

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**

Cu titlu de manuscris

C.Z.U.: [662.613:621.311.22 +

621.745.58] : 625.7/.8(043)

**CHIRICUȚĂ ION**

**UTILIZAREA CENUȘILOR DE TERMOCENTRALĂ ȘI A  
ZGURILOR DE OȚELĂRIE ÎN STRUCTURILE RUTIERE**

**211.02 MATERIALE DE CONSTRUCȚII, ELEMENTE ȘI EDIFICII**

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

**CHIȘINĂU, 2025**

Teza a fost elaborată în cadrul Departamentului "Ingineria Infrastructurii Transporturilor" al Universității Tehnice a Moldovei

**Conducător științific:**

**RUSU Ion**, doctor habilitat în tehnică, profesor universitar

**Referenți oficiali:**

**GUGHIUMAN Gheorghe**

doctor inginer, profesor universitar Universitatea Tehnică "GHEORGHE ASACHI", Iași, România

**TARANENCO Anatolie**

doctor în științe tehnice, conferențiar universitar Universitatea Tehnică a Moldovei

**Componenta nominală a Consiliului Științific Specializat:**

**ȘERBANOIU Adrian**

**președinte**, doctor inginer, profesor universitar Universitatea Tehnică "GHEORGHE ASACHI", Iași, România

**CROITORU Gheorghe**

**secretar științific**, doctor în științe tehnice, conferențiar universitar Universitatea Tehnică a Moldovei

**VOINIȚCHI Constantin Doru**

**membru**, doctor inginer, profesor universitar Universitatea Tehnică și de Construcții, București, România

**LEPĂDATU Daniel**

**membru**, doctor inginer, conferențiar universitar Universitatea Tehnică "GHEORGHE ASACHI", Iași, România

**CADOCINICOV Anatolie**

**membru**, doctor în științe tehnice, conferențiar universitar Universitatea Tehnică a Moldovei

Susținerea va avea loc la 16 mai 2025, ora 14-00 în ședința Consiliului Științific Specializat D 211.02-24-117 din cadrul Universității Tehnice a Moldovei, FUA, bd. Dacia 39, blocul de studii nr. 9, aula p. 20, Chișinău, Republica Moldova.

Teza de doctor și rezumatul pot fi consultate la biblioteca tehnico-științifică a Universității Tehnice a Moldovei și pe pagina web a ANACEC ([www.cnaa.md](http://www.cnaa.md)/[www.anacec.md](http://www.anacec.md)).

Rezumatul a fost expediat la

Secretar științific al Consiliului Științific Specializat  
dr. în științe tehnice



CROITORU Gheorghe

Conducător științific  
dr. hab. în tehn., prof. univ.



RUSU Ion

Autor



CHIRICUȚĂ Ion

## CUPRINS

|                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII                                                                                                                                                                       | 4  |
| Actualitatea și importanța temei abordate                                                                                                                                                                 | 4  |
| Scopul lucrării                                                                                                                                                                                           | 4  |
| Obiectivele cercetării                                                                                                                                                                                    | 4  |
| Ipoteza de cercetare                                                                                                                                                                                      | 4  |
| Sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese                                                                                                                            | 5  |
| Aprobarea rezultatelor cercetărilor                                                                                                                                                                       | 5  |
| Sumarul capitolelor tezei                                                                                                                                                                                 | 5  |
| CONȚINUTUL TEZEI                                                                                                                                                                                          | 6  |
| INTRODUCERE                                                                                                                                                                                               | 6  |
| Capitolul 1 - STADIUL ACTUAL PRIVIND UTILIZAREA CENUȘILOR DE TERMOCENTRALĂ ȘI A ZGURILOR DE OȚELĂRIE ÎN STRUCTURILE RUTIERE                                                                               | 7  |
| Capitolul 2 - CARACTERISTICILE MATERIILOR PRIME ȘI METODELE DE CERCETARE PRIVIND ELABORAREA ȘI OPTIMIZAREA COMPOZIȚIILOR MIXTURILOR ASFALTICE CU CONȚINUT DE CENUȘĂ DE TERMOCENTRALĂ ȘI ZGURĂ DE OȚELĂRIE | 9  |
| Capitolul 3 - ÎNCERCĂRI DE LABORATOR ȘI TEREN ȘI PROCESAREA CENUȘILOR DE TERMOCENTRALĂ PENTRU UTILIZAREA LOR ÎN STRUCTURI RUTIERE                                                                         | 14 |
| Capitolul 4 - ÎNCERCĂRI DE LABORATOR ȘI TEREN ȘI PROCESAREA ZGURILOR DE OȚELĂRIE PENTRU UTILIZAREA ACESTORA ÎN STRUCTURI RUTIERE                                                                          | 17 |
| CONCLUZII GENERALE                                                                                                                                                                                        | 23 |
| RECOMANDĂRI                                                                                                                                                                                               | 26 |
| BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ                                                                                                                                                                                    | 27 |
| LISTA PUBLICAȚIILOR LA TEMA TEZEI ALE AUTORULUI                                                                                                                                                           | 29 |
| ADNOTARE                                                                                                                                                                                                  | 30 |
| АННОТАЦИЯ                                                                                                                                                                                                 | 31 |
| ANNOTATION                                                                                                                                                                                                | 32 |

## REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

### **Actualitatea și importanța temei abordate**

Pe măsura creșterii volumului mărfurilor transportate și a vitezei autovehiculelor, rețelele de drumuri s-au dezvoltat exponențial, iar realizarea acestora a devenit tot mai costisitoare. În prezent, datorită volumului extrem de mare de materiale naturale utilizate la realizarea structurilor rutiere, se impune tot mai acut necesitatea găsirii unor soluții de înlocuire a acestora cu materiale reziduale provenite din diferite ramuri ale industriei (construcții, metalurgie, producerea maselor plastice etc.), care se acumulează în cantități mari, poluând mediul ambiant.

În statele dezvoltate industrial, cenușile fine de termocentrală (numite în cuprinsul tezei cenuși de termocentrală sau cenuși fine - CF) și zgurile de oțelărie prezintă un volum considerabil. În 1999, în România, acesta a fost de 3,6 milioane tone [1]. Aceste reziduuri, în marea lor majoritate, sunt substanțe care au o influență negativă asupra ecologiei. Fiind răspândite în mediul înconjurător de către apele pluviale și de cele provenite din topirea zăpezii, de către vânt etc., ele influențează negativ solul, pădurile, plantele și apele.

În teză sunt prezentate beneficiile utilizării cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în structurile rutiere, prin prisma caracteristicilor lor fizico-mecanice determinate prin încercări specifice realizate atât în laborator cât și pe teren, pe anumite tronsoane experimentale, în vederea elaborării unor rețete eficiente ce conțin aceste reziduuri și având ca scop final implementarea acestor tehnologii în practica uzuală.

**Scopul lucrării:** argumentarea teoretică și confirmarea experimentală a posibilităților utilizării în calitate de agregate a cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie la producerea mixturilor asfaltice pentru structurile rutiere.

### **Obiectivele cercetării:**

- studiul patento-bibliografic al proprietăților și posibilităților tehnico-economice de utilizare a cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în calitate de agregate la realizarea structurilor rutiere;
- optimizarea componenței și a proprietăților mixturilor asfaltice cu conținut de cenuși de termocentrală și zgură de oțelărie pentru a fi utilizate în structurile rutiere;
- aprobarea rezultatelor studiilor și cercetărilor științifice în condiții de teren privind oportunitatea utilizarea cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în calitate de agregate la realizarea structurilor rutiere.

**Ipoteza de cercetare:** studiul proprietăților cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie, pentru a identifica prin testări experimentale și aplicații practice posibilitatea și eficiența utilizării lor în calitate de agregate ale mixturilor asfaltice pentru structurile rutiere.

## **Sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese**

Caracteristicile materiilor prime pentru elaborarea și optimizarea proprietăților mixturilor asfaltice (gradul de compactare, rezistența la compresiune, capacitatea de retenție a apei, rezistența la îngheț-dezghet, permeabilitatea la apă și lichide) au fost determinate conform prevederilor standardelor și normativelor în vigoare.

Încercările de laborator și cele realizate pe teren pe rețete de mixturi asfaltice, în care s-au înlocuit în diferite proporții agregatele naturale cu cenuși de termocentrală și zguri de oțelărie pentru a compara rezultatele obținute cu cele din normative au fost îndeplinite conform prevederilor standardelor actuale: stabilitatea Marshall (conform SR EN 12697-34/2020), deflexiunea caracteristică (cu pârghia Benkelman, conform normativului CD 31/2002), modulul de deformare (cu placa Lucas, conform STAS 8942/3 - 90) și modulul de elasticitate (conform normativului AND 607/2014).

Încercările pe teren au fost realizate de autor cu susținerea laboratoarelor de încercări acreditate cu echipamente verificate metrologic ce a permis obținerea unor rezultate veridice.

Studiul capacității portante a structurilor rutiere este motivat prin faptul că de la execuția acestora a trecut o perioadă lungă de timp, iar situația suprafeței de rulare a suferit schimbări atât din punctul de vedere al stării de degradare cât și în ceea ce privește grosimile straturilor rutiere. Și în aceste cazuri s-a constatat că valorile obținute sunt superioare celor din normative, acest lucru confirmând, într-un alt mod, posibilitatea și eficiența utilizării cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în straturile care alcătuiesc structurile rutiere.

## **Aprobarea rezultatelor cercetărilor**

Rezultatele cercetărilor prezentate în lucrarea de față constituie un demers util pentru elaborarea și optimizarea rețetelor de mixturi asfaltice cu conținut de cenușă de termocentrală și zgură de oțelărie și a stabilirii condițiilor în care aceste reziduuri (materiale sintetice) pot înlocui cu succes agregatele naturale, cu posibilitatea aplicării acestora în practică, la tronsoane de drumuri realizate parțial sau integral din cenuși de termocentrală și zguri de oțelărie.

## **Sumarul capitolelor tezei**

Capitolul 1 - **Stadiul actual privind utilizarea a cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în structurile rutiere** prezintă tendința actuală privind valorificarea reziduurilor industriale și a deșeurilor menajere, cât și stadiul actual privind utilizarea cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie la realizarea structurilor rutiere. Conține, de asemenea, un scurt istoric privind utilizarea zgurilor de oțelărie la realizarea structurilor rutiere, situația actuală a haldelor de zgură metalurgică din Buituri (România) și Râbnîța (Republica Moldova) și situația haldei de cenușă de la termocentrala din Cuciurgan (Republica Moldova).

**Capitolul 2 - Caracteristicile materiilor prime și metodele de cercetare privind elaborarea și optimizarea compozițiilor mixturilor asfaltice cu conținut de cenușă de termocentrală și zgură de oțelărie** cuprinde informații privind obținerea, structura și proprietățile cenușilor de termocentrală și variația proprietăților lor în funcție de condițiile de depozitare și ale zgurilor de oțelărie utilizate la realizarea structurilor rutiere. Procesarea cenușilor de termocentrală nu modifică proprietățile lor chimice, ci se referă doar la modificarea granulației zgurilor și la amestecul cenușilor cu diferiți aditivi. Totodată, se prezintă metodele de cercetare și încercare pentru materiale folosite în structuri rutiere și pentru tronsoane de drumuri la care se utilizează cenuși de termocentrală și zguri de oțelărie, pe baza cărora au fost efectuate încercările descrise în capitolele 3 și 4.

**Capitolul 3 - Rezultatele încercărilor de teren și laborator realizate în vederea utilizării cenușilor de termocentrală în structuri rutiere** cuprinde rezultatele încercărilor de laborator pe mixturi asfaltice cu adaos de cenuși fine de termocentrală, teste realizate pe pista circulară a stației pilot pentru încercări rutiere, cercetări privind impactul structurilor ce conțin cenuși de termocentrală asupra mediului, procesarea cenușilor fine de termocentrală în vederea optimizării proprietăților acestora, amestecarea cenușilor fine de termocentrală cu diferiți lianți în vederea utilizării în structuri rutiere, compactarea și optimizarea structurilor ce conțin cenușă de termocentrală și sinteza și interpretarea rezultatelor.

