deseori de combinațiile lor cu oxigenul, azotul, sulful etc. În categoria lianților hidrocarbonați se încadrează bitumul și gudronul. Lianții bituminoși sunt compuși organici formați din amestecuri complexe de hidrocarburi solubile integral în sulfura de carbon. O schimbare a constituției sau numai a structurii fizice, sau a amândorura, conduce la modificarea reologiei bitumului.

Bitumul de petrol este liantul hidrocarbonat cel mai utilizat în țara noastră la construcția și întreținerea drumurilor, deoarece are calități corespunzătoare cerințelor rutiere și se poate prepara în cantități mari.

Prin încălzirea păcurei, care reprezintă 40...50% din țiței, la o temperatură de peste 150°C, suflându-se concomitent prin ea curent de aer cu un anumit debit, se obțin diferite tipuri de bitumuri. La bitumul de petrol utilizat la lucrări de drumuri compoziția pe fracțiuni este următoarea: 40-60% uleiuri, 18-48% rășini și 15-35% asfaltene.

Bitumul este un amestec complex de hidrocarburi cu diverse compoziții chimice și mase moleculare. Este acceptat că bitumul este un amestec coloidal în care asfaltenele (faza

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

discontinuu) sunt înconjurate de rășini (componente puternic polarizate), parțial solubile în faza continuă, formată din arome și saturate (maltene).

În cazul biturilor cu polimeri, la fel ca și biturile pure, variațiile de temperatură au impact puternic asupra comportamentului bitului și perioadei de serviciu la drumului. La temperaturi scăzute și la durate scurte de încărcare, bitul are o comportare de tip elastic, în timp ce la temperaturi ridicate sau durate lungi de încărcare are un comportament plastic, vâscos. La temperaturi intermediare, comportarea bitului este un amestec între cele două extreme. Scopul modificărilor este acela de a extinde faza plastică și de a modifica domeniul de vâscoelasticitate funcție de tipul și concentrația modificatorului, astfel încât bitul să aibă o comportare bună într-o gamă extinsă de temperaturi și încărcări.

Gudronul rutier este un liant hidrocarbonat de culoare brună-neagră, cu consistență de la moale până la tare vâscos, obținut prin distilarea uscată a huilei. Gudronul are aceleași utilități ca bitul, dar datorită îmbătrânirii rapide este inferior calitativ. Chiar dacă utilizarea gudronului în tehnica rutieră este posibilă din punct de vedere tehnic, nu trebuie uitat faptul că acesta este inflamabil și deosebit de toxic.

2. Lianți minerali

Lianți minerali sunt substanțe pulverulente care în amestec cu apa formează paste vâsco-plastice, care sub efectul proceselor fizico-chimice se întăresc în timp. După modul de comportare în mediu umed, lianți minerali sunt de două tipuri:

- Lianți hidraulici - sunt caracterizați prin faptul că priza și întărirea se produc în mediu umed și rezistență la acțiunea apei;
- Lianți nehidraulici (ipsos, var) - în amestec cu apa formează o masă cu plasticitate ridicată, care se întărește și rezistă numai în mediul uscat.

3. Lianți puzzolanici

Lianți puzzolanici sunt materiale silicioase sau silico-aluminoase, care conțin compuși ce se combină cu varul sau cimentul în prezența apei la temperatură obișnuită și dau naștere unor formațiuni noi, greu solubile în apă, care manifestă proprietăți liante. Aceștia au apărut în tehnica rutieră ca o necesitate a înlocuirii parțiale sau totale a lianților hidraulici, cu efecte directe asupra micșorării costurilor lucrărilor.

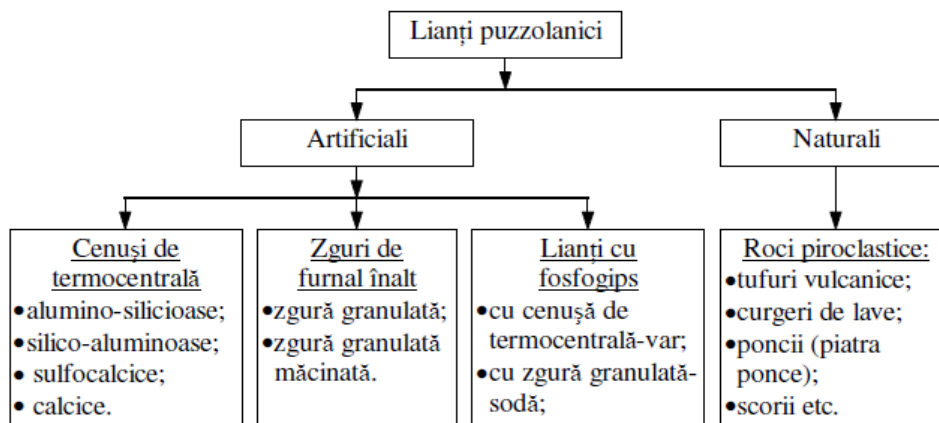
Folosirea amestecurilor stabilizate cu lianți puzzolanici a fost consacrată pe plan mondial la Congresul Internațional de Drumuri de la Bruxelles (1987) și de la Marakech (1991), fiind apreciată ca o soluție eficientă de reducere a consumului de materiale granulare, ale căror resurse naturale sunt limitate și neregenerabile.

Clasificarea lianților puzzolanici utilizați sau utilizabili la stabilizarea agregatelor naturale pentru executarea straturilor rutiere este prezentată în figura 28.

Figura 28. Clasificare lianți puzzolanici

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”



Cenușile de termocentrală sunt puzzolane artificiale care rezultă ca deșeuri la arderea în suspensie de aer a cărbunilor fin macinați. În literatura de specialitate se menționează diferite criterii de clasificare a cenușilor de termocentrală.

Cenușile de termocentrală au densitatea scheletului 2,65...2,80 g/cm³, densitatea aparentă variază între 1,90...2,40 g/cm³, iar densitatea în stare îndesată între 0,9...1,3 g/cm³. Este de menționat faptul că între densitatea în gramadă în stare îndesată pentru cenușile provenite prin arderea huilei și a lignitului apar diferențe însemnate.

4. Liânți micști

Stabicolul este un liant compozit rezultat din amestecul unui liant hidraulic (de regulă cimentul) cu bitumul (emulsie bituminoasă), sub formă de suspensie apoasă, omogenă și stabilă. Stabilitatea chimică și fizică a acestui liant este asigurată cu ajutorul aditivilor speciali de tipul substanțelor tensioactive și a polimerilor organici.

Acest nou liant permite realizarea unor straturi rutiere cu caracteristici superioare, care elimină dezavantajele straturilor bituminoase (deformație plastică, sensibilitate la variații de temperatură) și ale celor pe bază de lianți hidraulici (fisurabilitate), cumulând avantajele specifice acestora.

Liantul stabicol este definit prin proporția relativă de bitum și ciment pe care acesta la conține. Stabicolul N (sau de clasă N) este acela pentru care masa bitumului reprezintă N% din masa cimentului.

Cele mai bune performanțe le obține dacă este utilizat la temperaturi cuprinse în intervalul 4...40°C, însă poate fi utilizat pentru temperaturi pozitive de până la 60°C.

Aditivi compatibili au rolul de a asigura stabilitatea chimică necesară a liantului (având în vedere reactivitatea cimentului în prezența apei) și crearea condițiilor de rupere a emulsiei bituminoase prin prezența cimentului, pe de altă parte are rolul de a asigura stabilitatea fizică necesară datorită densităților diferite ale constituienților stabilocolului.

Liantul își realizează proprietățile de rezistență mecanică și de adezivitate în urma procesului de priză a liantului hidraulic care consumă o parte importantă din apa conținută de stabicol. Ruperea emulsiei bituminoase este lentă și nu se produce decât după începutul punerii

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

în operă, performanțele maxime fiind obținute în timp, în principiu ca în cazul materialelor stabilizate cu lianți hidraulici, respectiv betoanelor de ciment. Prin întrepătrunderea celor doi constituenți de bază, rezultă o dublă legătură: una cristalină (rigidă, datorită liantului hidraulic) și una vâsco-elastică (suplă, datorită bitumului).

5. Lianți speciali

Îmbrăcămințile bituminoase speciale din mixturi asfaltice cu **bitum-cauciuc** se realizează utilizând ca liant bitumul cu adaos de cauciuc natural sau sintetic în proporție de cca. 5% din masa bitumului.

Bitumurile rutiere modificate cu polimeri își au originea înainte de sfârșitul anilor 1980 în țările europene, iar în România a fost solicitată utilizarea acestui nou produs la jumătatea anilor 1990.

Un studiu efectuat cu ultimele estimări efectuate în lume pentru distribuția deșeurilor de anvelope, așa cum este detaliat în figura 29, prezintă următoarele concluzii:

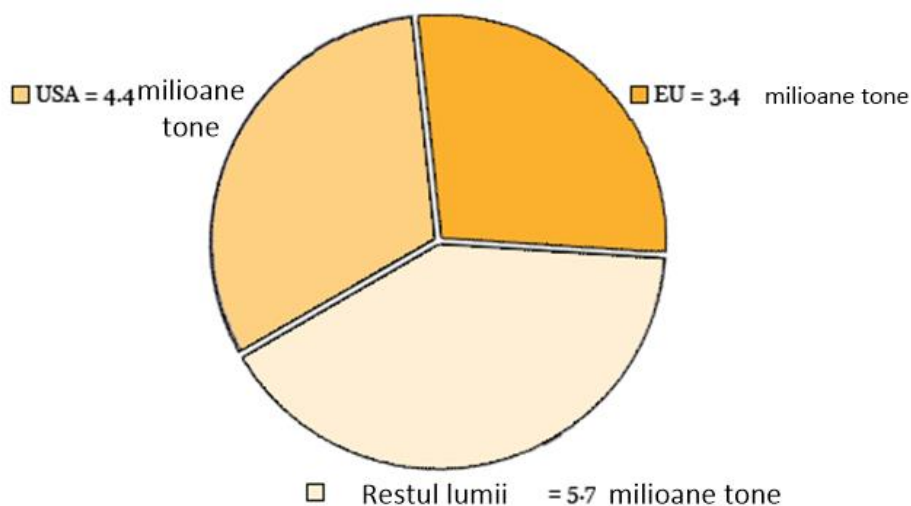


Figura 29. Estimare deșeuri provenite din anvelope uzate la nivel mondial (GENAN HOLDING, 2003)

Studiile de laborator arată că lianții modificați cu cauciuc au punctul de rupere Fraass de -34°C în timp ce bitumul etalon are numai -17°C.

Mixtura asfaltică ce conține acest tip de bitum în compoziție prezintă o bună stabilitate pe timp calduros și are o rigiditate și fragilitate mult mai mică, iarna pe timp rece și la îngheț, aceasta rezistă fără să fisureze la încărcări repetate. Se menționează faptul că și acest tip de mixtură asfaltică este mai scump comparativ cu cele obișnuite și de aceea se utilizează doar pe scară redusă.

Îmbrăcămințile bituminoase realizate din mixturi asfaltice ce au în compoziție bitum cu polimeri, prezintă caracteristici superioare prin faptul că se îmbunătățesc simțitor proprietățile bitumului prin adaos de 3...15% polimeri cu funcții separate însă complementare.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Noul liant se obține din: bitum D 40/50 sau 60/70 (iar în mod excepțional D 80/100), un elastomer cu greutate moleculară mică, un copolimer de natură elasto-termo-plastică.

Elastomerii conferă bitumului suplețe, plasticitate și flexibilitate, iar acțiunea lor remarcându-se mai ales la temperaturi joase (sub -5°C). Copolimerii îmbunătățesc consistența, coeziunea, adezivitatea și elasticitatea bitumului mai ales în zona temperaturilor ridicate (peste +40°C).

Caracteristicile reologice, mecanice și adezivitatea bitumului cu polimeri sunt superioare bitumului martor D 40/50, după cum se poate observa în tabelul 8:

Tabel 8. Caracteristicile bitumului cu polimeri comparativ cu bitumul clasic

Caracteristici	Bitum 40/50	Bitum cu polimeri
Penetratia la 25°C, zecimi de mm	46	58
Susceptibilitatea termica $A = \frac{\lg P_1 - \lg P_2}{T_1 + T_2}$ P ₁ și P ₂ sunt penetratiile masurate la temperaturile T ₁ și T ₂	0,0419	0,0314
Indice de penetratie $IP = \frac{20 - 500A}{1 + 50A}$	-0,30	+1,67
Punctul de rupere Fraass	+14°C	-27°C
Intervalul de plasticitate	68,6°C	86,1°C
Raportul imersiune/compresiune (incercarea Duriez)	0,88	0,96
Inercarea de retinere a filmului de liant (adezivitate) dupa 16h de imersie in apa, %		
Suprafata dezanrobata la 20°C	10	0
Suprafata dezanrobata la 60°C	90	25

Se poate remarca faptul că bitumul cu polimeri prezintă o rigiditate mai mică la temperaturi scăzute, deci o mai mare adaptabilitate la solicitările din timpul iernilor friguroase.

