

**Contractor: Institutul National de Cercetare-Dezvoltare  
pentru Fizica si Inginerie Nucleara "Horia Hulubei"**

**Cod fiscal : RO3321234** (anexa la procesul verbal de avizare interna nr. .... )

De acord,  
**DIRECTOR GENERAL**  
**Dr. Nicolae Marius Marginean**  
Avizat,  
**DIRECTOR DE PROGRAM**  
**Dr, Mihai Radu**

### **RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI**

**Contractul nr.: 10N/2019**

**Proiectul: PN 19 06 01 03**

Activitati de cercetare si dezvoltare legate de studiul materiei in conditii extreme de temperatura si presiune si structura nucleara exotica

**Faza: nr. 7**

Tehnologie de realizare a acoperirilor multicomponent cu caracteristici functionale imbunatatite, prin utilizarea a diverse structuri si compozitii (**Partea I**)

**Termen de încheiere a fazei: 09.12.2020**

1. Obiectivul proiectului:

Cercetari teoretice si experimentale in descrierea materiei subatomice.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

Realizarea de acoperiri tribologice/ dure multicomponent cu structura de strat unic si compozitie constanta

3. Obiectivul fazei:

Realizarea de probe cu acoperiri tribologice uscate, cu structura de strat unic si compozitie constanta si evaluarea proprietatilor structurale si compositionale (*folosind testele SEM si RBS, dezvoltate in IFIN-HH/DFNA*) precum si proprietatile mecanice si tribologice (*folosind testele de: zgariere/ Scratch Test, Duritate/ Hardness Test si evaluare tribologica/ Pin or Ball Tribometer Test*) ale acestor probe.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

Realizarea de acoperiri tribologice/ dure multicomponent cu structura de strat unicus si compozitie constanta

- a) Evaluarea caracteristicilor mecanice si tribologice ale probelor realizate
- b) Analiza comparativa a rezultatelor

## **5 Rezumatul fazei:** (maxim 5 pagini)

### **a. Realizarea acoperirilor tribologice multicomponent**

Pentru realizarea acoperirilor multicomponent tribologice/dure uscate si complexe, prin procese de depunere in vid sau in atmosfera deschisa, cu utilizare in conditii extreme de presiune/temperatura/ radiatii (in vacuum/ in utilizari aerospatiale) trebuie utilizate:

- **procesele tehnologice de depunere** de tip Physical Vapor Deposition/PVD, care sa stimuleze (prin: temperatura/ presiune de lucru, grad de ionizare al materialului de depunere adus in stare de vapori, eliminarea gazelor reziduale ce pot fi inglobate in stratul depus) crearea de legaturi chimice puternice (legaturi de tip covalent sau legaturi metalice) intre materialul depus si substrat, precum si intre straturile componente ale acoperirii

- **materiale** cu proprietati fizico-chimice (Modulul de elasticitate=  $E$ , Duritatea=  $H$ , Rezistenta la rupere=  $\sigma_r$ , Coeficientul de conductie termica= $\lambda$ ; Coeficientul de frecare=  $\mu$  si Electronegativitatea=  $\chi$ ) complementar cumulative, (in acord cu Brevetul de Inventie RO 128094/ 2014 si Cererea de Brevet de Inventie/CBI, inregistrata la OSIM cu nr. A/00167/09.04.2016– ale autorilor: Alice-Ortansa Mateescu si Gh. Mateescu), ce trebuie sa indeplineasca conform brevetului (partial sau total, in functie de conditiile concrete ale mediului de lucru) urmatoarele 6 caracteristici esentiale, ce definesc si caracterizeaza acoperirile tribologice:

1. Coeficient de frecare scăzut (previzionat de COF al materialelor utilizate si de combinarea sinergica a proprietatilor materialelor utilizate, conform CBI 00167/2016 in cazul acoperirilor cu superstructuri nanostructurate, adica in super-nano-structuri cu grosimi mai mici de 10 nm)
2. Duritate ridicată (previzionat de parametrul  $H$  al materialelor utilizate si de combinarea sinergica a proprietatilor materialelor in super-nano-structuri)
3. Tenacitate ridicată (previzionata de parametrii  $\sigma_r$ ,  $E$  si  $H$  ai materialelor utilizate si de combinarea lor sinergica in super-nano-structuri)
4. Aderență bună la substrat si coeziune ridicata între straturi (previzionata de  $\chi$ - Electronegativitatea materialelor utilizate, dar si de parametrii procesului tehnologic)
5. Conductivitate termică ridicată (previzionata de coeficientul de conductie termica-  $\lambda$  al materialelor utilizate si de combinarea lor sinergica, in super-nano-structuri);
6. Rezistență înaltă la coroziune și oxidare termică/ stabilitate termică și chimică, (previzionata de parametrul  $\chi$  al materialelor utilizate si de combinarea lor sinergica, in super-nano-structuri).

Evaluarea calitatii acoperirilor tribologice este o problema foarte complexa si pentru o evaluare cat mai corecta trebuie sa se tina cont atat de cei 2 **parametrii tribologici** (COF si  $k$ ) (obtinuti prin testul de tribologie), cat si de cei 4 **parametrii mecanici ai acoperirii**, ce vor fi prezentati si definiti sintetic mai jos:

1. **Coeficientul de frecare** (Coefficient of friction - COF/  $\mu$ ), determinat prin testul tribometric (Pin/ball-on disk), este adimensional si in micro-tribologie reprezinta o masura a raportului dintre forta de tractiune si forta de frecare (respectiv fortele de abraziune si de adeziune in nano-tribologie) ce se opune miscării unui obiect aflat in contact cu o suprafată. Pentru acoperirile tribologice uscate COF trebuie sa aibe valori mai mici de 0,1 - 0,2, iar in literatura de specialitate se gasesc valorile acestui coeficient de frecare fata de otel, pentru majoritatea elementelor chimice si compusilor chimici utilizabili in astfel de scopuri.
2. **Coeficientul de uzura- $k$**  (Wear Coefficient), exprimat in  $\text{mm}^3/\text{Nm}$ , reprezinta cantitatea de material indepartat prin testul tribometric (Pin/ball on disk tribometer) si ste puternic influentat de duritatea materialului ( $H$ ), rezistenta la rupere ( $\sigma_r$ ) si de tenacitatea acestuia (parametri:  $E$ ;  $H/E$ ;  $H^3/E^2$ )

3. **Aderenta la substrat si coeziunea dintre straturi** – este determinata uzual prin testul de zgariere (*Scratch Test*) si este redata de sarcinile critice  $L_{C1}$ ,  $L_{C2}$  si  $L_{C3}$ , ce reprezinta fortele (*masoarate in Newton*) la care apar: Prima fisura ( $L_{C1}$ ); Prima delaminare ( $L_{C2}$ ); Exfoliere a mai mult de 50% din strat ( $L_{C3}$ ). Aderenta la substrat si coeziunea dintre straturi este puternic influentata de: Rezistenta la rupere, Parametrul chimic denumit electronegativitatea ( $\chi$ ) al: elementelor chimice din compozitia materialelor de depunere/substratului, gazelor de proces /reziduale, ce determina tipul de legaturi chimice (*intramoleculare: covalente, metalice, ionice; intermoleculare sau de dispersie: van der Waals, interactii de tip ion-dipol, ion-dipol indus*), ce se creeaza atat la interfata strat depus-substrat, cat si in compozitia materialului de depunere, cu producerea de compusi chimici/intermetalici sau solutii solide.
4. **Duritatea - H**, definita ca rezistenta la deformare (*prin zgariere sau indentare/ amprentare*) sub actiunea unui corp strain, este determinata uzual prin testul de indentare (*Hardness Indentation Test*) si se masoara in **GPa**. Pentru indentare:  $H = P/\alpha_0 \cdot a^2$ , unde: P = forta de amprentare; a = dimensiunea amprentei lasate de indentor;  $\alpha_0$  = constanta (*cand a = 1/2 din diagonala amprentei,  $\alpha_0=2$* ),
5. **Coeficientul/ modulul de elasticitate/ Young - E (in GPa)**, definit de legea Hooke pentru curba de deformare elastica la alungire/ tractiune a unui material ca fiind raportul dintre efortul unitar de alungire/ intindere/ tractiune ( $\sigma_{tr} = \text{tensile stress } F/S$ ) si alungirea relativa la tractiune ( $\epsilon_{tr} = \text{tensile strain} = (L_0 - L)/L_0$ ), este determinat uzual prin testul de determinare a duritatii prin indentare (*Hardness Indentation Test*)
6. **Tenacitatea (*toughness* =  $K_c$ ) sau rezistenta la fracturare**, este data de relatia:  $K_c = \alpha_1 (E/H)^{1/2} (P/c^{3/2})$ , unde: P=sarcina de deformare; c= dimensiunea (L) fisurii rezultate prin indentare;  $\alpha_1$ =coeficient numeric care tine cont de dimensiunile indentorului ( $\alpha_1=0,016$  *pentru varfurile de indentare, tip Berkovich si Vickers*). **Tenacitatea ridicata**, exprima rezistenta acoperirii la: deformare elastica, elasto-plastica si rupere, respectiv abilitatea materialului de a absorbi energie si de a se deforma plastic fara a se fractura. O acoperire tenace trebuie sa aiba valori cat mai ridicate pentru: modul de elasticitate (**E**); rezistenta la rupere ( **$\sigma_r$** ); indicii de elasticitate (**H/E**) si plasticitate ( **$H^3/E^2$** ).