În Capitolul 4 - **Rezultatele încercărilor de laborator și teren și procesarea zgurilor de oțelărie pentru utilizarea acestora în structuri rutiere** sunt prezentate rezultatele încercărilor realizate în laborator privind utilizarea zgurii de oțelărie în mixturile asfaltice (încercarea Marshall pe mixturi asfaltice tip BAD 25, încercări de laborator realizate pe zguri de oțelărie din Republica Moldova și pe carote din mixturi asfaltice, încercarea Proctor și încercarea Proctor modificată) și încercări de teren realizate pe structuri rutiere ce conțin zguri de oțelărie (determinarea deflexiunii caracteristice cu pârgă Benkelman și determinarea modulului de deformare cu placa Lucas), cu scopul de a demonstra faptul că zgurile de oțelărie pot fi utilizate cu succes în structurile rutiere, cât și sinteza și interpretarea rezultatelor.

## **CONȚINUTUL TEZEI**

### **INTRODUCERE**

În introducere sunt descrise actualitatea temei de cercetare, scopul, obiectivele cercetării, ipoteza de cercetare, noutatea științifică a rezultatelor obținute, sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese, importanța teoretică și valoarea aplicativă a lucrării.

Sunt prezentate avantajele utilizării cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în structurile rutiere, prin prisma caracteristicilor fizico-mecanice determinate prin încercări specifice realizate atât în laborator cât și pe teren, pe anumite tronsoane experimentale, în vederea elaborării unor rețete eficiente ce înglobează aceste materiale și având ca scop final implementarea acestor tehnologii în practica uzuală.

Necesitatea utilizării cenușilor de furnal și a zgurilor de oțelărie în straturile rutiere este impusă de beneficiile ce rezultă atât pentru protecția mediului ambiant, cât și din punct de vedere tehnologic și economic.

Zgurile de oțelărie nu au influențe negative asupra mediului după punerea în operă, iar tehnologia de prelucrare a acestora nu implică transformări chimice, ci doar mecanice, la fel ca în cazul rocilor naturale. La rândul ei, cenușa de furnal poate aduce mari avantaje ca mteril liant atunci când este folosită în structuri rutiere, fiind un material valoros și gratuit, care altfel, atunci când este depozitat în halde, poate reprezenta un serios pericol pentru mediul ambiant.

În capitolul 1, **Stadiul actual privind utilizarea cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în structurile rutiere** sunt prezentate cele mai importante Decizii și Legi ale UE, României și Republicii Moldova privind reducerea volumelor și utilizarea reziduurilor industriale.

Decizia nr. 955/2014 de modificare a Deciziei 2000/532/CE de stabilire a unei liste de deșeuri [2] clasifică deșeurile în mod riguros și oferă codurile de identificare ale acestora:

- cenuși - Cod 10 01 deșeuri provenite din centrale electrice și alte instalații de combustie;
- zgurile - Cod 10 02 deșeuri provenite din industria fierului și oțelului.

Rezoluția Consiliului pentru Drepturile Omului al Organizației Națiunilor Unite nr. 48/13 din 8 octombrie 2021, intitulată „Dreptul omului la un mediu curat, sănătos și sustenabil” [3].

Directiva cadru deșeuri 2008/98/CE a fost transpusă în legislația din România prin Legea nr. 211/2011 privind regimul deșeurilor [4], republicată, cu modificările și completările ulterioare, iar în Republica Moldova prin Legea nr. 209 din 29-07-2016 privind deșeurile [5].

Impactul schimbărilor climatice, managementul și utilizarea nedurabilă a resurselor naturale, poluarea aerului, solului și apei, gestionarea necorespunzătoare a substanțelor chimice și a deșeurilor au ca rezultat pierderea biodiversității și a beneficiilor oferite de ecosisteme. Reziduurile industriale influențează și nu permit asigurarea unui mediu curat, sănătos și durabil, iar daunele aduse mediului au implicații negative, directe și indirecte, pentru exercitarea efectivă a tuturor drepturilor omului.

Cu aproape 4,6 milioane de tone de reziduuri și deșeuri depozitate din 7 milioane de tone de deșeuri generate anual, România ocupă penultimul loc în UE în privința ratei de reciclare a reziduurilor și deșeurilor. Se reciclează doar 14%, spre deosebire de Germania, cu 68%, Polonia 35%, Ungaria 34% [6].

Utilizarea cenușilor de termocentrală în construcțiile rutiere datează de peste 60 de ani. La început, a fost întâlnită pe scară extinsă în SUA, în deceniul al patrulea al secolului XX, iar apoi, începând cu deceniul al cincilea și în Europa de Vest (Franța, Belgia, Germania și Marea Britanie).

În Anglia, drumul A 52 Froghall din Staffordshire a fost reabilitat prin înlocuirea vechii structuri rutiere, pe grosimea de 40 cm, cu un material nou constituit din agregatele granulare (5 - 20 mm) existente și adaugare de 12 % cenușă fină, 3 % var cu rol de liant și 27 % nisip [7].

În Franța, drumul RN 47 Lens Lam Basse din districtul Pas de Calais a fost supralărgit pe lungimea de 7,5 km, utilizându-se circa 50 000 de tone de cenușă fină pentru stabilizarea agregatelor naturale din stratul de fundație (28 cm grosime) cu 13 % cenușă și un strat de bază (22 cm grosime) cu 19 % cenușă [8].

Zgurile au fost utilizate la construcția drumurilor încă din perioada Imperiului Roman, când zgura măcinată, provenită de la forjele din acea epoca, a fost utilizată în fundația drumurilor [9]. În 1813 au apărut în Anglia primele porțiuni de drumuri cu zguri și, doar șaptesprezece ani mai târziu, în această țară s-a construit primul drum realizat integral din zgură. Ulterior, blocurile din zgură au fost folosite frecvent pentru pavaj stradal, atât în Europa cât și în SUA[10].

Încă din anii '40, Germania, principalul producător de fier și oțel, a început să utilizeze aceste produse procesate în diferite domenii (în special în construcții), impunând totodată cerințe specifice de utilizare [11].

În epoca modernă, utilizarea zgurilor de oțelărie la realizarea structurilor rutiere a crescut în mod exponențial, odată cu dezvoltarea noilor tehnologii de producere a oțelului.

În România există câteva halde de zgură: Saturn din Alba Iulia, Liberti din Galați, Feral S.A. Tulcea, Mintia-Deva din Hunedoara.

Conform Rezoluției adoptate de Consiliul pentru Drepturile Omului al ONU în 8 octombrie 2021 intitulată “Dreptul la un mediu curat, sănătos și durabil”, se prevăd diverse măsuri privind: cercetarea, inovarea și educația; limitarea poluării mediului ambiant; acțiunea internațională; punerea în aplicare și asigurarea respectării legislației privind natura, inclusiv utilizarea și reducerea conținutului diferitelor reziduuri industriale.

În Republica Moldova, SRL “RADICAL” a început procesarea zgurii de oțelărie de la uzina metalurgică din orașul Râbnîța. Reprezentanții SRL “RADICAL” au confirmat faptul că

procesarea zgurii va permite obținerea unui material de calitate pentru repararea și construcția drumurilor. În același timp, procesarea zgurii asigură un proces tehnologic ce exclude apariția reziduurilor la producerea oțelului. Instalația de concasare și sortare are o productivitate de 50 de tone de zgură pe oră și la necesitate poate fi mărită până la 80 t/h [12].

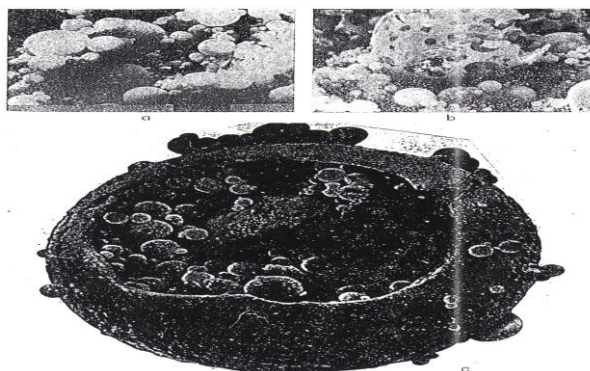
Pentru a evidenția potențialul economic al unei zone de haldare, cât și pentru a crea o imagine asupra modificărilor pe care aceasta le provoacă mediului ambiant, este prezentată una din haldele de zgură existente în România, și anume halda Buituri [13].

Sunt descrise aspectele generale privind modul de formare a haldei, dimensiunile acesteia (înălțime și suprafață ocupată), volumul și masa, alcătuirea, compoziția chimică a zgurii, situația cantitativă a zgurii extrase și procesate, situația calitativă a fracțiunilor rezultate în urma procesării zgurii.

La CET Cuciurgan din Republica Moldova cărbunele nu a mai fost utilizat drept combustibil în ultimul deceniu, iar din 2005 nu a mai fost adusă cenușă sau zgură în haldă. Deși halda nu mai este utilizată, aceasta dăunează mediului și sănătății umane [14].

Conform Normativului pentru execuția terasamentelor rutiere din cenușă de termocentrală - CD 129/2013, cenușa de termocentrală face parte din categoria puzzolanelor artificiale, rezultate sub forma unor produse scundare la arderea în suspensie a cărbunilor energetici măcinați, din activitatea energetică a centralelor termoelectrice. Cenușile de termocentrală sunt utilizate pe scară largă în amestecuri de tip beton pentru structuri rutiere [15].

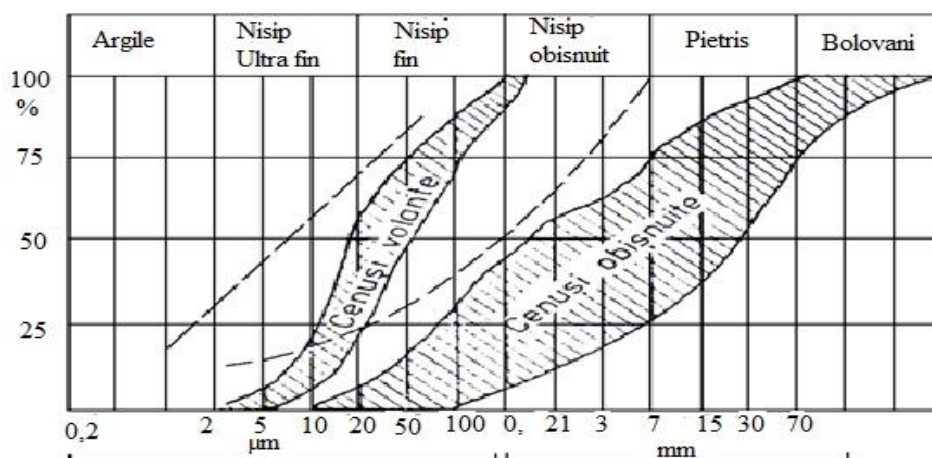
În Capitolul 2, **Caracteristicile materiilor prime și metodele de cercetare privind elaborarea și optimizarea compozițiilor mixturilor asfaltice cu conținut de cenușă de termocentrală și zgură de oțelărie** sunt prezentate proprietățile cenușii de termocentrală, care rezultă din procesul tehnologic de calcinare a cărbunilor, în camere de ardere, pentru obținerea de energie termică [16]. Ca aspect exterior, cenușile fine se prezintă sub formă de pulberi compacte și apar ca sfere sticloase sau cavernoase la microscopia electronică (Figura 2.1) [17].



**Fig. 2.1. Fotografii ale particulelor de cenușă realizate cu microscopul electronic**

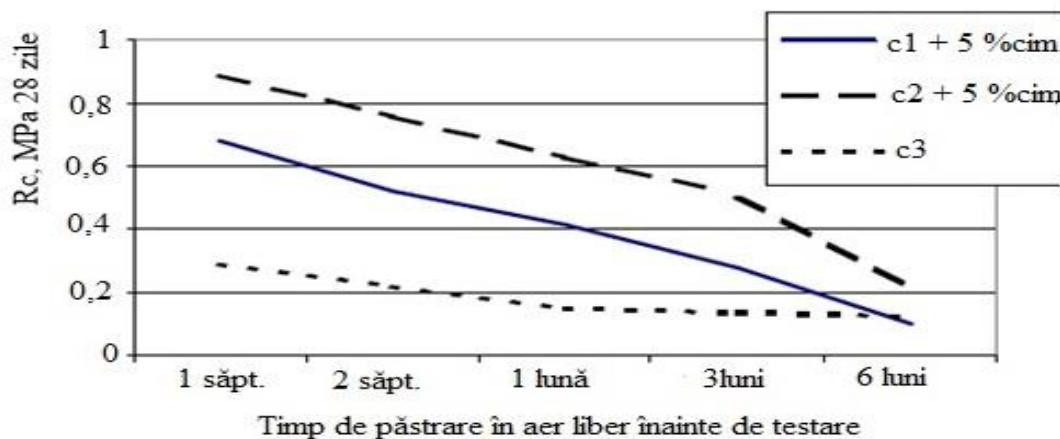
Sunt prezentate în detaliu următoarele caracteristici: granulozitatea și suprafața specifică, solubilitatea în apă, umiditatea, activitatea puzzolanică, finețea de măcinare, conținutul de impurități, rezistența la uzură, capacitatea de compactare, capacitatea de sucțiune, comportarea la gelivitate, permeabilitatea la apă și lichide.