De asemenea s-a demonstrat că adezivitatea bitumului cu polimeri comparată cu adezivitatea bitumului martor este cu mult îmbunătățită.

3.3.2. Posibilități de utilizare a lianților în compoziția mixturilor asfaltice ecologice

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Bitumul rutier (figura 30) este cel mai cunoscut liant în construcția drumurilor. Oricum, necesitatea pentru drumuri cât mai durabile și sigure implică o înțelegere cât mai bună a lianților cu privire la mecanismul de îmbătrânire, și cum pot fi îmbunătățite caracteristicile acestora prin adăugarea de polimeri. Cu toate că biturile modificate cu cauciuc măcinat provenit din anvelope uzate au fost aplicate cu mare succes peste tot în lume, fenomenul de interacțiune dintre bitum și cauciuc nu este deplin cunoscut.



Figura 30. Liant bituminos

Un studiu efectuat de Bogdan Andrei și alții prezintă folosirea lianților puzzolanici pe baza unor cercetări tematice, atât cu caracter fundamental cât și cu caracter aplicativ, întreprinse în România la Universitățile Tehnice din București, Iași, Timișoara și Cluj-Napoca, precum și la Institutele Naționale de Cercetare-Dezvoltare din domeniile transporturilor și al materialelor de construcții.

Obiectivul acestei lucrări este de a aduce în prim plan calitățile competitive ale unui liant puzzolanic, și anume, tuful vulcanic în amestec cu var. În urma încercărilor de laborator asupra mai multor tipuri de tuf vulcanic și numeroase procente de amestecuri, se desprind observații asupra proprietăților fizico-mecanice ale liantului tuf+var precum: din punct de vedere al fineței de măcinare trecerile pe sita de 0,09 mm sunt practic aceleași; dar și faptul că dozajul optim de activare pentru toate tipurile de tuf este de 40% . Dozajul relativ mic de activator cât și utilizarea unui material natural conduc la obținerea unui liant ce nu necesită consumuri mari de energie așa cum este cazul cimentului Portland, fapt ce poate plasa lianții pe bază de tuf vulcanic și activator pe poziția unui liant alternativ la stabilizarea materialelor locale pentru lucrări rutiere. (Bogdan Andrei, et al., 2009)

Au fost efectuate studii atât pe plan național cât și internațional pentru biturile cu polimeri sau elastomeri, după cum urmează:

Eugen Țucă a studiat bitumul modificat cu polimeri în vederea asigurării adezivității. Rezultatele testelor de adezivitate efectuate cu OMV Bitumem Plus pe o categorie dificilă de agregate (cum este cuarțitul) subliniază următoarele avantaje: potențiatorii de adezivitate sporesc afinitatea dintre bitum și agregate; stabilitatea mai bună a mixturii asfaltice datorită umectării mai bune a agregatelor și a adezivității sporite; reduce efectul de dezgrădare, prelungește durata de viață a drumului și reduce cheltuielile de întreținere. Iar ca și concluzie generală a susținut că folosirea unui bitum cu caracteristici potrivite datorită adăugării unui

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

potențiator conduce la lărgirea gamei de agregate în producerea mixturilor asfaltice prin îmbunătățirea adezivității în mod semnificativ. (Eugen Țuca, 2011)

În România, parteneriatul cu firma EVONIK conduce la un produs cu preț avantajos și favorabil mediului. Folosirea de polimeri pentru modificarea bitumului și a mixturilor asfaltice conduce la costuri de construcție puțin mai ridicate, dar în același timp se pot realiza cheltuieli minime privind întreținerea drumurilor, astfel încât se ajunge la un preț mult mai avantajos de construcție și de întreținere a drumurilor. Prin utilizarea produsului ROAD+, care are componenta de bază pudreta de cauciuc în combinație cu un alt produs inventat și patentat de această firmă (Vestenamer), favorizează dispersarea pudretei de cauciuc în bitum și formează o legătură chimică cu pudreta, evită emisii importante de CO₂ și, în acest fel, se aduce un beneficiu atât climei cât și mediului înconjurător. Având în vedere calitatea extrem de variată a biturilor folosite în România, marele avantaj al produsului Road+ este că poate modifica orice tip sau sortiment de bitum, indiferent de proveniență. Rezultate excelente s-a obținut pe mastic, beton asfaltic, asfalt silențios și straturi SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer). Are capacitatea de a compensa tensiunile datorate variațiilor extreme de temperatură de la zi la noapte, indiferent de zona climatică (tropicală sau polară).



Figura 31. Mixture asfaltică cu ROAD +

Mixturile asfaltice modificate cu ROAD+ (vezi figura 31) sunt în totalitate reciclabile și produce în timpul acestui proces, mai puține emisii comparativ cu alte tipuri de mixture. Studii ample referitoare la bilanțul ecologic (LCA) au dovedit că reciclarea cauciucurilor uzate și transformarea acestui deșeu în materie primă, reduc substanțial emisiile de CO₂ și se economisesc combustibilii fosili (petrolul). La reducerea efectului de seră contribuie economisirea de minim 1,7 tone de CO₂ pe tona de ROAD+. (GENAN HOLDING, 2003)

Nechita Ruxandra (2011) a studiat mixturile asfaltice realizate cu bitum modificat cu polimeri sau cu bitum și polimeri echivalenți. Cel mai des se utilizează polimerul termoelastic strien-butadien-strien SBS. Prin amestecul unei cantități relativ scăzute de SBS (3...15%) în bitum se majorează gama de activitate cu bitumul, o elasticitate mai mare și se încetinește procesul de îmbătrânire al bitumului. Folosirea modificatorilor pentru biturile rutiere se reflectă nu numai asupra liantului, ci și asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale mixturii asfaltice, în sensul îmbunătățirii comportării la temperaturi scăzute și temperaturi ridicate,

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

precum și la solicitări mecanice repetate. Ca și produs alternativ a considerat un polimer echivalent care reprezintă un produs granular alcătuit din polimeri flexibili semi-rigizi, cu punctul de înmuiere și topire în intervalul de 150°C – 160°C, care din punct de vedere al comportării elastice se situează undeva între elastomeri și polimeri rigizi fiind alcătuit din materiale flexibile.

Astfel, s-a utilizat următoarele materiale din anvelopele uzate, în urma unui proces de măcinare și cernere se obțin granule de cauciuc și pudră. O aplicație industrială este utilizarea pudreței și a granulelor în mixturile asfaltice, aplicație ce a condus la obținerea unor bune rezultate în reducerea zgomotului de rulare a automobilului, în reducerea riscului derapării și în garantarea unei durate de viață mai mare a drumurilor. Amestecul de bitum rutier și pudră de cauciuc vulcanizat obținut printr-un procedeu termo-calitativ urmat de granulare adăugat direct, aproximativ 12% în malaxorul stației de producere a mixturilor asfaltice imediat după dozarea agregatelor încălzite, malaxarea uscată și apoi se adaugă un procent de bitum stabilit. Amestecul solid din pudră de cauciuc și un polietenamer cristalin se adaugă direct 5...20% în malaxorul stației de producere a mixturilor asfaltice imediat după dozarea agregatelor încălzite, malaxarea uscată și apoi se adaugă procentul de bitum stabilit.

În urma încercărilor, s-a concluzionat că: bitumul modificat cu polimeri poate fi util deoarece rezistă mai bine condițiilor de temperaturi extreme și are ca rezultat o deformare elastică mai degrabă decât una plastică, de aceea este preferat în majoritatea țărilor europene. Pentru reducerea costurilor ridicate al bitumurilor modificate cu polimeri, cercetătorii fac eforturi să integreze în bitum plastic reciclat. Materialele plastice/polimerii cu cel mai mare potențial sunt polietilenele cu densitate mare sau mică. Proprietățile plastice și elastice ale mixturilor asfaltice cu bitum modificat sau soluții alternative de modificare a mixturilor asfaltice sunt: ameliorarea rezistenței la deformări vâsco-plastice (făgașe) în perioada de vară, ameliorarea rezistenței la crăpături și fisurări în perioada de iarnă, influențarea duratei de viață a îmbrăcăminților suple și normale ale sistemului rutier, posibilitatea reducerii cu 10% a grosimii straturilor de asfalt și posibilitatea reducerii procentului de bitum în mixturile asfaltice. (Nechita Ruxandra Nicoleta, 2011)

Un program național coordonat de Marin Radu și Mariana Georgescu intitulat „*Bitumuri modificate cu sistemul polimeric INDIGEN CAPS pentru realizarea de îmbrăcăminți rutiere performante*” a demonstrat utilitatea folosirii modificatorilor pentru bitumurile rutiere care se reflectă nu numai asupra liantului, ci și asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale mixturii asfaltice, în sensul îmbunătățirii comportării la temperaturi scăzute și temperaturi ridicate, precum și la solicitări mecanice repetate. Sistemului polimeric CAPS-R se încorporează în bitumurile rutiere, în proporție de 4-6%, acesta fiind alcătuit dintr-un elastomer (cauciuc), un termoplast (polietilenă) și un agent de reticulare (sulf), așa cum este prezentat și în figura 32.

Omogenitatea amestecului (dispersia polimerului) este foarte bună în cazul polimerului CAPS. Domeniul concentrațiilor de polimer pentru modificarea bitumului a fost cuprins între 2-6%. Rezultatele încercărilor efectuate pentru stabilirea proporției optime de modificator CAPS în bitum arată că această valoare este de cca 4% modificator. În urma analizelor efectuate se constată următoarele:

- punctul de înmuiere înel și bilă IB crește odată cu creșterea concentrației de polimer;

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

- penetrația are o scădere evidentă cu creșterea concentrației de polimer, ajungând pentru 6% CAPS la o penetrație de 50 1/10mm, ceea ce înseamnă un bitum foarte dur;
- proprietățile de elasticitate (revenirea elastică la 13°C) au o creștere spectaculoasă la >2% CAPS.

Se poate concluziona că: dozajele cuprinse între 2 - 3,4% demonstrează că polimerul nu are o pondere prea importantă în bitum; la valori mai mari de 5-6% se deteriorează grav proprietățile importante ca IB și penetrație și deci lucrabilitatea lui. Caracteristicile bitumului modificat Bm cu CAPS, sunt prezentate în tabelul 9.

Utilizarea unui bitum îmbunătățit prin adaos de modificatori polimerici se va resimți benefic și în proprietățile fizico-mecanice și implicit în obținerea unor structuri rutiere durabile și performante.



Figura 32. Microfotografia, în lumină fluorescentă, a bitumului modificat cu CAPS

Tabel 9. Caracteristicile biturilor (Arpechim) modificate cu polimeri

Caracteristica	Bitum Arpechim + 4% CAPS	Bitum Arpechim +4% SBS	Conditii tehnice
Aspect	Omogen	Omogen	Omogen
Punct de inmuiere IB, °C	70	65	55-65
Penetratie, 25°C, 1/10 mm	60	52	50-65
Vascozitate la 140°C, cP	183	448	Max. 600
Ductilitate, cm			
-25°C	>100	>100	>100
-13°C	80	89	Min. 70
Revenire elastica, %			
-25°C	61	67	Min. 70

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

-13°C	70	71	Min. 50
Punct de fisurare Fraass, °C	-24	-23	Max. - 25
Adezivitate (de agregate Chileni), %	87	87	Min. 85
Stabilitate la incalzire TFOT			
-pierdere masica, %	0.6	0.25	Max. 1
-penetratie reziduala, 1/10 mm, la 25°C	16	17.5	-
-ductilitate la 25°C, cm	56	70	Min. 75

Ca și concluzii se poate afirma că modificatorii polimerici îmbunătățesc calitatea lianților bituminoși, care reduc susceptibilitatea termică și cresc rezistența la oboseală și îmbătrânire; CAPS – R este un modificador polimeric (realizat de CCMMM- București) și este un perpolimer; proporția optimă în bitum este de 4%, caracteristicile fizico-chimice și mecanice ale bitumului modificat sunt superioare unui bitum clasic; cresc valorile proprietăților de elasticitate, în special revenirea elastică la 13°C; crește clasa de performanță a bitumului de la 50-54 la 76; utilizarea unui bitum modificat la prepararea mixturilor asfaltice conduce la realizarea de structuri rutiere performante. (Marin Radu, et al., 2005)

Cauciucul este un elastomer sintetic sau natural, care poate fi vulcanizat pentru a spori proprietățile utile. Există două tipuri de cauciuc: natural și sintetic. Cauciuc natural latex se obține din arborele de cauciuc numit *Hevea brasiliensis*. Molecula de cauciuc natural este o catenă liniară de hidrocarbură de izopren. La temperaturi sub 100°C acest cauciuc devine rigid și greu întrucât, atunci când este încălzit peste 100°C devine flexibil, moale și transparent. (Rahman M.M., 2004)

Cauciucul sintetic este realizat din produse petroliere și alte minerale și este produs în două etape principale: prima etapă reprezintă producția de monomeri (molecule unitare mici) iar cea de-a doua reprezintă polimerizarea pentru a forma un cauciuc. Există mai multe tipuri de cauciucuri sintetice disponibile pentru diferite aplicații. Unele dintre ele sunt: SBR (strien butadien cauciuc)- utilizat în mixturile asfaltice, cauciucuri de siliciu – utilizate în garnituri, etanșări, etc., cauciuc fluor-carbon - rezistent la căldură și atac chimic și cauciuc epiclorhidrină – utilizat pentru confecționarea de jachete, furtun, cabluri, ambalate, etc. (Rahman M.M., 2004) (Elvira Johana Ferreira Perlata, 2013)

Illinois Center Transportation a efectuat un studiu detaliat de laborator concentrat pe efectul anumitor aditivi și modificali când aceștia sunt adăugați în compoziția mixturilor asfaltice. Au fost studiate 2 tipuri de mixtură asfaltică N70, respectiv N90. Numărul 70 și 90 reprezentând numărul de rotații aplicat la confecționarea mixturii. Aceste mixturi au fost alese deoarece sunt sensibile la umiditate, așa cum a fost detaliat în studiile de laborator. Aditivi și modificali utilizați în acest studiu au avut ca scop determinarea directă sau indirectă a

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

sensibilității la umiditate cu LIQUID ANTI-STRIP (îmbunătățește adeziunea între liant și agregate) LAS, striene-butadiene-strien (SBS), acid polifosforic (PPA) și var hidratat.



