



Universitatea Tehnică a Moldovei

**Studiu privind introducerea materialelor inovative derivate din
deșeuri, în lucrările de drumuri**

Student: Sacuțanu Victor

**Conducător: Lepădatu Daniel,
Conf. univ, Dr. inginer**

Chișinău, 2025

REZUMAT

Teza de master intitulată „Studiu privind introducerea materialelor inovative derivate din deșeuri, în lucrările de drumuri” abordează o temă de actualitate, deosebit de importantă în contextul provocărilor legate de gestionarea deșeurilor și dezvoltarea unor soluții sustenabile în domeniul construcțiilor de infrastructură. Tema propusă necesită analize detaliate și încercări experimentale pentru a identifica modalități eficiente de valorificare a deșeurilor, atât din perspectiva impactului economic, cât și a calității lucrărilor de drumuri.

Lucrarea urmărește să exploreze posibilitățile de utilizare a diverselor materiale derivate din deșeuri în prepararea mixturilor asfaltice, cu scopul de a determina atât tipurile de materiale adecvate, cât și proporțiile optime pentru integrarea acestora. Acest demers implică o serie de încercări experimentale efectuate în laborator, menite să evalueze performanțele mecanice, stabilitatea și durabilitatea mixturilor obținute, conform standardelor și cerințelor impuse de normativele în vigoare.

Pe baza cercetării realizate, au fost formulate concluzii generale privind complexitatea procesului de utilizare a materialelor derivate din deșeuri în compoziția mixturilor asfaltice. Această complexitate derivă, în principal, din neomogenitatea caracteristică a materialelor reciclate, precum și din necesitatea respectării stricte a parametrilor tehnici și de performanță stabiliți prin reglementările din domeniu. De asemenea, au fost identificate principalele provocări legate de integrarea acestor materiale în structurile rutiere, punându-se accent pe măsurile necesare pentru asigurarea unei calități corespunzătoare.

Lucrarea demonstrează faptul că materialele inovative derivate din deșeuri pot reprezenta o alternativă viabilă în realizarea lucrărilor de drumuri, contribuind atât la reducerea impactului asupra mediului, cât și la utilizarea eficientă a resurselor disponibile. Această concluzie este susținută de analizele și rezultatele experimentale incluse în lucrare, care oferă o bază argumentativă solidă pentru utilizarea acestor materiale, cu condiția respectării stricte a cerințelor normative și a standardelor de calitate.

Lucrarea constituie un studiu valoros, realizat cu resurse modeste, dar care reușește să evidențieze oportunitățile și limitările utilizării materialelor derivate din deșeuri în sectorul construcțiilor de drumuri. Studiul îndeplinește cerințele programului de master în domeniul construcțiilor, reflectând un nivel adecvat de cercetare și analiză teoretică. Totodată, lucrarea respectă standardele academice impuse, iar concluziile formulate sunt relevante, bine fundamentate și susținute prin date experimentale.

Astfel, teza reprezintă o contribuție valoroasă la dezvoltarea cunoștințelor în domeniul utilizării materialelor reciclate în construcții, oferind perspective noi și soluții practice pentru promovarea sustenabilității în industria rutieră.

CUPRINS

INTRODUCERE	8
1. Prezentarea generală a polimerului PB 25 și modificarea bitumului cu acest polimer.....	13
1.1 Obiectivul studiului	13
1.2 Date tehnice despre efectul PB 25 la rezistența betonului asfaltic.....	18
1.3 Proprietățile fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice stabilizate.....	20
1.4 Prezentarea generală a bitumului și a bitumului modificat cu Polimer Bitum.....	22
1.5 Aspecte privind sănătatea și siguranța.....	28
2. METODE ȘI PROCEDURI EXPERIMENTALE	30
2.1 Determinarea conținutului de liant solubil prin calcinare.....	30
2.2 Determinarea compoziției granulometrice.....	31
2.3 Determinarea încercărilor MARSHALL	34
2.4 Sensibilitatea la apă	38
2.4.1 Calcularea și formularea rezultatelor:.....	38
2.5 Prepararea mostrelor folosind 15% RAP și 85% BA16 folosind bitum 70/100 și bitum modificat cu PB 25.....	40
3. REZULTATE EXPERIMENTALE ȘI DISCUȚIE	48
3.1 Determinarea indicilor fizico-mecanici.....	48
3.2 Determinarea comportării fizico-mecanice cu adaos de 2% de polimer PB 25.....	49
3.3 Determinarea comportării fizico-mecanice cu adaos de 20-35% de polimer PB 25.....	53
3.4 Determinarea densității aparente.....	53
3.5 Aspectul mixturii asfaltice BA-16 cu adaos de polimer PB 25.....	54
Concluzii.....	56
Bibliografia.....	60
Anexa 1	62