Din punct de vedere granulometric, cenușile de termocentrală se înscriu în limite largi (Figura 2.2). Zonele sunt mai restrânse pentru cenușile captate la electrofiltre, care satisfac condițiile pentru utilizarea ca adaosuri în cimenturi și betoane [18]. Cenușile semifine și grosiere evacuate în halde își găsesc în prezent o aplicabilitate restrânsă, datorită activității hidraulice mai reduse și umidității variabile.



**Fig. 2.2. Granulometria cenușilor de termocentrală**

Proprietățile cenușilor centralelor electrice termice variază considerabil în funcție de tipul și proprietățile combustibilului din care au provenit, de tehnologia de ardere și de condițiile de depozitare [19]. Depozitarea uscată (de exemplu într-un siloz) nu are efecte negative asupra proprietăților cenușilor centralelor electrice termice. Dacă însă depozitarea se face în aer liber, cenușa de haldă se umezește, ceea ce îi va afecta proprietățile (Figura 2.3) [20].



**Fig. 2.3. Efectul umectării și depozitării asupra deformației la efort pentru unele cenuși**

Sunt descrise următoarele proprietăți ale zgurilor de oțelărie (Tabelul 2.1): aspectele fizico-petrografice, capacitatea portantă, stabilitatea, granulometria și stabilitatea chimico - structurală.

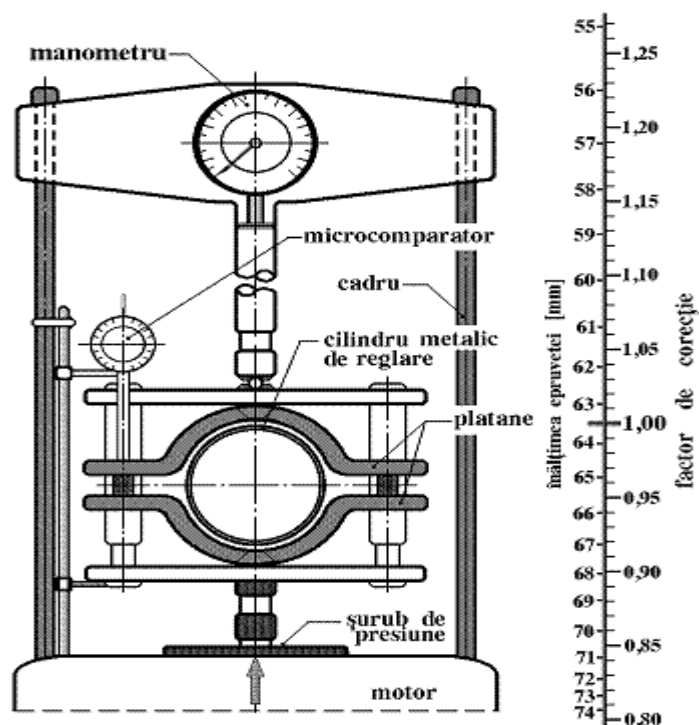
**Tabelul 2.1. Proprietățile fizico-mecanice ale agregatelor minerale din zgură de oțelărie**

| Nr. crt. | Caracteristica                                                   | Unitatea de măsură | Valori medii |
|----------|------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------|
| 1        | Densitatea, $\rho$                                               | $\text{g/cm}^3$    | 3,34         |
| 2        | Densitatea aparentă, $\rho_{ap}$                                 | $\text{g/cm}^3$    | 2,72         |
| 3        | Densitatea aparentă în grămadă (sorturi elementare), $\rho_{ga}$ | $\text{t/m}^3$     | 1,32         |
| 4        | Porozitatea volumică, $n$                                        | %                  | 18,5         |
| 5        | Absorbția de apă la presiune normală, $v$                        | %                  | 3,2          |
| 6        | Porozitatea aparentă, $p$                                        | %                  | 14,2         |
| 7        | Uzura Los Angeles, $u$                                           | %                  | 32           |

În concordanță cu proprietățile zgurilor descrise anterior, se diferențiază și posibilitățile de utilizare pe scară largă, în structurile rutiere, care sunt prezentate în detaliu în teză.

Determinarea stabilității Marshall.

Prin încercarea Marshall, care se realizează folosind presa Marshall (Figura 2.4), s-a stabilit compoziția optimă și s-a controlat stabilitatea mixturilor asfaltice produse în stații fixe sau mobile. Principiul încercării constă în determinarea forței de rupere pentru o epruvetă cilindrică supusă unei încărcări de compresiune aplicată pe generatoare. Este prezentat modul de lucru, în conformitate cu prevederile standardului SR EN 12697-34/2020.



**Fig. 2.4. Presa Marshall**

Pentru a studia comportarea în timp a drumurilor la care s-au utilizat zguri de oțelărie, au fost realizate măsurători deflectometrice prin care au fost determinate deflexiunea caracteristică (prin măsurători cu pârghia Benkelman - Figura 2.5) și modulul de deformăție (prin încercări realizate cu placa Lucas). Determinarea deflexiunii caracteristice a fost efectuată conform CD 31/2002.



**Fig. 2.5. Pârghia Benkelman**

Este prezentată procedura care reglementează acest tip de măsurători.

Se măsoară față de un sistem de referință deplasarea pe verticală a suprafeței complexului rutier, deformată sub solicitarea roților duble ale osiei din spate a vehiculului de măsurare, după îndepărtarea acestuia (revenirea elastică a suprafeței complexului rutier). Pârghia basculantă, componenta principală a deflectometrului cu pârghie, permite transmiterea deplasării verticale a vârfului de contact amplasat între roțile duble la celalalt capăt al pârghiei, unde aceasta este citită cu ajutorul unui microcomparator.

Se calculează valorile deflexiunilor corelate în funcție de linia de influență, cu relația

$$d = 2d_{5,0} - d_{2,4}, \text{ în } 0.01 \text{ mm} \quad (2.1)$$

În cazul în care sarcina osiei din spate a vehiculului de măsurare diferă de sarcina vehiculului etalon (115 kN), valorile deflexiunilor calculate conform se transformă în valori corespunzătoare vehiculului etalon cu relația

$$d_i = 115 d/P, \text{ în } 0,01 \text{ mm}, \quad (2.2)$$

în care P este sarcina osiei din spate a vehiculului de măsurare.

Rezultatele măsurătorilor sunt prelucrate statistic, calculându-se următoarele:

- deflexiunea medie (DBM) cu relația

$$DBM = \sum_{i=1}^n d_i / n, \text{ în } 0,01 \text{ mm}, \quad (2.3)$$

în care n este numărul valorilor individuale luate în calcul

- abaterea medie pătratică (SBM) a șirului de valori, cu relația

$$SBM = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n d_i^2 - n DBM^2}}{n}, \text{ în } 0,01 \text{ mm} \quad (2.4)$$

- coeficientul de variație (CV), cu relația

$$CV = 100 \times SBM / DBM, \text{ în } 0,01 \text{ mm} \quad (2.5)$$

Se calculează valoarea deflexiunii medii normale (DBM 20) cu relația

$$DBM 20 = f(t) \times DBM, \quad (2.6)$$

în care  $f(t) = 1,2 - 0,01 t$  este factorul de transformare a deflexiunii medii corespunzătoare temperaturii  $t$  în deflexiune medie normală

Se calculează abaterea medie pătratică normală (SBM 20) cu relația

$$SBM 20 = CV \times DBM 20, \text{ în } 0,01 \text{ mm} \quad (2.7)$$

Indiferent de tehnica de măsurare utilizată, valoarea deflexiunii caracteristice (DCB) se calculează cu relația

$$DCB = DBM 20 + t \times SB 20, \text{ în } 0,01 \text{ mm} \quad (2.8)$$

În cazul de față s-a ales o valoare a lui  $t$  de 2,20.

S-a calculat deflexiunea caracteristică Lacroix (DC) conform relației

$$DC = 0,7 \times DCB \quad (2.9)$$

Testul cu placa Lucas, ale cărei componente sunt prezentate în Figura 2.6, este destinat utilizării în lucrările de terasamente și fundații, precum și în construcția drumurilor. Metoda permite determinarea relației dintre sarcină și tasare, scopul fiind de a evalua caracteristicile de deformare și rezistență pentru a determina modulul de deformare [21].

Acest lucru permite analiza privind viabilitatea utilizării zgurilor de oțelărie în structuri rutiere, prin compararea rezultatelor obținute cu valorile minime admise în normative. Încercările realizate în colaborare cu un laborator acreditat a permis obținerea rezultatelor credibile.



**Fig. 2.6. Placa Lucas**

În Capitolul 3, **Încercări de laborator și teren și procesarea cenușilor de termocentrală pentru utilizarea lor în structuri rutiere** sunt prezentate rezultatele testărilor recomandate pentru amestecurile cu cenuși folosite în structurile rutiere: gradul de compactare, rezistența la compresiune, capacitatea de retenție a apei, sensibilitatea la îngheț, rezistența la îngheț, rezistența la ciclurile îngheț - dezgheț, permeabilitate la apă, permeabilitate cu perete rigid, infiltrația (testul de permeabilitate acidă de lungă durată), testul de curgere plastică.

S-a ales o rețetă de bază cu un procent de 4,5 % bitum din masa agregatului, cu o bună comportare la stabilitatea Marshall. S-a realizat înlocuirea gradată a filerului (până la 100 %) și parțial a nisipului natural cu cenușă de termocentrală, conform tabelului 3.1, odată cu creșterea procentului de bitum.

**Tabelul 3.1. Înlocuirea gradată a filerului cu cenușă**

| <b>Nr. probă</b> | <b>Procente de cenușă</b> | <b>Cenușa înlocuiește</b> | <b>Procent de bitum</b> | <b>Compactare</b> |
|------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------|
| 1                | 20                        | filer                     | 4,5                     | 50                |
| 2                | 50                        | filer                     | 4,5                     | 50                |
| 3                | 100                       | filer                     | 4,5                     | 50                |
| 4                | 20                        | filer                     | 5                       | 50                |
| 5                | 50                        | filer                     | 5                       | 50                |
| 6                | 100                       | filer                     | 5                       | 50                |
| 7                | 20                        | filer                     | 5,5                     | 50                |
| 8                | 50                        | filer                     | 5,5                     | 50                |
| 9                | 100                       | filer                     | 6                       | 50                |
| 10               | 100                       | filer                     | 6                       | 50                |
| 11               | 100                       | filer                     | 6                       | 50                |
| 12               | 100/30                    | filer/nisip               | 7                       | 50                |
| 13               | 100/30                    | filer/nisip               | 7,5                     | 75                |
| 14               | 100/30                    | filer/nisip               | 7                       | 75                |
| 15               | 100/30                    | filer/nisip               | 7,5                     | 75                |

Rețetele cu bitum în proporție de 7,5% din masa agregatului și cu 23% cenușă din masa agregatului au avut cea mai bună comportare [22], fiind determinate densitatea aparentă ( $1958 \text{ kg/m}^3$ ), absorbția de apă (0,174%), indicele de curgere (316, 0,01 mm) și stabilitatea Marshall (875 daN).