Figura 33. Mixtură asfaltică modificată cu aditiv anti-strip

LAS produce o adeziune mult mai bună a liantului la suprafața agregatelor. SBS este un polimer termoplastic care îmbunătățește în ansamblu performanțele mixturii asfaltice prin reducerea potențialelor făgășuiri care pot apărea vara și rezistența la oboseală iarna cu creșterea stabilității, elasticității și a rigidității a mixturii asfaltice (Tarefder și Zaman 2010).

La temperaturi ridicate, SBS devine vâcos, astfel poate fi ușor adăugat și amestecat cu liant bituminos.

PPA este un polimer mineral lichid care are multiple aplicații în industrie, incluzând aplicarea acestuia în liantul bituminos rutier cu scopul de a reduce sau de a încetini efectele de îmbătrânire ale mixturilor bituminoase.

PPA poate fi utilizat singur sau împreună cu alți aditivi precum varul hidratat sau LAS și deasemenea polimeri precum SBS. Un alt aspect important al PPA este că nu reacționează negativ cu agregatele artificiale.

S-au făcut studii asupra rețetelor optime ale celor 2 tipuri de mixtură asfaltică, apoi s-a evaluat și procentul de aditiv/modificator care putea fi introdus în fiecare rețetă. Mai jos se poate observa ceea ce s-a determinat în urma încercărilor pentru stabilirea acestor rețete, unde CM 11, CM 16, FM02 și MF reprezintă tipul de agregate utilizat și granulația acestuia (tabel 10):

Tabel 10. Proiectarea mixturii asfaltice N70 și N90 cu LAS, SBS și PPA

Tip mixtura	Aditiv/Modificator	CM11	CM16	FM20	FM02	MF	Cantitate aditiv
----------------	--------------------	------	------	------	------	----	---------------------

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

							(%)
N70	Liquid anti-strip	35.3	36.4	20.2	6.8	1.3	4.9
	SBS	35.3	36.4	20.2	6.8	1.3	4.9
	PPA	35.3	36.4	20.2	6.8	1.3	4.9
	Suspensie de var	34.94	36.03	20.0	6.73	1.3	4.85
	Var uscat/umed	35.1	36.22	20.1	6.77	0.8	4.9
N 90	Liquid anti-strip	38.7	38.2	21.8	-	1.3	5.2
	SBS	38.7	38.2	21.8	-	1.3	5.2
	PPA	38.7	38.2	21.8	-	1.3	5.2
	Suspensie de var	38.31	37.81	21.6	-	1.3	5.15
	Var uscat/umed	38.5	38.0	21.7	-	0.8	5.2

Încercările de laborator efectuate sunt conform standardelor AASHTO, s-au confecționat numeroase probe, s-a determinat densitatea și volumul de goluri.

S-au supus 6 probe la încercare indirectă de tracțiune IDT cu dimesniuni de 150 mm diametru și 95 ± 5 mm înălțime, unde volumul de goluri este de $7\% \pm 0,5\%$ (așa cum este prezentat în figura 34) și s-a urmărit procedura de încercare a probelor.

Caracteristicile obținute în urma încercărilor sunt redată în tabelele 11 și 12.



Figura 34. Încercarea de întindere indirectă IDT

Tabel 11. Caracteristicile mixturii asfaltice N70 cu LAS, SBS și PPA

	Aditiv/modificator	TSR (%)	Incarcarea aplicata	Incarcarea aplicata la
--	--------------------	---------	---------------------	------------------------

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

N70			la incercarea IDT neconditionata(psi)	incercarea IDT conditionata (psi)
	Control	43.3	75.1	32.5
	1.0% LAS	88.1	54.0	47.6
	PPA	39.7	69.3	27.5
	SBS	51.7	85.4	44.1
	Var (S)	83.9	56.0	47.0
	Suspensie de var (M)	85.3	58.7	50.1
	Var, uscat (D)	69.5	63.6	44.2
	Var, umed (W)	70.0	68.9	48.2

Tabel 12. Caracteristicile mixturii asfaltice N90 cu LAS, SBS și PPA

N90	Aditiv/modificator	TSR (%)	Efortul aplicat la IDT (neconditionat) (psi)	Incarcarea aplicata la incercarea conditionata IDT (psi)
	Control	45.2	61.1	27.6
	1.0% LAS	85.7	51.0	43.7
	PPA	50.6	64.0	32.4
	SBS	57.3	78.8	45.2
	Var (S)	72.3	65.4	47.3
	Suspensie de var (M)	74.5	64.4	48.0
	Var, uscat (D)	77.6	59.6	46.2
	Var, umed (W)	73.0	60.2	44.0

S-a urmărit și încercarea la cicluri de îngheț-dezghet și s-au obținut următoarele (figura 35, respectiv 36):

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

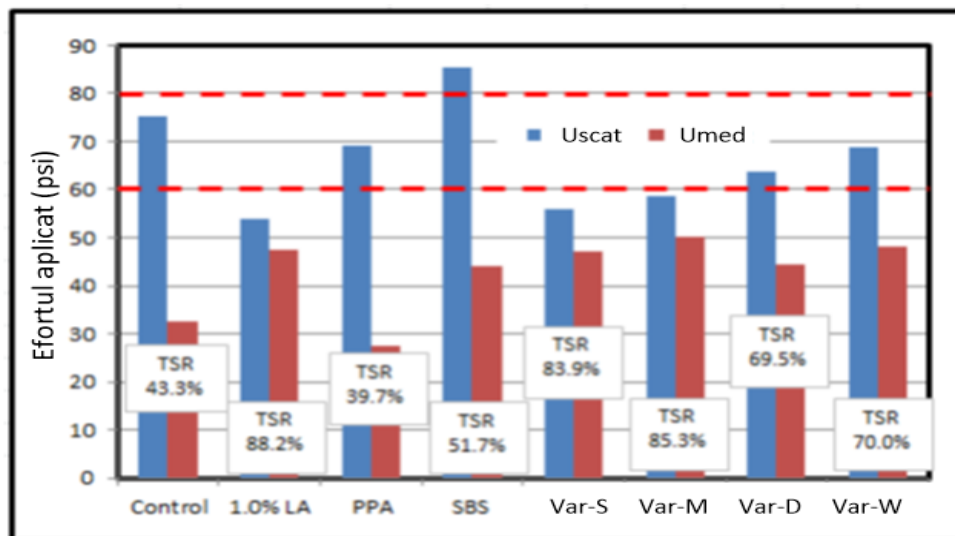


Figura 35. Rezultatele obținute după 5 cicluri de îngheț-dezgheț pentru mixtura N70

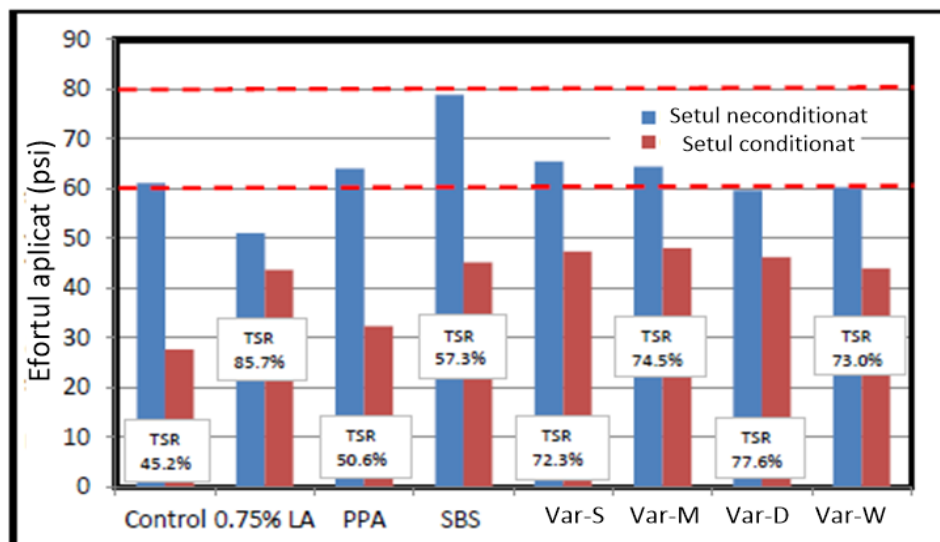


Figura 36. Rezultatele obținute după 5 cicluri de îngheț-dezgheț pentru mixtura N90

Cele mai importante concluzii în urma acestor studii pot afirma că adăugarea de SBS conduce la creșterea rezistenței la întindere a mixturilor asfaltice.

LAS poate spori adeziunea condiționată (umed), dar reduce rezistența la întindere necondiționată (uscat). Acest lucru poate conduce la reducerea duratei de viață la oboseală.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Toate metodele de adăugare a varului hidratat îmbunătățește proprietățile atât uscate cât și umede ale mixturilor asfaltice, cu efecte neglijabile asupra proprietăților uscate asupra mixturii N90 și mai puțin severe asupra proprietăților uscate ale mixturii N70 cu LAS.

Adăugarea de PPA unei mixturi cu o susceptibilitate scăzută poate duce mixtura la fenomenul de cedare, prin urmare, utilizând modificatorul adecvat LAS sau var hidratat împreună cu PPA este chiar recomandat.

Prin încercarea de făgășuire (figura 37), inginerii din Germania (cei care au dezvoltat această metodă de mai bine de două decenii) evaluează și susceptibilitatea la umezeală a mixturilor asfaltice HMA asociată cu structura agregatelor, rigiditatea liantului bituminos, sau adeziunea și legătura dintre agregate și liant. Dispozitivul testează două seturi a câte două probe simultan prin deplasarea roților metalice în lungul suprafeței probelor. Apoi, se măsoară șanțul făgășuirii în mai multe puncte pe lungimea probei, chiar și în timp ce se deplasează roțile și bineînțeles la finalul încercării. Probele încercate au avut un șanț de făgășuire de 12,5 mm la 10 000 de treceri.