Cele 6 proprietati tribologice esentiale, pe care trebuie sa le indeplineasca acoperirile tribologie, dar pe care trebuie sa le asigure cumulativ materialele tintelor utilizate pentru realizarea acoperirilor tribologice prin Pulverizare Magnetron in cc sau RF, pot fi indeplinite **teoretic** – de 6 materiale de top pentru tinte de pulverizare, care indeplinesc individual la cel mai inalt nivel una din cele 6 proprietati maxime ale acoperirilor tribologice, respectiv de 6 materiale de top, care indeplinesc individual la cel mai inalt nivel una din cele 6 proprietati fizico-chimice esentiale ( $\mu, E, H, \sigma_r, \lambda, \chi$ ) ale materialelor utilizate.

In mod **practic si optim**, (*din punct de vedere tehnologic si al costurilor de realizare*), cele 6 proprietati maxime ale acoperirilor tribologice pot fi indeplinite si de un numar mult mai redus de materiale (*elemente chimice din Tabelul Periodic, compusi chimici, aliaje, produse de sinterizare*), deoarece anumite materiale pot asigura simultan si la nivel cat mai ridicat, 2 sau mai multe cerinte din cele 6 cerinte maxime ale acoperirilor tribologice, prezentate anterior.

Alegerea numarului de materiale (2... 5) din compozitia straturilor tribologice se face, pe baza:

- complementaritatii proprietatilor fizico-chimice ale acestora,
- costurilor de realizare,
- conditiile de mediu de lucru ale cuplei de frecare (*temperatura, presiune, etc.*)
- sarcina de apasare a cuplei de frecare
- costurile de realizare, etc.