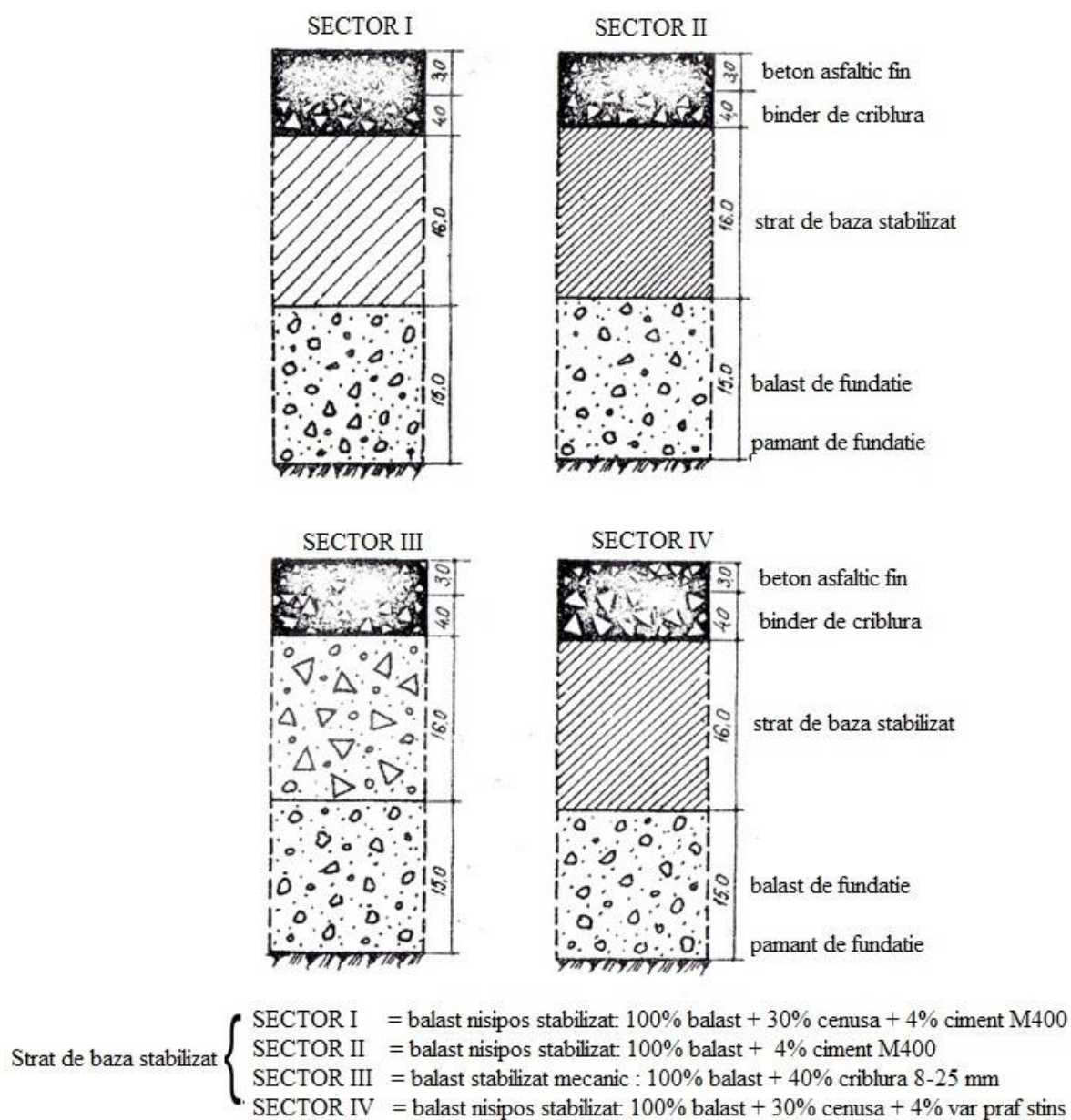
Valorile determinate se încadrează în prevederile STAS-ului 7090/2001, ceea ce permite folosirea cenușii de termocentrală la alcătuirea mixturilor asfalice cu până la 20-25 % din agregat (filerul fiind înlocuit în proporție de până la 100 %, iar nisipul în proporție de până la 30 %).

Sunt prezentate rezultatele cercetărilor pe pista circulară solicitată la trafic simulat asupra a patru complexe rutiere având stratul de bază realizat din diferite materiale. Complexele rutiere luate în considerare, a căror alcătuire este prezentată în Figura 3.1 (sectorul I și sectorul II), sunt caracterizate prin următoarele valori ale modulelor de elasticitate (Figura 3.2):

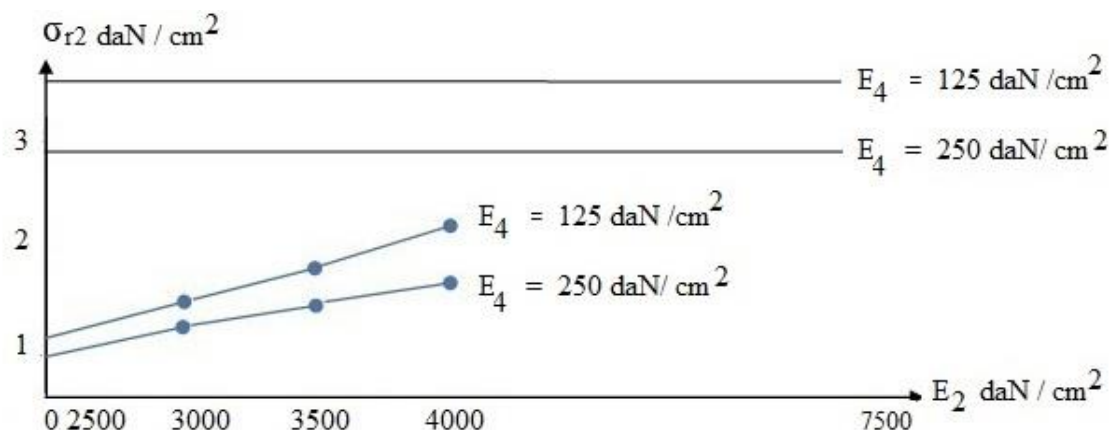
$E_2 = 5000 \text{ daN/cm}^2$  pentru stratul de bază stabilizat cu ciment,  $E_2 = 4000 \text{ daN/cm}^2$  pentru stratul stabilizat cu cenușă de termocentrală și  $E_4 = 125 - 250 \text{ daN/cm}^2$  pentru pământul de fundație și prin coeficientul Poisson  $\mu = 0,27 - 0,30$ .

Variațiile eforturilor radiale ( $\sigma_{r2}$ ) în funcție de modulele de elasticitate ale materialelor luate în considerare ( $E_2, E_4$ ) au fost reprezentate grafic în Figura 3.2.

Din analiza diagramei menționate rezultă că valoarea efortului unitar de întindere ( $\sigma_{r2}$ ) de la baza stratului stabilizat cu cenușă de termocentrală crește cu cât modulul de elasticitate ( $E_2$ ) este mai ridicat. Rezultatele cercetărilor efectuate pe pista circulară a stației pilot confirmă faptul că adaosul de cenușă de termocentrală conferă straturilor stabilizate o rigiditate mai mică decât a celor stabilizate cu ciment, astfel încât acestea vor prezenta o tendință de fisurare mai redusă.



**Fig. 3.1. Secțiuni transversale**



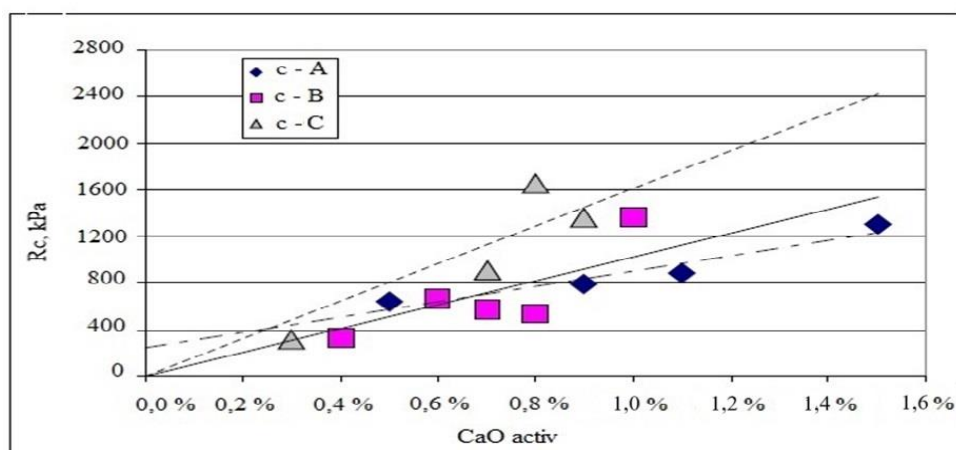
**Fig. 3.2. Variația eforturilor radiale în funcție de modulele de elasticitate**

Tabelul 3.2 conține date privind proprietățile geotehnice cele mai importante ale cenușilor de furnal.

**Tabelul 3.2. Proprietăți geotehnice ale CF**

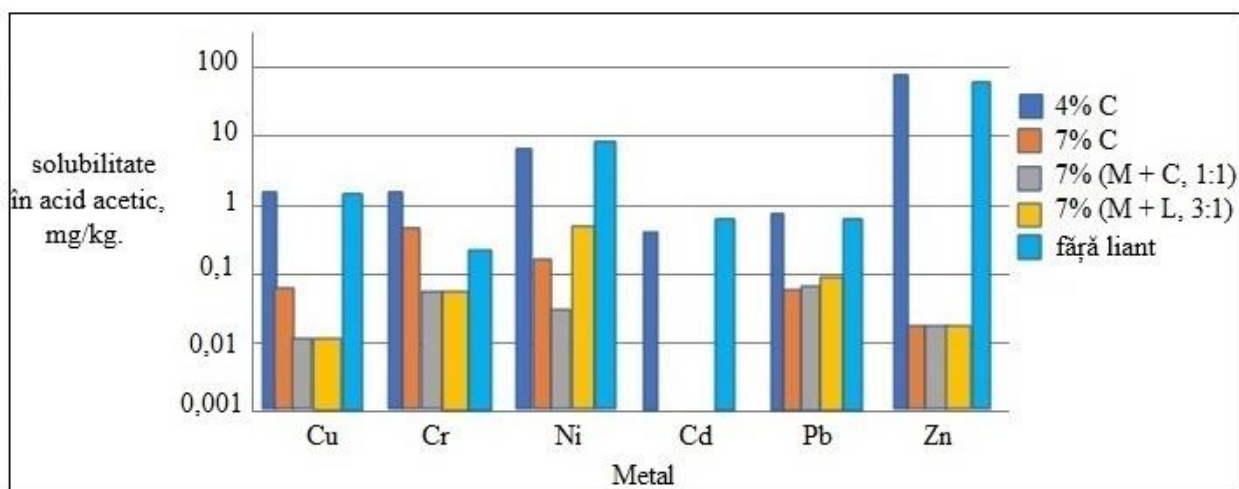
| Nr. crt. | Proprietatea                                                           | Variația              |
|----------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1        | Densitatea în grămadă, $\text{kN/m}^3$                                 | 6-13                  |
| 2        | Densitate maximă în stare uscată, $\text{kN/m}^3$                      | 7-16                  |
| 3        | Conținutul optim de apă, %                                             | 12-55                 |
| 4        | Conductivitate termică, $\text{W/mK}$                                  | 0,4-1                 |
| 5        | Potențialul de segregare (CF bine compactate), $\text{mm}^2/\text{kh}$ | <1                    |
| 6        | Capilaritate, m                                                        | 1,8-2,2               |
| 7        | Permeabilitate la apă, $\text{k m/s}$                                  | $10^{-6}$ - $10^{-8}$ |
| 8        | Rezistență la compresiune (cenuși întărite), MPa                       |                       |
|          | - din siloz                                                            | >4,5                  |
|          | - din haldă                                                            | 0,5-4,5               |

Rezistența la compresiune a cenușilor fine depinde direct de conținutul de CaO (var nestins). Din Figura 3.3 rezultă că o cantitate foarte mică de var activ (0,4 - 0,8 %) adăugată în amestec îmbunătățește în mod semnificativ caracterul cimentoid al acestuia [23].



**Fig. 3.3. Rezistența la compresiune în funcție de conținutul de CaO activ**

Structurile realizate cu materiale reciclabile nu trebuie să conducă la poluarea apelor sau a solului. Preluarea și transportul diferitelor elemente din cenuși în mediul înconjurător au fost cercetate atât în laborator cât și pe teren. Lianții pot fi de asemenea utilizați pentru a îmbunătăți comportarea ambientală a cenușilor fine. Figura 3.4 prezintă efectul diferiților lianți asupra solubilității metalelor grele din cenuși. Se observă, de exemplu, că zgura de furnal împiedică transmiterea câtorva metale grele în mediul înconjurător.