Figura 37. Echipamentul de făgășuire

S-a studiat și fenomenul de rupere din oboseală prezentat în figura 38 (SCB), care depinde de tipul de bitum utilizat, de tipul de agregate, de conținutul de liant, dacă s-a folosit modificatori ai liantului, de conținutul de goluri (Li și ceilalți, 2010). Cedarea prin rupere este un indicator al abilității de a rezista la influența temperaturii, care este un tip predominant de cedare în regiunile de temperatură joasă. În acest studiu s-a evaluat încercarea fenomenului de oboseală la temperatura de -12°C , pe jumătăți de probe cilindrice iar rezultatele sunt redată în forma grafică în figurile 39, 40, 41, 42 și 43, după cum urmează:

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

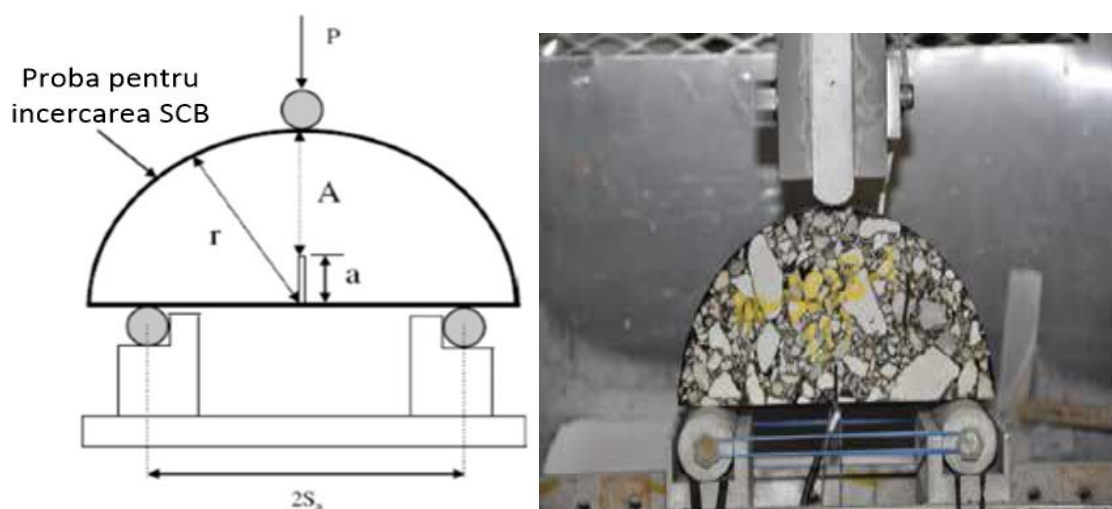


Figura 38. Tip proba și echipament de încercare pentru determinarea rezistenței la oboseală

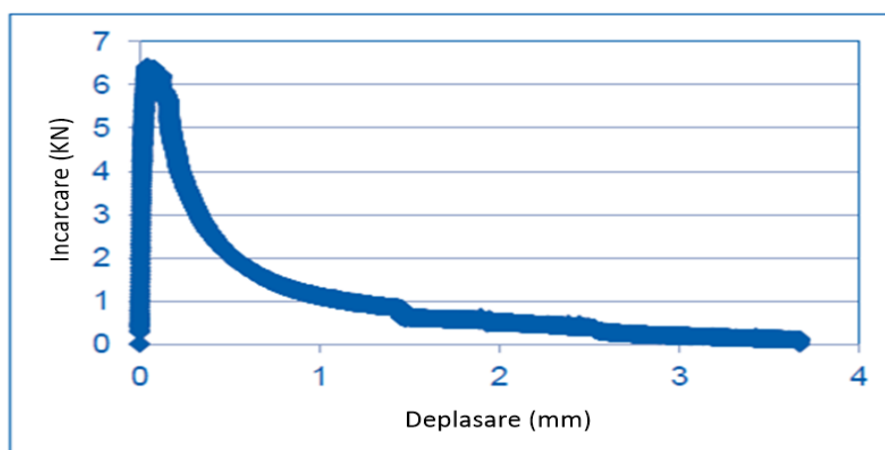


Figura 39. Rezultate obținute în urma încercării de rezistență la rupere SCB

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

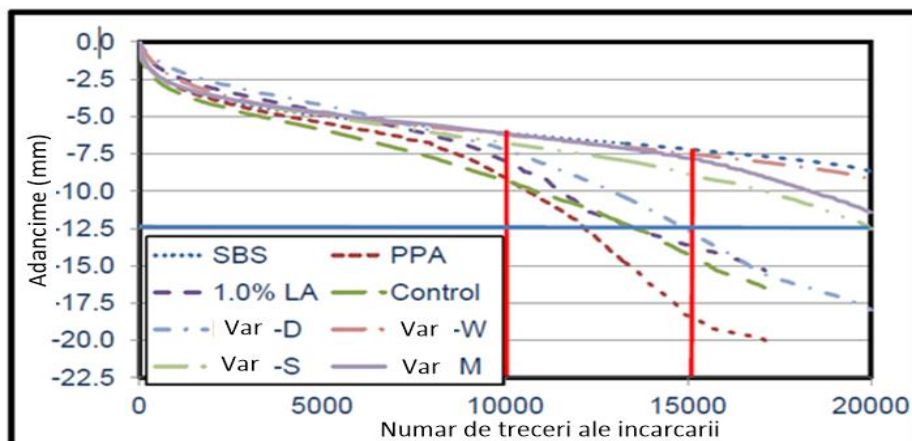


Figura 40. Încercarea de fâgășuire pe mixtura N70

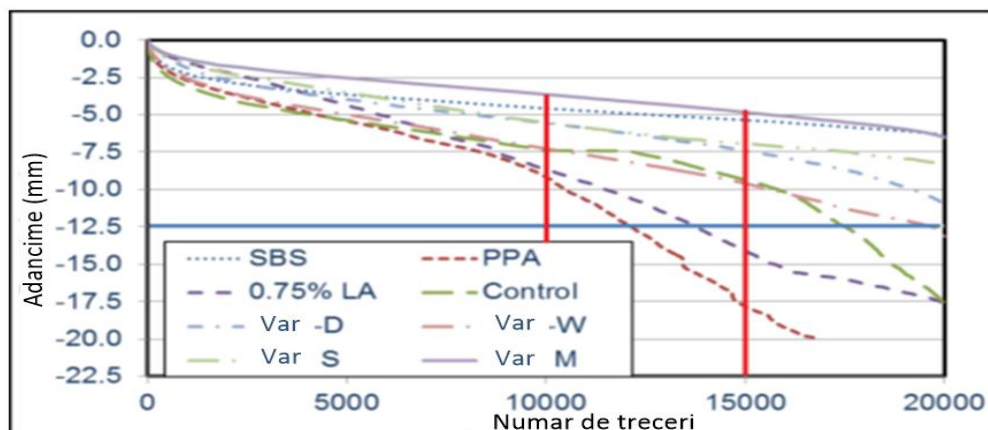


Figura 41. Încercarea defâgășuire pe mixtura N90

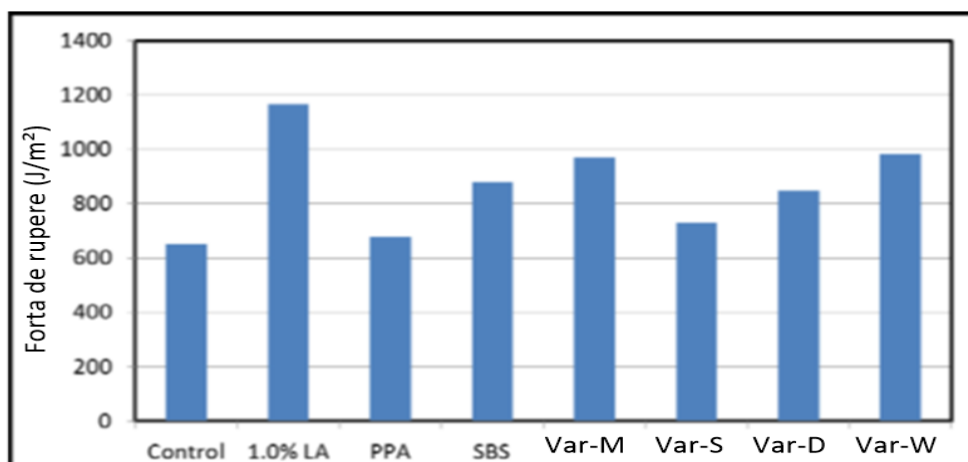


Figura 42. Reprezentarea cedării din oboseală pe mixtura N70

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

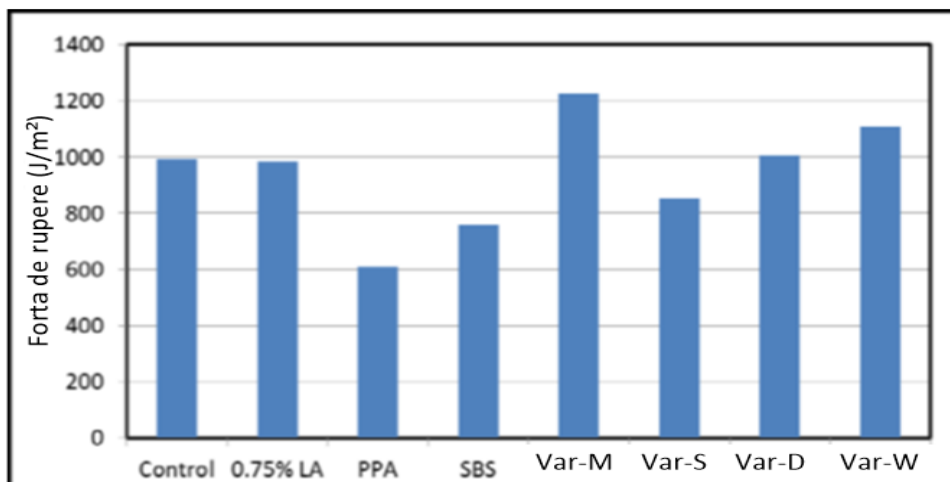


Figura 43. Reprezentarea cedării din oboseală pe mixtura N90

Concluzia finală, după toate încercările de laborator este că atât LAS cât și varul hidratat au demonstrat abilitatea de a menține caracteristicile de rezistență ale mixturilor la condiții severe de mediu. Modificatorul LAS reduce tensiunea superficială a liantului bituminos și îmbunătățește capacitatea de înmuiere a agregatelor, iar varul hidratat descrește tensiunea dintre liantul bituminos și apă. Asemenea performanțe au fost evidente în reducerea potențialului de cedare termică. Cu toate că SBS reduce fâgășuirea mixturii la temperaturi ridicate, rigiditatea mixturii a scăzut mult mai rapid comparativ cu cea cu var hidratat sau LAS după condiționarea epruvetelor.

Recomandarea autorilor, în urma studiilor elaborate a fost după cum urmează: selecția de LAS ar trebui optimizată de tip și dozaj cu scopul de a îmbunătăți condițiile de cedare la oboseală în timp ce nu se reduce încărcarea la tracțiune. Adăugarea de modificatori LAS și var hidratat sunt eficienți în controlarea deteriorării din umiditate.

Modificatorul, în toate formele de var hidratat, este eficient în controlul deteriorării datorate umidității, cu metode umede care au grad de control îmbunătățit. Pentru mixturi extrem de sensibile la umiditate, este recomandat să se investigheze SBS cu LAS sau SBS cu var hidratat pentru a produce mixturi care au performanțe ce trec de condițiile impuse de standarde. (Imad Al-Qadi, et al., 2014)

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

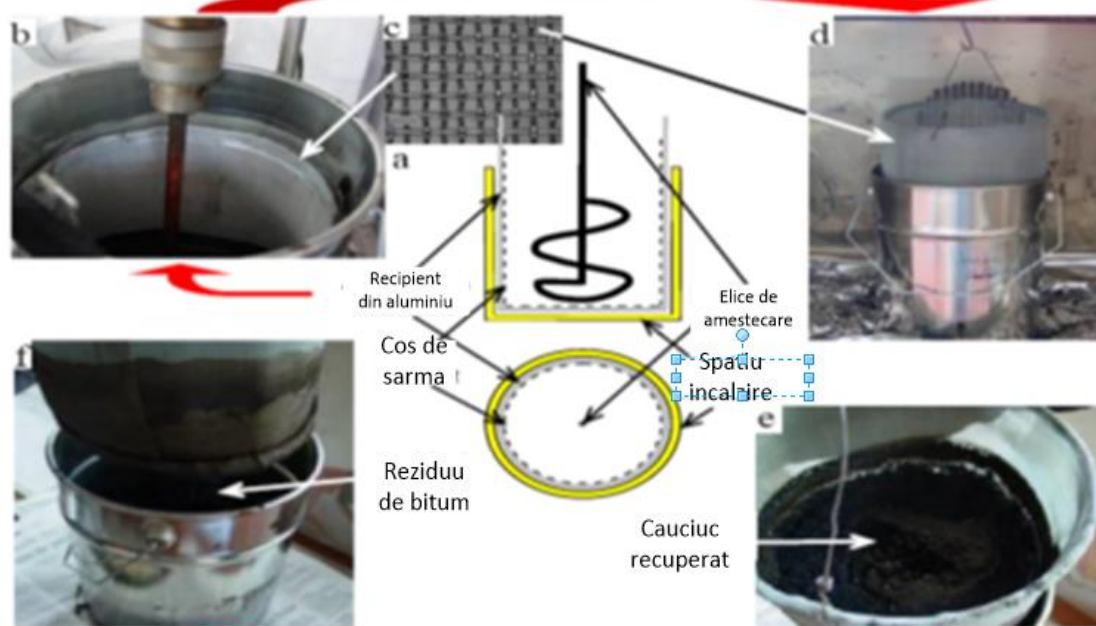


Figura 44. a) Schema, b) Poza cu unitatea de producție a mixturii asfaltice cu cauciuc, c) Poza prin microscopul optic a plasei de sârmă utilizată pentru a face coșul, d) Separarea dintre cauciucul măcinat și bitumul rezidual din mixtura asfaltică, e) Cauciucul recuperat, f) Bitumul rezidual după separare. (Ines Antunes; Daniele Fornai; Irene Bartolozzi, 2012)

În urma descoperirii proprietăților excelente și a performanței sporite despre aceasta tehnică inovativă și sustenabilă, compania Asphalt Rubber Italia Srl a decis să introducă în anul 2006, pentru prima dată în Italia, tehnologia bitumului modificat cu cauciuc din anvelope uzate (figura 44), metodă denumită metoda umedă (“wet method”). Înainte, mai multe experimente au fost făcute prin metoda uscată (figura 45 și 46), unele cu rezultate bune, dar prevederea națională (și Europeană) a cerut o tehnologie controlată care poate să asigure o performanță dată (mare) constantă în timp.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

