



## RAPORT DE INVESTIGARE

**pentru stabilirea condițiilor și determinarea cauzelor care au condus la ruperea unui număr mare de șine, în perioada 2010-2011, pe raza de activitate a Sucursalei Regionale C.F. Iași – Secția L4 Bacău, pe linia magistrală nr. 500, pe liniile I și II între stațiile de cale ferată Adjud și Bacău**



*Raport final  
23 ianuarie 2012*

## AVIZ

În cazul celor 2 defecțiuni tehnice ale constituantului de interoperabilitate „șină de cale ferată” înregistrate perioada 01.01.2010 – 01.02.2011 pe raza de activitate a Sucursalei Regionale CF Iași, secția de circulație Adjud – Bacău, manifestate prin ruperea șinelor - 61 de cazuri și defecte de categoria I ale șinelor - 237 de cazuri, Organismul de Investigare Feroviar Român a desfășurat o acțiune de investigare în conformitate cu prevederile Regulamentului de investigare a accidentelor și a incidentelor, de dezvoltare și îmbunătățire a siguranței feroviare pe căile ferate și pe rețeaua de transport cu metroul din România aprobat prin HG nr. 117/2010.

Prin acțiunea de investigare desfășurată au fost strânse și analizate informațiile în legătură cu producerea celor 61 de ruperi de șine și apariția celor 237 de șine defecte de categoria I, au fost stabilite condițiile și determinate cauzele.

Acțiunea Organismului de Investigare Feroviar Român nu a avut ca scop stabilirea vinovăției sau a răspunderii în acest caz.

Organismul de Investigare Feroviar Român consideră necesar a fi luate măsuri corective în scopul îmbunătățirii siguranței feroviare și prevenirii accidentelor, drept pentru care, a emis în prezentul raport o serie de recomandări de siguranță.

*București, 23 ianuarie 2012*

*avizez favorabil*

**Director**  
Dragoș FLOROIU

*Constat respectarea prevederilor legale  
privind desfășurarea acțiunii de  
investigare și întocmirea prezentului  
Raport de investigare pe care îl **propun**  
spre avizare*

**Investigator Șef**

**Prezentul Aviz face parte integrantă din Raportul de investigare privind stabilirea condițiilor și determinarea cauzelor care au condus la ruperea unui număr mare de șine, în perioada 2010-2011, pe raza de activitate a Sucursalei Regionale C.F. Iași – Secția L4 Bacău, pe linia magistrală nr. 500, pe liniile I și II între stațiile de cale ferată Adjud și Bacău**

## **SUMAR**

<b>I. Preambul</b>	<b>4</b>
<b>I.1. Introducere</b>	<b>4</b>
<b>I.2. Procesul investigației</b>	<b>4</b>
<b><u>A. Rezumatul defectiunilor tehnice</u></b>	<b>5</b>
<b>A.1. Descriere pe scurt</b>	<b>5</b>
<b>A.2. Cauza directă, factori care au contribuit și cauze primare</b>	<b>5</b>
A.2.1. Cauza directă	5
A.2.2. Cauze subiacente	5
A.2.3. Cauze primare	6
<b>A.3. Recomandări de siguranță</b>	<b>6</b>
<b><u>B. Raportul de investigare</u></b>	<b>7</b>
<b>B.1. Descrierea apariției defectelor constituantului de interoperabilitate “șină de cale ferată”</b>	<b>7</b>
B.1.1. Verificări efectuate anterior datei de 10.03.2011	7
B.1.2. Verificări efectuate după data de 10.03.2011	8
B.1.3. Studiul vizual, pe teren (in situ), referitor la apariția defectelor și evoluția acestora până la ruperea șinelor	10
<b>B.2. Circumstanțele apariției defectelor</b>	<b>14</b>
B.2.1. Starea suprastructurii și infrastructurii căii pe secția de circulație Adjud-Bacău la momentul începerii investigației	14
B.2.2. Părțile implicate	15
<b>B.3. Urmările apariției defectelor structurale</b>	<b>15</b>
B.3.1. Pagube materiale	16
<b>B.4. Desfășurarea investigației</b>	<b>16</b>
B.4.1. Sistemul de management al siguranței	16
B.4.2. Norme și reglementări. Surse și referințe pentru investigare	17
B.4.3. Funcționarea instalațiilor tehnice, infrastructurii și a materialului rulant	17
B.4.3.1. Date constatate cu privire la șinele de cale ferată	17
<b>B.5. Analiză și concluzii</b>	<b>41</b>
B.5.1 Concluzii privind starea tehnică a șinelor	41
B.5.2 Concluzii privind modul de producere a defectelor în șine	43
<b>B.6. Cauza directă, factori care au contribuit și cauze primare</b>	<b>43</b>
B.6.1. Cauza directă.	43
B.6.2. Cauze subiacente	43
B.6.3. Cauze primare	44
<b><u>C. Recomandări de Siguranță</u></b>	<b>44</b>

## **I. PREAMBUL**

### **I.1. Introducere**

Organismul de Investigare Feroviar Român fiind avizat de producerea unor defecțiuni ale subsistemului infrastructură, încadrat în conformitate cu prevederile ***Regulamentului de investigare a accidentelor și a incidentelor, de dezvoltare și îmbunătățire a siguranței feroviare pe căile ferate și pe rețeaua de transport cu metroul din România***, aprobat prin HG nr. 117/2010, denumită în continuare *Regulament*, conform art 48 alin. (2) a numit președintele comisiei de investigare în scopul declanșării acțiunii de investigare, pentru stabilirea condițiilor, determinarea cauzelor și emiterea unor recomandări de siguranță în vederea prevenirii incidentelor cu cauze asemănătoare.

Acțiunea de investigare a comisiei nu a avut ca scop stabilirea vinovăției sau a răspunderii, obiectivul acesteia fiind îmbunătățirea siguranței feroviare și prevenirea accidentelor sau incidentelor feroviare.

### **I.2. Procesul investigației**

Prin Decizia nr. 53 din 10.03.2010, a directorului OIFR, în conformitate cu prevederile art. 19, alin. (2) din Legea nr. 55/2006 privind siguranța feroviară, a fost numită comisia de investigare formată din:

- |                       |  |                          |
|-----------------------|--|--------------------------|
| • Eduard STOIAN       | - șef serviciu OIFR  | - investigator principal |
| • Dumitru SFÂRLOS     | - investigator OIFR  | - membru                 |
| • George Radu PIPA    | - șef divizie linii-SRCF Iași  | - membru                 |
| • Petre SCHIPOR       | - revizor regional SCL-SRCF Iași   | - membru                 |
| • Constantin BĂRBINȚĂ | - inginer în cadrul SNTFM<br>„CFR Marfă” SA-Sucursala Moldova,<br>cadru didactic asociat al Universității<br>Tehnice „Gh Asachii” Iași | - membru                 |

Procesul de realizare a investigației a impus parcurgerea etapei privind efectuarea de încercări mecanice, analize chimice și metalografice pe eșantioane prelevate din șina tip R65.

Deoarece OIFR nu dispune de dotările tehnice și personal de specialitate pentru realizarea acestei etape, în conformitate cu prevederile art. 20 alin. (4) din Legea nr.55/2006 privind siguranța feroviară și ale art. 52 din Regulamentul de investigare a accidentelor și a incidentelor, de dezvoltare și îmbunătățire a siguranței feroviare pe căile ferate și pe rețeaua de transport cu metroul din România, aprobat prin HG nr.117/2010, OIFR a apelat la serviciile Organismului Notificat Feroviar Român, care dispune de personal autorizat și laboratoare cu dotările necesare efectuării încercărilor mecanice, analizelor chimice și metalografice pe eșantioane prelevate din șina tip R65.



## **A. REZUMATUL DEFECTIUNILOR TEHNICE**

### **A.1. Descriere pe scurt**

În perioada 01.10.2010-01.02.2011 pe secția de circulație delimitată de stațiile CFR Adjud și Bacău, pe linia curentă firul I și II, între km 248+000 - 300+000 s-au produs un număr de 61 defecțiuni tehnice ale constituenților de interoperabilitate „șină de cale ferată” manifestate prin ruperea șinelor, înregistrându-se un număr de 32 șine rupte pe firul I de circulație și un număr de 29 șine rupte pe firul II de circulație.

În cursul lunilor august și septembrie 2011 s-au mai rupt 2 șine, numărul total de șine rupte înregistrate la finalul lunii septembrie 2011 fiind de 63 buc. șine.

Ruperea șinelor s-a produs la temperaturi negative înregistrate în perioada de iarnă, dar și la temperaturi pozitive înregistrate în perioada vară-toamnă. În secțiunea de rupere s-a constatat formarea unei pete de culoare argintie sau de culoare închisă, specifică defectului 20, clasificat conform prevederilor *Instrucției pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale nr. 306/1972*.

Pe aceeași secție de circulație, între aceleași stații și pe aceeași zonă kilometrică, la verificarea nedistructivă a șinelor efectuată cu defectoscopul ultrasonic în luna octombrie 2010, au fost desoperite un număr de 237 șine defecte, care în conformitate cu prevederile din *Instrucției pentru determinarea defectelor șinelor și verificarea șinelor în cale nr. 306/1972* se clasifică ca șine defecte de categoria I.

Pe timpul derulării acțiunii de investigare la verificarea nedistructivă a șinelor în cale efectuată în luna septembrie 2011 au mai fost descoperite un număr de 371 șine defecte de categoria I, astfel încât numărul total de șine defecte de categoria I la finalul lunii septembrie 2011 a fost de 608 șine.

Toate aceste șine de categoria I au același tip de defect și același mod de evoluție cu defectul care a condus la ruperea celor 63 de șine.

Toate șinele rupte și șinele defecte de categoria I, la care s-a făcut referire sunt șine tip R65 fabricate de Azovstal din Ucraina (fosta URSS) în perioada 1989-1991. Aceste șine au fost introduse în cale cu ocazia lucrărilor de reparație capitală (RK) executate în perioada 1989-1992.

### **A.2. Cauza directă, factori care au contribuit și cauze primare**

#### **A.2.1. Cauză directă**

**Cauza directă** a producerii celor două defecțiuni tehnice ale constituenților de interoperabilitate „șină de cale ferată” a fost scăderea rezistenței la rupere șinelor în condițiile aplicării în timp a unor sarcini variabile din trafic care au dus la ruperea șinelor, la tensiuni mai mici decât rezistența la rupere a oțelului din șine.

Ruperea care apare în condițiile aplicării în timp a unor sarcini variabile este o rupere la oboseală.

Oboseala oțelului din șină se manifestă prin apariția și dezvoltarea fisurilor în zona de contact roată-șină și prin deformări plastice asociate fenomenelor de ecruisare.

Natura și mai ales evoluția defectelor indică faptul că, acestea au drept cauză oboseala materialului (oțelului) prin solicitările dinamice repetate.

#### **A.2.2. Cauze subiacente**

1. Nerespectarea prevederilor art.21, pct. 1 din Instrucția de norme și toleranțe pentru construcția și întreținerea căii - linii cu ecartament normal nr. 314/1989, care prevăd faptul că, nu se admite menținerea în cale a șinelor cu defecte de categoria I, acestea trebuind înlocuite în cel mai scurt timp, respectiv în maximum 5 zile de la constatare.
2. Nerespectarea prevederilor *Instrucției pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale nr. 306/1972*, referitoare măsurile care trebuie luate atunci când este identificat defectul tipul 20, respectiv: “Din șina ruptă se va trimite un cupon la Institutul de Studii și Cercetări transporturi pentru analiză, iar DGLI va dispune a se lua măsuri pe baza rezultatelor”.

### **A.2.3. Cauze primare**

Nu au fost identificate cauze primare.

### **A.3. Recomandări de siguranță**

Destinatarul recomandărilor de siguranță este Compania Națională de Căi Ferate “CFR” S.A în calitate de administrator al infrastructurii feroviare.

Recomandările sunt direcționate pentru soluționarea următoarelor aspecte:

1. Pe liniile a căror suprastructură este construită cu șine tip R65 fabricate de Azovstal din Ucraina (fosta URSS) în perioada 1989-1991, până la executarea lucrărilor de refacție de șine, se recomandă a se evita efectuarea lucrărilor de buraj, ripaj, stabilizare dinamică și ciuruire mecanizată cu mașini grele de cale pentru a nu determina apariția defectelor prin solicitările dinamice transmise de utilaje către șine, în timpul procesului tehnologic.
2. Evitarea executării reparațiilor prin sudură a suprafețelor șinelor cu defecte în condițiile în care materialul din care sunt confecționate acestea este afectat de procesul de oboseală.
3. Completarea prevederilor instrucției nr. 306/1972:
  - prin introducerea în clasificarea actuală a defectelor șinelor defectelor cauzate de fenomenul de oboseală și a termenilor existenți în fișa UIC nr.712 pentru definirea defectelor șinelor cu defectele cauzate de fenomenul de oboseală (ex. squats, head checks, shelling, belgrospis);
  - cu modalități de identificare, verificare, urmărire în timp și rectificare a uzurii ondulatorii;
  - cu stabilirea condițiilor de circulație în funcție de categoria defectelor șinelor.
4. Introducerea în nomenclatorul de lucrări de întreținere și reparații a șinelor, cuprins în instrucțiile actuale, a lucrărilor și proceselor tehnologice referitoare la: șlefuirea, frezarea sau rabotarea șinelor în cadrul lucrărilor de mentenanță.

#### ***Măsuri referitoare la șina tip R65 fabricată de Azovstal din Ucraina (fosta URSS) în perioada 1989-1991***

1. Inventarierea pe întreaga rețea feroviară a tronsoanelor de linie construite cu șină tip R65 produsă de Azovstal din Ucraina (fosta URSS) în perioada 1989-1991, verificarea lor amănunțită pentru identificarea eventualelor șine cu defecte similare celor apărute pe linia Adjud-Bacău și stabilirea în consecință a măsurilor care se impun pentru asigurarea siguranței feroviare.
2. Identificarea aparatelor de cale care au fost construite cu șine având același producător și stabilirea în consecință a măsurilor care se impun pentru asigurarea siguranței feroviare.

Prezentul Raport de Investigare se va transmite administratorului infrastructurii feroviare publice Compania Națională de Căi Ferate “CFR” S.A și Autorității de Siguranță Feroviară Română.

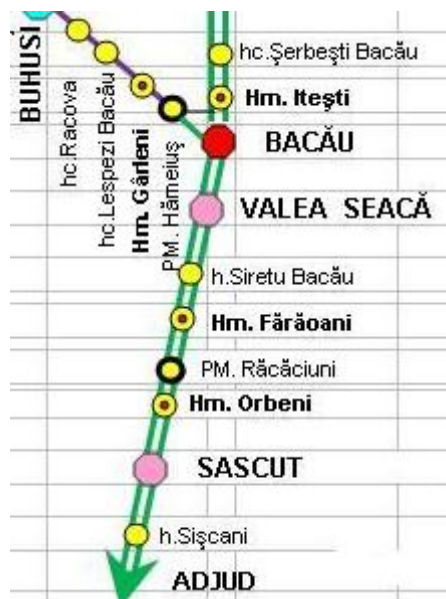
## B. RAPORTUL DE INVESTIGARE

### B.1. Descrierea apariției defectului constituentului de interoperabilitate “șină de cale ferată”

#### B1.1. Verificări efectuate anterior datei de 10.03.2011

Începând cu data de 01.01.2010 și până la data de 01.02.2011 pe linia dublă, electrificată, construită cu șină tip R65 tratată termic superficial, cale fără joante (cale sudată), de pe secția de circulație delimitată de stațiile CFR Adjud-Bacău, între km 248+000 - 300+000, s-a înregistrat un număr de **61** de ruperi de șine, dintre care 32 ruperi s-au produs pe firul I de circulație și 29 ruperi s-au produs pe firul II de circulație.

Localizarea arealului de apariție defectelor este prezentată - figura 1



*figura 1. arealul de apariție defectelor*

Toate cele 61 de șine rupte au fost produse de aceeași firmă din fosta URSS între anii 1989 și 1991. Ruperile de șină produse în afara joantelor au o caracteristică comună și anume existența unei pete argintii sau negre în secțiunea inimii sau a ciupercii șinei, ceea ce a condus la o încadrare inițială a defectului de rupere la 20 sau 70 conform *Instrucției nr. 306/1997 (retipărită în 1997) pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale*.

Pentru a ține sub control această evoluție nefavorabilă a stării căii fără joante pe distanța mai sus menționată s-au verificat în toamna anului 2010 toate șinele din cale cu defectoscopul ultrasonic autopropulsat RFD măsurătorile scoțând în evidență următoarea situație pe linia curentă Adjud-Bacău firul I și II:

- pe firul I de circulație au fost descoperite 120 de șini defecte de categoria I, iar firul II de circulație s-au descoperit 117 de șine defecte de categoria I;
- majoritatea defectelor de categoria I descoperite au fost încadrate conform prevederilor *Instrucției pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale nr. 306/1997* corespund defectului 20.2d, respectiv “crăpături transversale în ciupercă (pată argintie sau pată neagră)”.

Verificarea șinelor cu defectoscopul ultrasonic efectuată în iarna 2010-2011 a reconfirmat numărul șinelor defecte de categoria I înregistrate în toamna anului 2010.

Șinele care s-au rupt și șinele pe care s-au înregistrat defectele de categoria I sunt șine tip 65R, fabricate în perioada 1989-1991 de către același producător din URSS, actualmente Azovstal din Ucraina și care au fost introduse în cale în perioada 1989-1992 cu ocazia efectuării lucrărilor de reparație capitală (RK) și resudură a căii fără joante.

### ***B1.2. Verificări efectuate după data de 10.03.2011***

În cadrul programului de investigare luna mai 2011 a fost efectuată o verificare suplimentară a șinelor cu defectoscopul ultrasonic pe firul I și II de circulație de pe secția de circulație Adjud-Bacău, verificare care a fost refăcută și în luna septembrie 2011 în cadrul programului de verificare stabilit în conformitate cu prevederile Instrucției pentru controlul nedistructiv al șinelor nr.348/1972.

În urma acestor verificări numărul de șine defecte de categoria I noi descoperite a fost de 371 șine defecte.

În lunile august și septembrie 2011 pe liniile curente dintre aceleași stații s-au mai rupt 2 șine, astfel că la finalul lunii septembrie 2011 situația șinelor rupte și a șinelor defecte era următoarea:

sine rupte

- 63 şine din care:
  - 33 şine rupte pe firul I de circulație;
  - 30 şine rupte pe firul II de circulație;

*şine defecte de categoria I*

- 608 şine defecte de categoria I din care:
  - 454 şine pe firul I de circulație;
  - 154 şine pe firul II de circulație

Menționăm că termenul șină folosit anterior definește șina din cuprinsul căii fără joante (linie continuă sudată) dintre două suduri. În cuprinsul unei șine pot exista mai multe defecte, astfel că numărul de șine defecte este mai mic decât numărul de defecte.

În urma analizării rezultatelor obținute la finalul lunii septembrie 2011, în conformitate cu prevederile pct.4.5 din Instrucția pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale nr. 306/1997, pe secția de circulație de limitată de stațiile CFR Adjud - Bacău, au fost identificate un număr de 6 zone cu probleme de șine pe firul I de circulație și 2 zone cu probleme de șine pe firul II de circulație. În conformitate cu prevederile pct.4.5 din Instrucția nr.306/1972, fiecare kilometru de cale pe care s-au depistat ori s-au produs în trei ani cumulativ, minimum cinci șine rupte sau defecte de categoria I sau a II-a se consideră drept zona cu probleme de șine și se notează în evidența șinelor defecte cu litera Z scrisă cu albastru și încercuită cu roșu.