Pomind de la cei 6 parametri tribologici si mecanici esentiali ai acoperirilor tribologice, definiti anterior, respectiv de la cele 6 proprietati fizice esentiale ( $\mu$ ,  $H$ ,  $\sigma$ ,  $E$ ,  $\lambda$ ,  $\chi$ ) ale materialelor (*elementelor chimice din Tabelul Periodic*) utilizate in mod frecvent la realizarea acoperirilor tribologice si **utilizand cate un material metalic de top** (*materiale solide cu legatura chimica de tip metalic intre atomii componenti, ce prezinta 3 stari cristaline: Cub cu Fete Centrate/ Face Centered Cubic/FCC; Cub cu Volum Centrat /Body Centered Cubic/BCC; Impachetare Hexagonala/ Hexagonal Close Packed/HCP*) pentru fiecare proprietate fizica esentiala, rezulta ca o prima solutie o constituie acoperirile tribologice realizate cu 6 materiale metalice distincte, sub forma de solutie solida, cristalina sau amorfa, ce intra in categoria **Aliajelor cu Entropie Mare (High Entropy Alloys/HEAs)**. Aliajele cu entropie ridicata (**HEAs**) **constituie o clasa noua de materiale**, care contin cel putin 5 care se caracterizeaza prin proprietati mecanice, tribologice, chimice, magnetice, etc., deosebite si sunt studiate intens in ultima perioada pentru obtinerea acestora (HEAs) si prin metoda depunerilor de straturi subtiri in vid, precum si unei clase mult mai largi de materiale (**High Entropy Materials/HEMs**), care pe langa materialele metalice contin si materiale nemetalice), pe langa metodele clasice de obtinere a HEAs prin metoda topirii si tumarii, sau metoda sinterizarii. **HEMs, ce include si Acoperirile Tribologice Multicomponent**, sunt solutii solide cu cel putin 5 elemente chimice diferite, care pe langa metale contin si material nemetalic, precum **B, C, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>**, care atunci cand au o concentratie suficienta conduc la formarea de compusi metalici: boruri, carburi, nitruri, oxizi.

In Tabelul 1 se prezinta materialele simple si compuse, selectate pentru experimentari, cu caracteristicile esentiale cerute la selectare pentru realizarea acoperirile tribologice cu caracteristici imbunatatite, precum si caracteristicile fizico-chimice ale compusilor chimici dar si ai elementelor chimice din compozitia acestora care vor participa la realizarea acoperirii tribologice/dure si vor influenta, alaturi de caracteristicile de proces (*presiune si temperatura de lucru, timpii de depunere*) caracteristicile tribologice ale acesteia.

Tabel-1: Proprietati fizice esentiale ale materialelor utilizate la realizarea acoperirilor tribologice

Materialul tintelor de pulverizare	E [GPa]	H [GPa]	$\lambda$ [W/m.K]	$\mu$ /COF (fata de otel)	Date ale structurii nou create, tip HEM <sub>5</sub>		
					Elementul chimic	Strucura cristalina	Raza atomica [pm]
<b>Grupa Principala - 1</b>					W	Cub cu fete centrate/ CFC	193
WC	450 – 650	2,1	80-100	0,4-0,6	Ti	hexagonal compact/ hcp	176
TiB <sub>2</sub>	510 - 550	33	25		C	Hexagonal	67
WS <sub>2</sub>	400 - 410	1	32 - 140	0,03-0,07	B	Romboidal	87
Ti	110	0,83 - 3,42	22	0,4-0,6	S	Ortorombic	88
<b>Grupa Principala - 2</b>					W	CFC	193
B <sub>4</sub> C	218-290	41-45	687		Ti	hcp	176
TiB <sub>2</sub>	510 - 550	33	25		C	Hexagonal	67
WS <sub>2</sub>	400 - 410	1	32-140		B	Romboidal	87
TiN	250 - 320	31			S	Ortorombic	88
					N	-	56

Materialele selectate pentru experimentari sun impartite in 2 grupe principale cu cate 4 materiale, din care s-au mai obtinut alte 4 grupe secundare (grupele 3-6).

-in Grupa Principala-1: **WC+TiB<sub>2</sub>+WS<sub>2</sub>+Ti**, contine 5 elemente chimice distincte: 2 metale (*W si Ti*) si 3 nemetale (*C, B si S*), ce vor produce un material nou cu entropie ridicata, (**HEM<sub>5</sub>**)

-in Grupa Principala-2: **B<sub>4</sub>C+TiB<sub>2</sub>+WS<sub>2</sub>+TiN**, contine 6 elemente chimice distincte: 2 metale (*W si Ti*) si 4 nemetale (*C, B, S si N*), ce vor produce un material nou cu entropie ridicata, (**HEM<sub>6</sub>**).