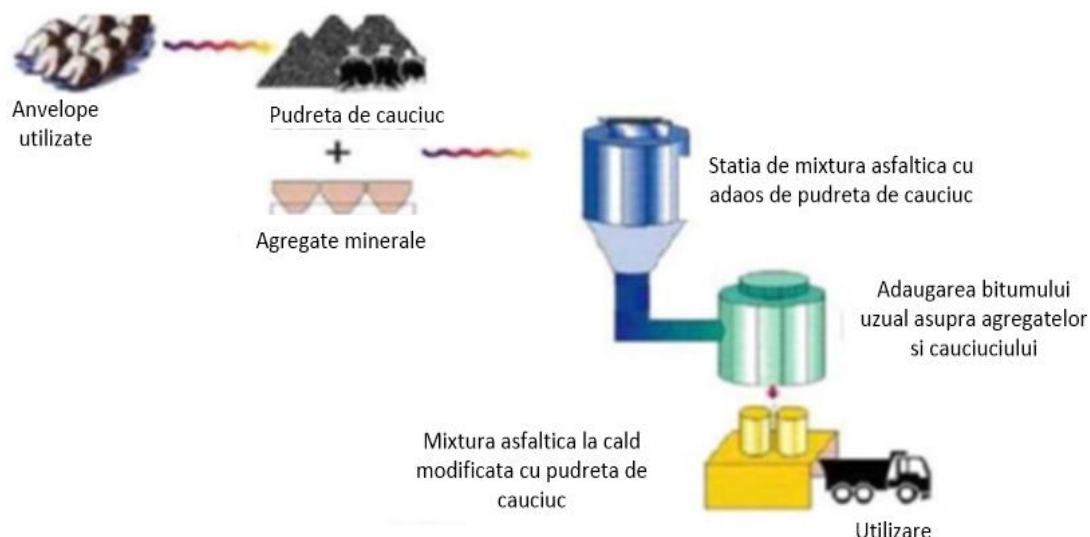


Figura 45. Producția de mixturi asfaltice cu adaos de cauciuc provenit din anvelope uzate prin utilizarea metodei uscate (Neto și ceilalți, 2006)

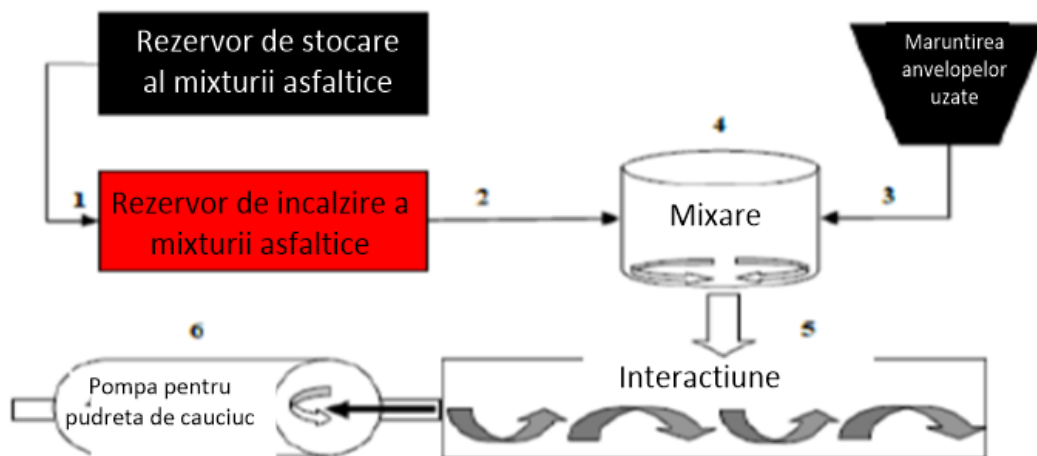


Figura 46. Schema de amestec continuu al bitumului cu cauciucul (adoptată după Caltrans, 2006)

Proprietățile acustice ale mixturilor asfaltice cu cauciuc au fost analizate într-un număr crescut de încercări de laborator efectuate în ultimii 4 ani. Principalele metode utilizate pentru a măsura volumul sunetului au fost acele pass-by nose sau close proximity (ISO 11819-2). Încercările efectuate prin cutiile de măsurare puse la aproximativ 4 m depărtare de stâlpii de iluminat pe lungimea drumului, au demonstrat o reducere a nivelului de zgomot, care depinde de viteza de deplasare, între 3dB(A) și 6dB(A). (Elvira Johana Ferreira Perlata, 2013)

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

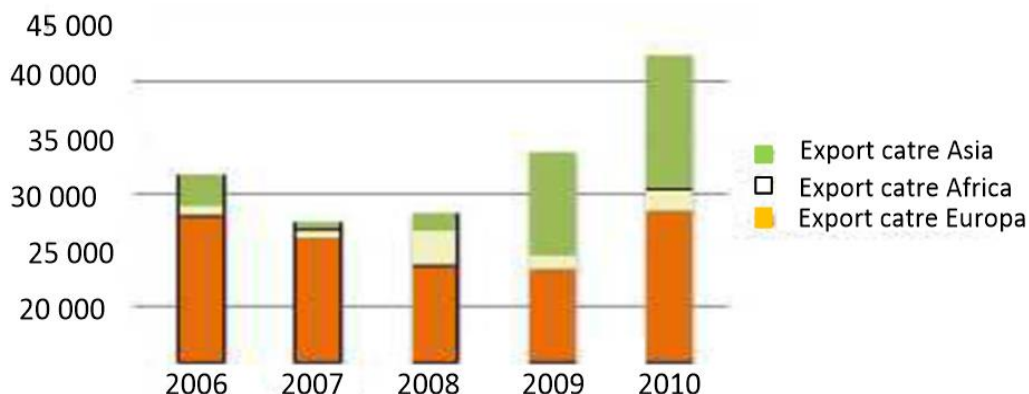


Figura 47 Exportul anvelopelor marunțite din Italia (tone/an)

Adoptând managementul național la sfârșitul de viață al cauciucului (figura 47) pe baza analizei diverselor situații poate fi dificil, dacă nu chiar imposibil și trebuie elaborate instrucțiuni generale. De fapt, un număr sporit care evaluează ciclurile de viață (Life Cycle Assessment-LCA) au fost efectuate, în ultimii ani la nivel internațional și au demonstrat beneficiile mediului înconjurător (sau impactul asupra acestuia) asociate cu utilizarea cauciucului reciclat din anvelope care substituie celelalte materiale elastice.

Cu scopul de a ilustra beneficiile de mediu asociate cu utilizarea mixturilor asfaltice la cald cu cauciuc, energia și salvarea emisiilor de CO₂ poate fi cuantificată în timpul întregului proces de construcție al drumului, care constă în:

- Producerea de mixturi la cald (marunțirea anvelopelor, granulara, transportul cauciucului mărunțit, producția de bitum modificat și amestecarea în stații de mixturi asfaltice), presupunând un strat cu o grosime de 3 cm în ciuda a 6 cm de mixtură asfaltică convențională;
- Transportul mixturii asfaltice la cald. Salvarea energiei în această fază este esențială datorită reducerii grosimii stratului de la suprafață;
- Frezarea. Consumul total de combustibil al unei freze de asfalt poate fi evaluat luând în considerare grosimea suprafeței îndepărtate;
- Dispoziția materialelor rezultate, presupunând o distanță medie de 10 km între locul unde trebuie pusă în operă și depozitul de deșeuri;
- Bitumul natural este luat de la o rafinărie de la maxim 100 km distanță de la locul unde se pune în operă și agregatele de la o distanță de 20 km;
- În stratul nou de îmbrăcăminte asfaltică, ținându-se cont de puterea nominală a fiecărei mașini utilizate.

Principala concluzie este că în ceea ce privește reciclarea anvelopelor uzate și utilizarea în construcția drumurilor, protecția mediului nu mai este o povară, ci este o resursă.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

În particular, tehnologia mixturilor asfaltice cu cauciuc oferă oportunitatea de a îmbunătăți rețeaua de drumuri pentru condițiile de performanță, durata de exploatare și suportul local precum și economiile naționale, reducând atât costurile cât și reducerea poluării asupra mediului.

În tabelul 13 consumul și câștigul de energie în kWh/m³ sunt raportate împreună cu emisiile CO₂ (factorul de conversie: 0,58 kg CO₂/kWh).

Tabel 13. Energia și impactul CO₂ și câștigul pe m³ de mixtură asfaltică la cald ce are în compoziție cauciuc măcinat

		Consumul de energie	Emisiile de carbon	Energia salvată	Emisiile de carbon salvate
Producția și transportul de mixtură asfaltică cu adaos de cauciuc	Transportul anvelopelor	56,6	32,8	-56,6	-32,8
	Granularea	256,8	148,9	-256,8	-148,9
	Transportul cauciucului măcinat	6,5	3,8	-6,5	-3,8
	Recuperarea oțelului	-221,4	-128,4	+221,4	+128,4
Producția de mixtură asfaltică la cald cu cauciuc		6,2	3,6	7,4	4,3
Agregatele salvate		-	-	5683,8	3296,6
Bitum salvat		-	-	3152,7	1828,5
Transportul de mixtură asfaltică		13,1	7,6	15,7	9,1
Așternerea mixturii asfaltice		2,9	1,7	3,0	1,7
Frezarea		17,7	10,3	1,9	1,1
Transport pentru înlăturare		-1,5	0,9	0,8	0,5
TOTAL		139,89	81,138	2939,8	1705

Carmen Răcănel și Adrian Burlacu au studiat comportarea la oboseală a mixturilor asfaltice cu bitum modificat cu polimeri. Modulul de rigiditate obținut pentru mixtura asfaltică studiată (MAMR 16) este un modul ridicat cu o valoare de 9300 MPa. Rezistența la oboseală a mixturilor asfaltice studiate pune în evidență faptul că trebuie corelată temperatura de lucru din laborator cu temperatura atmosferică, în situ. La temperaturi mai mari, deformația specifică atinsă pentru un milion de cicluri de încărcare este mai mare: la o creștere a temperaturii cu 10°C

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

corespunde o creștere a deformației specifice cu aproape 280%, ceea ce este de mare importanță în dimensionarea structurilor rutiere. (Adrian Burlacu & Carmen Răcănel, 2014)

Un studiu efectuat la Iași de Elena Ursachi prezintă studiul influenței aditivilor Atica ABR 1 (produs de Atica Chemicals SRL Râmnicu Vâlcea) și Adeten 01 (produs de SC Poll Chimic SA Giurgiu). Acești aditivi au fost adăugați la două tipuri de bitum și s-au determinat valorile principalelor caracteristici, atât în stare pură (bitum martor), cât și în amestec 0,4%, respectiv 0,5% (din greutate) aditiv. Aceste bitumuri au fost utilizate la prepararea a 5 tipuri de mixtură diferită iar din analiza rezultatelor obținute în urma cercetării s-a constatat că utilizarea aditivilor nu modifică semnificativ valorile caracteristicilor principale ale bitumurilor și nici tipul de structură inițială (sol-gel) caracteristic bitumurilor rutiere. De asemenea analiza variației valorilor caracteristice fizico-mecanice ale seriilor de mixturi preparate cu bitumuri neaditivate (martor) a dus la următoarele concluzii: densitatea aparentă determinată pe epruvetele martor rămâne practic neschimbată; se remarcă o scădere de 5-10% a absorbției de apă la mixturile cu bitum aditivat. Determinarea valorilor umflării prezintă o reducere a umflării cu circa 20...70%, ceea ce denotă o bună comportare a mixturilor la acțiunea apei în timp. Se observă o creștere a stabilității Marshall și a indicelui de curgere până la dozajul 6,25% bitum, iar peste această valoare stabilitatea Marshall cât și indicele de curgere au valori mai scăzute.