*Linia curentă firul I Adjud - Bacău*

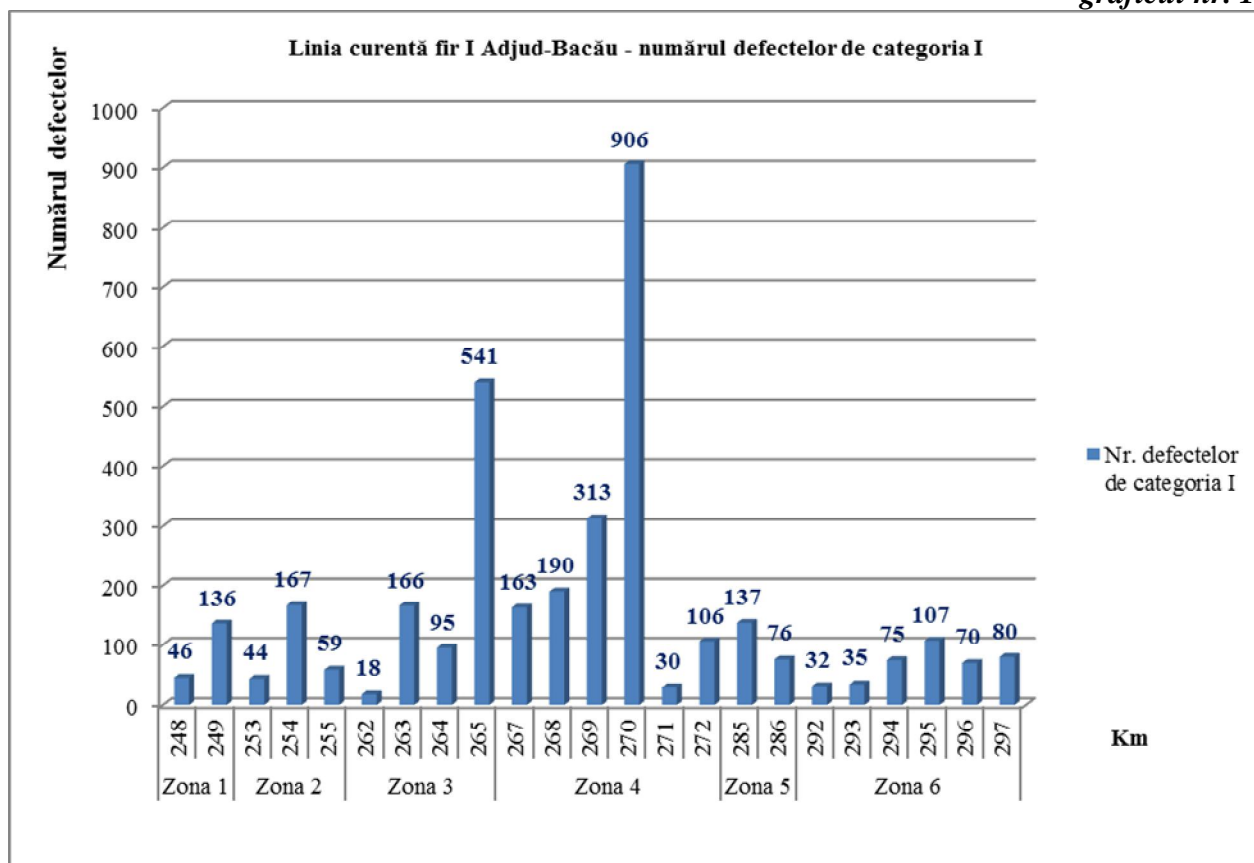
***Tabelul 1***

Nr. crt.	Kilometrul	Nr. șine rupte	Nr. șine defecte de categoria I	Nr. defectelor de categoria I din cuprinsul șinelor	Zone cu probleme de șine (Z <sub>i</sub> )
1	248	0	21	46	Z <sub>1</sub> Adjud-Șișcani
2	249	1	12	136	
3	253	2	11	44	Z <sub>2</sub> Șișcani-Sascut
4	254	0	10	167	
5	255	0	9	59	
6	262	0	15	18	Z <sub>3</sub> Sascut-Orbeni
7	263	0	12	166	
8	264	3	29	95	
9	265	0	21	541	
10	267	1	15	163	Z <sub>4</sub> Orbeni-Răcăciuni
11	268	2	24	190	
12	269	3	24	313	
13	270	0	15	906	
14	271	3	15	30	
15	272	1	9	106	
16	285	1	7	137	Z <sub>5</sub> Fărăoani-H.Siret
17	286	2	16	76	

18	292	0	10	32	<b>Z<sub>6</sub></b> <b>Valea Seacă-Bacău</b>
19	293	0	14	35	
20	294	0	18	75	
21	295	0	23	107	
22	296	1	10	70	
23	297	1	7	80	
<b>Total</b>			<b>21</b>	<b>347</b>	<b>3592</b>

*Reprezentarea grafică a numărului defectelor  
pe linia curentă firul I Adjud – Bacău*

*graficul nr. 1*



*Linia curentă firul II Adjud – Bacău*

*Tabelul 2*

Nr. crt.	Kilometrul	Nr. șine rupte	Nr. șine defecte de categoria I	Nr. defectelor de categoria I din cuprinsul șinelor	Zone cu probleme de șine (Z <sub>i</sub> )
1	248	1	24	157	<b>Z 1</b> <b>Adjud-Șișcani</b>
2	249	0	13	42	
3	250	3	20	5	
4	253	4	12	0	<b>Z 2</b> <b>Șișcani-Săscut</b>
5	254	5	11	0	
6	255	3	18	0	
<b>Total</b>			<b>15</b>	<b>98</b>	<b>204</b>

***B1.3. Studiul vizual, pe teren (in situ), referitor la apariția defectelor și evoluția acestora până la ruperea șinelor.***

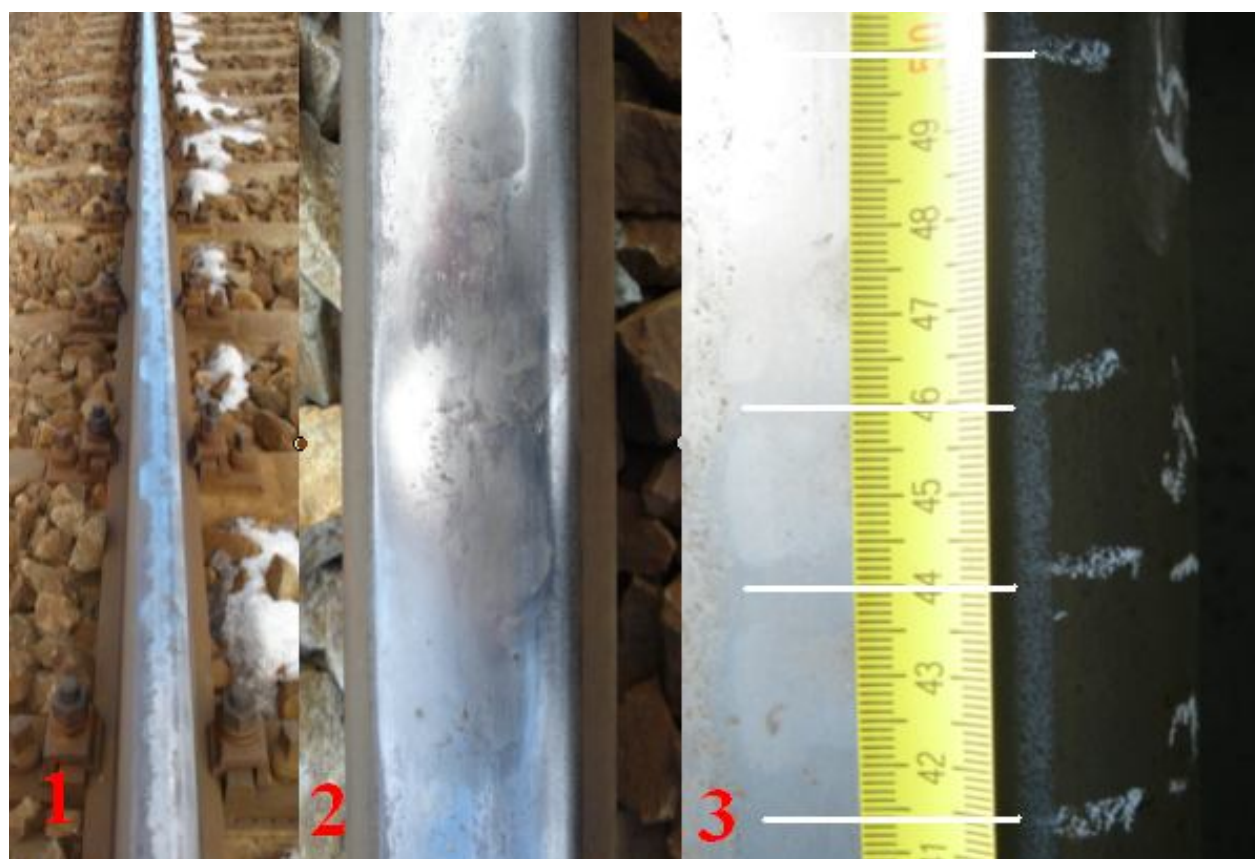
S-au vizualizat și fotografiat toate șinele defecte, depistate în cale pe zona 4 (Z4) de pe linia I între stațiile Orbeni și Fărăoani și cele de pe zona 2 (Z2) de pe linia II între stațiile Adjud și Sascut. Din studierea aspectului exterior al zonelor cu defecte și a zonelor adiacente acestora și compararea lor cu tipurile de defecte prezentate în Instrucția pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale nr. 306/1972 s-au putut identifica următoarele etape ale evoluției stării tehnice a șinei în exploatare, până la producerea ruperii.

***Etapa 1***

În această primă etapă apare o uzură ondulatorie cu lungimea de undă scurtă de 3-4 cm cu următoarele caracteristici:

- zona concavă apare pe suprafața de rulare a ciupercii șinei pornind dinspre axul acesteia înspre axul liniei;
- între zonele concave pe lungimea de 3-4 cm apare o uzură convexă cu o lungime de 1-2 cm

Defectul corespunde celui identificat cu simbolul 49.2a din Instrucția pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale nr. 306/1972 și este de categoria a- III-a.



***foto nr.1- uzură ondulatorie linia II Km 248+335 șina din partea stângă***



### Etapa a 2-a

Părțile concave ale uzurii ondulatorii se dezvoltă și apar în mod mai vizibil de partea laterală în lungul șinei, la partea interioară a liniei. Distanța dintre concavități este de 50-60 cm. În acest stadiu defectul corespunde celui identificat cu simbolul 40.2a din Instrucția pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale nr. 306/1972. Dacă adâncimea concavității este mai mică de 2 mm defectul este de categoria a-II-a



*foto nr. 2- dispunerea concavităților linia II Km 248+335  
șina din partea stângă*

Pe suprafața de rulare fisurile se dezvoltă tot mai mult, concomitent cu acestea producându-se și exfolieri de material.

Conform prevederilor Instrucției pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale nr. 306/1972, acest defect este încadrat ca defect 40.2.c, fiind un defect de categoria I.

Litera „c” corespunde conform aceleiași instrucții unei uzuri ondulatorii cu lungime mare de undă.



*foto nr.3 - apariția fisurilor în concavitate (tip squats)  
linia II Km 248+080 șina din partea stângă*

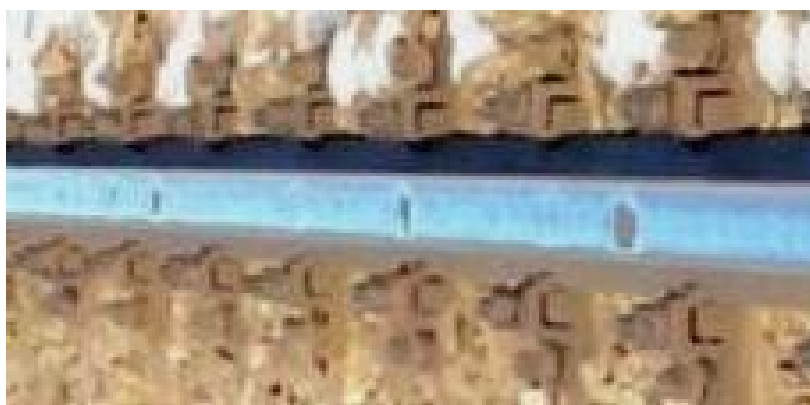
Aceste fisuri se accentuează și se dezvoltă tot mai mult căpătând aspectul de fisuri înclinate tip „head checs”.



*foto nr.4 - apariția fisurilor înclinate (tip head checs)  
linia I Km 248+080 șina din partea dreaptă*

#### *Etapă a 3-a*

În această etapă părțile concave ale unei uzuri ondulatorii, dispuse la 50-60 cm, se adâncesc având un aspect de pată închisă la culoare. Aceste gropi incipiente în suprafața de rulare a șinei au adâncimi de de 0,1-0,5 mm - foto nr.5.



*foto nr.5 - linia II Km 254+760 șina din partea stângă*



#### Etapa a 4-a

Adânciturile din suprafața de rulare a șinei, corespunzătoare zonelor concave ale uzurii ondulatorii, se dezvoltă prin propagarea fisurilor și exfolierii materialului de la suprafața de rulare. Mărima adânciturii poate progresa ajungând la 3-4 mm - foto nr.6.



*foto nr.6 - extinderea pe verticală a zonelor concave fisurate linia II Km 256+670 șina din partea stângă*

Defectul se extinde și în lungul suprafeței de rulare putând ajunge la lungimi mai mari de 15-20 cm. În aceste stadii defectul corespunde celui identificat cu simbolul 40.2c din Instrucția pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale nr. 306/1972 și corespunde unui defect de categoria I - foto nr.7.



*foto nr.7- extinderea pe orizontală a lungimii zonelor concave fisurate linia II Km 256+200 șina din partea dreaptă*

#### Etapa 5

În această etapă are loc ruperea șinei, datorită atingerii stării limită la rupere. În acest stadiu defectul poate corespunde unuia din următoarele defecte clasificate conform prevederilor Instrucția pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale nr. 306/1972: 20.2, 21.2 sau 70.2.

Cauzele ruperii celor 3 șine nu se pot stabili decât prin examinări, determinări și încercări de laborator.

Din studierea vizuală a secțiunilor de rupere se poate observa:

- un strat de 2-5 mm în care s-au dezvoltat fisurile, așezat pe o suprafață de separație bine definită lucioasă și striată la partea inferioară;
- existența unei pete negre (de oxidare) sau argintii în partea superioară a secțiunii de rupere; - foto nr.8



*foto nr.8 - secțiuni transversale de rupere*

Se observă zona de inițiere a fisurii, zona de propagare a fisurii cu aspect neted lucios și zona de rupere finală cu aspect grăunțos cristalin.

Din cele 63 de ruperi de șine analizate, în 90% din cazuri secțiunea formată la ruperea șinei are aspectul prezentat în foto nr.8. Ruperea șinei în acest mod se datorează apariției și dezvoltării fisurilor în zonele de efort maxim concomitent cu deformațiile plastice și fenomenul de ecruisare.

Prima concluzie în acest stadiu al cercetării a fost că pentru a răspunde întrebărilor rezultate din studiul vizual pe teren sunt necesare încercări de laborator pe eșantioane de șine defecte și rupte, scoase din cale.

Următoarea etapă urmată a fost de efectuare a încercărilor mecanice, analizelor metalografice și chimice efectuate pe eșantioane extrase din șina tip R65.

## **B.2. Circumstanțele apariției defectelor**

### **B.2.1. Starea suprastructurii și infrastructurii căii pe secția de circulație Adjud-Bacău la momentul începerii investigației**

#### Executarea ultimelor lucrări de RK

Pe cele 6 zone identificate ca zone cu probleme de șine de pe firul I de circulație (zone care se întind pe 23 km) ultimele lucrări de RK au fost executate astfel:

- pentru zonele Z1, Z2 și Z3 lucrările au fost executate în anul 1991
- pe zona Z4 lucrările au fost executate în perioada 1989-1990 ;
- pentru Z5 și Z6 lucrările au fost executate în anul 1990.

Pe firul II de circulație, pe cele 2 zone identificate cu probleme de șine Z1 și Z2 (zone care întind pe 6 km de cale) ultimele lucrări de RK au fost executate în anul 1977, iar în anul 1989 pe aceste zone au fost executate lucrări de înlocuire la rând a șinelor și resudarea acestora.

#### Executarea ultimelor lucrări de RPc – reparație periodică cu ciuruirea integrală a prisme de piatră spartă

Pe linia I, pe cele 6 zone ultimele lucrări de RPc s-au efectuat în perioada 2000 pentru Z2-Z4, 2001 pentru Z5, 2002 pentru Z6 și 2010 pentru Z1.

Pe linia II, pe cele 2 zone ultimele lucrări de RPc s-au efectuat în anul 2003

#### Tonajul scurs de la introducerea șinelor în cale

Pe zonele în care șina a fost introdusă în anul 1989 tonajul scurs până la începerea investigației a depășit 230 milioane de tone

Pe zonele în care șina a fost introdusă în anul 1990 tonajul scurs până la începerea investigației a depășit 200 milioane de tone

Pe zonele în care șina a fost introdusă în anul 1991 tonajul scurs până la începerea investigației a depășit 180 milioane de tone

#### Stare liniei conform rezultatelor măsurătorilor cu vagonul de măsurat calea

Din evaluarea măsurătorilor efectuate cu vagonul de măsurat calea atât pe linia I cât și pe linia II Adjud-Bacău în ultimii 5 ani conform a rezultat următoarea situație cu privire la nivelul stării căii în exploatare conform prevederilor Instrucției pentru folosirea vagoanelor de masurat calea nr. 329/1995 :

- măsurătorile s-au efectuat trimestrial;
- punctajele maxime cumulate au fost constatate în trimestrul IV 2009, an cu temperaturi scăzute peste medie în acea perioadă
- punctajul mediu pe kilometru nu a depășit valoarea de 47
- în procent de 90% kilometrii mășurați au calificativul „foarte bun”
- nu au fost kilometri mășurați care să fie clasificați cu calificativele satisfăcător sau nesatisfăcător

#### Evoluția vitezelor de circulație în perioada 2010-2011

Începând cu data de 28.01.2011 pe linia II Adjud-Sascut de la km 243+930 la 257+650 s-a limitat viteza de circulație la valoarea maximă de 80 km/h. de la viteza maximă de 120 km/h.

Începând cu data de 17.03.2011 pe linia I Orbeni Farauani de la km 266+875 la 282+060 s-a limitat viteza de circulație la valoarea maximă de 80 km/h. de la viteza maximă de 120 km/h.

#### **B.2.2. Părțile implicate**

Secția de circulație unde s-au produs rupele de șine și au fost descoperite șinele defecte de categoria I-a Adjud -Bacău este în administrarea CN CF „CFR” SA și este întreținută de salariații săi.

Infrastructura feroviară pe care s-au produs rupele de șină și au apărut șinele defecte,, aparține CN CF „CFR” SA și este întreținută de către personalul din cadrul secției L4 Bacău aparținând Sucursalei Regionale de Cale Ferată Iași.