**b. Parametrii tehnologici ai depunerilor si grosimea obtinuta prin metoda Colotest- Tabel 2**

Tabel-2\_ parametrii tehnologici si grosimea masurata

Nr. Proba	Materialele depuse si puterile absorbite in procesul de pulverizare	Timp depunere [h]	Grosime ( $\mu\text{m}$ )
1	WC-30W + TiB2-30W + Ti-270W + WS2-100W	3,00	2
2	WC-60W + TiB2-180W + Ti-180W + WS2-100W	3,00	2,6
3	WC-120W + TiB2-270W + Ti-120W + WS2-100W	3,00	0,4
4	WC-180W + TiB2-180W + Ti-60W + WS2-100W	3,00	0,9
5	TiB2-30W + Ti-30W + WS2-110W	3,00	0,9
6	B4C-42W + TiN-60W	4,00	0,3
7	B4C-42W + TiN-60W + WS2-50W	2,50	1,2
8	B4C-42W + TiB2-90W + TiN-60W + WS2-50W	3,00	1,6
9	B4C-60W + TiB2-90W + TiN-60W + WS2-100W	3,00	2,6
10	B4C-xW + TiB <sub>2</sub> -yW + TiN-zW + WS <sub>2</sub> -100W	3,00	2,5
11	B4C-36W + TiB2-180W + TiN-36W + WS2-75W	3,00	2,2

**c. Caracterizarea structurala si compozitionala a straturilor subtiri depuse**

In primele coloane din Tabelul 2 sunt prezentate caracteristicile tehnologice de proces pentru cele 14 probe realizate prin pulverizare magnetron in cc si RF, iar in urmatoarele coloane ale tabelului sunt prezentate rezultate privind compozitia straturilor depuse, obtinute prin metoda SEM-EDS.

Materialele depuse si puterile absorbite in procesul de pulverizare	Timp de depunere [h]	Nr. Proba	Procentaj de atomi al Elementelor Chimice/EC de baza [%]								Alte EC			
			C	N	B	O	S	Ti	W	Ag	Al	P	Cu	
WC-30W + TiB2-30W + Ti-270W + WS2-100W	3,00	1	21,96	19,63	?	20,34	11,01	15,64	11,41	-	-	-	-	
WC-60W + TiB2-180W + Ti-180W + WS2-100W	3,00	2	21,80	23,26	?	15,51	12,87	13,83	12,59	0,14	-	-	-	
WC-120W + TiB2-270W + Ti-120W + WS2-100W	3,00	3	19,31	22,50	?	15,56	15,86	12,77	13,73	0,27	-	-	-	
WC-180W + TiB2-180W + Ti-60W + WS2-100W	3,00	4	35,43	21,28	?	8,85	7,19	8,78	18,47	-	-	-	-	
TiB2-30W + Ti-30W + WS2-110W	3,00	5	34,97	-	?	15,98	22,95	4,07	21,78	0,25	-	-	-	
B4C-42W + TiN-60W	4,00	6	-	15,01	?	26,84	0,00	57,11	-	-	0,05	-	-	
B4C-42W + TiN-60W + WS2-50W	2,50	7	25,71	21,09	?	25,95	11,73	3,78	11,06	-	-	0,69	-	
B4C-42W + TiB2-90W + TiN-60W + WS2-50W	3,00	8	22,35	18,32	?	29,76	11,39	9,07	9,11	-	-	-	-	
B4C-60W + TiB2-90W + TiN-60W + WS2-100W	3,00	9	22,23	21,18	?	17,52	18,15	7,14	13,79	-	-	-	-	
B4C-xW + TiB <sub>2</sub> -yW + TiN-zW + WS <sub>2</sub> -100W	3,00	10	26,59	20,72	?	11,69	17,49	11,04	12,09	-	-	-	0,39	
B4C-36W + TiB2-180W + TiN-36W + WS2-75W	3,00	11	28,49	17,96	?	19,69	14,39	9,19	10,28	-	-	-	-	
B4C-36W + TiB2-180W + TiN-36W + WS2-100W	2,00	12	24,85	18,43	?	15,26	19,33	9,62	12,51	-	-	-	-	
B4C-36W + TiB2-180W + TiN-36W + WS2-30W	2,00	13	14,15	20,80	?	28,08	10,79	18,39	5,77	-	1,26	0,65	-	
B4C-36W + TiB2-180W + TiN-36W	4,75	14	8,06	?	?	29,97	32,51	28,45	-	-	0,37	-	0,20	