În urma cercetării efectuate în laborator s-a arătat că cele mai bune rezultate pentru stabilitatea Marshall, indicele de curgere, rigiditate și rezistența la oboseală se obțin prin utilizarea aditivului ADETEN 01 cu dozajul de bitum de 6,25%. (Elena Veronica Ursachi, 2008)

În laboratorul de Drumuri CESTRIN, Vasilica Beica și ceilalți au studiat îmbunătățirea lucrabilității mixturilor asfaltice preparate cu aditivi organici și minerali și efectele acestora asupra caracteristicilor tehnice ale mixturii. Probele aditivate au fost analizate comparativ cu probe neaditivate, prepararea și compactarea realizându-se cu aceleași echipamente. Conform acestui studiu, aditivi minerali de modificare a vâscozității pot fi: zeoliții (alumino silicați de sodiu ce prezintă o structură tridimensională, poroasă, ce le permite să absoarbă molecule străine în structura lor și să le elibereze apoi, fără a-și schimba forma și mărimea), amidele acizilor grași (hidrocarburi alifactice cu lanț lung de atomi de carbon), cerurile Fischer-Tropsch (hidrocarburi saturate cu lanț lung de atomi de carbon, obținute prin procedeul de gazeificare a cărbunelui la presiune înaltă și în prezența de catalizator). După încercarea probelor, rezultatele obținute conduc la următoarele concluzii: recomandările de punere în operă pentru amestecul granulat de cretă FT – fibra de celuloză au condus la obținerea unor caracteristici de curgere și deformare mult îmbunătățite comparativ cu mixtura martor; prin utilizarea granulatului în modul și condițiile de adăugare alese de laborator, s-au obținut caracteristici îmbunătățite; indiferent de modul de adăugare a granulatului de ceară FT- fibră în amestec și de temperatura de preparare/compactare, rezistența la deformații permanente (ornieraj) și a rezistenței la oboseală a mixturilor preparate cu acest aditiv este mai bună comparativ cu a mixturilor neaditivate. (Vasilica Beica, et al., 2010)

Shihgo Kamiya și alții au studiat rolul copolimerului tribloc strien-butadien-strien asupra lianților bituminoși, câteva exemple de aditivi pot fi observate în figura 48. Bitumurile modificate cu polimeri cu o compoziție diferită au fost preparate cu copolimerul SBS și bitum. Maltenele, fracția solubilă extrasă din bitum, interacționează în mod preferențial cu polibutadina din SBS în timp ce asfaltenele, fiind fracția insolubilă, interacționează în special cu polistirenul,

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

observație făcută în urma măsurătorilor efectuate. Măsurătorile reologice și mecanice au demonstrat că vâscozitatea, penetrația și rezistența la întindere a materialului compozit au fost îmbunătățite chiar și la o concentrație foarte mică a componentului SBS (5...10%).

Componentele asfaltenelor și maltenelor au interacționat parțial cu unități specifice din SBS, astfel încât efectele de emulsificare ale SBS au rezultat în inversarea fazelor. (Shingo Kamiya, et al., 2001)



Figura 48. Exemple aditivi

Un studiu efectuat de AL-Qadi și ceilalți (2014) privind folosirea zeolitului în componența mixturilor asfaltice de tip WMA demonstrează că prin adăugarea acestui aditiv scade temperatura de compactare la 120°C. Cele mai bune performanțe obținute la încercarea Marshall au fost pentru un procent de 0,5% zeolit adăugat în compoziția mixturilor asfaltice. De asemenea, probele compactate la 120°C au o rezistență sporită la acțiunea apei. Modulul de elasticitate determinat pe aceste probe are rezultate comparabile cu rezultatele obținute pe probe compactate la 140°C. (Al-Quadi I. , et al., 2014)

Conform noilor tehnologii avansate trebuie să se ia în considerare și înlocuirea totală sau parțială a bitumului cu bio-uleiuri.

Impactul economic al înlocuirii bitumului rutier cu bio-ulei este extrem de important, luând în considerare că înlocuirea a 25% bitum cu bio-ulei, la prețul curent de producție al mixturii asfaltice, va rezulta în salvarea economică directă cu 5%. Dacă reducerea malaxării și a temperaturii de compactare vor fi contabilizate, oportunitatea economică în utilizarea acestei tehnologii este chiar mai mare.

Cu scopul de a obține bio-uleiul cu caracteristici potrivite pentru a fi utilizat ca un înlocuitor comparabil al bitumului convențional obținut din petrol, bio-uleiul produs prin unitatea de piroliză rapidă trebuie să fie îmbunătățit.

Potrivit studiilor anterioare, bio-uleiul posedă caracteristici foarte bune, similare cu liantul bituminos, la temperaturi medii și ridicate. Oricum, performanțele la temperaturi joase nu sunt acceptate pentru a putea fi utilizat în majoritatea statelor din Statele Unite ale Americii, deoarece are compoziție prea rigidă la temperaturi scăzute și este susceptibil la fisurare datorată

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

acestor temperaturi. Abordarea de a încerca să rezolve această problemă a fost să se adauge cauciuc în bio-ulei.

Aplicând parametrii menționați mai sus, patru tipuri de bio-bitumuri au fost produse:

- **A – 90% bio-ulei plus 10% cauciuc – criogenic;**
- **B – 85% bio-ulei plus 15% cauciuc - criogenic;**
- **D -90 % bio-ulei plus 10 % cauciuc clasic;**
- **E 85% bio-ulei plus 15% cauciuc clasic.**

În plus, pentru a evalua schimbările care pot să apară în bio-ulei care au fost independente de interacțiunea cu particulele de cauciuc, bio-uleiul a fost încălzit timp de 1,5 ore la 125°C să se obțină îmbătrânirea bio-uleiului.

Principalii constituenți ai echipamentului de separare sunt reprezentați de filtru și de centrifugă (figura 49). Metoda consistă în introducerea bio-bitumului în filtru, se plasează filtrul în recipientul încălzit rezidual și centrifuga la o viteză de aproximativ 2000rpm timp de 3 minute.

Materialul centrifugat (Res) poate apoi fi reologic testat precum poate fi analizat și din punct de vedere chimic și greutatea materialul păstrat/reținut să determine conținutul de cauciuc.



Figura 49. Metoda de obținere a bio uleiului rezidual

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

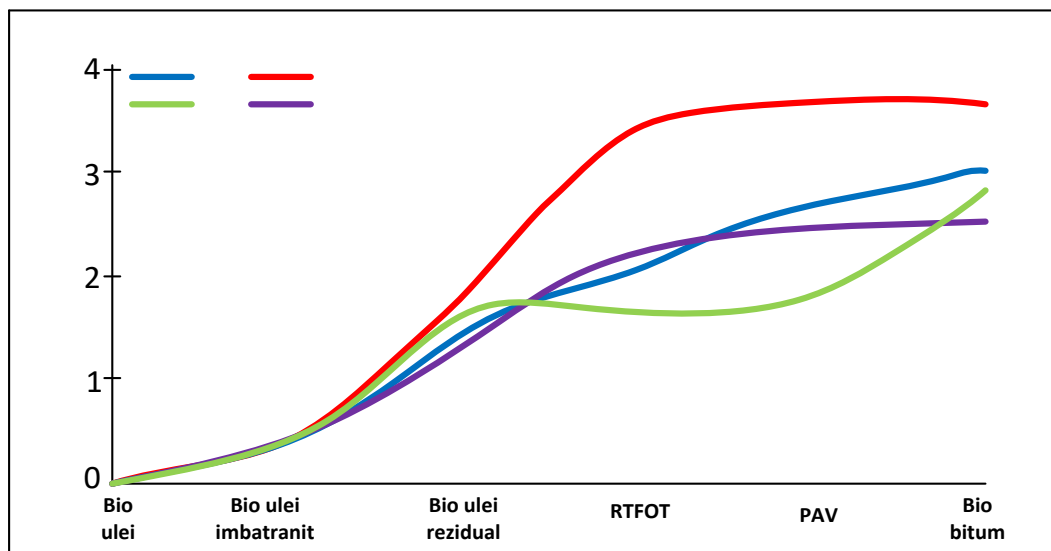


Figura 50. Comparația evoluției valorilor dintre bio-ulei și alte materiale

Bio-uleiul produs prin piroliza rapidă a materialelor organice este disponibil de peste un deceniu. Acest material a fost folosit în principal drept combustibil, în același mod ca și petrolul.

Cu toate acestea, proprietățile sale sunt similare cu cele ale bitumului și se poate dovedi a fi un substituent excelent. În ceea ce privește construcția drumurilor, utilizarea mixturilor asfaltice cu cauciuc permit reducerea grosimii straturilor rutiere, (Amirkhanian,2003) precum și obținerea unui produs cu performanțe superioare (Thodesen și colab, 2009), deoarece aceste mixturi sunt mai bune atât din punct de vedere structural cât și funcțional, iar în principal conduc la reducerea fisurilor.

În plus, utilizarea de bitum modificat cu cauciuc măcinat contribuie la dezvoltarea durabilă prin stabilirea unei destinații finale pentru utilizarea eficientă a anvelopelor uzate (Campos, 2007) cât și prin îmbunătățirea performanțelor și a siguranței structurilor rutiere (Jeong, 2010). În comparație cu mixturile asfaltice clasice, mixturile care au în compoziție cauciuc măcinat au o durată de viață mai mare. (Xiang,2009 si Lee, 2008)

Creșterea substanțială a prețului petrolului în ultimii ani a fost reflectată și în prețul lianților bituminoși. Mai multe rafinării au instalat diverse facilități de cocsare pentru a crește randamentul de producție de combustibil ceea ce a condus la producerea unui reziduu de distilare care nu poate fi utilizat ca liant în mixturile asfaltice dar conduce la dezvoltarea substanțială a surselor alternative de lianți, inclusiv la fracționarea bio-uleiului din piroliza rapidă a biomasei cu potențial pentru aplicarea ca aditiv/ modificador/ exender în special în mixturi cu polimeri. De fapt, bio-uleiul poate chiar să înlocuiască întregul liant datorită faptului că prezintă proprietăți reologice similare cu acesta. (Elvira Johana Ferreira Perlata, 2013) (Williams R., et al., 2009)

Punctul de topire ridicat al majorității polimerilor utilizați în prezent ca modifikatori ai mixturilor asfaltice restricționează utilizarea lor cu bio-ulei datorită faptului că acesta trebuie manipulat la temperaturi scăzute. Necesitatea modificării bio-uleiului cu polimeri se datorează

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

rezistenței scăzute la temperaturi joase. Pe lângă proprietățile antioxidante ale bio-uleiului (datorită conținutului ridicat de lignină) s-a constatat, de asemenea că acesta conține cantități semnificative de furfural care este benefic în promovarea interacțiunilor dintre liant și cauciuc. (Wang H., et al., 2012)

Dezvoltarea acestui nou tip de bitum a fost testată în mare parte pentru stratul de legătură.

În anul 2010 s-a făcut o pistă de biciclete care a fost pavată cu mixtură asfaltică care conținea bio-uleiuri precum bio-bitumurile în statul Iowa conform ISU, 2010. Tot aici, în Des Moines, Iowa, 3% din bitumul rutier a fost înlocuit cu bio bitum. După 3 ani de la darea în exploatare nu s-a descoperit nici un semn de deteriorare.

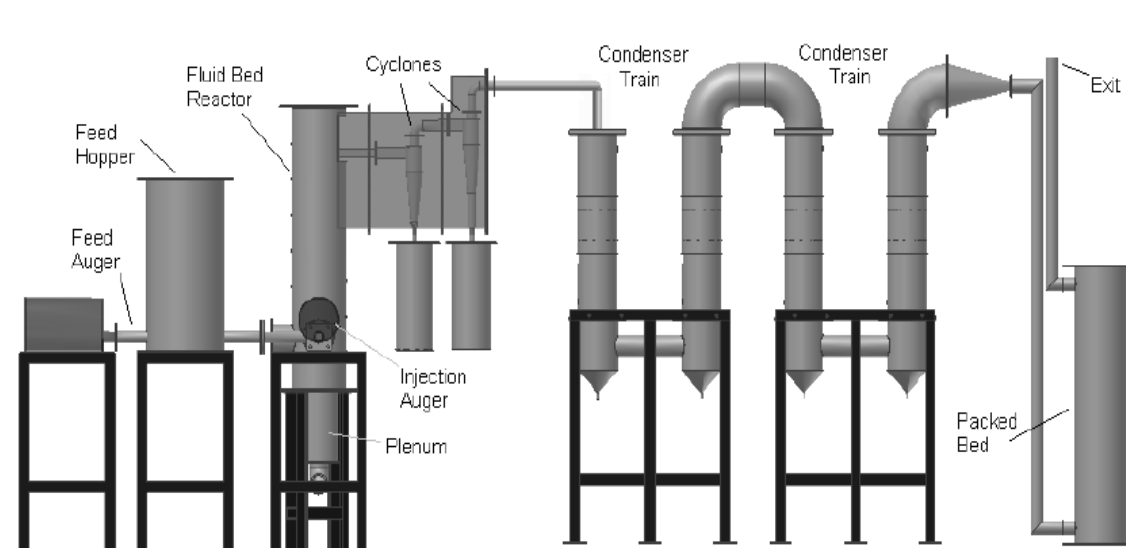


Figura 51. Instalație experimentală de piroliză rapidă a bio-uleiului (Sursa: Iowa State University)

Bio-uleiurile (figura 51) au multe avantaje față de bitumurile de petrol deoarece sunt regenerabile, ecologice, oferă securitate energetică și prezintă o mare oportunitate economică. Cu toate acestea, până în prezent, aproape nici o cercetare nu a fost efectuată cu privire la aplicabilitatea utilizării bio-uleiurilor ca alternativă parțială sau integrală de înlocuire a lianților bituminoși din industria drumurilor rutiere.

Numărul limitat de referințe produse pe acest subiect arată că acest obiectiv ar putea fi atins în curând, prin aplicarea unei noi tehnologii cu încorporarea de polimeri.