**Fig. 3.4. Efectul diferiților lianți asupra solubilității metalelor grele din CF**

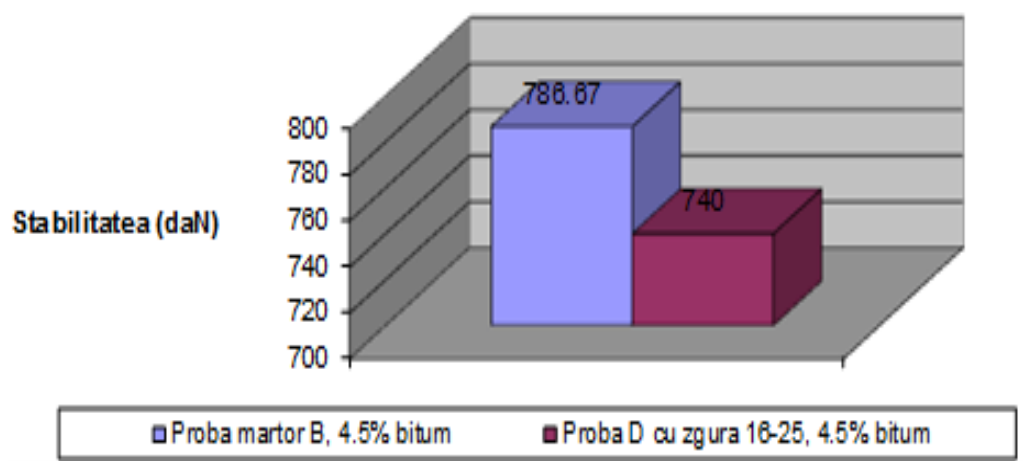
C = ciment M = zgură de furnal L = var

În Capitolul 4, **Încercări de laborator și teren și procesarea zgurilor de oțelărie pentru utilizarea acestora în structuri rutiere**, au fost realizate încercări Marshall pe diferite compoziții, pentru a demonstra că zgurile de oțelărie pot înlocui cu succes criblura în mixturile asfaltice.

Sunt prezentate două compoziții de beton asfaltic tip BAD 25 cu 4,5 % bitum, utilizând pentru prima dintre ele criblură 16-25 mm (probele A1, A2 și A3), iar pentru a doua - zgură de oțelărie 16-25 mm (probele D1 și D2). Valorile medii ale stabilității determinate pe epruvete cilindrice confecționate din mixturi asfaltice ce conțin criblură 16-25 mm și, respectiv, zgură de oțelărie 16-25 mm, sunt prezentate în Tabelul 4.1 și reprezentate grafic în Figura 4.1.

**Tabelul 4.1. Stabilitatea la 60°C (daN)**

| Mixtură   | Zgură<br>16-25, mm | Proba          | D (diametrul),<br>mm | H (înălțimea),<br>mm | S (stabilitatea),<br>daN | Valori minime<br>SR 174-1, daN |
|-----------|--------------------|----------------|----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------|
| BAD25, mm | 0%                 | B <sub>1</sub> | 101.8                | 68.2                 | 740                      | 500                            |
|           |                    | B <sub>2</sub> | 102                  | 66.8                 | 840                      | 500                            |
|           |                    | B <sub>3</sub> | 102                  | 67.5                 | 780                      | 500                            |
|           | 100%               | D <sub>1</sub> | 101                  | 66                   | 725                      | 500                            |
|           |                    | D <sub>2</sub> | 100                  | 68                   | 755                      | 500                            |
|           |                    |                |                      |                      |                          |                                |

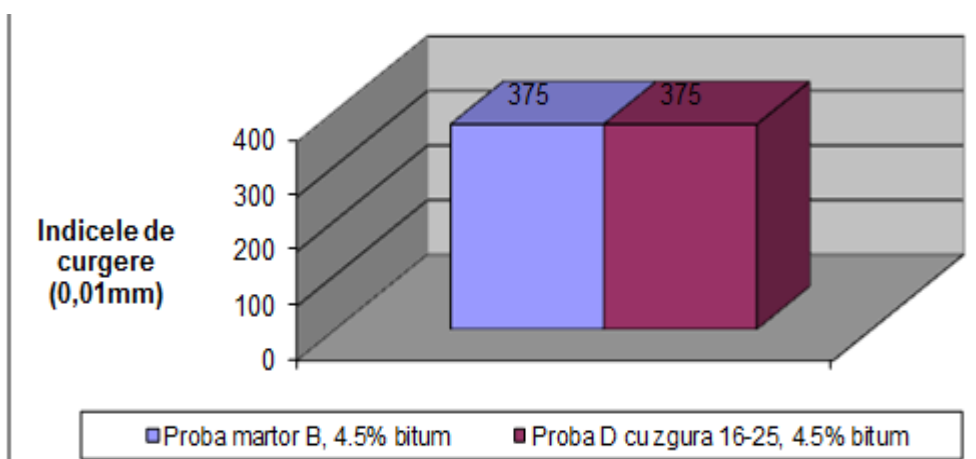


**Fig. 4.1. Comparație între stabilitatea determinată pe probe martor și cu zgură 16-25**

Valorile medii ale indicelui de curgere determinat pe epruvete cilindrice confecționate din mixturi asfaltice ce conțin criblură 16-25 mm și, respectiv, zgură de oțelărie 16-25 mm, sunt prezentate în Tabelul 4.2 și reprezentate grafic în Figura 4.2.

**Tabelul 4.2. Indicele de curgere (0,01mm)**

| Mixtură      | Zgură<br>16-25<br>mm | Proba          | D (diametru),<br>mm | H (înălțimea),<br>mm | Indicele de curgere,<br>0,01 mm | Valori<br>SR 174-1,<br>0,01 mm |
|--------------|----------------------|----------------|---------------------|----------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| BAD 25<br>mm | 0%                   | B <sub>1</sub> | 101.8               | 68.2                 | 375                             | 150.....450                    |
|              |                      | B <sub>2</sub> | 102                 | 66.8                 | 365                             | 150.....450                    |
|              |                      | B <sub>3</sub> | 102                 | 67.5                 | 385                             | 150.....450                    |
|              | 100%                 | D <sub>1</sub> | 101                 | 66                   | 374                             | 150.....450                    |
|              |                      | D <sub>2</sub> | 100                 | 68                   | 376                             | 150.....450                    |

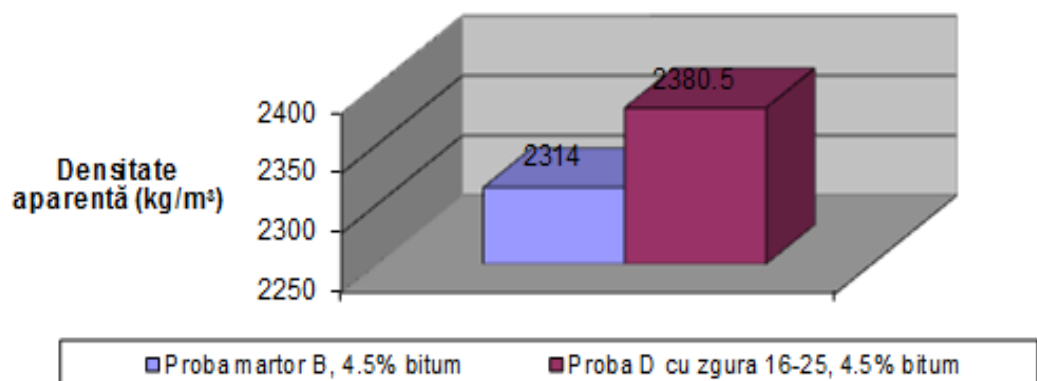


**Fig. 4.2. Comparație între indicele de curgere obținut pe probe martor și cu zgură 16-25**

Valorile medii ale densității aparente determinate pe epruvete cilindrice confecționate din mixturi asfaltice ce conțin criblură 16-25 mm și, respectiv, zgură de oțelărie 16-25 mm sunt prezentate în Tabelul 4.3 și reprezentate grafic în Figura 4.3.

**Tabelul 4.3. Densitatea aparentă =  $G_{aer}/(G_{aer} - G_{apă})$**

| Mixtură      | Zgură<br>16-25<br>mm | Proba          | D (diametru),<br>mm | H (înălțimea),<br>mm | $G_{aer}$<br>greutate<br>în aer, g | $G_{aer}$<br>greutate<br>în apă, g | Densitate<br>aparentă,<br>kg/m <sup>3</sup> | Valori min.<br>SR 174-1,<br>kg/m <sup>3</sup> |
|--------------|----------------------|----------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| BAD<br>25 mm | 0%                   | B <sub>1</sub> | 101,8               | 68,2                 | 1204,8                             | 685,2                              | 2319                                        | 2250                                          |
|              |                      | B <sub>2</sub> | 102                 | 66,8                 | 1202,2                             | 681,8                              | 2310                                        | 2250                                          |
|              |                      | B <sub>3</sub> | 102                 | 67,5                 | 1203,3                             | 683,1                              | 2313                                        | 2250                                          |
|              | 100%                 | D <sub>1</sub> | 101                 | 66                   | 1196,1                             | 695,64                             | 2390                                        | 2250                                          |
|              |                      | D <sub>2</sub> | 100                 | 68                   | 1197,8                             | 692,6                              | 2371                                        | 2250                                          |



**Fig. 4.3. Comparație între densitatea aparentă obținută pe probe martor și cu zgură 16-25**

Încercări similare s-au făcut pentru zgura 8-16 mm și amestecurile 8-16 mm și 16-25 mm.

În vederea corelării informațiilor privind zgurile de oțelărie din România și Republica Moldova, au fost realizate încercări de laborator la Centrul de Încercări “INCERC TEST” SRL (or. Chișinău), pe eșantioane prelevate de la uzina metalurgică din orașul Râbnîța. Au fost determinate granulozitatea, forma agregatului grosier, coeficientul de absorbție a apei, conținutul de particule fine, masa volumetrică reală și în vrac, rezistența la uzură (Micro-Deval) și rezistența la fragmentare (Los Angeles). Rezultatele au arătat că toate valorile obținute se încadrează în prevederile normativelor din Republica Moldova (Raport de încercări nr. 41 din 17.03.2023).

În perioada 30.03..2023 - 01.04.2023 au fost realizate o serie de încercări de laborator la SC SPEDITION UMB SRL (România), pe carote prelevate din autostrada de centură a Municipiului București (Raport de încercări nr. 1703.5/01.04.2023).

Au fost determinate densitatea aparentă, gradul de compactare și absorbția de apă [24].

Rezultatele experimentale au arătat faptul că toate valorile obținute se încadrează în prevederile normativului AND 605 - 2016.

Rezultatele studiilor prezentate sunt destinate înlocuirii agregatelor din roci naturale pentru stratul de fundație și cel de bază al unui drum cu zgură de oțelărie provenită după recuperarea materialului feros din reziduurile rezultate în urma procesului de obținere a oțelului

în cuptoare cu arc electric. Sorturile de agregate din zgură de oțelărie sunt 0-8 mm, 8-32 mm și 32-63 mm. Amestecul obținut din sorturile menționate se utilizează ca strat de fundație și strat de bază astfel încât să se înscrie în prevederile SR 662-2002.

Rezultatele determinării caracteristicilor de compactare pentru stratul de bază (sort 0-32 mm). Au fost determinați parametrii compactării și caracteristicile de compactare pentru sortul 0-32 mm. Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 4.4 și Tabelul 4.5.