INTRODUCERE

Construcția și întreținerea drumurilor consumă cantități mari de agregate extrase din cariere. Utilizarea materialelor secundare (reciclate), în loc de materiale primare (virgine), ajută la reducerea presiunii asupra gropilor de gunoi și la diminuarea cerințelor de extracție. Cu toate acestea, îngrijorările legate de performanța inferioară a drumurilor și costurile suplimentare au împiedicat utilizarea pe scară largă a agregatelor secundare în astfel de aplicații. Aceste îngrijorări sunt deosebit de valabile în cazul straturilor de suprafață ale pavajelor asfaltice, care ar putea reprezenta o aplicație valoroasă pentru materialele reciclate din deșeurile solide. Sticla deșeurilor, zgura de oțel, anvelopele și masele plastice sunt selectate pentru acest studiu, care examinează standardele și literatura de specialitate privind cerințele tehnice, precum și performanța pavajelor asfaltice realizate cu aceste materiale reciclate. Gestionarea și cantitățile de deșeurii arată că, deși există un mare potențial pentru furnizarea de materiale secundare, câțiva factori au împiedicat eficient activitățile de reciclare.

Având ca suport, studii efectuate în Regatul Unit al Marii Britanii, presupunem că tendința acumulării deșeurilor se va menține iar deficiența gestionării acestora mai devreme sau mai târziu va afecta și țara noastră. În continuare vom face referință la câteva materiale care sfârșesc ca deșeurii și câteva cantități care pot fi părea alarmante dar în cadrul studiului le vom prezenta ca eventuale oportunități.

Deșeurile de sticlă

Se estimează că, conform Waste Resources Action Program (WRAP, 2004), în 2003, aproximativ 3,4 milioane de tone (Mt) de sticlă au intrat în fluxul de deșeurii din Regatul Unit, dintre care aproximativ 2,4 Mt (71%) a fost sticlă de container, 0,76 Mt (23%) a fost sticlă plată (sau de fereastră), iar restul de 0,24 Mt a fost alt tip de sticlă. Rata de reciclare pentru sticla de container și sticla plată a fost de 36%, respectiv 30%. În total, aproximativ 1,1 Mt (33%) din sticla deșeurilor a fost reciclată, dintre care 0,73 Mt (66%) au fost utilizate de către producătorii de sticlă pentru containere și 0,14 Mt (13%) au fost utilizate ca agregate secundare. Majoritatea de 2,3 Mt (67%) din sticla deșeurilor a fost trimisă la gropile de gunoi. Directiva UE privind deșeurile de ambalaje (UE, 1994) a stabilit totuși o țintă de reciclare de 60% pentru sticla deșeurilor până în 2008 (British Glass, 2004).

Lipsa unei infrastructuri suficiente pentru colectarea sticlei deșeurilor este considerată principala cauză pentru trimiterea majorității acesteia la gropile de gunoi și reciclarea doar a unei treimi din aceasta în Regatul Unit (British Glass, 2005). Infrastructura de reciclare nu servește doar ca un recipient pasiv pentru deșeurile reciclabile, ci și ca o motivație vizuală care influențează obiceiurile de reciclare ale oamenilor (Gonzalez-Torre et al., 2003). În prezent, în Regatul Unit, se emit note de recuperare a ambalajelor (PRN) ca stimulent pentru reciclarea sticlei, iar valoarea PRN-urilor este sugerată să fie mărită pentru a acoperi costurile de reciclare (WRAP, 2004). Sticla poate fi reciclată la nesfârșit fără pierderi de calitate ale produsului (British Glass, 2004). Reciclarea cullet-ului (sticlă spartă) și returnarea acestuia la o fabrică de sticlă economisește o cantitate mare de energie și resurse minerale (Edwards și Schelling, 1999; Krivtsov et al., 2004). Utilizarea sticlei de deșeurii ca agregat nu poate economisi la fel de multă energie sau resurse minerale ca în producția de sticlă (Grantthornton