#### **B.3. Urmările apariției defectelor**

Rupele de șine au condus de fiecare dată la întreruperea funcționării blocului de linie automat până la refacerea continuității șinei prin efectuarea reparației provizorii.

Efectuarea reparației provizorii pe calea fără joante prin scoaterea din cale a cuponului de șină ruptă și înlocuirea cu un panou tampon s-a făcut la fiecare intervenție în închidere de linie cu întreruperea circulației între două puncte de secționare.

Orice reparație provizorie pe calea fără joante trebuie urmată de o reparație definitivă cu aducerea temperaturii de fixare a șinei din cuprinsul căii fără joante în ecartul de 17°-27°C. și eliminarea întreruperilor prin sudura șinelor.

Începând cu data de 28.01.2011 pe linia II Adjud-Sascut de la km 243+930 la 257+650 și începând cu data de 17.03.2011 pe linia I Orbeni Farauani de la km 266+875 la 282+060 s-a limitat viteza de circulație la valoarea maximă de 80 km/h, viteza maximă a liniei fiind de 120 km/h. Consecința directă a limitării vitezei este creșterea timpului de mers pe cele două intervale de stație cu câte 5 minute pentru fiecare tren de călători.

### **B.3.1. Pagube materiale**

Pagubele materiale constau din valoarea cupoanelor de șină rupte și scoase din cale, a cupoanelor noi de șină introduse în cale, din manopera pentru executarea lucrărilor de reparație provizorie, și a manoperei prestată pentru executarea lucrărilor de reparație definitivă prin sudarea șinelor.

- Conform deviz nr 2.1/276-1/2011 a Diviziei Linii Iasi, o reparație provizorie la o șină ruptă fără detensionarea zonelor de respirație are o valoare medie a materialelor și manoperei de aproximativ 2550 lei. Pentru cele 63 de întreruperi reparate provizoriu valoarea lucrărilor a depășit **160650 lei**
- Conform deviz nr 2.1/276-2/2011 a Diviziei Linii Iasi, o reparație provizorie la o șină ruptă cu detensionarea zonelor de respirație și fixarea panoului tampon în ecartul neutru de temperatură are o valoare medie a materialelor și manoperei de aproximativ 4980 lei. Pentru cele 63 de întreruperi reparate provizoriu valoarea lucrărilor a depășit **318720 lei**
- Conform deviz nr 2.1/276-2/2011 a Diviziei Linii Iasi, o reparație definitivă la o șină ruptă cu detensionarea zonelor de respirație și fixarea panoului tampon în ecartul neutru de temperatură și eliminarea a două joante cu două suduri aluminotermice are o valoare medie a materialelor și manoperei de aproximativ 6000 lei. Pentru cele 64 de întreruperi pentru a fi reparate definitiv valoarea lucrărilor ar fi depășit **313740 lei**.
- Dacă cele 608 de șine defecte de categoria I ar fi scoase din cale conform prevederilor Instrucției pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale nr. 306/1972 și înlocuite prin introducerea în cale a unui cupon de șină nou și înglobarea acestuia în calea fără joante (sudarea) valoarea medie a unei astfel de înlocuiri ar fi costat aproximativ 6000, lei iar pentru toate șinele defecte **3648000 lei**.

Pe timpul limitărilor de viteză pagubele constau în creșterea consumului de energie și carburanți pentru toate trenurile de călători care circulă pe aceste zone cu viteza de 80 km/h în loc de 120 km/h.

### **B.4. Desfășurarea investigației**

#### **B.4.1. Sistemul de management al siguranței**

La momentul începerii procesului de investigare, CNCF „CFR” SA în calitate de administrator al infrastructurii feroviare publice, avea implementat sistemul propriu de management al siguranței feroviare, în conformitate cu prevederile Directivei 2004/49/CE privind siguranța pe căile ferate comunitare, a Legii nr. 55/2006 privind siguranța feroviară și a Ordinul ministrului transporturilor nr.101/2008 privind acordarea autorizației de siguranță administratorului/gestionarilor de infrastructură feroviară din România, aflându-se în posesia:

- Autorizației de Siguranță – Partea A cu nr. de identificare ASA 09002 eliberată la data de 21.12.2009 – prin care Autoritatea de Siguranță Feroviară Română din cadrul AFER confirmă acceptarea sistemului de management al siguranței al gestionarului de infrastructură feroviară;
- Autorizației de Siguranță - Partea B cu nr. de identificare ASB 9007 eliberată la data de 21.12.2009 – prin care Autoritatea de Siguranță Feroviară Română din cadrul AFER, a confirmat acceptarea dispozițiilor adoptate de gestionarul de infrastructură feroviară pentru îndeplinirea cerințelor specifice necesare pentru garantarea siguranței infrastructurii feroviare, la nivelul proiectării, întreținerii și exploatării, inclusiv unde este cazul, al întreținerii și exploatării sistemului de control al traficului și de semnalizare.

#### **B.4.2. Norme și reglementări. Surse și referințe pentru investigare**

La investigarea incidentului feroviar s-au luat în considerare următoarele:

- Instrucția pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale nr. 306/1972 (retipărită 1997);
- Instrucția pentru controlul nedistructiv al șinelor nr.348/1972 (retipărită 1997);
- Instrucția pentru alcătuirea, întreținerea și supravegherea căii fără joante nr. 341/1980 (retipărită 1997);
- Instrucțiuni pentru restricții de viteză, închideri de linii și scoateri de sub tensiune nr. 317/2004;
- Instrucția de norme și toleranțe pentru construcția și întreținerea căii – linii cu ecartament normal nr. 314/1989;
- Instrucția pentru folosirea vagoanelor de masurat calea nr. 329/1995;
- Normă tehnică feroviară „Infrastructură feroviară. Reutilizarea materialelor de cale recuperate în urma lucrărilor de întreținere și reparație a căii”;
- SR EN 13674-1/2003 – Aplicații feroviare. Cale. Șine. Parte 1: Șine Vignole cu masa mai mare sau egală cu 46 kg/m;
- CURRENT R&D ON RAIL DEFECTMANAGEMENT TECHNOLOGY- autori Mitsunobu Takikawa, Fusayoshi Aoki;
- Acordul tehnic nr. 011 – 08 / 057 – 1998 pentru Șine grele de cale ferată tip 49 și R65 producător AZOVSTAL Ucraina;
- Stafie I., Șine pentru căi ferate moderne, Editura Feroviară, ISBN 978-973-8923-07-2, București, 2008;
- Munteanu C., Studiul Materialelor, Editura “Gheorghe Asachi”, ISBN 973-8050-92-8, Iași, 2009;
- SR EN ISO 148-1:2011 „Materiale metalice. Încercarea la încovoiere prin șoc pe epruveta Charpy. Partea 1: Metodă de încercare”;
- SR EN ISO 6892-1:2010 „Materiale metalice. Încercarea la tracțiune. Partea 1: Metodă de încercare la temperatura ambiantă”;
- STAS 11464-80 „Fonte și oțeluri. Analiză spectrochimică”, pct. 2;
- STAS 4203-74 „Metalografie. Luarea și pregătirea probelor metalografice”, pct. 1.2.1.1, 1.2.2, anexa 1- pct. 2;
- SR ISO 4968:1993 „Oțel. Examinare macrografică prin amprenta de sulf (metoda Baumann)”;
- STAS 11961/1-83 „Metalografie. Metode de punere în evidență și apreciere a macrostructurii oțelurilor”;
- STAS 4203-74 „Metalografie. Luarea și pregătirea probelor metalografice”;
- STAS 7626-79 „Metalografie. Microstructuri. Scări etalon pentru oțeluri”;
- ISO 4967:1998 „Oțel. Determinarea conținutului de incluziuni nemetalice. Metoda micrografică cu imagini-tip”.

### **B.4.3. Funcționarea infrastructurii**

#### **B.4.3.1. Date constatate cu privire la șina de cale ferată**

##### ***Programul de încercări mecanice, analize metalografice și chimice pentru șină tip R65 cupoane deteriorate scoase din cale***

Scopul încercărilor este de a determina caracteristicilor materialului șinelor în vederea expertizării tehnice.

Programul și tipurile de încercări s-au stabilit conform standardelor și caietelor de sarcini în vigoare pentru șina tip Vignole cu masa mai mare sau egală cu 46 kg/m.

S-au programat următoarele tipuri de încercări:

- Determinarea durtății Brinell pe suprafața de rulare
- Determinarea durtății Brinell pe secțiuni transversale
- Încercarea la rupere prin șoc
- Încercarea la tracțiune
- Determinarea compoziției chimice a materialului prin analiză spectrală
- Identificarea și aspectarea șinelor
- Analiza metalografică macroscopică
- Analiza metalografică macrografică
- Analiza metalografică microscopică

***Alegerea pentru încercări, a șinelor defecte scoase din cale, prelevarea și notarea cupoanelor de șină destinate încercărilor și confecționarea probelor***

Pentru efectuarea încercărilor de laborator și a analizelor metalografice și chimice în vederea stabilirii cauzelor apariției defectelor șinelor, din șinele tip R65 importate din URSS între anii 1989-1990 au fost alese 3 șine rupte (care aveau tipul de defect 70.2) și o șină defectă cu defect de categoria I (tipul defectului 20.2d).

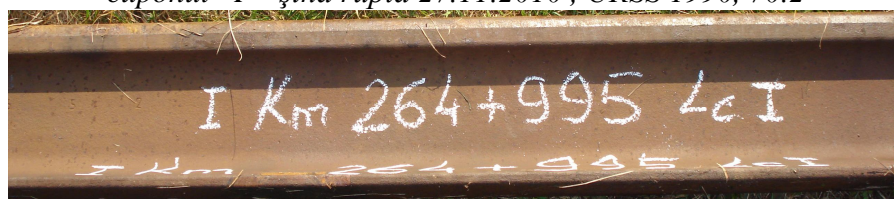
**Datele tehnice referitoare la șinele analizate**

***Tabelul nr.3***

nr. cupon	Km (firul din stânga / dreapta)	Linia curentă firul I / II	Tip șină	Anul fabri- cației	Anul intro- ducerii în cale	Tonaj înma- gazinat (mil.tone brute)	Natura defec- tului	Data apariției defectului	Tipul defectului
cupon I	264+995 dr	I	65	1990	1991	162,35	șină ruptă	27.11.2010	70.2
cupon II	248+280dr	II	65	1989	1989	181,84	șină ruptă	29.09.2010	70.2
cupon II	264+920 dr	I	65	1990	1991	162,35	șină ruptă	09.03.2010	70.2
cupon IV	260+370 stg	II	65	1989	1989	181,84	șină defectă	24.09.2010	20.2d

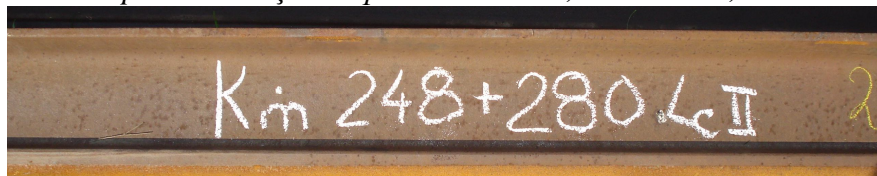
Deasemena s-a stabilit numărul de probe necesare, modul de prelevare, transport, numerotare și laboratoarele de încercare.

*cuponul I - șina ruptă 27.11.2010 , URSS 1990, 70.2*





*cuponul II - șina ruptă 29.09.2010 , URSS 1989, 70.2*



*cuponul III - șina ruptă 09.03.2010 , URSS 1990, 70.2*



*cuponul IV - șina defectă de categoria I , URSS 1989, 20.2d*

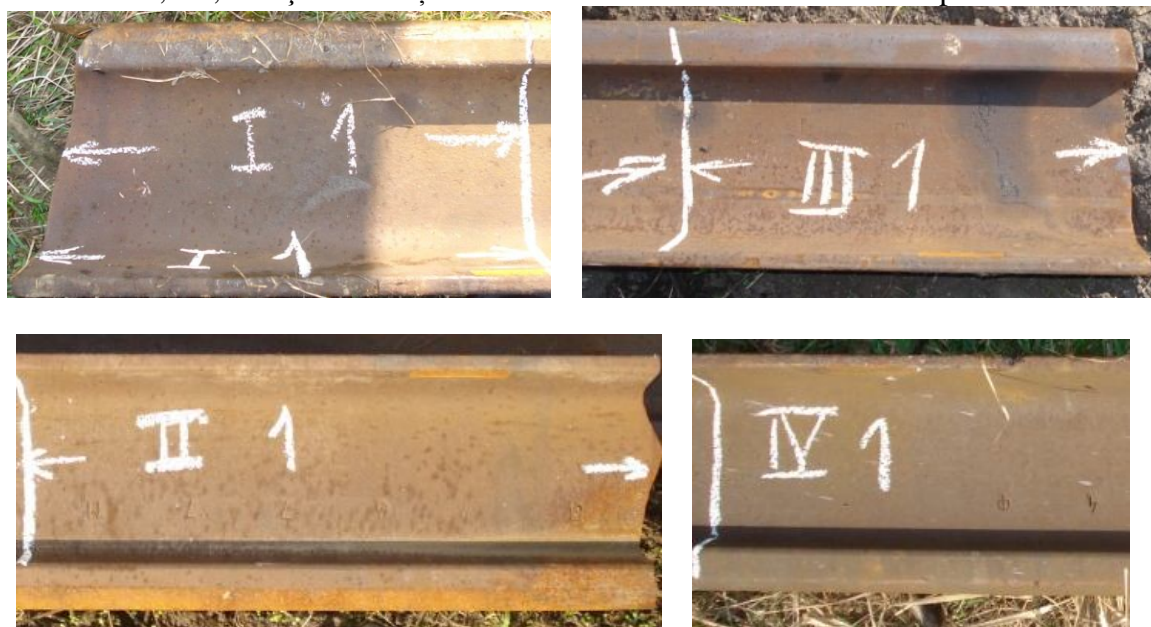


*foto nr.9 - Identificarea și notarea cupoanelor de șină*

***Debitarea cupoanelor de șine în bucăți de 1,0 m, numerotarea noilor cupoane rezultate și destinația acestora***

Șina a fost tăiată în cupoane în lungime de 1 m, folosind o mașină de tăiat șine. Tăierea s-a efectuat fără a afecta din punct de vedere termic structura materialului din care este confecționată șinal

Bucățile de șine rezultate au fost notate cu cifre romane I, II, III și IV, iar fiecare dintre aceste șine au fost împărțite și debitate în câte 3 bucăți mai mici, notate cu cifre arabe de la 1, 2 și 3, astfel încât defectul șinei să se regăsească pe bucata de șină notată cu cifra „1”. În consecință bucățile de șine notate cu I1, II1, III1 și IV1 conțineau defectul care a dus la scoaterea cuponului din cale.



*Foto nr.10 – cupoanele de șină care au defectul inclus*

Cupoanele de șine notate cu I2, II2, III2, IV1 au avut ca destinație pentru studiu și încercări laboratorul din cadrul Facultății de Mecanică a Universității Tehnice „Gh. Asachi” din Iași, iar cupoanele de șine notate cu I1 (A), II1 (B), III1(C), IV2(D), I3(E), II3(F), III3(G) au avut ca destinație pentru studiu și încercări, laboratorul aparținând Organismului Notificat Feroviar Român din cadrul Autorității Feroviare Române-AFER.

## **Încercări de laborator realizate**

### **Determinarea durității Brinell pe suprafața de rulare**

S-au efectuat două tipuri de încercări. Una în laborator, cu scopul de a compara duritate obținută prin măsurare cu cea impusă de „Caietul de Sarcini. pentru șine grele de CF” pentru duritatea Brinell pe linia mediană a suprafeței de rulare, iar altă încercare a fost efectuată pe teren, în cale pentru a ne confirma ipoteza apariției uzurii ondulatorii pe suprafașa de rulare a șinelor în exploatare pe tronsonul studiat.

#### **a. Încercare de laborator**

Încercarea a constat în imprimarea unei serii de 5 amprente pe suprafața de încercat de circa 300 mm lungime a fiecărui cupon, prin aplicarea unei forțe de compresiune de 1,839 kN cu un penetrator (bilă din metal dur cu diametrul de 2,5 mm). Cupoanele de șină au fost rectificate pentru a se evita scoriile și eventualele zone decarburate. Înainte de efectuarea încercărilor propriu-zise, s-a verificat corectitudinea măsurării, utilizând etalonul de duritate Brinell 274 HBW, tip 2,5-187,5.

Valori medii al durității Brinell						<b><i>Tabelul nr.4</i></b>	
Nr. cupon	A	B	C	D	E	F	G
Duritatea Brinell [HBW] medie	358	382,8	337,8	392,4	355,8	348,8	388,2

Valori comparative impuse		<b><i>Tabelul nr.5</i></b>
<b>Valori impuse de „C.S. pentru șine grele de CF” pentru duritatea Brinell pe linia mediană a suprafeței de rulare</b>		
Marca de oțel: 900A	(270...330) HB	
Marca de oțel: M 74 (76) T	min 355 HB	
Diferența între valorile determinate în diferite puncte nu trebuie să depășească 30HB.		

#### **b. Încercare pe teren**

S-au făcut măsurători cu microdurimetrul model HLN-11A Hardness Tester .

Măsurătorile s-au făcut pe linia II Adjud –Sascut, sub circulație, la trei poziții kilometrice pe șine defecte depistate la măsurătoarea cu defectoscopul ultrasonic pe zone cu uzură ondulatorie a suprafețelor de rulare la km 248+335 șina din partea stângă, km 248+340 șina din partea dreaptă și la km 248+341 șina din partea stângă.

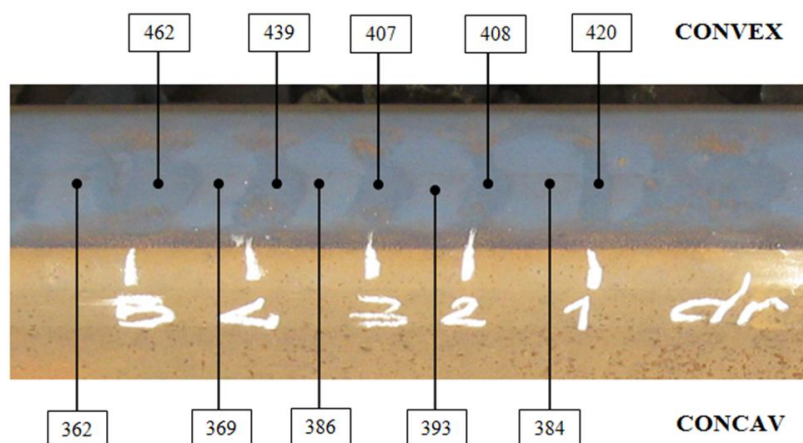
În figurile 11 și 12 este prezentată zona măsurată pe firul drept al liniei curente firul II dintre stațiile CFR Adjud-Sascut de la km 248+340 - foto nr. 11



***foto nr. 11- km 248+340 firul II șina din partea dreaptă***



S-a măsurat duritatea pe suprafața de rulare a șinei în punctele ridicate (convex) și în cele căzute (concav) ale suprafeței deformate - foto nr.12.



*foto nr.12 - km 348+340 șina din partea dreaptă*

Valorile măsurate confirmă faptul că punctele convexe au valori superioare celor măsurate în punctele concave.