**Tabelul 4.4. Parametrii compactării**

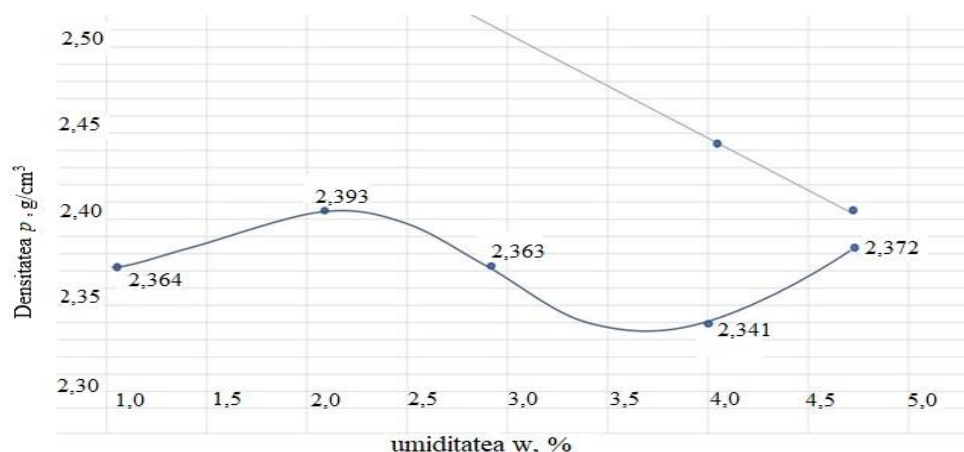
|            |                          |        |
|------------|--------------------------|--------|
| CILINDRU   | Diametru, mm             | 150    |
|            | Înălțime, mm             | 177    |
|            | Volum, cm <sup>3</sup>   | 3127,8 |
| MAI        | Diametru, mm             | 50     |
|            | Înălțime de cădere, cm   | 45     |
|            | Masa, kg                 | 4,5    |
| COMPACTARE | nr.de straturi           | 5      |
|            | nr. de lovituri pe strat | 84     |

**Tabelul 4.5. Caracteristici de compactare**

| Nr. crt. | Caracteristici determinate                                                                                           | U.M.              | Numărul încercării |        |        |        |        |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|
|          |                                                                                                                      |                   | 1                  | 2      | 3      | 4      | 5      |
| 1.       | Masa materialului, m <sub>m</sub>                                                                                    | g                 | 7222,9             | 7433,7 | 7418,0 | 7403,4 | 7596,2 |
| 2.       | Volumul materialului compactat (V)                                                                                   | cm <sup>3</sup>   | 3127,8             | 3127,8 | 3127,8 | 3127,8 | 3127,8 |
| 3.       | Densitatea, $\rho = m_m / V$                                                                                         | g/cm <sup>3</sup> | 2,309              | 2,377  | 2,372  | 2,367  | 2,429  |
| 4.       | Umiditatea medie (w)                                                                                                 | %                 | 1,4                | 2,8    | 3,8    | 5,2    | 6,2    |
| 5.       | Densitatea în stare uscată, $\rho_d = \rho / (1 + w/100)$                                                            | g/cm <sup>3</sup> | 2,278              | 2,312  | 2,284  | 2,251  | 2,288  |
| 6.       | Umiditatea corectată, $w' = w (1 - r)$                                                                               | %                 | 1,1                | 2,1    | 2,9    | 4,0    | 4,7    |
| 7.       | Densitatea în stare uscată Corectată, $\rho'_{d \max} = \rho_{d \max} \rho_s / (\rho_s - r(\rho_s - \rho_{d \max}))$ | g/cm <sup>3</sup> | 2,364              | 2,393  | 2,369  | 2,341  | 2,372  |

Curba Proctor, trasată pe baza datelor din Tabelul 4.5. este caracterizată prin trei puncte de inflexiune: două puncte de maxim și unul de minim (Figura 4.4).

Abscisa punctului de minim reprezintă umiditatea critică de compactare ( $w_{cr}$ ), care împarte intervalul de umiditate în domeniul uscat ( $w < w_{cr}$ ) și domeniul umed ( $w > w_{cr}$ ). Abscisa și ordonata punctului de maxim în domeniul umed reprezintă umiditatea optimă ( $w_{opt}^{umed}$ ) și respectiv densitatea maximă în stare uscată ( $\rho_{d \max}^{umed}$ ) a materialului, în domeniul umed. Abscisa și ordonata punctului de maxim în domeniul uscat reprezintă umiditatea optimă ( $w_{opt}^{uscat}$ ) și respectiv densitatea maximă în stare uscată ( $\rho_{d \max}^{uscat}$ ) a materialului, în domeniul uscat.



**Fig. 4.4. Diagrama Proctor (variația densității cu conținutul de apă)**

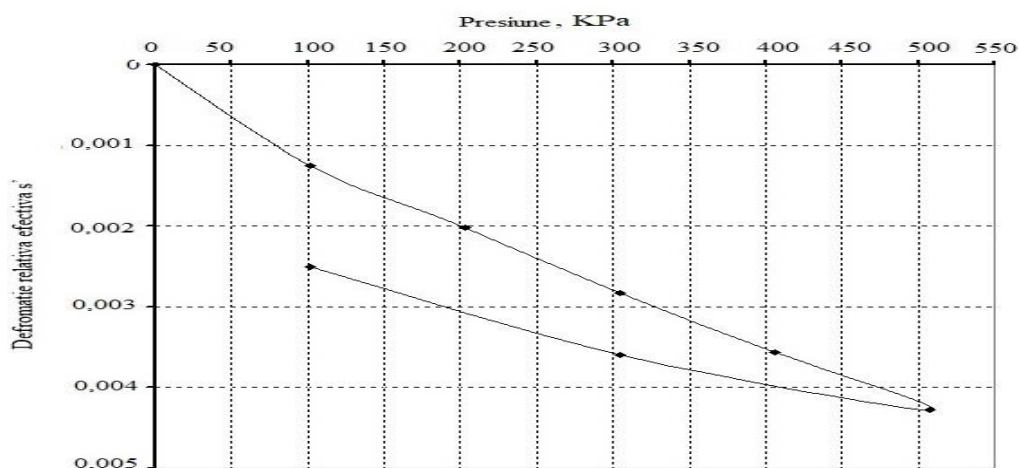
Din diagramă rezultă că umiditatea optimă în domeniul uscat este de 2,1 %, iar densitatea maximă în stare uscată este de 2,393 g/cm<sup>3</sup>. Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 4.6.

**Tabelul 4.6. Rezultatele obținute din diagrama Proctor**

| Nr. crt. | Caracteristici de compactare                                                    | Unități de măsură | Valori |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------|
| 1        | Umiditatea optimă în domeniul umed ( $w_{opt}^{umed}$ )                         | %                 | -      |
| 2        | Densitatea maximă în stare uscată, în domeniul umed ( $\rho_{d max}^{umed}$ )   | g/cm <sup>3</sup> | -      |
| 3        | Umiditatea critică ( $w_{cr}$ )                                                 | %                 | -      |
| 4        | Umiditatea optimă în domeniul uscat ( $w_{opt}^{uscat}$ )                       | %                 | 2,1    |
| 5        | Densitatea maximă în stare uscată, în domeniul uscat ( $\rho_{d max}^{uscat}$ ) | g/cm <sup>3</sup> | 2,393  |

În mod similar s-au determinat caracteristicile de compactare pentru stratul de fundație (sort 0-63 mm) [25].

Calculul modulului de deformare liniară: din diagrama presiune - deformații relative efective (Figura 4.5) rezultă că valoarea presiunii de calcul corespunzătoare deformației relative de calcul ( $s' = 0,001$ ) este  $p = 78$  kPa, iar modulul de deformare liniară  $E_d = p / s' = 78$  kPa / 0,001 = 780 daN/cm<sup>2</sup>



**Fig. 4.5. Diagrama presiune - deformații relative efective pentru Placa nr. 1**

În mod similar s-au obținut valorile  $E_d$  pentru alte două plăci. Determinarea modulului de deformare a arătat că valorile obținute pentru structurile rutiere ce conțin zguri de oțelărie (750, 760 și 780 daN/cm<sup>2</sup>) depășesc cerințele impuse pentru toate tipurile de balast și sunt cel puțin egale cu valoarea specificată pentru balast - amestec optimal pentru fundație (750 daN/cm<sup>2</sup>)

Pentru a confirma posibilitatea înlocuirii agregatelor naturale din îmbrăcămințile asfaltice cu zguri de oțelărie, s-au realizat la început două compoziții de beton asfaltic bogat în criblură de tip BA 8 (seria II) utilizând bitum D 80/100 și de tip BA 16 (seria II) utilizând bitum D 100/120.

Agregatele utilizate au fost zgura concasată (sort 5-8 mm și 8-16 mm), nisip natural de râu și filer de calcar. Din analiza rezultatelor obținute se constată următoarele:

- utilizând sorturile 0-5 mm, 5-8 mm și 8-16 mm de zgură concasată s-a obținut un procent optim de bitum de 7%, pentru BA 8;

- eliminând sortul de zgură 0-5 mm și înlocuindu-l cu nisip de concasare 0-4 mm, procentul de bitum a scăzut (folosind același tip de bitum D 80/100) la 5,75 %, ceea ce denotă porozitatea ridicată și suprafața specifică mare a acestui sort. În plus, conținutul ridicat de CaO (9,0 %) face ca sortul să fie cauza apariției unor umflături în stratul de uzură al îmbrăcăminții bituminoase, ulterior execuției stratului asfaltic;

- evoluția umflării pentru mixturile de tip BA 8 și BA 16 (seriile I-IV) arată că valorile înregistrate nu depășesc 1 %, ceea ce denotă o bună comportare în timp la acțiunea apei;

- atât valorile densității aparente cât și valorile stabilității Marshall depășesc valorile minime impuse de SR 174-1/2002, ceea ce asigură o bună rezistență la acțiunea combinată a traficului și a factorilor climaterici.

Utilizările experimentale din ultimii 20 de ani, în țările Comunității Europene și în Japonia, la executarea de tratamente bituminoase de suprafață și de straturi de îmbrăcăminți din mixturi asfaltice, au condus la concluzia obligativității tratamentului de maturare a zgurii concasate, timp de 3...6 luni. În vederea utilizării ca agregat în structurile rutiere, zgurile de oțelărie trebuie să prezinte o stabilitate volumetrică suficientă. Pentru a garanta acest lucru, oțelăriile folosesc diferite metode de tratare a zgurilor.

Compatibilitatea cu mediul înconjurător a materialelor minerale redă efectul acestora asupra solului, apei de suprafață și pânzei freatice. Pentru domeniul construcțiilor de drumuri, o importanță deosebită o au efectele asupra apei și solului, stabilite pe baza solubilității acestor materiale minerale în apă în condiții diferite de exploatare [22].

## CONCLUZII GENERALE

Prezenta lucrare facilitează aplicarea practică a rezultatelor experimentale obținute, prin prezentarea rezultatelor încercărilor realizate în laborator, în stații pilot și pe tronsoane de drumuri date deja în circulație, care confirmă viabilitatea utilizării cenușilor de termocentrală și zgurilor de oțelărie în structurile rutiere.

Implementarea rezultatelor cercetărilor științifice poate fi realizată prin executarea de lucrări de drumuri la care straturile rutiere să fie alcătuite din materiale de tipul cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie.

În teza de doctorat au fost soluționate câteva probleme științifice importante cu care se confruntă, în prezent, construcția drumurilor auto, necesitatea reducerii volumelor acumulate și crescânde a reziduurilor din domeniile producerii energiei electrice și termice, siderurgiei și al mediului, care sunt:

- costurile foarte mari necesare atât pentru obținerea agregatelor naturale folosite în structurile rutiere, cât și pentru stabilizarea haldelor de depozitare a cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie, care prezintă pericol de alunecare și răspândire a substanțelor toxice în mediul ambiant prin intermediul apelor pluviale, al vântului etc;

- ocuparea unor mari suprafețe de teren de către haldele de cenuși de termocentrală și zguri de oțelărie, cu implicații foarte nefavorabile asupra mediului înconjurător și al sănătății populației;

- volumul tot mai mare de agregate naturale folosit în construcția de drumuri în prezent are repercursiuni grave asupra mediului (extracția agregatelor naturale perturbă apa freatică, accentuează eroziunea solului, poate provoca alunecări de teren etc.).

Toate aceste probleme pot fi rezolvate simultan prin utilizarea adecvată a reziduurilor industriale de tipul cenușilor de termocentrală și al zgurilor de oțelărie în structurile rutiere, conform metodologiilor prezentate în teză.