și Oakdenehollins, 2006), dar dezechilibrul de culoare între producția de sticlă și deșeurile rezultate poate încuraja căutarea unor piețe alternative pentru sticla de deșuri în aplicațiile de agregate (WRAP, 2004). Încercările de a utiliza sticla reciclată în beton, o altă aplicație valoroasă, trebuie să facă față reacției alcalii-silica (ASR) din cauza conținutului anormal de mare ($\geq 70\%$) de silice reactivă din sticlă (FHWA, 1997). În plus față de procesele de reciclare descrise, sticla de deșuri poate fi utilizată ca agregat în construcția de drumuri asfaltate, cu condiția să îndeplinească specificațiile tehnice menționate mai târziu.

Zgura de oțel

Cantitatea de zgură de oțel poate fi estimată pe baza producției de oțel, presupunând că procesul este stabil și rata de generare a zgurii este constantă. Conform NSA (National Slag Association) din SUA, zgura de oțel reprezintă 7,5-15% din oțelul produs (NSA, 2001). Zgura comercializabilă este estimată de USGS (US Geological Survey) la o rată de 10-15% din producția de oțel (USGS, 2001). Un avantaj al reciclării zgurii de oțel este că aceasta poate fi colectată de la un număr mic de uzine de oțel, ceea ce face colectarea mai eficientă decât în cazul majorității altor materiale de deșeu solid. În plus, este relativ ușor de controlat și de obținut o calitate constantă a acestui material de deșeu. Laboratorul de cercetări pentru transport din Regatul Unit a raportat că anual se produce aproximativ 1 Mt de zgură de oțel BOS (basic oxygen steel) în Regatul Unit, cu aproximativ 4 Mt în depozite (TRL, 2003). Datorită decadelor de cercetări și practică, Regatul Unit a atins acum o rată de reciclare de 100% pentru zgura de oțel, 98% din aceasta fiind utilizată ca agregate, în principal în beton și asfalt (ODPM, 2002). Producția de oțel din Regatul Unit a scăzut de la aproximativ 18 Mt în 1997 la sub 12 Mt în 2002, pentru ca în 2003 să ajungă la 13,3 Mt, iar în viitor se preconizează o creștere (UK Steel, 2005). Deși 100% din zgura de oțel este reciclată, aplicarea sa în pavajele asfaltice este apreciată datorită proprietăților sale, așa cum se va detalia mai târziu.

Anvelope

Se estimează că, conform TRL, Regatul Unit generează anual peste 0,44 Mt de anvelope uzate. Aproximativ 21% sunt tăiate și utilizate ca materii prime pentru alte procese, 22% sunt trimise pentru recuperare energetică, iar aproximativ 34% sunt trimise la gropile de gunoi, depozite sau gropi ilegale, unde sunt amestecate cu alte deșuri, ceea ce face recuperarea dificilă (Viridis și TRL, 2002; Viridis și TRL, 2003). Aproximativ 40.000 t (sau 9%) sunt arse în cuptoare de ciment, deoarece anvelopele uzate au o valoare energetică similară cu cea a cărbunelui și au fost utilizate ca combustibil pentru fabricarea cimentului în ultimul deceniu (Bluecircle, 2003; UTWG, 2002). Conform TRL, costul ridicat de procesare este responsabil pentru creșterea eliminării necontrolate a anvelopelor (Viridis și TRL, 2003). Asociația Europeană de Reciclare a Anvelopelor (ETRA) a estimat costul de transport al anvelopelor uzate la aproximativ £1/tonă/km în medie (Shulman, 2000). Utilizarea anvelopelor uzate în asfalt sau în alte aplicații pentru pavaje, deși tehnic viabilă (vezi secțiunea 4.3), necesită subvenționare pentru a putea concura cu agregatele convenționale (Washington DOT, 2003) în îndeplinirea cerințelor tehnice pentru pavajele asfaltice.