#### Determinarea durității Brinell pe secțiuni transversale

Încercările s-au efectuat în două laboratoare diferite cu aparatură diferită la AFER și Facultatea de Mecanică din Iași.

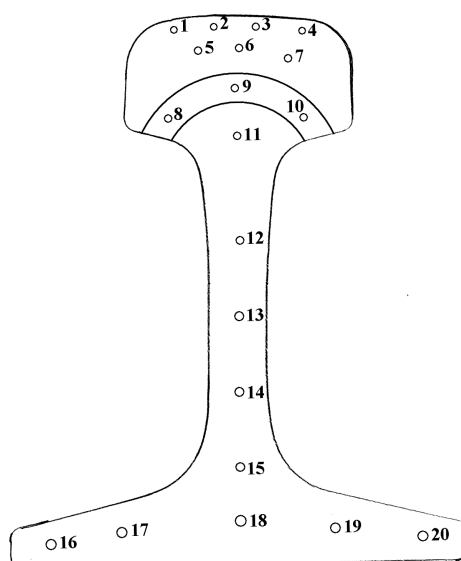
#### a. Încercarea efectuată în laboratorul AFER

Încercarea s-a efectuat conform SR EN ISO 6506-1:2006 și constă în imprimarea unei serii de amprente, pornind de la suprafața de rulare spre talpa șinelor, prin intermediul unui penetrator CV 998 (bilă din metal dur cu diametrul de 2,5 mm), prin aplicarea unei forțe de compresiune de 1,839 kN. Înainte de efectuarea încercărilor propriu-zise s-a verificat corectitudinea măsurării, utilizând etalonul de duritate Brinell 274 HBW, tip 2,5-187,5.

Modul de amplasare a amprentelor de duritate pe cele 7 felii transversale utilizate în încercare este prezentat în figura nr.13.

S-a utilizat câte o felie din toate cupoanele puse la dispoziție laboratorului de încercări.

Ca o caracteristică generală comună celor 7 secțiuni măsurate este aceea că valoarea durității măsurate scade pe verticală, de la valori de 370-390 HBW la suprafața de rulare la valori de 270-290 HBW în punctele de la nivelul inferior al tălpii șinei.



*foto nr. 13 - amplasarea punctelor de măsurare*

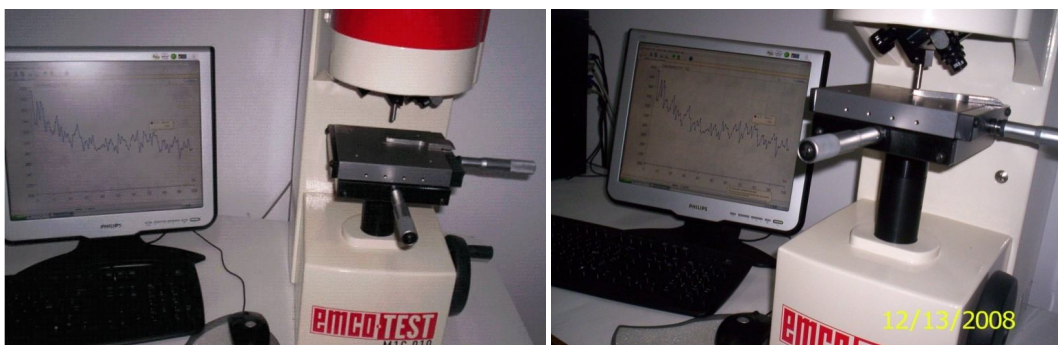
<b>Valori impuse pentru duritatea Brinell pe felii transversale, de „Caietul de Sarcini. pentru șine grele de CF” aprobat de REFER în anul 1994</b>	
Marca de oțel: 900A	(270...330) HB
Strat călit în ciupercă, până la 16 mm de suprafața de rulare	min. 300 HB
Diferența între valorile determinate în diferite puncte nu trebuie să depășească 30HB.	

*b. Încercarea efectuată în laboratorul Facultății de Mecanică*

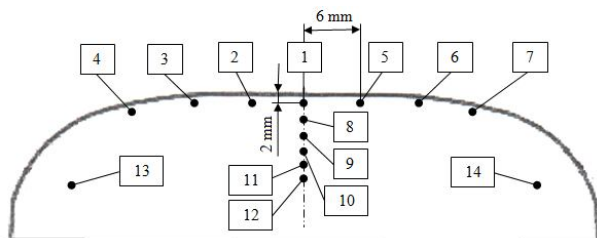
S-a utilizat microdurimetrul model EMCOTEST M1C - EmcoTest Austria (foto nr. 14), cu ajutorul căruia a fost determinată duritatea, în 14 puncte (foto nr.15) reprezentative pentru cele patru probe analizate. Debitarea din cuponase și pregătirea probelor a fost efectuată de către compartimentul specializat al SC Chambon SRL.

*Rezultatele încercării la duritate Tabelul nr. 7*

Punctul	Proba 2 I 1990	Proba 2 II 1989	Proba 2 III 1990	Proba 1 IV 1989
1.	317	369	359	385
2.	337	371	342	400
3.	306	372	354	369
4.	372	372	364	356
5.	318	369	346	397
6.	339	363	361	387
7.	370	369	357	415
8.	352	366	365	391
9.	373	353	351	360
10.	372	352	346	372
11.	371	337	338	367
12.	343	316	322	370
13.	367	370	341	388
14.	383	351	345	387



*foto nr. 14. Microdurimetru model EMCOTEST M1C - EmcoTest Austria*



*foto nr. 15 - Cele 14 puncte în care s-a determinat duritatea*

În punctele 1-7 au fost poziționate la o distanță de 2 mm față de suprafața de rulare iar distanța dintre două puncte, în plan transversal este de 6 mm. Punctele 8-12 se găsesc la o distanță de 2 mm unul față de altul și sunt situate pe axa de simetrie a șinei.

Punctele 13 și 14 se găsesc în zona din care s-au prelevat probe pentru încercarea la tracțiune.

Rezultatele obținute conduc la concluzia că valorile durității se încadrează în limitele impuse de „Caietul de Sarcini pentru șine grele de CF” aprobat de REFER în anul 1994.

#### Încercarea la rupere prin șoc

Încercarea efectuată conform SR EN ISO 148-1:2011 la laboratorul AFER constă în ruperea, dintr-o singură lovitură, cu un ciocan-pendul, a unei epruvete standardizate, cu creștătură la mijloc, așezată liber pe două reazeme.

S-au făcut încercări cu Ciocan-pendul 150J tip JBW – Charpy pe câte 3 probe confecționate pentru fiecare din cele 7 cuponașe.

Pentru fiecare probă s-au determinat energia absorbită prin rupere, KU, [J] și reziliența KCU, [J/cm<sup>2</sup>] iar datele au fost comparate cu valorile admise prezentate în tabelul nr.8.

Valori comparative impuse

*Tabelul nr. 8*

Valori impuse pentru reziliență (la temperatura de 20°C) de „Caietul de Sarcini pentru șine grele de CF” aprobat de REFER în anul 1994	
Marca de oțel: 900A	min. 25 J
Marca de oțel: M 74 (76) T	min. 25 J

Șase dintre valorile medii ale rezilienței, din cele 7 probe, sunt sub valoarea medie admisă de 25J. Numai valoarea corespunzătoare probei D depășește valoarea de 25J.

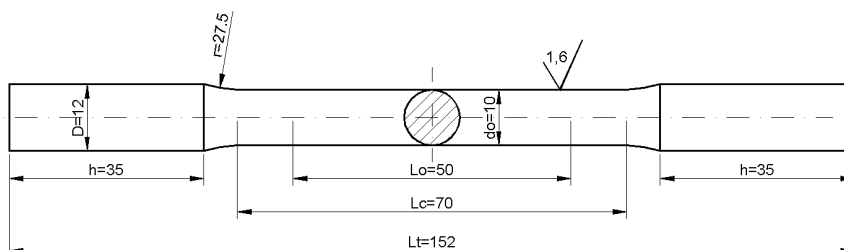
#### Încercarea la tracțiune

Încercările s-au efectuat în două laboratoare diferite cu aparatură diferită la AFER și Facultatea de Mecanică din Iași.

##### a. Încercarea efectuată în laboratorul AFER

Încercarea constă în aplicarea unei forțe de tracțiune asupra unei epruvete până la rupere, pentru determinarea caracteristicilor mecanice (rezistența la rupere și alungirea după rupere). Epruvetele de tracțiune proporționale sunt prelevate în sens longitudinal și prelucrate la dimensiunile unei epruvete cu secțiune circulară de  $l_0 = 50$  mm,  $d_0 = 10$  mm și aria secțiunii circulare de 78,54 mm<sup>2</sup>, conform tabelului D1, anexa D din SR EN ISO 6892-1:2010.

Au fost prelevate câte 2 probe din fiecare dintre cele 7 cuponase utilizate.



*foto nr.16 - Dimensiunile epruvetei*

Valoarea caracteristicii mecanice impuse de „Caietul de Sarcini pentru șine grele de CF” aprobat de REFER în anul 1994”	$R_M$ [N/mm <sup>2</sup> ] (rezistența la rupere)	$A_5$ [%] (alungirea relativă la rupere)
Marca de oțel: 900A	880...1030	min. 10
Marca de oțel: M 74 T	min. 1098	min. 10
Oțel tratat termic	Min- 1190	Min.10

*b. Încercarea efectuată în laboratorul Facultății de Mecanică Iași*

Au fost confecționate câte 3 epruvete din fiecare dintre cele 4 cuponașe utilizate de către compartimentul specializat al SC Chambon SRL. (foto nr.17)

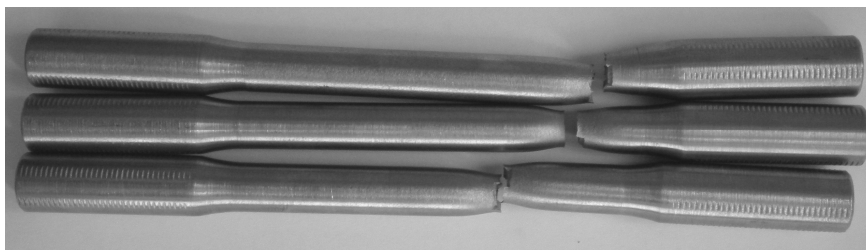


*foto nr.17 – epruvete înainte de încercare*

S-a utilizat un dispozitiv de încercat la tracțiune Instron 8801 (foto nr.18) cu care s-au rupt prin întindere cel 12 epruvete (foto nr.19).



*foto nr.18 - Dispozitiv de încercat la tracțiune*



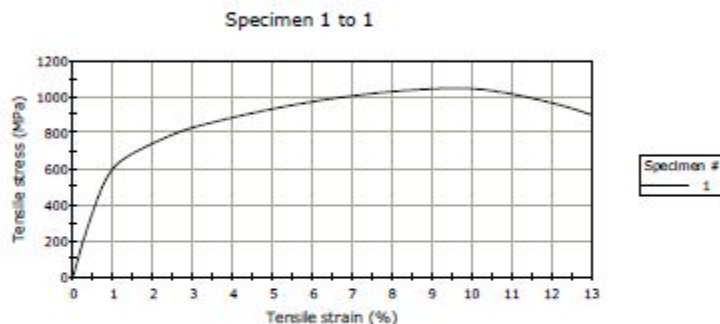
*foto nr.19 - Epruvete după de încercare*

Pentru fiecare epruvetă încercată s-a constituit o fișă de încercare completată cu reprezentarea grafică a variației forței de tracțiune (foto nr. 20).

Sina I I

Proba Compozit

Operator ID	GOANTA
Company	UTL
Laboratory Name	RezMat
Rate 1	2.00000 mm/min
Number of specimens in sample	10
Export raw data	True
Export results	True



1	0% of Break (Tensile extension) (mm)	0.00000	Tensile strain at 0% of Break (Tensile extension) (mm/mm)	0.00000	Tensile stress at 0% of Break (Tensile extension) (MPa)	0.26883	Tensile extension at Break (Standard) (mm)	8.96671
1	Tensile strain at Break (Standard) (mm/mm)	0.13063	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	890.94879	Energy at Break (Standard) (J)	620.53115	Energy at 0% of Break (Tensile extension) (J)	0.00000
1	Energy at Maximum Tensile extension (J)	620.53115	Tensile strain at Maximum Tensile extension (mm/mm)	0.13063	Tensile stress at Maximum Tensile extension (MPa)	890.94879	Energy at Yield (Zero Slope) (J)	445.09791
1	Tensile strain at Yield (Zero Slope) (mm/mm)	0.09734	Tensile stress at Yield (Zero Slope) (MPa)	1045.79419	UYS at YPE/ Ae (Automatic) (MPa)	1045.79419	Modulus (Automatic) (MPa)	40091.28608
1	Tensile strain at Tensile Strength (mm/mm)	0.09105	Tensile stress at Tensile Strength (MPa)	1043.24426	Energy at Tensile Strength (J)	410.01239		

foto nr. 20 – fișa cuponului de șină II

Pentru cele 12 epruvete încercate s-au obținut rezistența la rupere și alungirea. Valorile rezistenței la rupere s-au situat sub nivelul minim de 1190 N/mm<sup>2</sup> (MPa), iar alungirea a depășit valoarea de 10%

#### Determinarea compoziției chimice a materialului prin analiză spectrală

Încercările s-au efectuat în două laboratoare diferite cu aparatură diferită la AFER și Facultatea de Mecanică din Iași.

#### a. Încercarea efectuată în laboratorul AFER

Încercarea s-a efectuat conform STAS 11464-80 „Fonte și oțeluri. Analiză spectrochimică”, pct.2. Metoda se bazează pe prelucrarea automată a spectrelor obținute prin excitarea probei cu scânteie electrică în atmosferă controlată. Energia radiantă a liniilor analitice se măsoară cu traductori fotoelectronici, care furnizează semnale proporționale cu concentrația elementelor din probă.

La determinarea compoziției chimice s-au folosit atât 2 eșantioane din ciuperca șinei B, unde analiza s-a efectuat pe stratul superficial al ciupericii, cât și pe mijlocul secțiunii ciupericii a fiecărei din cele 7 șine.

S-a utilizat un Spectrometru cu emisie optică Foundry Master 01G0055.

Eșantioanele prelevate din felia B, ce conține suprafața de rupere, au fost singurele care au prezentat o grosime de material depus la suprafața de rulare suficientă pentru determinarea compoziției chimice a acestuia. A rezultat compoziția chimică din tab 10.



Compoziția chimică la suprafața de rulare

Tabelul nr.10

Eșantion ciupercă șină	Valori determinate [%]										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	V
B1.1	0,80	11,0	0,78	0,02	0,01	0,003	0,03	2,88	0,30	0,02	0,006
B1.2	0,78	11,3	0,83	0,02	0,02	0,003	0,03	3,05	0,30	0,02	0,009

Valorile compuşilor chimici din stratul de material depus la suprafața de rulare sunt similare cu compoziția chimică a unui oțel austenitic manganos (STAS 3718-76).

Oțel austenitic manganos

Tabelul nr.11

Element chimic	Carbon	Mangan	Siliciu
	0,9...1,2	11,5...13,5	0,5...1,0

Compoziția chimică a materialului din stratul depus pe suprafața de rulare conduc la concluzia că asupra suprafeței de rulare a ciupercii șinei s-a intervenit printr-o reparație prin sudură folosind un electrod din oțel austenitic.

Analiza chimică pe mijlocul secțiunii prin ciupercă șinelor:

Compoziția chimică la mijlocul secțiunii prin ciupercă

Tabelul nr.12

Eșantion ciupercă șină	Valori determinate [%]										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Ti
A	0,76	0,87	0,27	0,017	0,022	0,034	0,005	0,036	0,0046	0,043	0,022
B	0,74	0,82	0,25	0,017	0,011	0,045	0,005	0,048	0,0029	0,044	0,018
C	0,76	0,84	0,23	0,015	0,028	0,047	0,012	0,007	0,0017	0,066	0,015
D	0,77	0,88	0,22	0,022	0,031	0,038	0,006	0,053	0,0023	0,060	0,016
E	0,72	0,87	0,27	0,018	0,020	0,035	0,005	0,037	0,0035	0,047	0,018
F	0,72	0,82	0,25	0,013	0,022	0,044	0,005	0,048	0,0028	0,043	0,018
G	0,75	0,84	0,23	0,015	0,030	0,047	0,012	0,077	0,0020	0,066	0,015

Valori comparative impuse

Tabelul nr.13

Valori impuse pentru compoziția chimică de „Caietul de Sarcini pentru șine grele de CF” aprobat de REFER în anul 1994 [%]						
Element chimic	C	Mn	Si	P	S	Ti
Marca de oțel: 900A	0,60...0,80	0,80...1,30	0,10...0,50	max. 0,04	max. 0,04	-
Marca de oțel: M 74 T	0,67...0,80	0,75...1,05	0,18...0,40	max. 0,035	max. 0,04	0,007...0,025

Compoziția chimică confirmă faptul că oțelul din cupoanele încercate este de echivalent mărcii 900A .

**b. Încercarea efectuată în laboratorul Facultății de Mecanică Iași**

Compoziția chimică a celor patru probe extrase din cupoanele 2 I, 2 II, 2 III și 1 IV, realizate de catre compartimentul specializat al SC Chambon SRL a fost determinată folosind spectrometrul cu emisie optică ARL 3460.

Compoziția chimică

Tabelul nr.14

Eșantion cupon nr.	Valori determinate, [%]										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Ti
2 I	0,7674	0,8399	0,2474	0,0100	0,0261	0,0401	0,0061	0,0381	0,0040	0,0208	0,0155
2II	0,7802	0,8465	0,2212	0,0136	0,0295	0,0428	0,0177	0,0694	0,0037	0,0375	0,0126
2III	0,7834	0,876	0,2566	0,0194	0,0262	0,0277	0,0051	0,0247	0,0044	0,0208	0,0160
1IV	0,8329	0,923	0,2208	0,0222	0,0389	0,0333	0,0073	0,0459	0,0037	0,0348	0,0136

Se constată faptul că în cazul probei extrase din cuponul 1 IV concentrația de carbon (0.8329) nu este în limitele impuse pentru cazul oțelului 900 A.

#### Analiza metalografică macroscopică și macrografică

Încercările s-au efectuat în laboratorul AFER.

Pentru analiza macrografică s-a utilizat o felie transversală, pe suprafața căreia a fost efectuată proba Baumann, în scopul evidențierii eventualelor segregatii de sulf.

S-a constatat la majoritatea probelor o repartizare relativ uniformă a sulfului pe secțiune și o segregatie de sulf pozitivă și negativă mică, centrală, în elementul inimă.

Pentru analiza macroscopică s-au utilizat, pe lângă feliile transversale ce conțin suprafețele de rupere (din șinele A, B și C), și câte o felie transversală din toate cupoanele, pe suprafața căreia a fost efectuat atacul la cald în soluție 50% HCl, în scopul evidențierii eventualelor defecte de material (goluri, macroretasuri, macrosegregatii, fulgi, incluziuni nemetalice etc.) sau deformare plastică la cald (suprapuneri de material, fisuri etc). Încercarea s-a făcut conform STAS 11961/1-83 „Metalografie. Metode de punere în evidență și apreciere a macrostructurii oțelurilor”

Pentru probele din cuponul A și C în secțiunea de rupere a șinei în cale s-au constatat următoarele:

În ciuperca șinei corespunzătoare probei A1 se observă o zonă de **rupere la oboseală** (cu granulație fină, în două nuanțe de cenușiu) pe circa 20% din totalul suprafeței de rupere. Ultima porțiune a ruperii, cu granulație mare, este caracteristică unei ruperi bruște.