Rezultatele cercetărilor efectuate în lucrarea de față, concretizate în rezolvarea problemelor menționate, au permis de a constata următoarele:

- utilizarea agregatelor din cenuși de termocentrală și zgură de oțelărie în construcțiile rutiere este perfect viabilă și are ca rezultat protejarea mediului înconjurător, prin diminuarea spațiilor de depozitare a acestora și implicit limitarea răspândirii substanțelor nocive în natură, cât și prin conservarea ambiantului natural (extracția agregatelor naturale poate perturba apa freatică, poate accentua eroziunea solului etc.);

- construcțiile la care s-au utilizat cenuși de termocentrală și zguri de oțelărie s-au dovedit mult mai durabile pe termen lung decât cele realizate cu materiale pe bază de agregate naturale;
- prin înlocuirea agregatelor naturale din straturile sistemului rutier cu cenuși de termocentrală și zgură de oțelărie se realizează o scădere semnificativă a costului lucrărilor (cenușile și zgurile sunt practic gratuite, în timp ce agregatele naturale prezintă costuri mari de extracție, prelucrare, recultivare a solului etc).

În baza rezultatelor studiilor, cercetărilor, încercărilor de laborator și în condiții de teren au fost formulate următoarele **CONCLUZII**:

### **Privind CENUȘILE DE TERMOCENTRALĂ**

1. Cenușile de termocentrală pot fi utilizate în alcătuirea structurilor rutiere, necesitând doar o procesare mecanică prealabilă.
2. Varul și cimentul, adăugate în cantități mici în materialele la care se folosesc cenuși de termocentrală, contribuie la creșterea rezistenței acestora. Cenușile pot fi utilizate la construcția rambleelor, la stabilizarea și ameliorarea granulozității materialelor locale folosite pentru realizarea fundațiilor rutiere, la filerizarea biturilor pentru îmbrăcămințile asfaltice și la execuția substraturilor drenante, anticapilare și anticontaminante ale sistemelor rutiere.
3. Încercările Marshall (prezentate în Capitolul 3, subcapitolul 3.1), realizate pe o rețetă de bază cu un procent de bitum din agregat de 4,5 %, în care s-a înlocuit filerul (până la 100%) și parțial nisipul natural cu cenușă de termocentrală, au arătat că valorile determinate pentru stabilitate, indicele de curgere, densitatea aparentă și absorbția de apă se încadrează în prevederile STAS-ului 7090/2001 și deci cenușile de termocentrală pot înlocui în mod eficient agregatele fine în mixturile asfaltice.
4. În timpul depozitării în aer liber, o mare parte dintre proprietățile cenușilor de furnal sunt pierdute din cauza umectării excesive. Cenușile de furnal de haldă nu pot fi folosite în toate lucrările în care se utilizează cenușile de furnal uscate, iar proprietățile unei aplicații la care s-au utilizat cenuși de furnal de haldă vor fi inferioare față de situația când s-ar fi folosit cenuși de furnal uscate. Facilitățile adecvate de stocare uscată a cenușilor de furnal sunt o condiție esențială pentru dezvoltarea unui sistem controlat de utilizare a lor în diferite aplicații. Acest lucru este important și pentru că cea mai mare cantitate de cenușă de furnal este produsă în perioade reci ale anului, când nu există decât foarte puține lucrări de construcții rutiere unde aceste cenuși să fie utilizate eficient.
5. Studiile au demonstrat, de asemenea, că utilizarea cenușilor fine în structurile rutiere nu conduce la contaminarea cu metale grele a solului și a apelor subterane. Datorită avantajelor menționate anterior, cenușile fine pot fi utilizate pe larg în toate tipurile de construcții rutiere.

## **Privind ZGURILE DE OȚELĂRIE**

1. Valorile caracteristicilor fizico-mecanice ale zgurii de oțelărie, determinate experimental, s-au încadrat în limitele impuse de reglementările în vigoare și au confirmat posibilitatea utilizării cu succes a lor ca înlocuitor al agregatelor naturale pentru stratul de fundație și stratul de bază al structurilor rutiere.

2. Agregatele din zgură de oțelărie, folosite la realizarea de mixturi asfaltice, corespund prevederilor standardului SR 174-2009.

3. Curbele granulometrice ale agregatelor din zgură de oțelărie se încadrează în zona granulometrică prevăzută de standardele în vigoare.

4. Din analiza rezultatelor încercările Marshall, realizate pe diferite compoziții (mixtură asfaltică tip BAD 25 cu zgură 16-25 mm, cu zgură 8-16 mm și cu zgură 8-16 mm și 16-25 mm) obținute, s-a constatat faptul că stabilitatea Marshall și densitatea aparentă depășesc valorile minime prevăzute în SR 174-1 (500 daN, respectiv 2250 kg/m<sup>3</sup>). De asemenea, valoarea indicelui de curgere se încadrează în intervalul stabilit de SR 174-1: 150 ...450, 0,01 mm.

5. Rezultatele încercărilor de laborator la CIPC INCERC TEST SRL (granulozitatea, forma agregatului grosier, coeficientul de absorbție a apei, conținutul de particule fine, masa volumetrică reală și în vrac, rezistența la uzură - Micro-Deval și rezistența la fragmentare - Los Angeles) pe eșantioane, prelevate din depozitul uzinei metalurgice din orașul Râbnîța, Republica Moldova, au arătat faptul că toate valorile obținute se încadrează în prevederile normativelor din Republica Moldova. Toate aceste rezultate de laborator demonstrează faptul că zgura de oțelărie poate constitui un înlocuitor adecvat al criblurii în mixturile asfaltice.

Utilizarea agregatelor din zgură de oțelărie în construcțiile rutiere conduce la numeroase avantaje tehnice și economice, prin:

- menținerea capacității portante în limita parametrilor de exploatare a sistemului rutier conferită de solidificarea carbonică a agregatelor și de ușurința în realizarea compactării optime;
- proprietățile agregatelor din zguri de oțelărie, ce permit realizarea de drumuri care nu influențează mediul ambiant sub acțiunea factorilor climaterici (ploi, îngheț - dezgheț, etc.);
- diminuarea riscului de apariție a deformațiilor permanente în structurile rutiere datorate stabilității la solicitări mecanice și termice în exploatare;
- asigurarea duratei de exploatare a drumurilor în condiții de siguranță și confort, datorată texturii ce conferă rugozitate și rezistență mare la derapaj.

## **RECOMANDĂRI**

1. Înlocuirea în baza rezultatelor cercetărilor științifice îndeplinite a agregatelor naturale din structurile rutiere cu agregate artificiale de tipul cenușilor de termocentrală și zguri de oțelărie la realizarea tronsoanelor de drumuri.

2. Extinderea ulterioară prin cercetări a utilizării cenușii de furnal obținute din turbă, lemn sau amestecuri de combustibile și utilizarea lor în stabilizarea solurilor necoezive sau a solurilor moi de tipul argilei.

3. Actualizarea normativelor care reglementează utilizarea cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în structurile rutiere, pentru a răspunde situației actuale, întrucât cele existente sunt parțial depășite din punct de vedere al tehnologiilor și al terminologiei folosite.

4. Armonizarea legislației specifice la nivel național, în acord cu prevederile Directivei europene DC2008/98/CE, care reglementează regimul deșeurilor, conform căreia producătorii acestora au obligația reciclării și valorificării lor, prin utilizarea celor mai bune tehnici disponibile în materie, cu efecte minime asupra factorilor de mediu (apei, aerului, faunei, florei etc.), fără a afecta peisajul și sănătatea ființelor umane.

## BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. **CHIRICUȚĂ, I.** Considerations on Using Slag Steel Works in Road Construction. În: Meridian ingineresc, nr. 2/2014. pp. 52 – 54. ISSN 1683-853X.
2. Decizia nr. 955/2014 de modificare a Deciziei 2000/532/CE de stabilire a unei liste de deșeuri în temeiul Directivei 2008/98/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 18.10.2014.
3. Rezoluția Consiliului pentru Drepturile Omului al Organizației Națiunilor Unite nr. 48/13 din 8 octombrie 2021, intitulată „Dreptul omului la un mediu curat, sănătos și sustenabil” (HRC/RES/48/13).
4. Legea României nr. 211/2011 privind regimul deșeurilor, republicata 2014. Lege nr. 211/2011 republicata 2014, Republicat în Monitorul Oficial, Partea I nr. 220 din 28 martie 2014, 33 p.
5. Legea Republicii Moldova nr. 209 din 29-07-2016 privind deșeurile, Chisinau, 29 iulie 2016, Publicat : 23-12-2016 în Monitorul Oficial Nr. 459-471 art. 916, 64 p.
6. CIUCLEA, I. I. Economia circulară în România: oportunități, angajamente tehnice, tehnologice și administrative. Ed. Elicart 2019. ISBN: 978-606-768-207-6.
7. ANDREI B., POPESCU N., ZELICI L. „ROMCEN - o inițiativă pentru dezvoltare durabilă“. În: Revista Drumuri. Poduri. Ed. Media Drumuri Poduri Romania, 2012.
8. SALAM, Y.A., KUMAR, N. Investigation of waste material for construction of rural road to protect environment and improvement of rural road construction strength. In: Materials Today: Proceedings, 32, Part 3, pp. 487-491, 2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.654>.
9. FODOREAN, F. Propunere pentru o clasificare a drumurilor din Dacia Romană. În : Studia Universitatis Petru Maior - Series Historia. 2004. p. 5.
10. DSU Galați. Dosar Tehnic nr. 004-07/431: LIDONIT - Agregate din zgură de oțelărie. 2001.
11. RUSU, I., **CHIRICUȚĂ, I.** Reducerea impactului asupra mediului al zgurilor de oțelărie prin utilizarea acestora în structuri rutiere. Al XIV-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, Cluj-Napoca. 10-13 sept 2014.
12. Producție nouă. Un nou început. În: Газета Новости, 13.07.2019. <http://rnovosti.info/>.
13. SC Geasol SA. Studiu de fezabilitate pentru pregătirea și exploatarea zgurii din halda Buituri. 2002, pp. 53-56.
14. Eco Presa, 27 iunie 2020 - <https://ecopresa.md/depozitul-de-deseuri-al-centralei-de-lacuciu-gan-principalul-poluator-al-regiunii-odesa/>.
15. Compania Națională de Autostrăzi și Drumuri Naționale din România - Buletin Tehnic

Rutier nr. 10/2013, anul IX – ISSN: 1583-820X p 13.

16. LAKSHMI, A. D., VARA, T. V. Durability properties of geopolymer concrete with CFA and metakaoline. In: *International Journal of Science and Technology Research*, 9(9), 2020 pp. 9. <https://www.ijstr.org/final-print/jan2020/Durability-Properties-Of-Geopolymer-Concrete-With-Flyash-And-Metakaolin.pdf>.
17. VOINA, N.I. Teoria și practica utilizării cenușilor de la centralele termoelectrice. Ed. Tehnică, București, 1981, pp. 89-92.
18. CHEN, W., SHAIKH, F., LI, Z., RAN, W., HAO, H. Dynamic compressive properties of high volume coal fly ash (HVCFA) concrete with nano silica. In: *Construction and Building Materials*, 301, 124352, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124352>.
19. COPPOLA, L., COFFETTI, D., CROTTI, E. Plain and ultrafine coal fly ashes mortars for environmentally friendly construction materials. In: *Sustainability*, 10(3), 2018, pp. 74. <https://doi.org/10.3390/su10030874>.
20. **CHIRICUȚĂ, I.**, RUSU, I.. Tests Carried Out on Roads Containing Steel Mill Slag. In: *Current Trends in Civil & Struct. Eng.* 10(2): 2023. pp. 1-7. doi: 10.33552/CTCSE.2023.10.000733.
21. STAS 8942/3 - 90 Teren de fundare. Determinarea modului de deformare liniară prin încercări pe teren cu placa.
22. RUSU, I., **CHIRICUȚĂ, I.** Improving the Properties of Fly Ash by Mixing with Different Substances. In: „Meridian ingineresc”. nr. 4/2014. pp. 51 - 53. ISSN 1683-853X
23. **CHIRICUȚĂ, I.** Îmbunătățirea proprietăților cenușilor de termocentrală folosite în structurile rutiere prin amestec cu diferite substanțe - Al XIV-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, Cluj-Napoca, 10-13 sept 2014.
24. **CHIRICUȚĂ, I.** Replacement of Natural Aggregates Used in Road Structures with Steel Slag. In: *Journal of Engineering Science*. vol. XXVIII (2). 2021. pp. 120 – 124. ISSN 2587-3474.
25. **CHIRICUȚĂ, I.** Utilizarea zgurilor de oțelărie în structuri rutiere - studiu comparativ. Al XVI-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, Timișoara, 21-24 sept 2022.