Mase plastice

În Regatul Unit se generează anual aproximativ 2,8 Mt de deșeuri de plastic. Majoritatea celor reciclate provin din surse industriale și comerciale; reciclarea celor din surse domestice (de exemplu, sticle) este mai dificilă din motive economice (TRL, 2004). O creștere viitoare a reciclării depinde de succesul reciclării plăsticelor amestecate cu alte deșeuri și de sprijinul unui metodologie robustă de evaluare a impactului asupra mediului (British Plastics Federation, 2005, Patel et al., 2000). Similar cu cauciucul din anvelope, un mod semnificativ de recuperare al deșeurilor de plastic este valorificarea conținutului termic (38 MJ/kg), comparabil cu cel al cărbunelui (31 MJ/kg) și reducerea consumului de energie și a emisiilor de CO₂ (British Plastics Federation, 2005, Patel et al., 2000). Datele WRAP din Regatul Unit indică faptul că aproximativ 0,4 Mt de deșeuri de plastic generate anual sunt adecvate pentru utilizare ca agregate. În prezent, doar 0,008 Mt sunt reciclate în acest scop. Plăsticile reciclate sunt utilizate în principal sub formă de mobilier stradal, izolație, conducte etc. Foarte puțin sunt folosite până acum în construcția pavajelor (WRAP, 2003a). Similar cu sticla, rata scăzută de PRN este responsabilă pentru nivelurile scăzute de reciclare (DTI, 2004). Deși ambalajele din plastic reprezintă majoritatea plăsticelor reciclate în Regatul Unit, PVC (clorura de polivinil) este printre tipurile care au cea mai mică rată de reciclare (WRAP, 2003c). Se crede că stimulentele financiare sunt mai eficiente decât specificațiile tehnice în influențarea activității de reciclare (WRAP, 2003b). Astfel, utilizarea plăsticilor în pavajele asfaltice ar putea reprezenta o piață importantă pentru aceste materiale.

Obiectivul principal al prezentului studiu este de a propune o procedură practică și consistent de proiectare a mixturii asfaltice și pentru a studia caracteristicile de performanță ale bitumului. Prin realizarea acestor obiective este de așteptat ca comportamentul bitumului cu și fără polimeri va deveni bine înțeles astfel încât așternerea straturilor rutiere cu/pot fi concepute cu o oarecare încredere. Pentru atingerea scopului au fost avute în vedere următoarele obiective:

1. Revizuirea detaliată a literaturii de specialitate a procedurilor de proiectare a amestecului
2. Identificarea parametrilor critici de proiectare a mixului și studierea influenței acestora asupra proprietăților mecanice.
3. Înțelegerea mecanismelor de întărire (pierderea apei și creșterea rezistenței) în PB25.
4. Dezvoltarea relațiilor de rigiditate pentru PB25.
5. Studierea comportamentului la oboseală și a durabilității a PB25.

Densitatea rețelei de drumuri actualmente este la nivelul standardelor regionale, situația precară a drumurilor reduce capacitatea de utilizabilitate a funcției lor economice și sociale. În perioada de mai mult de două decenii, au fost realizate puține investiții în drumuri, din acest motiv vulnerabilitatea lor este evidentă, direct.

Lianții organici bituminoși sunt utilizați pe larg în construcția drumului. Cel mai utilizabil liant în construcția drumurilor este bitumul.

Standardele europene de produs acoperă o gamă largă de materiale pentru drumuri, pentru diferite aplicații, care să corespundă solicitărilor rezultate din traficul rutier local și **condițiilor climatice**. De asemenea standardele europene acoperă o gamă largă de polimeri pentru a facilita producția și utilizarea îmbrăcăminților bituminoase proiectate. Varietatea tehnologiilor de fabricație și a aplicațiilor, face posibilă clasificarea polimerilor.