*foto nr.21. - Probă cupon A1*



*foto nr.22. - Focar rupere la oboseală proba A1*

Focarele ruperii la oboseală au constat în fisuri pornite și dezvoltate de la suprafața de rulare.

În ciuperca șinei corespunzătoare probei C1 se observă o zonă de rupere la oboseală (netedă) pe circa 12% din totalul suprafeței de rupere. Ultima porțiune a ruperii, cu granulație grosolană și smulgere de material, este caracteristică unei ruperi bruște.



*foto nr. 23. Probă cupon C1*



*foto nr. 24. - Focar rupere la oboseală proba C1*

Focarele ruperii la oboseală au constat în fisuri aproximativ paralele cu suprafața de rulare, pornite și dezvoltate la o adâncime de 3...5 mm sub suprafața ciupercii.

Se confirmă faptul că ruperile de șină care au în secțiunea de rupere zone cu granulație fină, în nuanțe de cenușiu corespund unei zone de **rupere la oboseală**.

Pentru probele extrase din cuprinsul celor 7 cupoane s-a evidențiat o zonă cu tratament termic aplicat la jumătatea superioară a ciupercii evidențiate printr-o bandă concavă de culoare închisă de cca. 7...10 mm grosime.



*foto nr.25. - probă cupon B2*



### Analiza metalografică microscopică

Încercările s-au efectuat în două laboratoare diferite cu aparatură diferită, respectiv în laboratorul de încercări din cadrul AFER și în laboratorul de încercări din cadrul Facultății de Mecanică din Iași.

#### a. Încercarea efectuată în laboratorul AFER

Analiza s-a făcut cu un microscop metalografic AXIOVERT 200 MAT, conform STAS 4203-74 „Metalografie. Luarea și pregătirea probelor metalografice”, STAS 7626-79 „Metalografie.

Microstructuri. Scări etalon pentru oțeluri” și ISO 4967:1998 „Oțel. Determinarea conținutului de incluziuni nemetalice. Metoda micrografică cu imagini-tip”

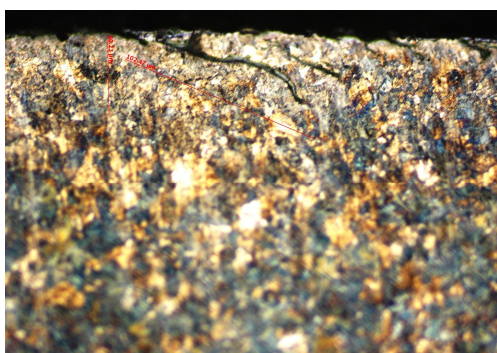
Pe suprafețele eșantioanelor prelevate atât din feliile transversale ce conțin suprafețele de rupere (din șinele notate cu nr. A, B), cât și din feliile ce conțin defectele macro cele mai reprezentative, s-au urmărit:

- aspectul microstructurii, pornind de la suprafața de rulare a ciupercii spre elementul inimă;
- prezența unor eventuale defecte la suprafața de rulare (modificări structurale, decarburări, fisuri) sau de tratament termic.
- gradul de puritate a materialului, exprimat prin conținutul de incluziuni nemetalice, evaluat conform ISO 4967:1998.

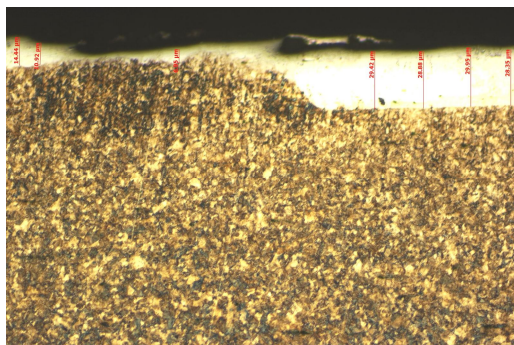
Condițiile impuse la verificarea microscopică se referă numai la zona călită pentru șinele tratate termic. Structura zonei de călire trebuie să fie constituită din perlită sorbitică sau bainită.

S-au efectuat încercări pe probe din toate cele 7 cupoane de șină. S-a verificat microstructura la suprafața de rulare, microstructura în zona de tratament termic superficial, microstructura în centrul ciupercii și gradul de puritate al materialului.

Pentru șina A s-au constatat microfisuri pe adâncimea de 0,040 mm și lungimi de 0,102 mm pe un fond structural ecruisat, orientate atât oblic, cât și paralel cu suprafața de rulare (foto nr. 26), un strat alb de durificare termică cu grosimea medie a stratului alb este de 0,021 mm (foto nr. 27 )

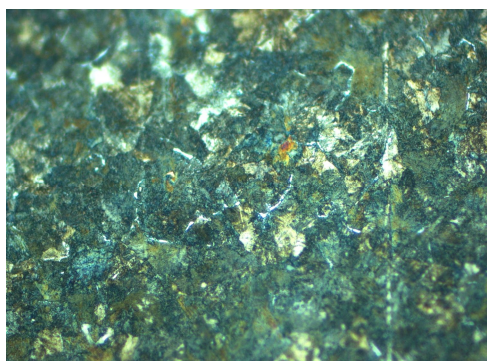


*foto nr. 26 – (200:1)*

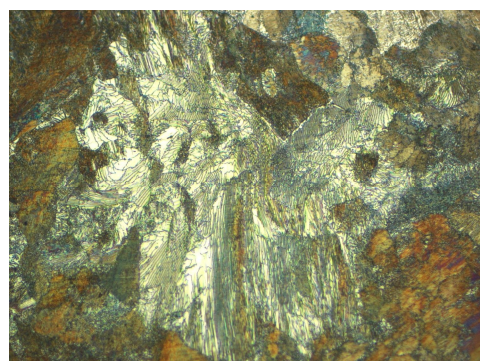


*foto nr. 27 – (100:1)*

Structura în zona de tratament termic este constituită din urme de rețea întreruptă de ferită pe fond perlitic, ceea ce denotă o călire incompletă (foto nr. 28), iar în centrul ciupercii structura este constituită din perlită lamelară, dispusă în rozete, specifică unui material supus unui tratament termic de normalizare (foto nr. 29)



*foto nr. 28 - 500:1*

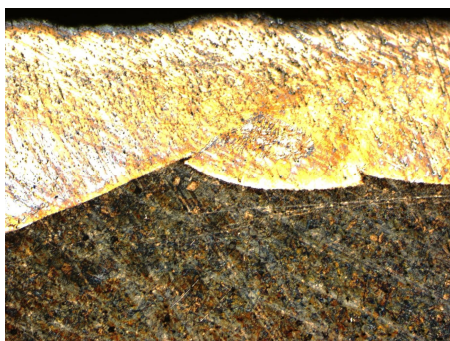


*foto nr. 29 - 500:1*



Pentru șina B s-a constatat la suprafața de rulare material depus succesiv prin sudare, cu structură constituită din grăunți columnari de austenită + rețele întrerupte de carburi, specifică unui oțel austenitic manganos (foto nr. 30) și Imediat sub stratul de material depus, se observă o fisură aproximativ perpendiculară cu lungimea de 1,065 mm (foto nr. 31). Marginile decarburate ale fisurii denotă faptul că:

- fisura se putea forma înaintea aplicării tratamentului termic superficial;
- fisura se putea forma înaintea procesului de încărcare cu sudură.

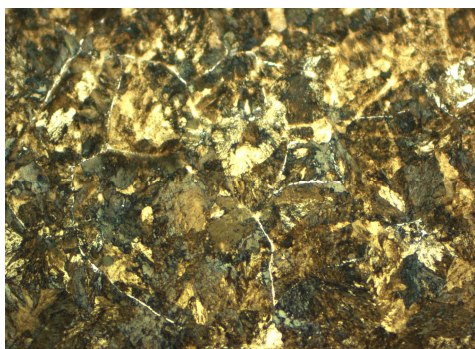


*foto nr. 30 - 50:1*

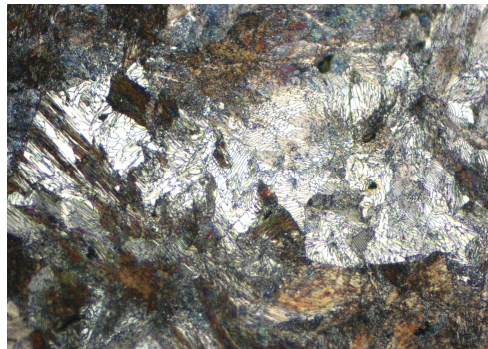


*foto nr. 31 -100:1*

Structura în zona de tratament termic este constituită din urme de rețea întreruptă de ferită pe fond perlitic, ceea ce denotă un tratament termic de călire incompletă (foto nr. 32) și în centrul ciupercii șina este constituită din perlită lamelară, dispusă în rozete, specifică unui material supus unui tratament termic de normalizare (foto nr. 33)

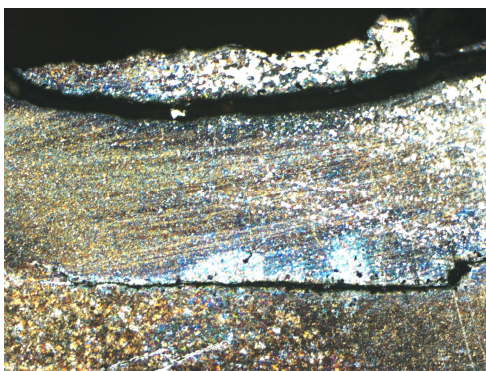


*foto nr. 32 - 500:1*

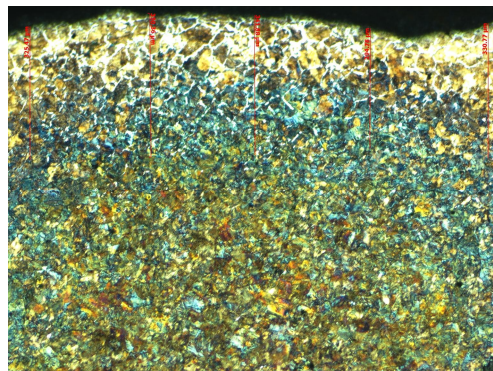


*foto nr. 33 -500:1*

Pentru șina C s-a constatat la suprafața de rulare material depus succesiv prin sudare, cu structură de cristalizare primară formată din grăunți columnari și numeroase fisuri care străbat materialul depus și zonele influențate termic de sudură (foto nr. 34). Pe flancurile ciupercii, decarburarea are grosimea medie de 0,329 mm (foto nr. 35).



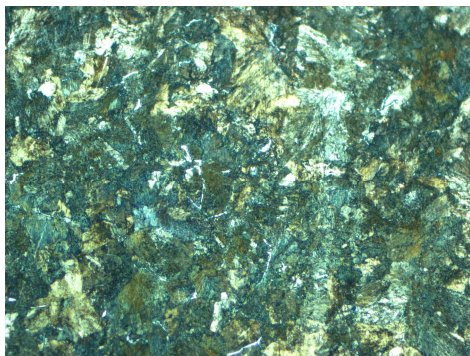
*Fig. 34 - 50:1*



*Fig. 35 -100:1*



Structura în zona de tratament termic este constituită din urme de rețea întreruptă de ferită pe fond perlitic, ceea ce denotă un tratament termic de călire incompletă, (foto nr. 36) iar în centrul ciupercii structura este constituită din perlită lamelară, dispusă în rozete, specifică unui material supus unui tratament termic de normalizare (foto nr. 37).

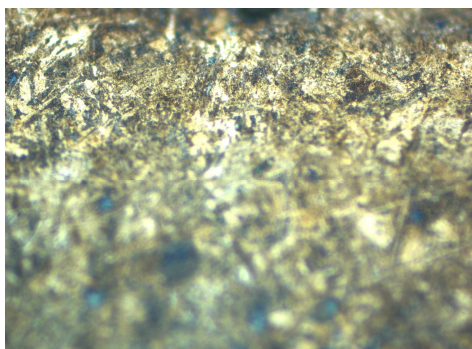


*foto nr. 36 - 500:1*

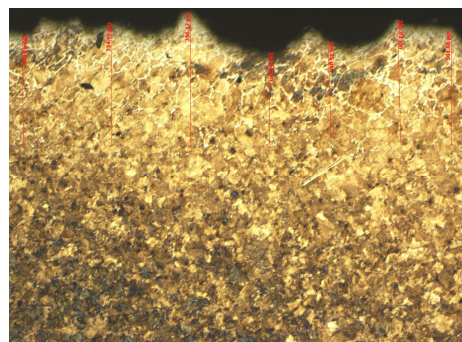


*foto nr. 37 -500:1*

Pentru șina D s-a constatat la suprafața de rulare existența unei structuri ușor ecrusată de perlită sorbitizată, obținută în urma tratamentului termic de călire superficială (foto nr. 38) iar pe flancurile ciupercii este prezentă o decarburare ușoară cu grosimea medie de 0,300 mm (foto nr. 39)

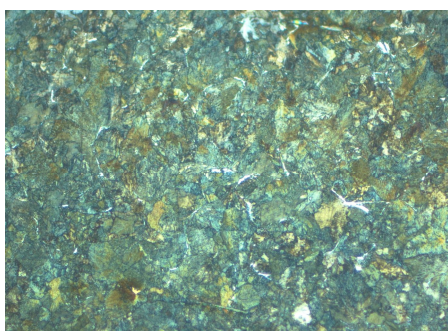


*foto nr. 38 - 500:1*

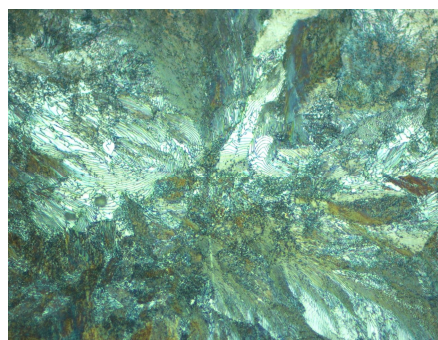


*foto nr. 39 -100:1*

Spre centrul secțiunii ciupercii, structura este constituită din urme de rețea întreruptă de ferită pe fond perlitic, ceea ce denotă un tratament termic de călire incompletă (foto nr. 40) iar în centrul ciupercii structura constituită din perlită lamelară, dispusă în rozete, specifică unui material supus unui tratament termic de normalizare (foto nr. 41)



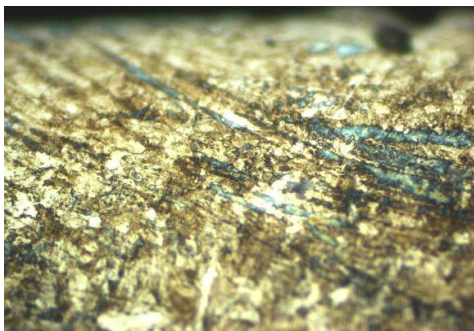
*foto nr. 40 - 500:1*



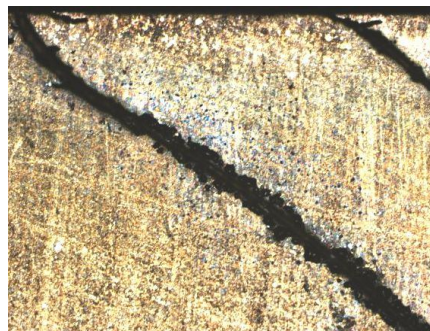
*foto nr. 41 -500:1*

Pentru șina E s-a constatat la suprafața de rulare o structură perlitică puternic ecrusată (foto nr. 42) și fisuri termice, deschise oblic față de suprafața de rulare și în stratul superficial, ca efect al fenomenelor de gripaj și durificare termică.(foto nr. 43)



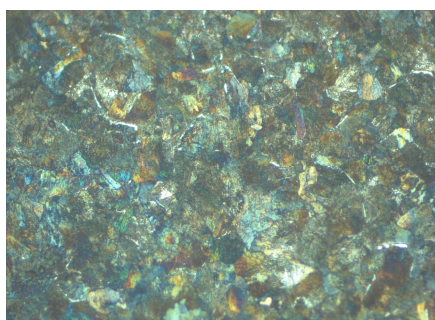


*foto nr. 42 - 500:1*

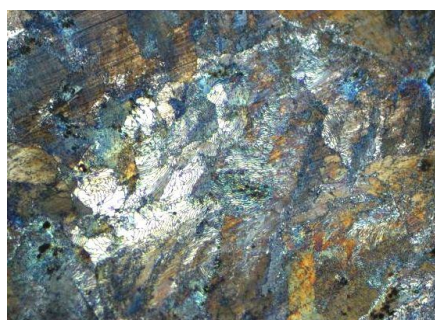


*foto nr. 43 -50:1*

În zona de tratament termic superficial structura este constituită din urme de rețea întreruptă de ferită pe fond de perlită și troostită, ceea ce denotă un tratament termic de călire incompletă (foto nr. 44) iar în centrul ciupercii structura este constituită din perlită lamelară, dispusă în rozete, specifică unui material supus unui tratament termic de normalizare (foto nr. 45).

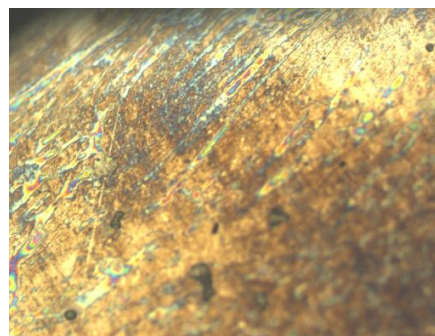


*foto nr. 44 - 500:1*



*foto nr. 45 -500:1*

Pentru șina F s-a constatat la suprafața de rulare o structură puternic ecruisată, alcătuită din martensită fină, perlită sorbitizată și troostită, specifică unui tratament termic de călire superficială (fig. 46), iar în zona de tratament termic superficial microfisuri dezvoltate la 2 și 4 mm de suprafața de rulare (fig. 47).