Prin definiție, bio-uleiurile pot fi descrise ca lichide organice, maro închis, ce au curgere liberă, care sunt alcătuite în principal din compuși oxigenați. Cu alte cuvinte, aceasta este lichidul obținut prin încălzirea rapidă a biomasei într-o stare de vid.

Bio-uleiurile sunt produse din materii vegetale și reziduuri. Unul dintre procedeele termochimice utilizate pentru producerea de bio-uleiuri este piroliza rapidă. Piroliza rapidă este un proces de descompunere termică, care necesită o rată de transfer termic ridicat de particule de biomasă și un timp scurt de așezare al vaporilor în zona de reacție. După mulți autori, piroliza

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

rapidă reprezintă descompunerea rapidă a materiei organice (biomasa), în absența oxigenului pentru a produce solide precum manganul, lichidul de piroliză sau uleiul (bio-uleiuri) și gaz. (Elvira Johana Ferreira Perlata, 2013)

O altă definiție dată de Mohan afirmă că piroliza este un proces de înaltă temperatură în care biomasa este încălzită rapid în vid și apoi se descompune pentru a produce vapori, aerosoli și uneori cărbuni precum manganul. După răcirea și condensarea vaporilor și aerosolilor se formează un lichid maro închis care curge (bio-ulei).

Când materia organică este biomasă, care constă în biopolimeri (de exemplu celuloză, hemiceluloză, lignină, etc) uleiurile produse sunt denumite bio-uleiuri. În general, piroliza rapidă este utilizată pentru a obține bio-ulei de înaltă calitate. Prin urmare, piroliza rapidă a biomasei duce la polimerizarea și fragmentarea acestor biopolimeri.

Studii de laborator au fost efectuate asupra deșeurilor din polimeri în mixturile asfaltice rutiere la Centrul de Ingineria Transporturilor la Universitatea Bangalore, India, unde materialul din plastic a fost utilizat ca un aditiv în bitumul încălzit în diferite proporții (care variaua de la 0 la 12% din greutatea bitumului). Rezultatele obținute în urma investigațiilor de laborator au indicat că adăugarea materialului plastic prelucrat în cantitate de circa 8,8% din greutatea bitumului ajută la îmbunătățirea substanțială a stabilității, a rigidității, durata de oboseală precum și a altor proprietăți precum condițiile nefavorabile de absorbție de apă. Adăugarea de 8% din greutate de plastic procesat pentru bitumul modificat conduce la un câștig de 0,4% bitum din greutatea mixturii asfaltice sau aproximativ 9,6% bitum pe m³ de mixtură asfaltică.

În Tami Nadu, lungimea drumurilor de aproximativ 1000m în diferite porțiuni au fost construite folosind deșeuri din plastic ca aditiv pentru liantul bituminos în cadrul proiectului 1000 km Plastic Tar Road și s-a constatat că performanța tuturor mixturilor puse astfel în operă au comportare satisfăcătoare.

Performanța întinderii de drumuri construite prin acest proiect folosind materiale plastice din deșeuri a fost acceptat și pus în operă și în Karnataka, unde s-au demonstrat de asemenea calități satisfăcătoare. Construcția de drumuri folosind deșeurile provenite din plastic în statele menționate se bazează pe încercările și rezultatele elaborate de Universitatea Bangalore, CRRI și Colegiul de Inginerie din Madurai. (Amit Gawande, et al., 2012)

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

3.3.3. Observații

În literatura de specialitate este precizat în mod repetat faptul că cea mai importantă manifestare a lianților o reprezintă susceptibilitatea bitumului la schimbări de temperatură. Bitumurile trebuie să reziste la eforturi termice datorate schimbărilor volumetrice și să revină elastic, de la aceste mici deformări pentru a absorbi încărcările de tip șoc. În cazul biturilor cu polimeri, la fel ca și biturile pure, variațiile de temperatură au impact puternic asupra comportamentului bitumului și perioadei de serviciu la drumului. La temperaturi scăzute și la durate scurte de încărcare, bitumul are o comportare de tip elastic, în timp ce la temperaturi ridicate sau durate lungi de încărcare are un comportament plastic, vâcos.

S-a determinat că scopul modificatorilor este acela de a extinde faza plastică și de a modifica domeniul de vâscoelasticitate funcție de tipul și concentrația modificatorului, astfel încât bitumul să aibă o comportare bună într-o gamă extinsă de temperaturi și încărcări.

Astfel biturile modificate sunt utilizate ca și bituri de bază, ca atare, la cald, sub formă de emulsie sau sub formă de soluție la rece pentru realizarea de straturi de rulare pentru drumuri cu trafic intens, îmbrăcămînți asfaltice drenante, îmbrăcămînți rutiere de grosime redusă, îmbrăcămînți pe poduri, tratamente de suprafață, membrane de etanșeitate, straturi rutiere intermediare pentru evitarea transmiterii fisurilor din stratul inferior în stratul superior precum și materiale pentru rosturi.

De asemenea, s-a evidențiat faptul că gudronul are aceleași utilități ca și bitumul, însă datorită îmbătrânirii rapide, este inferior calitativ. Chiar dacă utilizarea gudronului în tehnica rutieră este posibilă din punct de vedere tehnic, nu trebuie uitat faptul că acesta este inflamabil și deosebit de toxic.

Se precizează, în plus și faptul că stabicolul este un liant compozit rezultat din amestecul unui liant hidraulic cu bitumul iar stabilitatea fizică și chimică a acestuia este asigurată cu ajutorul aditivilor speciali de tipul substanțelor tensioactive și a polimerilor organici. Astfel permite realizarea unor straturi rutiere cu caracteristici superioare, care elimină dezavantajele straturilor bituminoase.

Dozajul mic de activator cât și utilizarea unui material natural, conduc la obținerea unui liant ce nu necesită consumuri mari de energie, fapt ce poate plasa lianții pe bază de tuf vulcanic și activator pe poziția unui liant alternativ la stabilizarea materialelor locale pentru lucrări rutiere.

De asemenea s-a demonstrat că elastomerii conferă bitumului suplețe, plasticitate și flexibilitate, iar acțiunea lor se remarcă în special la temperaturi joase (-5°C).

Se poate observa și influnța copolimerilor care îmbunătățesc consistența, coeziunea, adezivitatea și elasticitatea bitumului mai ales în zona temperaturilor ridicate ($+40^{\circ}\text{C}$).

S-a demonstrat în numeroase studii experimentale că bitumul modificat cu polimeri sporește adezivitatea în mod semnificativ între bitum și agregate, reduce efectul de dezgrădare, prelungește durata de viață a drumului și reduce cheltuielile de întreținere.

În urma analizelor efectuate pe biturile modificate cu sistemul polimeric indigen CAPS – R (elastomer cauciuc+ polietilenă+sulf) s-a constatat că dispersia polimerului este foarte

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

bună, punctul de înmuiere crește o dată cu creșterea concentrației de polimer, proprietățile elastice au o creștere spectaculoasă în procente. Concluzia finală a acestui studiu afirmă că utilizarea unui bitum îmbunătățit prin adaos de modificatori polimerici se va resimți benefic și în proprietățile fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice și implicit în obținerea unor structuri rutiere durabile și performante.

Studiul asupra polimerul termoeelastic SBS a demonstrat că majorează gama de activitate cu bitumul pentru o cantitate relativ scăzută (3...15% SBS), o elasticitate mai mare și încetinește procesul de îmbătrânire al bitumului. Folosirea modificatorilor pentru bitumurile rutiere se reflectă asupra caracteristicilor mixturilor asfaltice și anume îmbunătățește comportarea la temperaturi scăzute, cât și la temperaturi ridicate, precum și la solicitări mecanice repetate.

Măsurători reologice și mecanice au dovedit că vâscozitatea, penetrația și rezistența la întindere a materialului compozit au fost îmbunătățite chiar și la o concentrație foarte mică adăugată a componentului SBS (3...10%).

Adăugarea deșeurilor reciclabile din avelopele uzate în compoziția mixturilor asfaltice conduce la obținerea unor bune rezultate în reducerea zgomotului de rulare al vehiculelor, în reducerea derapării și în garantarea unei durate de viață mai mare a drumurilor.

Proprietățile plastice și elastice ale mixturilor asfaltice cu bitum modificat cu cauciuc sunt: ameliorarea rezistenței la deformări vâsco-plastice (făgașe) în perioada de vară, ameliorarea rezistenței la crăpături și fisurări în perioada de iarnă, influența duratei de viață a îmbrăcăminților suple și normale ale sistemului rutier, posibilitatea reducerii cu 10% a grosimii straturilor de asfalt și posibilitatea reducerii procentului de bitum în mixturile asfaltice.

Bio-uleiurile au multe avantaje față de bitumurile de petrol deoarece sunt regenerabile, ecologice, oferă securitate energetică și prezintă o mare oportunitate economică. Cu toate acestea, până în prezent, aproape nici o cercetare nu a fost efectuată cu privire la aplicabilitatea utilizării bio-uleiurilor ca alternativă parțială sau integrală de înlocuire a lianților bituminoși din industria drumurilor rutiere. Numărul limitat de referințe produse pe acest subiect arată că acest obiectiv ar putea fi atins, în curând, prin aplicarea unei noi tehnologii prin încorporarea de polimeri.

Bio-uleiurile sunt produse din materii vegetale și reziduuri, au multe avantaje față de bitumurile de petrol deoarece sunt regenerabile, ecologice, oferă securitate energetică și prezintă o mare oportunitate economică.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

4. CONCLUZII

Conținutul Raportului de Cercetare 1 "Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri", are drept principală țință enunțarea cadrului Programului de Cercetare aferent Tezei de doctorat care este intitulată "Mixturi asfaltice ecologice cu ados de compuși obținuți prin prelucrarea deșeurilor industriale", având ca suport dezvoltarea unei sinteze documentare extrasă din publicații existente în literatura de specialitate.

În cadrul acestuia se prezintă rezultate ale unor cercetări destinate în principal scopului de natură ecologică, subiect extrem de actual în zilele noastre, când societatea urmărește atât eficientizarea unor domenii de activitate în paralel cu ecologizarea industriilor de bază.

În condițiile în care țara noastră este într-o plină ascensiune de dezvoltare din punct de vedere al infrastructurii rutiere, se remarcă faptul că resursele de materii prime, care sunt parte constituantă în alcătuirea acestora sunt din ce în ce mai deficitare. Datorită acestui fapt își face loc tot mai mult ideea creării unor tehnici și tehnologii care să determine schimbări radicale în metodele de producție, utilizând cât mai rațional resursele secundare și crescând astfel gradul de reciclare și folosire a acestora prin așa numitele tehnologii fără deșeuri.

Problema deșeurilor industriale reprezintă o problemă de nivel global, abordată atât din punct de vedere al impactului acestora asupra mediului și sănătății populației umane, cât și al epuizării resurselor. Abordarea integrată a gestionării deșeurilor industriale presupune evaluarea impactului asupra mediului de la fabricarea produselor în vederea consumului până la eliminarea acestora sub formă de deșeuri („from cradle to grave”).

Deșeurile industriale pot conține substanțe periculoase, cu un risc ridicat asupra mediului și asupra sănătății umane, dar în același timp reprezintă și posibile resurse secundare care pot fi valorificate prin reciclare.

În cadrul Raportului de Cercetare s-au prezentat diverse soluții de ecologizare în compoziția mixturii asfaltice, în care se redau proceduri atipice de confecționare a rețetei prin utilizarea unor materiale de adaos rezultate din reziduurile industriale, prin interpretarea performanțelor fizico-mecanice obținute prin raportare la cele normate ca mixturi asfaltice bituminoase.

Din detaliile prezentate în cadrul acestui raport, se poate constata că sunt posibile variante de cercetare atât prin intervenții la nivelul scheletului mineral, dar și la modificări ale tipului de filer sau prin diverse adaosuri în liantului bituminos, reciclarea mixturilor asfaltice deja existente în teren, precum și la temperatura de confecționare a mixturii asfaltice.

De remarcat este faptul că în categoria de mixturi asfaltice ecologice intră acele amestecuri care în afară de compoziția de bază au un component catalogat ca reziduu industrial și care, prin cercetări ulterioare se stabilește că dispune de unele caracteristici fizico-chimice, posibil a fi compatibile cu unele componente ale mixturii asfaltice, fără a rezulta reduceri semnificative ale performanțelor solicitate la exploatarea unui drum.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

5. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Mixturile asfaltice ecologice, pot fi definite de acele amestecuri bituminoase, care prin constituție structurală prezintă componenți utilizați în mod tradițional la preparare, la care se adaugă produse reziduale din industrie, cu scopul ecologizării terenurilor pe care acestea sunt depozitate, sau acele mixturi în compoziția cărora se fac înlocuiri parțiale sau chiar totale a componenților folosiți în mod uzual la fabricare.

În acest sens, prin Teza de Doctorat, îmi propun fixarea unor obiective clare, legate de existența unor deșeuri industriale din țara noastră, pentru care este declarată opțiunea de ecologizare. Utilizând studii deja existente, mă voi preocupa de a stabili performanța pe rețete de mixturi asfaltice determinate prin încercări complexe de laborator, capabile de a determina caracteristicile obținute prin simulare fenomenologică din domeniul modelării experimentale.