DESCRIERE SI COMPOZITIE POLYCYKLE PB25 este un polimer, bază de nano plastice si poliolefine plastomerice, produsă cu un amestec selectat compus în principal din PELD si PP capabil să modifice caracteristicile amestecului bituminos direct în timpul fazei de producție. Permite obținerea unor creșteri mari ale caracteristicilor fizice si mecanice ale amestecului fără a modifica parametrii de producție. Polimerii utilizați în formatul PB25 si granulele sunt structurați în mod specific pentru a permite dispersarea si amestecarea ușoară deja la temperaturile normale de producție ale conglomeratului bituminos.

APLICARE POLYCYKLE PB25 poate fi utilizat pe orice conglomerat bituminos (bază, liant, strat de uzură).

MOD DE UTILIZARE POLYCYKLE PB25 este adăugat direct în mixerul instalației de producție în timpul fazei de producție a conglomeratului, utilizând un dozator automat sau dozându-l manual.

DOZARE Procentele de dozare depind de natura agregatelor și de tipul de bitum, în mod normal, POLYCYKLE PB25 este utilizat la 0,25-0.3 % pe masa totală a conglomeratului, 2,5 kg pe tonă de conglomerat bituminos binder si 3.0 kg. la stratul de uzura.

DEPOZITARE POLYCYKLE PB25 poate fi depozitat timp de 24 de luni în ambalajul original închis, la o temperatură cuprinsă între 5 ° C și 30 ° C.

SIGURANTA Pentru mai multe informații despre clasificare, măsuri de protecție și măsuri în caz de incendiu, vă rugăm să consultați fișa cu date de securitate a produsului, disponibilă la cerere. Lianții organici bituminoși sunt utilizați pe larg în construcția drumului. Cel mai utilizabil liant în construcția drumurilor este bitumul. Bitumurile ce se utilizează în diverse domenii se dobândesc din rafinările de petrol din reziduurile grele ce rezultă în urma distilării în vid. Bitumul are un caracter vâscos sau vâscoelastic în funcție de temperatura de încercare. La încălzire se înmoaie treptat până devine fluid. În termeni simpli, asfaltul este făcut din bitum și piatră. Dar cu tehnologia aceasta, o parte din bitum poate fi extins cu amestecul PB 25 reducând cantitatea a combustibilului fosil folosiți. Putem face asta pentru a întoarce plasticul în starea sa originală pe bază de ulei și legarea acestuia de piatra cu ajutorul activatorului. Nu este un caz de îngropare a gunoiului pe drumurile noastre de fapt. PB 25 este un amestec de polimeri conceput pentru extinderea liantului bituminos pentru asfalt utilizat pe suprafețele drumurilor.

Nu există microplastice prezente în PB 25 pentru asta am efectuat teste independente de laborator pentru asigurarea calității. Asta pentru că folosim plasticul ca liant, așa că se topește pentru a crea o substanță lipicioasă fără a lăsa în urmă orice particule supărătoare. Luăm deșeurile de plastic colectate din uz comercial și casnic diviziunea este de aproximativ 60% comercial și 40% la sută gospodărie. Putem folosi majoritatea tipurilor de plastic, noi nu folosim plastic reciclat sau nou. Apoi folosim un granulator pentru a transforma asta în bucăți mici de cel mult 5-10 mm. Apoi, granulele de plastic sunt amestecate cu activatorul nostru acesta este cel care face ca plasticul să se lege corect de drumurile noastre. Acest amestec de granule de plastic să-i spunem mixul PB 25 merge la un producător de asfalt. POLYCYKLE cu țara de origine Italia, urmărește dorința de a micșora procentul de bitum utilizat în mixturile asfaltice prin adaugarea polimerului PB25 și astfel păstrând aceleași proprietăți fizico-mecanice/dinamice.