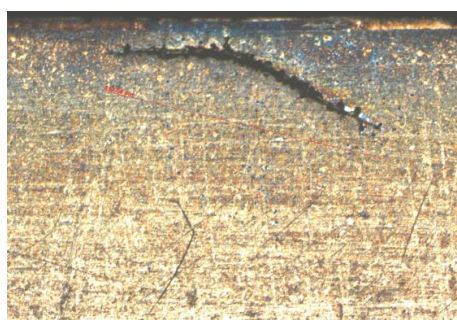
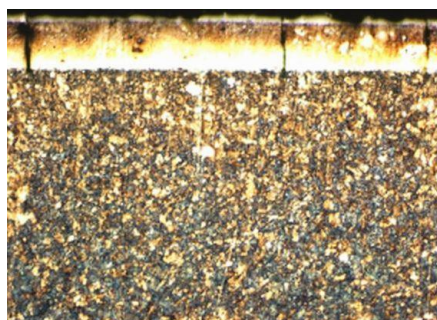


*foto nr. 46 - 200:1*



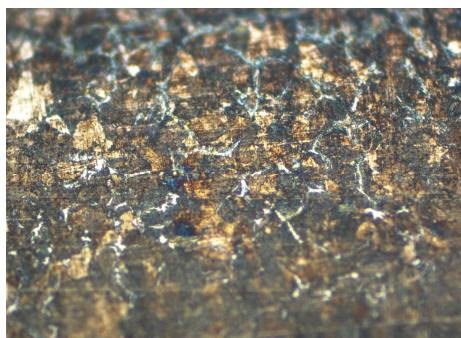
*foto nr. 47 -100:1*

Pentru șina G s-a constatat la suprafața de rulare un strat alb dublu de durificare termică cu grosimea medie a stratului alb este de 0,175 mm (foto nr. 48) iar imediat sub suprafața de rulare există microfisuri termice cu lungimea uneia dintre acestea este de 0,758 mm (foto nr. 49)

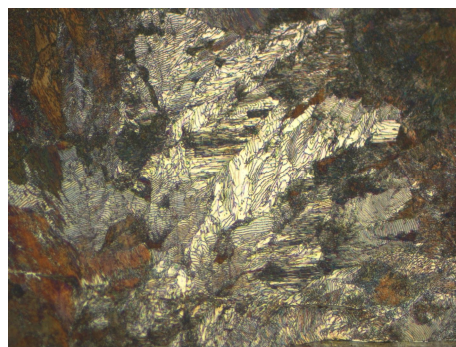




În zona de tratament termic superficial structura este constituită din urme de rețea întreruptă de ferită pe fond de perlită și rozete rare de troostită, ceea ce denotă un tratament termic de călire incompletă (foto nr. 50), în centrul ciupercii structura este constituită din perlită lamelară, dispusă în rozete, specifică unui material supus unui tratament termic de normalizare (foto nr. 51).



*foto nr. 50 - 500:1*



*foto nr. 51 -500:1*

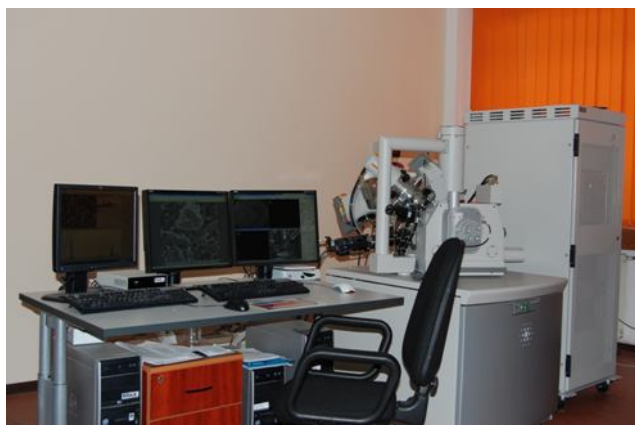
Pentru toate probele studiate, gradul de puritate al materialului este afectat de incluziuni nemetalice constituite din șiruri de sulfuri și silicați plastici cu punctaj 1,5.

*b. Încercarea efectuată în laboratorul Facultății de Mecanică Iași*

Prelevarea probelor pentru determinarea caracteristicilor microscopice a fost făcută prin tăiere mecanică cu evitarea supraîncălzirii. Pregătirea probelor s-a realizat cu ajutorul unui sistem de pregătire a probelor metalografice conform procedurilor curente: planarea și șlefuirea suprafeței de studiat cu hârtie abrazivă cu granulație din ce în ce mai mică (150, 300, 600, 800, 1000, 1200, 2000) urmată de lustruirea cu soluție abrazivă cu suspensie de  $Al_2O_3$  (cu granulație de 40  $\mu m$ ) și atacul cu soluție de nital 3,5% pentru a pune în evidență microstructura materialului. Prelevarea și pregătirea probelor a fost efectuată de către compartimentul specializat al SC Chambon SRL.

Pentru caracterizarea din punct de vedere metalografic a probelor prelevate din cele patru cupoane șină tip R65 a fost folosită microscopia electronică de baleiaj, utilizându-se microscopul electronic tip QUANTA 200 3D DUAL BEAM - foto nr 52.

Pentru obținerea imaginilor s-a lucrat în modulul High Vacuum (la o presiuni cuprinse între  $10^{-3} \div 10^{-4}$  Pa) și cu o tensiune aplicată de 30kV, proba fiind montată pe un suport metalic .



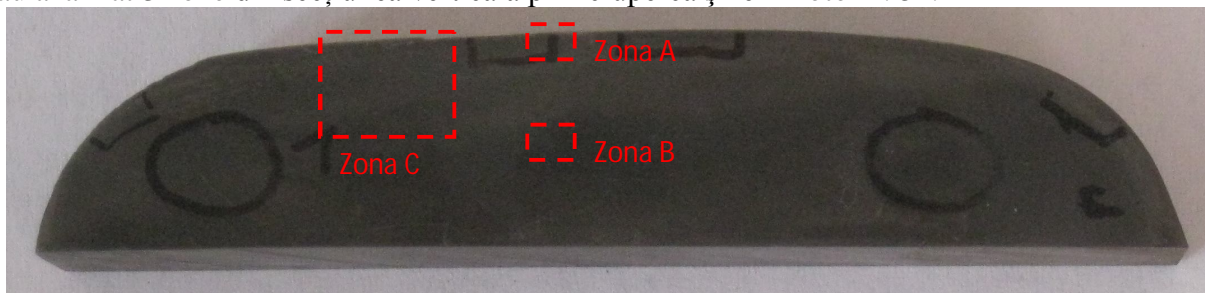
*foto nr. 52. Microscopul Quanta 200 3D*



*foto nr. 53. Proba montată pe suport în interiorul camerei de lucru a microscopului Quanta 200 3D*

## Proba 2 I 1990

S-au analizat 3 zone din secțiunea verticală prin ciuperca șinei – foto nr. 54.



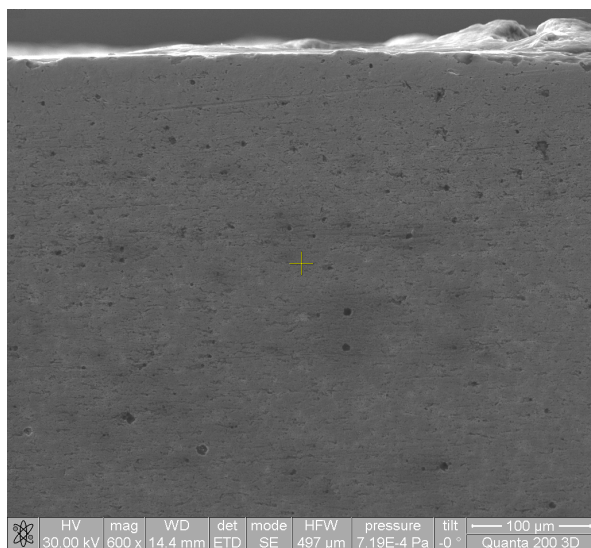
*foto nr. 54. - Proba extrasă din cuponul 2 I 1990*

a) Zona A –suprafața de rulare a șinei, efectuându-se microstructuri pentru puteri de mărire de 600x, 5000x și 10000x, rezultând foto nr. 55, 56 și 57. Se remarcă faptul că de-a lungul suprafeței de rulare a șinei s-a observat o combinație de porțiuni de culoare neagră, cu zone oxidate și mici cavități în material

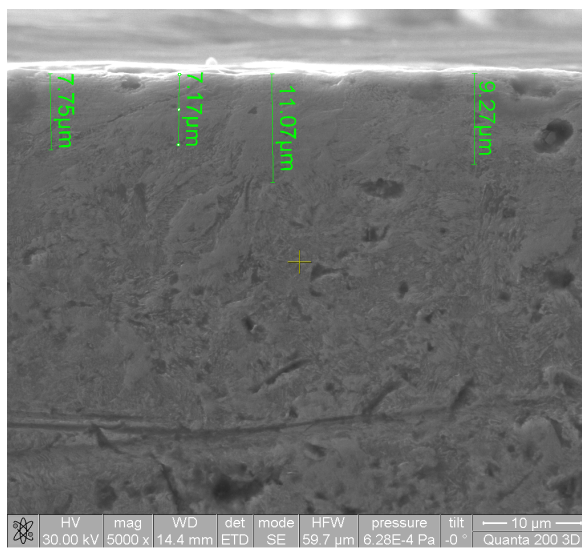
b) Zona B –miezul (profundimea șinei), efectuându-se microstructuri pentru puteri de mărire de 600x, 5000x și 10000x, rezultând foto nr. 58, 59 și 60. Se observă o structură perlitică.

c) Zona C – fisura, efectuându-se microstructuri pentru puteri de mărire de 38x și 300x, rezultând foto nr. 61 și 62. În figura 67 se observă distanța de la suprafața șinei până la adâncimea maximă a fisurii (1,93mm).

În toate cele trei zone analizate se constată prezența unor pori a căror diametru variază între 1 și 6  $\mu\text{m}$ .

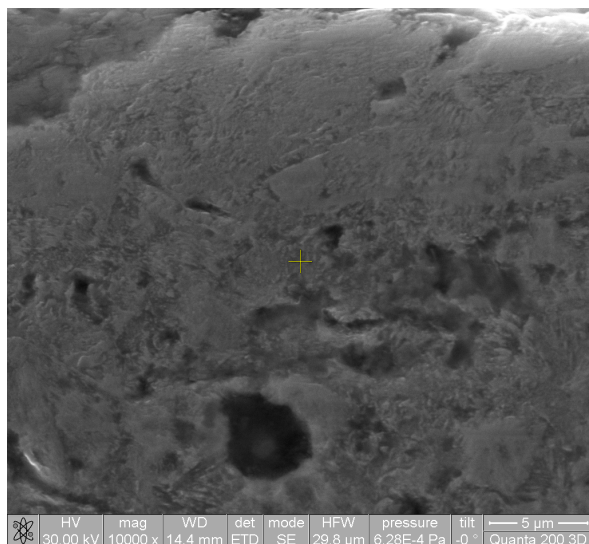


*foto nr.. 55. Zona A. Microstructura suprafeței de rulare (600x)*

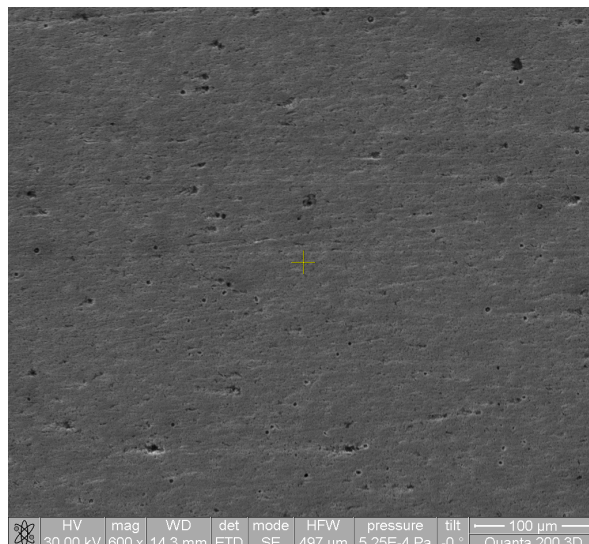


*foto nr.. 56. Zona A. Microstructura suprafeței de rulare (5000x). Grosimea stratului ecruizat*

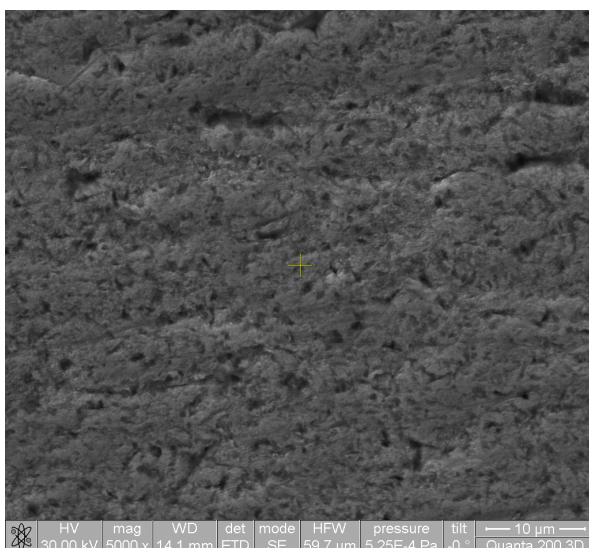




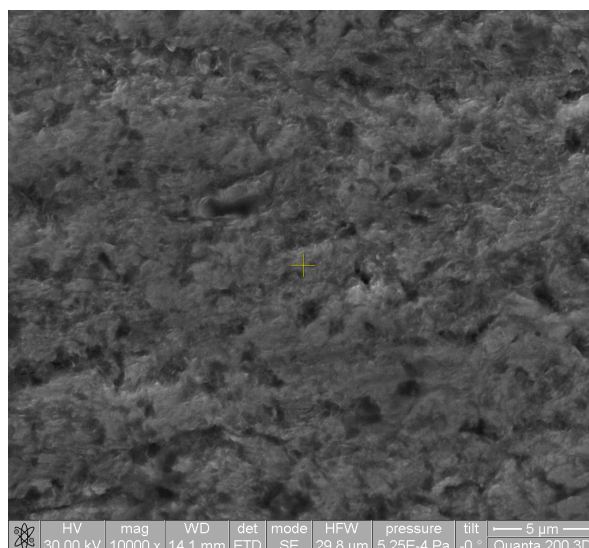
**foto nr. 57. Zona A. Microstructura suprafeței de rulare (10000x)**



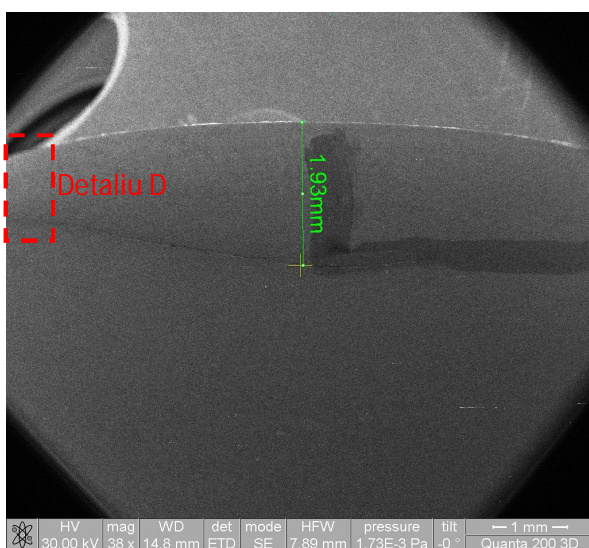
**foto nr. 58. Zona B. Microstructura miezului (600x)**



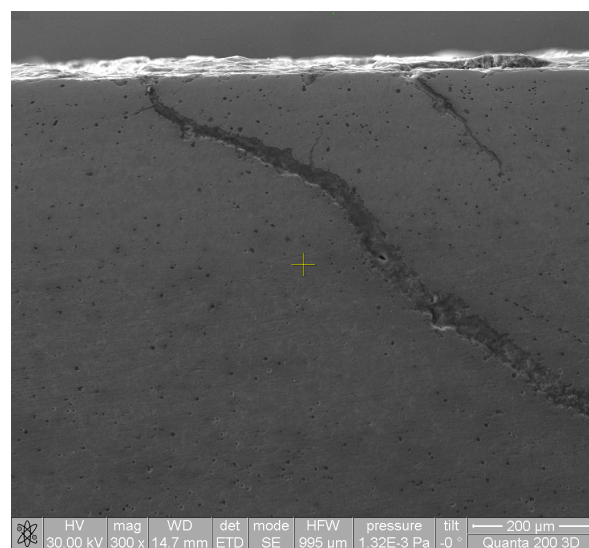
**foto nr. 59. Zona B. Microstructura perlitică a miezului (5000x)**



**foto nr. 60. Zona B. Microstructura perlitică a miezului (10000x)**



**foto nr. 61. Zona C. Aspect fisură aflată la 1-2 mm de suprafața de rulare (38x)**



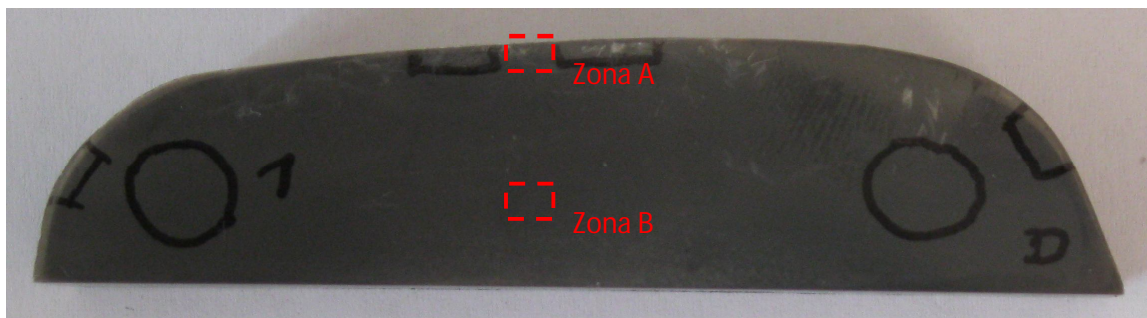
**foto nr. 62. Detaliu D – fig. 10. Aspect fisură (300x)**

## roba 2 II 1989

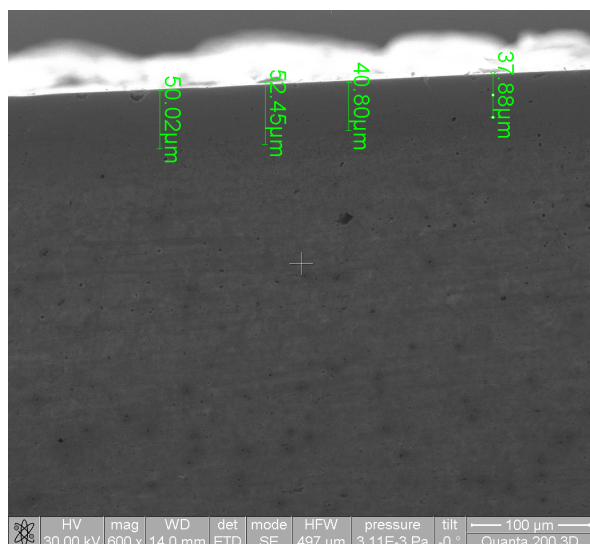
S-au analizat 2 zone din secțiunea verticală prin ciuperca șinei – foto nr.63.

a) Zona A –suprafața de rulare a șinei, efectuându-se microstructuri pentru puteri de mărire de 600x, 2400x, 5000x și 10000x, rezultând foto nr.64 și nr.65. Se remarcă faptul că grosimea stratului ecruisat (cu structură martensitică) variază între 44 și 51  $\mu\text{m}$ .

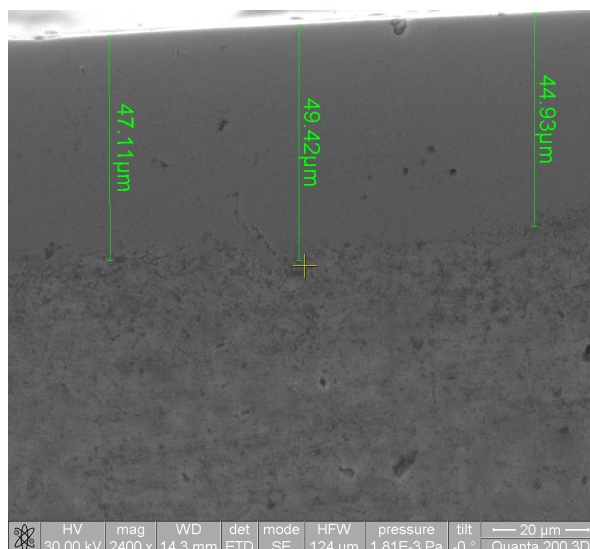
b) Zona B –miezul (profunzimea șinei), efectuându-se microstructuri pentru puteri de mărire de 600x, 5000x și 10000x, rezultând foto nr.66 și nr.67. Se observă o structură perlitică.