Pentru atingerea acestui obiectiv, voi continua cercetările declarate pentru utilizarea zgurilor de furnal de la Combinatul Galați ca înlocuitor parțial sau total al agregatului din scheletul mineral, a cenușilor de termocentrală de la Govora, ca înlocuitor al filerului, precum și utilizarea reziduurilor de la Fabrica de sodă de la Bacău, ca adaos cu modificări chimice la nivelul mixturilor asfaltice.

Nu omit posibilitatea utilizării combinate a acestor reziduuri industriale într-o singură rețetă de mixtură asfaltică ecologică, precum nici varianta de studiu a unor amestecuri între aceste tipuri de reziduuri și mixtura asfaltică reciclabilă, rezultată din frezarea straturilor asfaltice uzate în perioada de exploatare a unui drum.

Toate aceste variante de studiu vor fi analizate prin încercări complexe de laborator pentru identificarea performanțelor structurale și vor fi comparate cu performanțele mixturilor asfaltice normate ca rețetă optimă.

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

6. BIBLIOGRAFIE

LUDFI DJAKFAR, H. B. Y. Z., 2013. *Evaluation of the Use of Steel Slag and Pyrophyllite Materials in the Porous Asphaltmix*. Indonesia;

Adrian Burlacu & Carmen Răcănel, 2014. *"Reducing costs of infrastructure works using new technologies"*. Split, Croatia, Tiskara Zelina;

Alexander S. Brand, J. R. R., September, 2014. *Concrete with Steel Furnace Slag and Fractionated Reclaimed Asphalt Pavement*, Illinois: CIVIL ENGINEERING STUDIES, Illinois Center for Transportation Series No. 14-015, UILU-ENG-2014-2017;

Al-Quadi I. , et al., 2014. *"Effects of various asphalt binder additives/modifiers on moisture-susceptible asphaltic mixtures"*, s.l.: Illinois CCenter for Transportation Department of Civil and Environmental Engineering;

Amit Gawande, et al., 2012. *"Utilization of waste plastic in asphaltting of roads"*, India: Scientific Reviews and Chemical Communications;

Andre A. Molennar, 2011. *"Design of recycled asphalt mixtures"*. Sydney, New South Wales, Australia, Australian Asphalt Pavement Association;

Angelo Benedetti, Todd Casey & et all, 2008. *Basic Asphalt Recycling Manual*. USA: Asphalt Recycling and Reclaming Association ARRA;

SR EN 933-1 Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale agregatelor. Partea 1: Determinarea granulozității – Analiza granulometrică prin cernere;

Antunes I., Way G., Sousa J. & Kaloush K. , 2006. The successful world wide use of asphalt rubber. 16th Convegno Nazionale SIIV, Cosenza;

Bogdan Andrei, Valentin Vasile Ungureanu, Marius Comănici & Alexandru Cîrlig, 2009. *"Posibilități de utilizare a puzzolanelor naturale în lucrări rutiere"*. București, Conspress București, pp. 3-17;

Bressi Giorgio, Volpe Gianpaolo, Pavesi Elisabetta & ANPAR - Associazione Nazionale Produttori Aggregat, 2011. *Producerea agregatelor reciclate din deșeuri inerte*. Milano: Tecnitalia Consultants;

Bressi Giorgio, Volpe Gianpaolo & Pavesi Elisabetta, 2011. *Sustainable approach to aggregates*. Italia: ANPAR - Associazione Nazionale Produttori Aggregati Riciclati;

Castelo Branco, Masad V, Bhasin E & Little D.N., 2008. *Fatigue analysis of asphalt mixtures independent of mode of loading*, Transport Research Record no. 2057, s.l.: Transport Research Board, National Research Council;

Cătălina Lixandru, 2014. *Studii de laborator privind anticiparea fenomenului de oboseală la mixturile asfaltice*. București: Universitatea Tehnică de Construcții București;

Constantin Romanescu & Carmen Răcănel, ISBN:973-685-566-X. *"Reologia lianților bituminoși și a mixturilor asfaltice"*. București: Matrix Rom;

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Delatte N.J., 2001. Lessons from Roman cement and concrete.. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, p. 127;

Dex online, 2001. [Online] Available at: <https://dexonline.ro/definitie/de%C8%99eu;>

Diaconu Elena, Dicu Mihai & Răcănel Carmen, 2014. *“Căi de comunicații rutiere - Principii de proiectare”*. București: Conspress;

Diaconu Elena & Lazăr Ștefan Marian, 2009. "Valorificarea zgurii de oțelărie în îmbrăcămințile rutiere cilindrate la cald". *Simpozion Științific Cercetare, Administrare Rutieră*, pp. 53-59;

DICU Mihai & Andrei Bogdan, 2011. *CONDITIONAREA CENUȘII ÎN VEDEREA DEPOZITĂRII CONFORME CU CERINȚELE DE MEDIU*, București;

Dimitri Deneele, F. d. L. E. R. J. R., 2005. *"Control of basic oxygen steel slag swelling by mixing with inert material"*, Nantes, France: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées;

Djakfar Ludfi, 2014. *"Evaluation of the use of steel slag and pyrophyllite materials in the porous asphalt mix"*. Kuala Lumpur, Malaysia, s.n., pp. 50-54;

DSU România, 2015. DSU România. [Online] Available at: <http://www.dsu.ro/ro/slag.php>;

Elena Veronica Ursachi, 2008. *“Îmbunătățirea adezivității biturilor rutiere”*, Iași: Revista construcțiilor;

Elvira Johana Ferreira Perlata, 2013. *"Micro-Analysis of physicochemical interaction between the components of asphalt mixture with rubber"*. Ames, Iowa: Iowa State University;

Eugen Țuca, 2011. *"Bitum modificat cu polimeri în vederea asigurării adezivității"*. București, Conspress București, pp. 179-186;

GENAN HOLDING, 2003. *World's largest tyre recycling company*. [Online] Available at: <http://www.genan.eu/products-47.aspx>;

Henning N.E., 1974. *"Evaluation of lignite fly ash as a mineral filler in asphaltic concrete"*, St. Paul, Minn: Twin City Testing and Engineering Laboratory. Report No. 2;

Hugo Silva, Joel Oliveira & Carlos Jesus, 2014. *"Are totally recycled hot mix asphalts a sustainable alternative for road paving?"*, Guimaraes Portugal: University of Minho - Department of Civil Engineering;

Imad Al-Qadi, et al., 2014. *"Effects of various asphalt binder additives/modifiers on moisture-susceptible asphaltic mixtures"*, s.l.: Illinois Center for Transportation;

Ines Antunes; Daniele Fornai; Irene Bartolozzi, 2012. *"Asphalt Rubber: how to successfully overcoming the barriers towards greater sustainability"*. *Rubberized Asphalt Foundation*;

Iriciuc Cristian, 2011. *"Utilizarea zgurii concasate de oțelărie în mixturile asfaltice folosite la drumuri"* - Teza de doctorat. Iași: Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași;

John Sullivan, 1996. *"Pavement recycling executive summary and report"*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation and Federal Highway Administration;

Raport de cercetare 1 :

"Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară"

Khan Ziauddin, Malkawi Handeel, Khalaf A Al-ofi & Khan Nasfisullan, 2003. "A review of steel slag utilization in Saudi Arabia". Dhahdran, Saudi Arabia, s.n., pp. 369, Volume 3;

Lixandru Cătălina, 2014. "Studii de laborator privind anticiparea fenomenului de oboseală la mixturile asfaltice" - *Lucrare de licență*. București: Universitatea Tehnică de Construcții București;

Lixandru Cătălina & Dicu Mihai, 2016. *Caracteristicile fizico-mecanice ale componentelor mixturilor asfaltice ecologice - Disciplina Electivă 1*, București: Universitatea Tehnică de Construcții București;

Lixandru Catalina, 2015. Proiectul Programului de Cercetare Științifică. București: Universitatea Tehnică de Construcții București;

Lucaci Gheorghe, *Îmbrăcăminți rutiere bituminoase - note de curs*. Facultatea de Construcții din Timișoara;

Marc Paul, 2011. "Conceperea și realizarea unor structuri rutiere cu performanșe ridicate" - *Teza de doctorat*. Timișoara: Universitatea Politehnica Timișoara;

Maria Gheorghe, 1999. "Valorificarea deșeurilor și subproduselor industriale în construcții". București: MATRIX ROM;

Marin Radu, Mariana Georgescu & și alții, 2005. "Bitumuri modificate cu sistemul polimeric indigen CAPS pentru realizarea de îmbrăcăminți rutiere performante", București: Programul CEEX, Contribuții Științifice în Transporturi;

Martin ZAUMANIS, R. B. M. R. F., 2014. 100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, pp. 92 (2014) 230-245;

Mehmet Saltan, Betul Oksuz & Volkan Emere Uz, 2013. "Use of glass waste as mineral filler in hot mix asphalt. Isparta, Turkey, pp. 271-277;

Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor, 2015. *Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor. Agenția Națională pentru Protecția Mediului*. [Online] Available at: <http://www.anpm.ro/indicatori-statistici-de-dezvoltare-durabila>;

Mohd Rosli Hainin, 2012. "Steel slag as an aggregate replacement in Malaesyan hot mix asphalt". *International Scholarly Research Network*;

Nechita Ruxandra Nicoleta, 2011. "Mixturi asfaltice realizate cu bitum modificat cu polimeri sau cu bitum și polimeri echivalenți". București, Conspress București, pp. 148-153;

PIARC, 2002. *Word Road Association Mondiale de la Route*. [Online] Available at: <http://www.piar.org/en/publications/technical-reports/?catalog-topic=general&catalog-size=general&catalog-sort=date&catalog-offset=0>;

Praveen Mathew, 2013. "Steel slag ingredient for concrete pavement". *International Journal of Innovative Research and Science, Engineering and Techology*, pp. Volume 2, Issue 3;

Prof. Dr. Enric Vazquez, 2012. Progress in recycling in the built environment. *RILEM TC 217 - PRE*, Issue Use of recycled materials;

Raport de cercetare 1 :

“Posibilități de utilizare a deșeurilor industriale în lucrări de drumuri – sinteză documentară”

Rahman M.M., 2004. "Characterisation of dry process crumb rubber modified asphalt mixtures" - Thesis. Nottingham: University of Nottingham, School of Civil Engineering;

Rajib Mallick, Julie Bradley & Richard Bradbury, 2007. "An evaluation of heated reclaimed asphalt pavement material and wax-modified asphalt for use in recycled hot-mix asphalt". *Journal of the Transportation Research Board*, No. 1998, *Transportation Research Board of the National Academies*, Washington, D.C., pp. 112-122;

Rajib Mallick, Prithvi Kandhal & Richard Bradbury, 2014. Using Warm-Mix Asphalt Technology to Incorporate High Percentage of Reclaimed Asphalt Pavement Material in Asphalt Mixtures. *Journal of the Transportation Research Board*;

Rosner John, Chehovits James & Morris Gene, 1982. "Fly ash as a mineral filler and anti-strip agent for asphalt concrete". *Proceedings of the Sixth International Ash Utilization Symposium, Department of Energy, Volume 1, Washington D.C.*;

Sankaran K & Rao D, 1973. *The influence of the quality of filler in asphaltic paving mixtures*, India: Indian Roads Congress 35:141-151;

Shingo Kamiya, et al., 2001. "Compatibilizer role of Strien-butadiene-stryene Triblock copolymer in asphalt". *Polymer Journal*, Volume 33, No. 3, pp. 209-213;

SR EN 933-1, 2013. *Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale agregatelor. Partea 1: Determinarea granulozității - Analiza geometrică prin cernere*, București: Asociația de Standardizare din România;

Stelea Laurențiu & Grîsîc Georgeta, 2012. "Cercetări asupra utilizării zgurilor în construcția de drumuri". BUCUREȘTI, Editura Conspress, pp. 82-92;

Vandecasteelee C. & van der Sloot H. , 2011. Sustainable management of waste in construction. *Waste management*, p. 31;

Vasilica Beica, Georgeta Grisc & Elisabeta Selagea, 2010. "Aditivi pentru îmbunătățirea lucrabilității mixturilor asfaltice". București, Conspress, pp. 24-32;

Wang H., You Z., Mills-Beale J. & Hao P., 2012. "Laboratory evaluation on high temperature viscosity and low temperature stiffness of asphalt binder with high percent scrap tire rubber". *Construction and Building Materials*, pp. 583-590;

Warden WB, Hudson SB & Howell HC, 1952. *Evaluation of mineral filler in terms of practical pavement performance*, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists ;

Williams R., et al., 2009. "Utilization of fractionated bio oil in asphalt". *Journal of the Transportation Research Boars, TRB Annual Meeting*;

ZIAUDDIN A. KHAN, R. H. M. K. A. A.-O. A. N. K., December 2002. *A Review of steel slag utilization in Saudi Arabia*. KFUPM, Dhahran, Vol. 3.