PB 25 demonstrează o economie de 1,55 kg de CO₂ per 1 kg de produs utilizat. Când se utilizează în asfalt la doza medie recomandată de 3 kg pe tonă de asfalt oferă o economie de 4,65 kg de CO₂ e pe tona de asfalt produs. Astfel încă odată prin polimerul PB 25 demonstrăm o eficiență majoră în producerea asfaltului și reducerea emisiilor de CO₂. În ceea ce privește modulul de rigiditate, au fost obținute valori mai ridicate în cazul mixturilor asfaltice cu aditivi față de valoarea înregistrată pentru mixturile asfaltice la cald, în special dacă au fost folosiți aditivi de tipul polimeri PB 25. S-a constatat că, în special pentru mixturile asfaltice cu aditivi, creșterea energiei de compactare de peste 80 rotații conduce la o îmbunătățire evidentă a caracteristicilor fizice și a celor dinamice.

Bibliografia

1. CHIRĂ, Carmen. *Întreținerea drumurilor*. Cluj-Napoca, Editura Media Mira, 2005.
2. LUCACI, Gheorghe, COSTESCU, Ion, BELC, Florian. *Construcția drumurilor*. București, Editura Tehnică, 2000.
3. LUCACI, Gheorghe. *Defecțiunile îmbrăcăminților rutiere moderne*. Timișoara, Editura Solness, 2001.
4. SR 599:2004 Lucrări de drumuri. Tratamente bituminoase. Condiții de calitate.
5. RĂCĂNEL, Carmen. *Proiectarea modernă a rețetei mixturi asfaltice*. Conspress, București, 2014.
6. HUSSAIN, Abdul Khalid, ORMSBY, Kenneth. *Moisture Damage Potential of Cold Asphalt*. 2008.
7. MULTEN, Klaas. *Foamed Asphalt Mixes Mix Design Procedure*. Contract Report CR-98/077. CSIR TRANSPORTTEK, 1999.
8. LESUEUR, Dominique, CLECH, Hervé, BROSSEAUD, Alain, SUCH, Christian, CAZACLIU, Bogdan, KOENDERS, Bart, CÉRINO, Pierre-Jacques, BONVALLET, Jean. *Foamed Bitumens: Foamability and Foam Stability. International Journal of Road Materials and Pavement Design*, 2004.
9. MOEN, Ove. *Asphalt Production at Lower Operating Temperatures as an Environmental Friendly Alternative to HMA*. APC - Environmental Innovation in Asphalt - Kolo Veidekke.
10. SM EN 12597:2016. Bitum și lianți bituminoși. Terminologie.
11. SM SR EN 12591:2009. Bitum și lianți bituminoși. Specificații pentru drumuri rutiere
12. M SR EN 14023:2014. Bitum și lianți bituminoși. Cadrul pentru specificațiile biturilor modificate cu polimeri.
13. SM SR EN 933-1:2016 Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale agregatelor. Partea 1: Determinarea granulozității. Analiza granulometrică prin cernere.
14. RĂCĂNEL, Carmen. *Proiectarea modernă a rețetei mixturi asfaltice*. Conspress, București, 2014.
15. GĂMAN, Dumitru Vasile, BULĂU, Constantin Emil. *Îndrumător pentru laboratoarele de încercări în construcții*. Iași: Editura Printis, 2018.
16. SM SR EN 14023:2014. Bitum și lianți bituminoși. Cadrul pentru specificațiile biturilor modificate cu polimeri.
17. SM EN 15322: 2014 Bitum și lianți bituminoși. Specificații cadru pentru lianți bituminoși fluidificați și fluxați.

18. HUSSAIN, Abdul Khalid, ORMSBY, Kenneth. *Moisture Damage Potential of Cold Asphalt*. 2008.
29. BOWERING, Robert H., MARTIN, Charles L. *Performance of Newly Constructed Full Depth Foamed Bitumen Pavements*. Proceedings of the 8th Australian Road Research Board Conference, held in Perth, Australia, 1976.
20. School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, UK
Cassie Building, Claremont Road, Newcastle upon Tyne NE1 7RU, UK (Science Direct)
21. Application of Recycled Waste Materials for Highway Construction: Prospect and Challenges.
Conference Series.
22. The Use of Waste-derived Materials in Road Construction. Coplant Consultancy Limited, November 2021.