*foto nr. 63. Proba extrasă din cuponul 2 II 1989*

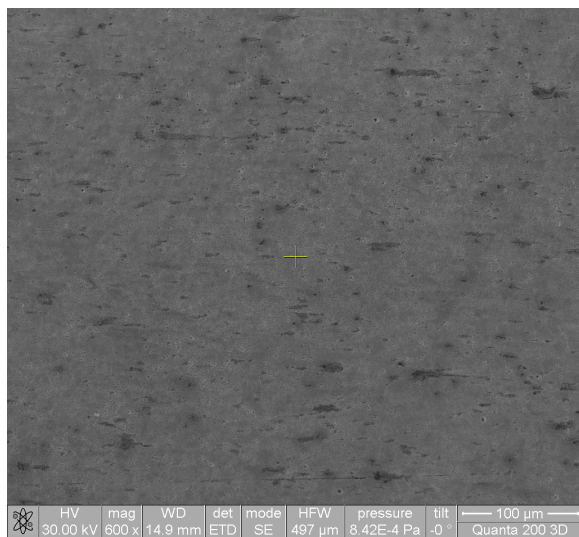


*foto nr. 64. Zona A. Microstructura suprafeței de rulare ( 600x). Grosimea stratului ecruisat*

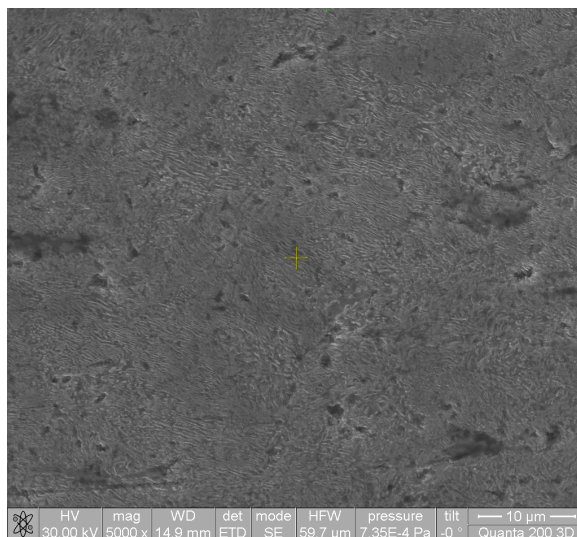


*foto nr. 65. Zona A. Microstructura suprafeței de rulare ( 2400x). Grosimea stratului ecruisat*





**foto nr. 66. Zona B. Microstructura miezului (600x)**



**foto nr. 67. Zona B. Microstructura perlitică a miezului (5000x)**

În cele două zone analizate se constată prezența unor pori a căror diametru variază între 1 și 6  $\mu\text{m}$ .

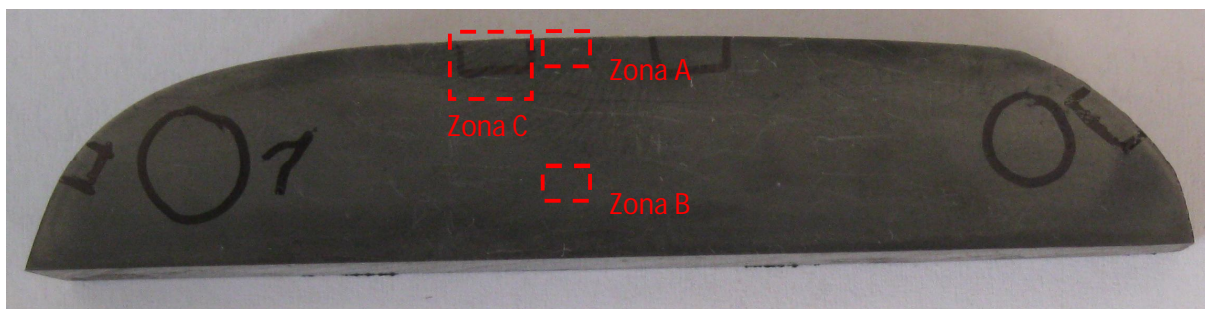
#### Proba 2 III 1990

S-au analizat 3 zone din secțiunea verticală prin ciuperca șinei – foto nr.68.

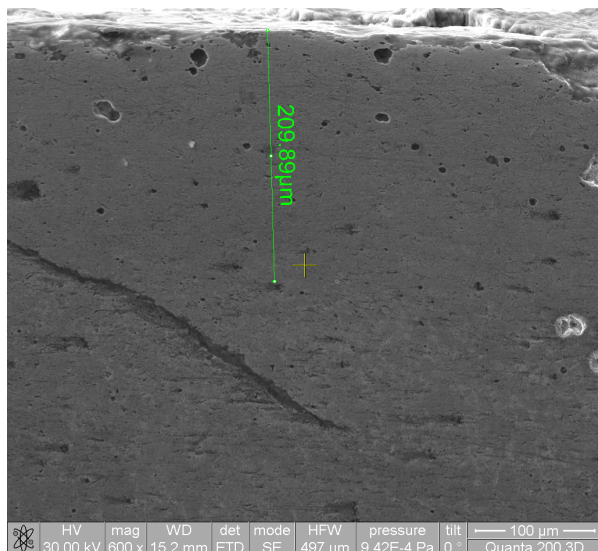
a) Zona A –suprafața de rulare a șinei, efectuându-se microstructuri pentru puteri de mărire de 600x, 5000x și 10000x, rezultând foto nr. 69 și nr.70. Se remarcă faptul că grosimea stratului ecruiat (cu structură martensitică) variază între 200 și 210  $\mu\text{m}$ . Totodată se remarcă prezența în stratul ecruiat a unui strat superior având grosimea de 12,21  $\mu\text{m}$ .

b) Zona B –miezul (profundimea șinei), efectuându-se microstructuri pentru puteri de mărire de 600x, 5000x și 10000x, rezultând foto nr.71 și nr.72. Se observă o structură perlitică.

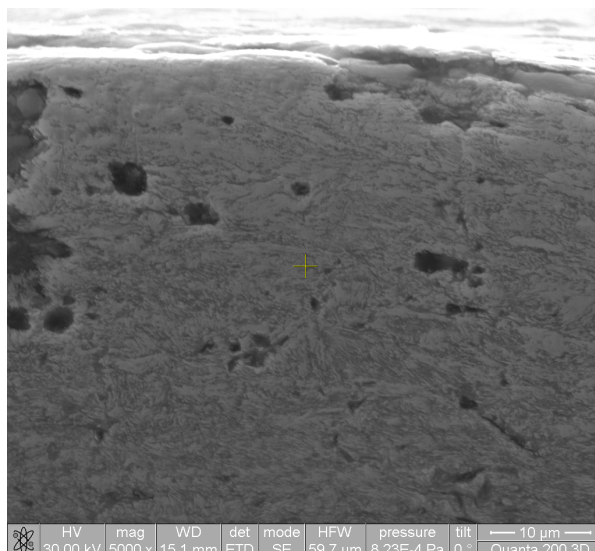
c) Zona C – fisura, efectuându-se microstructuri pentru puteri de mărire de 38x, 600x și 5000x, rezultând foto nr.73 și nr.74. În foto nr.73 se observă distanța de la suprafața șinei până la adâncimea maximă a fisurii (3,39 mm).



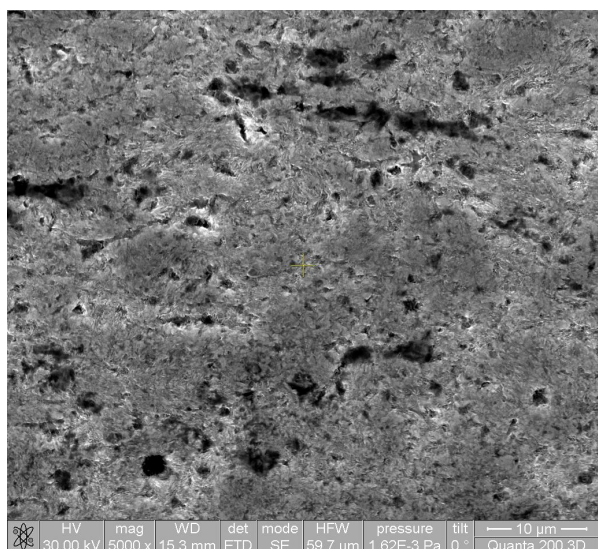
**Fig. 68. Proba extrasă din cuponul 2 III 1990**



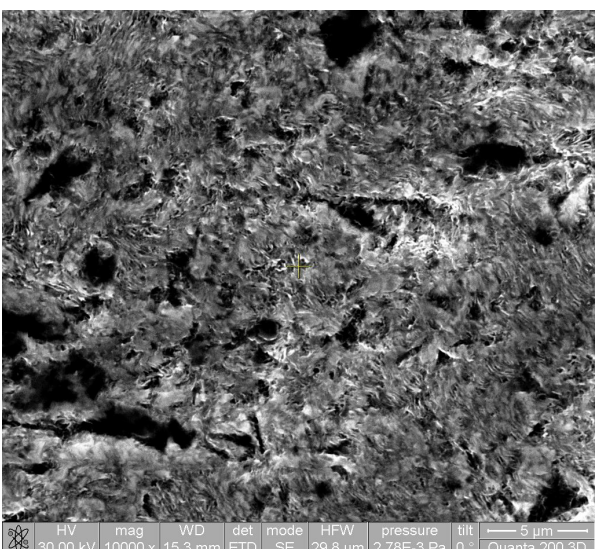
**foto nr. 69.** Zona A. Microstructura suprafeței de rulare ( 600x). Grosimea stratului ecruisat



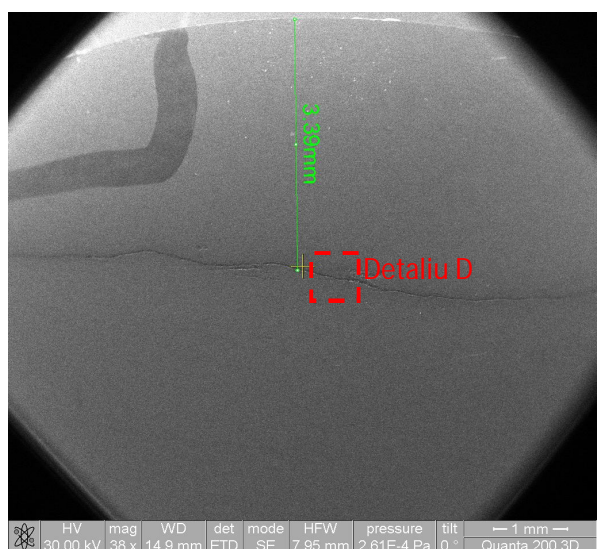
**foto nr. 70.** Zona A. Microstructura suprafeței de rulare ( 5000x).



**foto nr. 71.** Zona B. Microstructura perlitică a miezului (5000x)



**foto nr. 72.** Zona B. Microstructura perlitică a miezului (10000x)



**foto nr.73.** Zona C. Aspect fisură aflată la 3-4 mm de suprafața de rulare (38x)



**foto nr. 74.** Detaliu D – fig. 21. Aspect fisură (600x)



În toate cele trei zone analizate se constată prezența unor pori a căror diametru variază între 1 și 6  $\mu\text{m}$ .

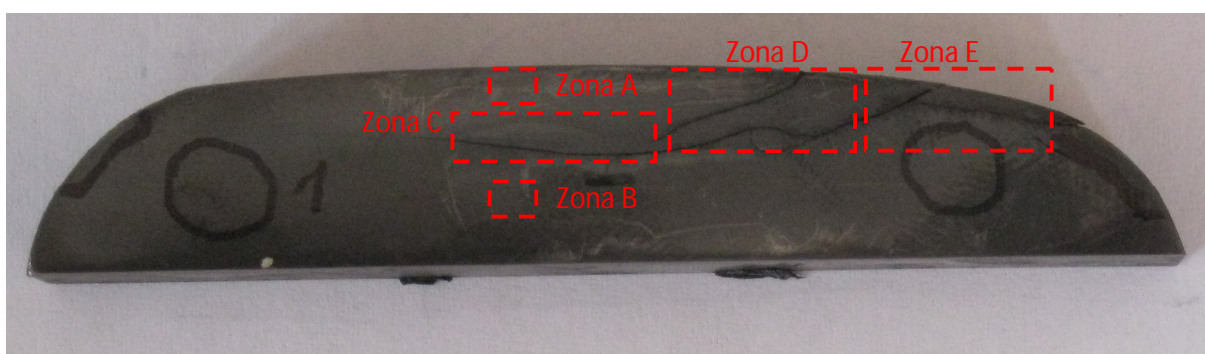
#### Proba 1 IV 1989

S-au analizat 3 zone din secțiunea verticală prin ciuperca șinei – foto nr.75.

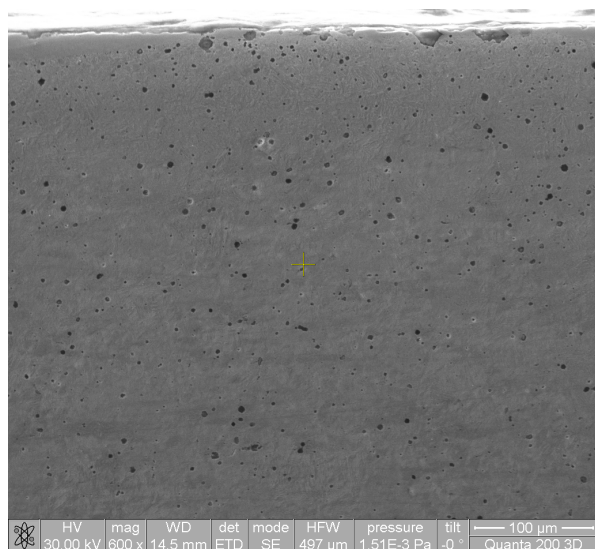
a) Zona A –suprafața de rulare a șinei, efectuându-se microstructuri pentru puteri de mărire de 600x (două imagini), 5000x și 10000x, rezultând foto nr. 76 și nr.77. Se remarcă faptul că grosimea stratului ecruiat (cu structură martensitică) variază între 20 și 35  $\mu\text{m}$ .

b) Zona B –miezul (profundimea șinei), efectuându-se microstructuri pentru puteri de mărire de 600x, 5000x și 10000x, rezultând foto nr. 78 și nr.79. Se observă o structură perlito-feritică fină clasică, caracteristică pentru un oțel eutectoid.

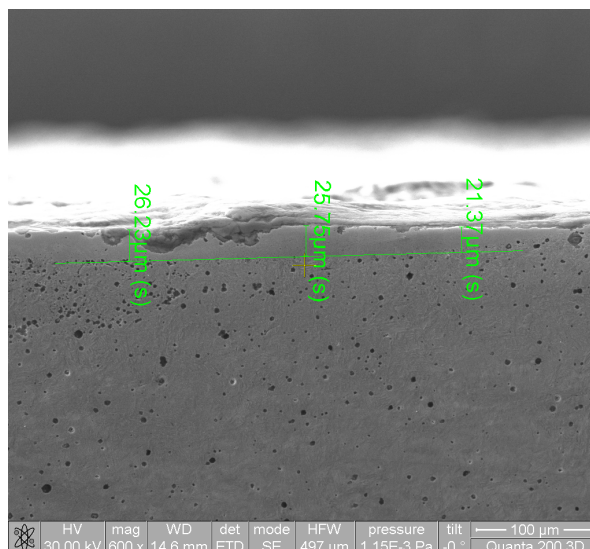
c) Zonele C, D și E – unde sunt evidențiate diferite porțiuni ale fisurilor, efectuându-se microstructuri pentru puteri de mărire de 38x, rezultând foto nr.80 și nr.81. În figura 80 se observă distanța de la suprafața șinei până la adâncimea maximă a fisurii (5,49 mm). Pentru evidențierea grosimii fisurilor prezente în această probă au fost analizate detaliile F, G și H, rezultând figurile 89-91



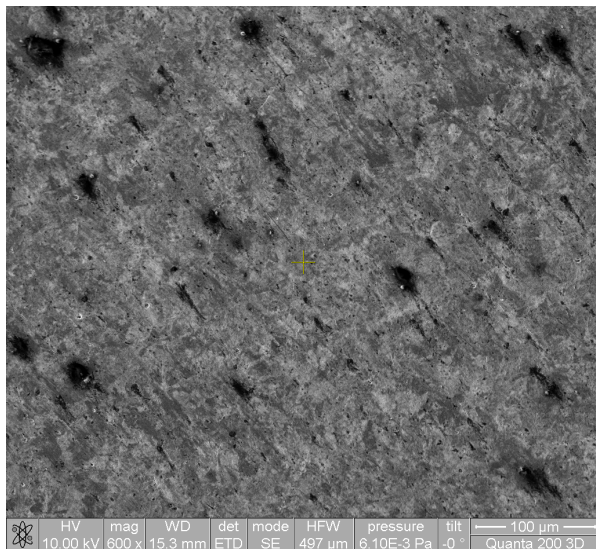
*foto nr.75. Proba extrasă din cuponul 1 IV 1989*



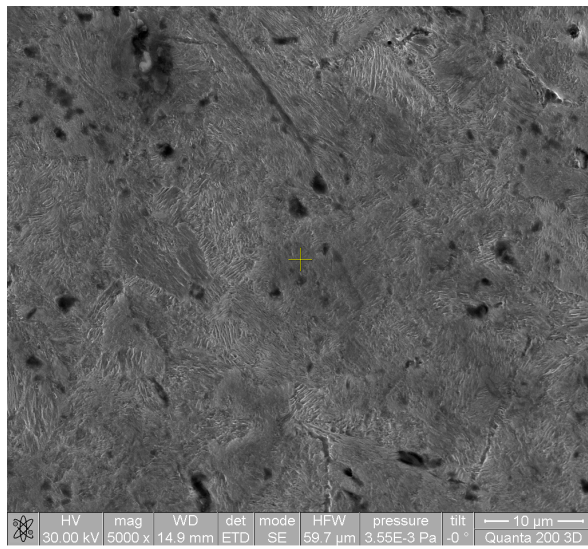
*foto nr. 76. Zona A. Microstructura suprafeței de rulare ( 600x)*



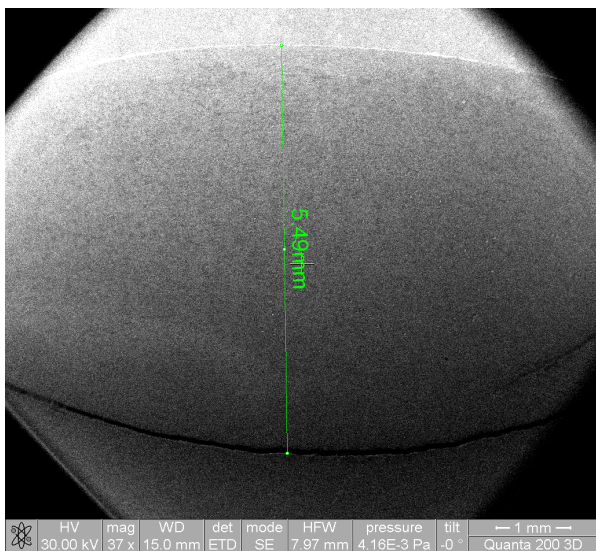
*foto nr. 77. Zona A. Microstructura suprafeței de rulare ( 600x). Grosimea stratului ecruiat*