## **LISTA PUBLICAȚIILOR LA TEMA TEZEI ALE AUTORULUI**

### **1. Articole în reviste internaționale**

- 1.1. Ion Chiricuță. Considerations on Using Slag Steel Works in Road Construction. Meridian ingineresc, nr. 2/2014, p. 52 – 54. ISSN 1683-853X.
- 1.2. Ion Rusu, Ion Chiricuță. Improving the Properties of Fly Ash by Mixing with Different Substances – revista „Meridian ingineresc” nr. 4/2014. p. 51 – 53. ISSN 1683-853X.
- 1.3. Ion Chiricuță. Utilizarea zgurilor de oțelărie în structuri rutiere – studiu comparativ. Meridian ingineresc, nr. 1/2016. p. 15-16. ISSN 1683-853X.
- 1.4. Ion Chiricuță. Replacement of Natural Aggregates Used in Road Structures with Steel Slag – Journal of Engineering Science, vol. XXVIII (2) 2021, p. 120 – 124. ISSN 2587-3474, eISSN 2587-3482.
- 1.5. Ion Chiricuță, Ion Rusu. Tests Carried Out on Roads Containing Steel Mill Slag - Current Trends in Civil & Structural Engineering 10(2), 2023. p. 1-7. ISSN 2643-6876.

### **2. Articole în culegeri internaționale**

- 2.1. Ion Rusu, Ion Chiricuță. Reducerea impactului asupra mediului al zgurilor de oțelărie prin utilizarea acestora în structuri rutiere - Al XIV-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, Cluj-Napoca, 10-13 sept 2014.
- 2.2. Ion Chiricuță. Îmbunătățirea proprietăților cenușilor de termocentrală folosite în structurile rutiere prin amestec cu diferite substanțe - Al XIV-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, Cluj-Napoca, 10-13 sept 2014.
- 2.3. Ion Chiricuță. Utilizarea zgurilor de oțelărie în structuri rutiere - studiu comparativ - Al XVI-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, Timișoara, 21-24 sept 2022.

## ADNOTARE

**Chiricuță Ion "Utilizarea cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în structurile rutiere", teză de doctor în științe ingineresti.**

**Specialitatea: 211.02 - Materiale de construcții, elemente și edificii. Chișinău, 2025**

**Structura tezei:** introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 137 titluri, 8 anexe, 101 pagini de text de bază, 50 figuri, 38 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 8 articole științifice.

**Cuvinte-cheie:** cenuși de termocentrală, zguri de oțelărie, agregate, structură rutieră, mediul înconjurător.

**Scopul lucrării:** argumentarea teoretică și confirmarea experimentală a posibilităților utilizării în calitate de agregate a cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie la producerea mixturilor asfaltice pentru structurile rutiere.

**Obiectivele cercetării:** studiul patento-bibliografic al proprietăților și posibilităților tehnico-economice de utilizare a cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în calitate de agregate la realizarea structurilor rutiere; optimizarea componenței și a proprietăților mixturilor asfaltice cu conținut de cenuși de termocentrală și zgură de oțelărie pentru a fi utilizate în structurile rutiere; aprobarea rezultatelor studiilor și cercetărilor științifice în condiții de teren privind oportunitatea utilizării cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în calitate de agregate la realizarea structurilor rutiere.

**Noutatea și originalitatea științifică:** constă în argumentarea științifică și confirmarea experimentală a utilizării cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie la realizarea structurilor rutiere și analiza comparativă a diferitelor procese tehnologice de optimizare a proprietăților acestor reziduuri pentru valorificarea lor cât mai eficientă și elaborarea de noi rețete de mixturi asfaltice cu conținut de cenușă de termocentrală și zgură de oțelărie.

**Rezultatele obținute care contribuie la soluționarea problemei științifice:** constau în totalitatea de prevederi teoretice, rezultate ale cercetărilor științifice și încercări ce determină eficiența utilizării pentru producerea mixturilor asfaltice a cenușilor de termocentrală și zgurilor de oțelărie; confirmarea experimentală în condiții practice a rezultatelor studiilor teoretice ce au arătat eficiența utilizării cenușilor de termocentrale și a zgurilor de oțelărie pentru producerea mixturilor asfaltice; rezultatele încercărilor de teren, realizate pe straturi rutiere, ce conțin cenuși de termocentrală și zguri de oțelărie.

**Semnificația teoretică:** constă în confirmarea prin rezultatele studiilor patento-bibliografice, cercetărilor științifice experimentale în condiții de laborator, încercări în condiții practice de teren, calculelor efectuate a eficienței utilizării cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie pentru prepararea mixturilor asfaltice pentru construirea structurilor rutiere și comparațiile între rezultatele obținute cu valorile caracteristicilor din normative, fapt care confirmă viabilitatea utilizării acestor reziduuri în structurile rutiere.

**Valoarea aplicativă:** constă în tehnologiile propuse de procesare a cenușilor de termocentrală și zgurilor de oțelărie pentru utilizarea ca agregate minerale pentru prepararea mixturilor asfaltice; tehnologiile propuse de producere a mixturilor asfaltice cu conținut de cenuși de termocentrală și zgură de oțelărie; reducerea volumelor și a suprafețelor ocupate de reziduurile industriale, a răspândirii și influenței lor în mediul ambiant.

**Implementarea rezultatelor științifice:** rezultatele cercetărilor constituie o confirmare argumentată și utilă pentru elaborarea și optimizarea rețetelor de mixturi asfaltice cu conținut de cenușă de termocentrală și zgură de oțelărie și stabilirea condițiilor în care aceste reziduuri industriale pot înlocui cu succes agregatele naturale, cu posibilitatea aplicării acestora în practică, la tronsoane de drumuri realizate parțial sau integral din mixturi asfaltice cu conținut de cenuși de termocentrală și zguri de oțelărie.

## АННОТАЦИЯ

**Кирикуцэ Ион "Использование зол теплоэлектростанций и шлаков металлургических заводов в дорожных одеждах", диссертация на соискание ученой степени доктора по техническим наукам. Специальность: 211.02 – Строительные материалы, изделия и конструкции. Кишинэу, 2025**

**Структура диссертации:** введение, четыре главы, общие выводы и рекомендации, библиография из 137 наименований, 8 приложений, 101 страниц основного текста, 50 рисунков, 38 таблиц. Полученные результаты опубликованы в 8-ми научных статьях.

**Ключевые слова:** зола теплоэлектростанций, шлак металлургический, заполнители, дорожная конструкция, окружающая среда.

**Цель работы:** теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение возможностей использования в качестве заполнителей золы теплоэлектростанций и шлаков металлургических заводов при производстве асфальтобетонных смесей для дорожных конструкций.

**Задачи исследований:** патентно-информационный поиск свойств и технико-экономические возможности использования зол теплоэлектростанций и шлаков металлургических заводов в качестве заполнителей для выполнения дорожных одежд; оптимизация составов и свойств асфальтобетонных смесей, содержащих золы теплоэлектростанций и металлургических шлаков для их использования в дорожном строительстве; апробация результатов научных исследований в производственных условиях для подтверждения целесообразности использования золы теплоэлектростанций и шлаков металлургических заводов в качестве заполнителей для строительства дорог.

**Научная новизна и оригинальность результатов исследований:** научное обоснование и экспериментальное подтверждение использования золы теплоэлектростанций и шлаков металлургических заводов в дорожном строительстве и сравнительном анализе различных технологических процессов оптимизации их свойств для эффективного использования и разработки новых рецептур дорожных одежд.

**Научная значимость:** полученных результатов заключается в обосновании и экспериментальном подтверждении методик использования золы теплоэлектростанций и металлургических шлаков в дорожном строительстве, оказавших эффект замены природных материалов, для их последующего использования. в дорожном строительстве.

**Теоретическая значимость:** подтверждение результатами патентно-библиографических поисков, результатами научных исследований, испытаниями в полевых условиях и расчетами эффективности использования золы теплоэлектростанций и шлаков металлургических заводов для приготовления асфальтобетонных смесей для строительства дорог и сравнение полученных результатов со значениями из нормативных документов, что подтверждает целесообразность их использования.

**Прикладное значение:** заключается в предложенные технологии переработки зол теплоэлектростанций и металлургических шлаков для их использования в качестве заполнителей асфальтобетонных смесей; предложенные технологии производства асфальтобетонных смесей с содержанием зол теплоэлектростанций и металлургических шлаков; сокращение объемов и территорий для хранения промышленных отходов и их распространение и влияние на окружающую среду.

**Внедрение научных результатов:** результаты производственных испытаний являются аргументированным подтверждением для разработки и оптимизации рецептур асфальтобетонных смесей, содержащих шлаки металлургических заводов и золу теплоэлектростанций и установления условий, при которых эти промышленные отходы могут успешно заменять природные заполнители, с возможностью их применения на практике при строительстве дорог.

## ANNOTATION

**Chiricuță Ion "The use of power plant ash and steel mill slag in road structures",  
PhD thesis in engineering sciences.**

**Specialty: 211.02 - Construction materials, elements and buildings. Chisinau, 2025**

**Structure of the thesis:** introduction, four chapters, general conclusions and recommendations, bibliography of 137 titles, 8 Annexes, 101 pages of basic text, 50 figures, 38 tables. The obtained results are published in 8 scientific articles.

**Key words:** steel mill slag, power plant ash, aggregates, road structure, environment.

**The purpose of the work:** theoretical argumentation and experimental confirmation of the possibilities of using as aggregates the ashes of thermal power plants and steel mill slags in the production of asphalt mixtures for road structures.

**The objectives of the research:** the patent-bibliographic study of the properties and the technical-economic possibilities of using thermal power plant ashes and steel mill slag as aggregates for the construction of road structures; optimization of the composition and properties of asphalt mixtures containing power plant ash and steel mill slag for use in road structures; approving the results of studies and scientific research in field conditions regarding the opportunity to use power plant ash and steel mill slag as aggregates for the construction of road structures.

**The scientific novelty and originality:** consists in the scientific argumentation and experimental confirmation of the use of power plant ash and steel mill slag in the construction of road structures and the comparative analysis of the various technological processes for optimizing the properties of these residues for their most efficient utilization and the development of new recipes for asphalt mixes containing power plant ash and steel mill slag.

**The obtained results that contribute to the solution of the scientific problem:** consist of the totality of theoretical provisions, results of scientific research and tests that determine the efficiency of using power plant ash and steel mill slag for the production of asphalt mixtures; the experimental confirmation in practical conditions of the results of the theoretical studies that showed the efficiency of the use of power plant ash and steel mill slag for the production of asphalt mixtures; the results of field tests, carried out on road layers, containing power plant ash and steel mill slag.

**The theoretical significance:** consists in confirmation through the results of patent-bibliographic studies, experimental scientific research in laboratory conditions, tests in practical field conditions, calculations made of the efficiency of the use of thermal power plant ashes and steel mill slag for the preparation of asphalt mixtures for the construction of road structures and the comparisons between the results obtained with the characteristic values from the regulations, a fact that confirms the viability of using these residues in road structures.

**The applicative value:** consists in the proposed technologies for processing power plant ash and steel mill slag for use as mineral aggregates for the preparation of asphalt mixtures; the proposed technologies for the production of asphalt mixtures containing power plant ash and steel mill slag; reducing the volumes and surfaces occupied by industrial residues, their spread and influence in the environment.

**Implementation of the scientific results:** the research results constitute a reasoned and useful confirmation for the development and optimization of the recipes of asphalt mixtures containing power plant ash and steel mill slag and establishing the conditions in which these industrial residues can successfully replace natural aggregates, with the possibility of their application in practice, to road sections made partially or entirely of asphalt mixtures containing power plant ash and steel mill slag.

**CHIRICUȚĂ ION**

**UTILIZAREA CENUȘILOR DE TERMOCENTRALĂ ȘI A  
ZGURILOR DE OȚELĂRIE ÎN STRUCTURILE RUTIERE**

**211.02 ”MATERIALE DE CONSTRUCȚII, ELEMENTE ȘI EDIFICII”**

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

Aprobat spre tipar: 10.03.2025

Formatul hârtiei 60x84 1/16

Hârtie offset. Tipar RISO.

Tiraj 40 ex.

Coli de tipar.: 2,0

Comanda nr. 44

UTM, MD 2004, mun. Chișinău, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, nr. 168.

Editura „TEHNICA-UTM”

MD 2045, mun. Chișinău, str. Studenților 9/9