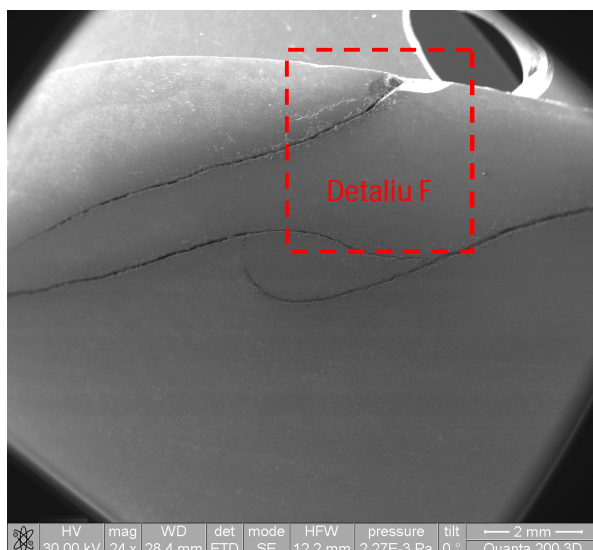
**foto nr. 78. Zona B. Microstructura miezului (600x)**



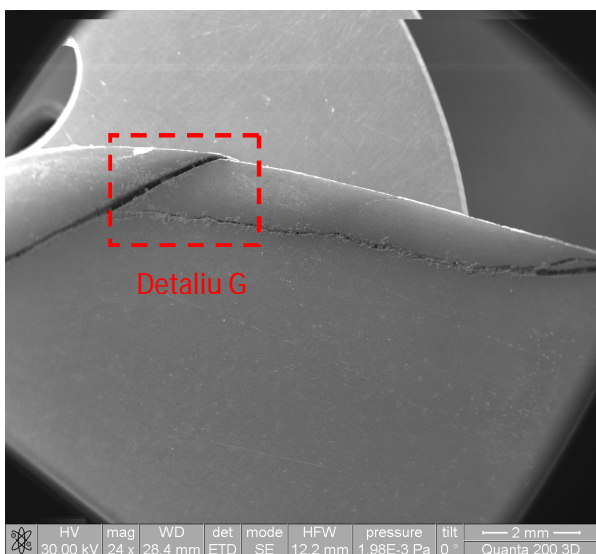
**foto nr. 79. Zona B. Microstructura perlitică a miezului (5000x)**



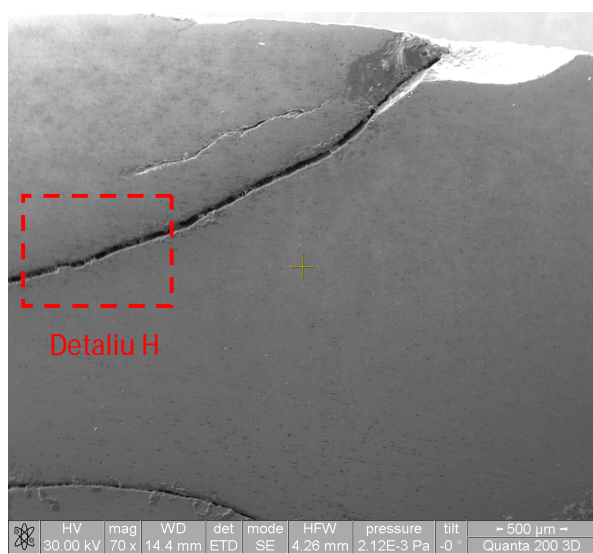
**foto nr. 80 Zona C. Aspect fisură (24x)**



**foto nr. 81. Zona D. Aspect fisură (24x)**

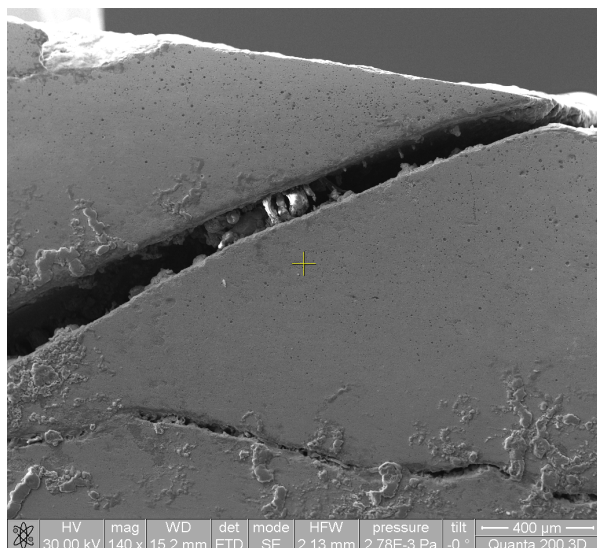


**foto nr. 82. Zona E. Aspect fisură (24x)**

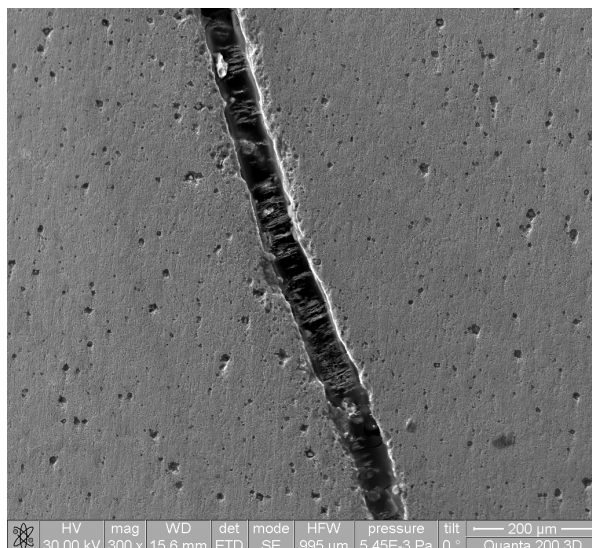


**foto nr. 83. Detaliul F – fig. 81. Aspect fisură (70x)**





*foto nr. 84. Detaliul G – fig.82. Aspect fisură (140x)*



*foto nr. 85. Detaliul H – fig. 83. Aspect fisură (300x)*

În toate cele 5 zone analizate se constată prezența unor pori a căror diametru variază între 1 și 6  $\mu\text{m}$ .

Pentru cele patru probe analizate, pe întreaga suprafață a lor, se găsesc o serie de pori (cu diametrul cuprins între 1 și 6  $\mu\text{m}$ ), care ne sugerează existența unor defecte încă din faza inițială de producție a șinei (defect de structură a materialului supus laminării). Printr-o analiză EDS efectuată pe aceste probe, s-a înregistrat o cantitate mare de oxigen, fapt ce întărește presupunerea existenței unei zone oxidate în structura materialului, provenită din faza de producție a șinei. Aceste defecte inițiale, care pot fi de dimensiuni foarte mici, s-au segregat și s-au propagat pe o suprafață mai mare în timpul exploatării, sub acțiunea ciclică a traficului materialului rulant. Această concluzie este întărită de faptul că microstructura zonelor aflate de o parte și de alta a fisurii este asemănătoare, neexistând indicii clare ale unor modificări radicale în structură.

Fisurile existente pe probele 2 I 1990, 2 III 1990 și în special cele de pe proba 1 IV 1989, pot duce, în timp, datorită exploatării la exfolieri sau la ruperi ale șinelor.

## **B.5. Analiză și concluzii**

### **B.5.1. Concluzii privind starea tehnică a șinelor**

Pentru toate cele 11 cuponașe supuse cercetării de laborator s-au obținut următoarele date comune care extrapolate ne dau informații pentru tronsoanele de șină aflate în exploatare, în cale:

- Șina este din oțel M-74T tratată termic în ciupercă echivalentă oțelului 900 A.
- Marca oțelului a fost confirmată de analiza chimică efectuată prin două metode diferite.
- Se observă faptul că a fost aplicat un tratament termic la jumătatea superioară a ciupercii evidențiat printr-o bandă concavă de culoare închisă de cca. 7...10 mm grosime.
- Secțiunea verticală din zona centrală a ciupercii șinei este o structură constituită din perlită lamelară, dispusă în rozete, specifică unui material supus unui tratament termic de normalizare.
- Structura în zona de tratament termic este constituită din urme de rețea întreruptă de ferită pe fond perlitic, ceea ce denotă o călire incompletă.
- Pentru toate probele studiate, gradul de puritate al materialului este afectat de incluziuni nemetalice constituite din șiruri de sulfuri și silicați plastici cu punctaj 1,5.
- Existența unor fisuri paralele cu suprafața de rulare a ciupercii și desprindere de material la suprafața de rulare.
- Valorile pentru duritatea Brinell corespund intervalului de valori impus M-74T tratată termic în ciupercă echivalentă oțelului 900 A.



- Analiza probelor a evidențiat faptul că, pe întreaga suprafață a lor se găsesc o serie de pori (cu diametrul cuprins între 1 și 6  $\mu\text{m}$ ), care sugerează existența unor defecte apărute încă din faza inițială de producție a șinei (defecte de structură a materialului supus laminării). Analiza EDS efectuată pe aceste probe, a relevat prezența unei cantități mari de oxigen, fapt ce întărește presupunerea existenței unei zone oxidate în structura materialului provenită din faza inițială de producție a șinei.

Din cuponul I, corespunzător șinei rupte de la km 264+995, s-au efectuat cercetări pe cuponașele II(A), I3(E) și I2 și s-a constatat:

- În secțiunea transversală prin inimă se observă o zonă de rupere la oboseală (cu granulație fină, în două nuanțe de cenușiu) pe circa 20% din totalul suprafeței de rupere
- Focarele ruperii la oboseală au constat în fisuri pornite și dezvoltate de la suprafața de rulare
- De-a lungul suprafeței de rulare a șinei se observă o combinație de porțiuni de culoare neagră, cu zone oxidate și mici cavități în material
- Valorile pentru reziliență obținute prin încercări sunt inferioare celor impuse de „C.S. pentru șine grele de CF” și oțel 900A
- Valorile rezistenței la rupere obținute prin încercări sunt inferioare impuse de „C.S. pentru șine grele de CF” și oțel 900A tratat termic

Din cuponul II, corespunzător șinei rupte de la km 248+280, s-au efectuat cercetări pe cuponașele II1(B), II3(G) și II2 și s-a constatat:

- Zona de rupere este 100% bruscă, cu aspect mai pronunțat de smulgere de material în elementul ciupercă
- În imediata vecinătate a rupturii, pe suprafața de rulare, sunt prezente 2 goluri cu diametre între 1,5...3 mm.
- De-a lungul suprafeței de rulare a șinei s-a observat o alternanță de porțiuni de culoare neagră cu zone oxidate
- La suprafața de rulare este o fisură și desprindere de material, propagată pe o bandă de influență termică de 4...5 mm grosime
- Material depus succesiv prin sudare, cu structură constituită din grăunți columnari de austenită și rețele întrerupte de carburi, specifică unui oțel austenitic manganos.
- Valorile pentru reziliență obținute prin încercări sunt inferioare celor impuse de „C.S. pentru șine grele de CF” și oțel 900A
- Valorile rezistenței la rupere obținute prin încercări sunt inferioare impuse de „C.S. pentru șine grele de CF” și oțel 900A tratat termic

Din cuponul III, corespunzător șinei rupte de la km 264+920, s-au efectuat cercetări pe cuponașele III1(C), III3(F) și III2 și s-a constatat:

- În elementul inimă se observă o zonă de rupere la oboseală (netedă) pe circa 12% din totalul suprafeței de rupere.
- Ultima porțiune a ruperii, cu granulație grosolană și smulgere de material, este reprezentată de ruperea bruscă.
- Focarele ruperii la oboseală au constat în fisuri aproximativ paralele cu suprafața de rulare, pornite și dezvoltate de sub un strat de material de grosime 3...5 mm de pe suprafața ciupercii.
- La suprafața de rulare se observă material depus succesiv prin sudare, cu structură de cristalizare primară formată din grăunți columnari.
- Numeroase fisuri care străbat materialul depus și zonele influențate termic de sudură.
- Pe măsura îndepărtării de suprafața de rulare, se accentuează neomogenitatea structurală, devenind preponderente martensita+troostita.
- Contur al ciupercii afectat de exfolieri și desprinderi de material de la suprafața de rulare a ciupercii.
- Se observă și o bandă de culoare cenușie la suprafața de rulare, cu grosime de 2...3 mm.

- Valorile pentru reziliență obținute prin încercări sunt inferioare celor impuse de „C.S. pentru șine grele de CF” și oțel 900A
- Valorile rezistenței la rupere obținute prin încercări sunt inferioare impuse de „C.S. pentru șine grele de CF” și oțel 900A tratat termic

Din cuponul III, corespunzător șinei rupte de la km 260+370, s-au efectuat cercetări pe cuponașele IV2(D), IV1 și s-a constatat:

- La suprafața de rulare structura este ușor ecruisată de perlită sorbitizată, obținută în urma tratamentului termic de călire superficială.
- Urme ale unor exfolieri și fărâmițări de material, la baza cărora există și o fisură paralelă cu suprafața de rulare a ciupercii.
- Distanța de la suprafața șinei până la adâncimea maximă a fisurii este de 5,49 mm.
- Valorile pentru reziliență obținute prin încercări sunt inferioare celor impuse de „C.S. pentru șine grele de CF” și oțel 900A
- Valorile rezistenței la rupere obținute prin încercări sunt inferioare impuse de „C.S. pentru șine grele de CF” și oțel 900A tratat termic

### **B.5.2. Concluzii privind modul de producere a defectelor în șine**

- Rezultatele obținute la încercările efectuate pe cele 11 cuponașe de șină conduc la concluzii defavorabile tehnologiei de fabricație.
- Apariția microfisurilor la suprafața de rulare a șinelor este o consecință a oboselii materialului.
- Modificarea structurii oțelului la suprafața de rulare sub trafic a condus la apariția fenomenului de uzură ondulatorie.
- Uzura ondulatorie s-a dezvoltat în timp datorită traficului scurs de la prima introducere în cale până la apariția defectelor.
- Adaosul de material prin sudare la suprafața de rulare a șinelor, prin folosirea de electrozi necorespunzători și nerespectarea procesului tehnologic de recondiționare prin sudură, poate conduce la accelerarea fenomenului de degradare a stării șinei prin modificarea atât a structurii metalografice cât și a proprietăților fizico-mecanice a ciupercii șinei.

## **B.6. Cauza directă, factori care au contribuit și cauze primare**

### **B.6.1. Cauza directă**

**Cauza directă** a producerii celor două defecțiuni tehnice ale constituentului de interoperabilitate „șină de cale ferată” a fost scăderea rezistenței la rupere șinelor în condițiile aplicării în timp a unor sarcini variabile din trafic care au dus la ruperea șinelor, la tensiuni mai mici decât rezistența la rupere a oțelului din șine.

Ruperea care apare în condițiile aplicării în timp a unor sarcini variabile este o rupere la oboseală.

Oboseala oțelului din șină se manifestă prin apariția și dezvoltarea fisurilor în zona de contact roată-șină și prin deformări plastice asociate fenomenelor de ecruisare.

Natura și mai ales evoluția defectelor indică faptul că, acestea au drept cauză oboseala materialului (oțelului) prin solicitările dinamice repetate.

### **B.6.2. Cauze subiacente**

1. Nerespectarea prevederilor art.21, pct. 1 din Instrucția de norme și toleranțe pentru construcția și întreținerea căii - linii cu ecartament normal nr. 314/1989, care prevăd faptul că, nu se admite menținerea în cale a șinelor cu defecte de categoria I, acestea trebuind înlocuite în cel mai scurt timp, respectiv în maximum 5 zile de la constatare.
2. Nerespectarea prevederilor *Instrucției pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale nr. 306/1972*, referitoare măsurile care trebuiesc luate atunci când este identificat defectul tipul 20, respectiv: “Din șina ruptă se va trimite un cupon la

*Institutul de Studii și Cercetări transporturi pentru analiză, iar DGLI va dispune a se lua măsuri pe baza rezultatelor”.*

### **B.6.3. Cauze primare**

Nu au fost identificate cauze primare

## **D. RECOMANDĂRI DE SIGURANȚĂ**

Destinatarul recomandărilor de siguranță este Compania Națională de Căi Ferate “CFR” S.A în calitate de administrator al infrastructurii feroviare.

Recomandările sunt direcționate pentru soluționarea următoarelor aspecte:

1. Pe liniile a căror suprastructură este construită cu șine tip R65 fabricate de Azovstal din Ucraina (fosta URSS) în perioada 1989-1991, până la executarea lucrărilor de refacție de șine, se recomandă a se evita efectuarea lucrărilor de buraj, ripaj, stabilizare dinamică și ciuruire mecanizată cu mașini grele de cale pentru a nu determina apariția defectelor prin solicitările dinamice transmise de utilaje către șine, în timpul procesului tehnologic.
2. Evitarea executării reparațiilor prin sudură a suprafețelor șinelor cu defecte în condițiile în care materialul din care sunt confecționate acestea este afectat de procesul de oboseală.
3. Completarea prevederilor instrucției nr. 306/1972:
  - prin introducerea în clasificarea actuală a defectelor șinelor defectelor cauzate de fenomenul de oboseală și a termenilor existenți în fișa UIC nr.712 pentru definirea defectelor șinelor cu defectele cauzate de fenomenul de oboseală (ex. squats, head checks, shelling, belgrospis);
  - cu modalități de identificare, verificare, urmărire în timp și rectificare a uzurii ondulatorii;
  - cu stabilirea condițiilor de circulație în funcție de categoria defectelor șinelor.
4. Introducerea în nomenclatorul de lucrări de întreținere și reparații a șinelor, cuprins în instrucțiile actuale, a lucrărilor și proceselor tehnologice referitoare la: șlefuirea, frezarea sau rabotarea șinelor în cadrul lucrărilor de mentenanță.

### ***Măsuri referitoare la șina tip R65 fabricată de Azovstal din Ucraina (fosta URSS) în perioada 1989-1991***

1. Inventarierea pe întreaga rețea feroviară a tronsoanelor de linie construite cu șină tip R65 produsă de Azovstal din Ucraina (fosta URSS) în perioada 1989-1991, verificarea lor amănunțită pentru identificarea eventualelor șine cu defecte similare celor apărute pe linia Adjud-Bacău și stabilirea în consecință a măsurilor care se impun pentru asigurarea siguranței feroviare.
2. Identificarea aparatelor de cale care au fost construite cu șine având același producător și stabilirea în consecință a măsurilor care se impun pentru asigurarea siguranței feroviare.

Prezentul Raport de Investigare se va transmite administratorului infrastructurii feroviare publice Compania Națională de Căi Ferate “CFR” S.A și Autorității de Siguranță Feroviară Română.

Membrii comisiei de investigare:

Eduard Stoian	- investigator principal.....
Dumitru Sfârlos	- investigator.....
Radu George Pipa	- investigator.....
Petre Schipor	- investigator.....
Constantin Bărbînță	- investigator.....