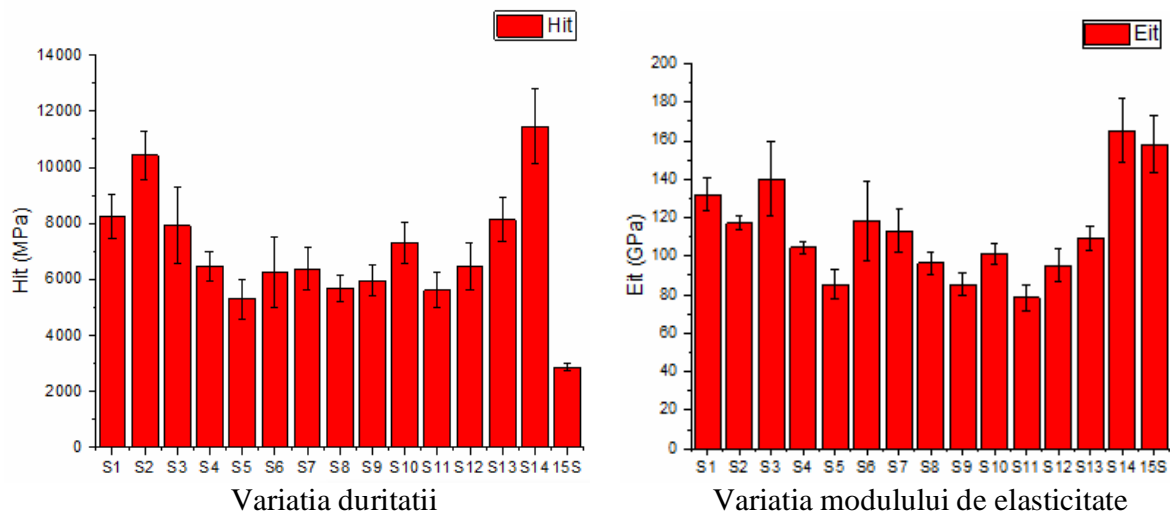
Analizand datele prezentate in tabel se constata ca prin metoda Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy/SEM-EDS, elementul chimic Bor nu a putut fi detectat, desi acesta exista in cantitati suficient de mari asa cum rezulta si din analizele Rutherford Backscattering Spectroscopy/ RBS, prezentate sintetic in Tabelul 3, in care sunt redade formulele de compozitie stoichiometrica in adancimea stratului si grosimile in numar de straturi atomice.

Proba Nr.	Formule Stoechiometrice in adancimea acoperiri	Grosimea	
5	$W_{0.245}Ti_{0.06}B_{0.241}S_{0.225}C_{0.02}O_{0.12}N_{0.089}$	7555	
9	$W_{0.185}Ti_{0.1}B_{0.231}S_{0.225}C_{0.02}O_{0.15}N_{0.089}$	10000	
	$W_{0.17}Ti_{0.1}B_{0.234}S_{0.22}C_{0.02}O_{0.135}N_{0.121}$	4255	
10	$W_{0.16}Ti_{0.11}B_{0.231}S_{0.25}C_{0.02}O_{0.14}N_{0.089}$	10000	
	$W_{0.14}Ti_{0.11}B_{0.234}S_{0.25}C_{0.02}O_{0.125}N_{0.121}$	2600	
	$W_{0.08}Ti_{0.11}B_{0.252}S_{0.19}C_{0.02}O_{0.277}N_{0.071}$	333	
11	$W_{0.112}Ti_{0.11}B_{0.231}S_{0.1}C_{0.02}O_{0.287}N_{0.14}$	8800	
	$W_{0.17}Ti_{0.11}B_{0.272}S_{0.07}C_{0.02}O_{0.217}N_{0.141}$	777	
	$W_{0.1}Ti_{0.08}B_{0.254}S_{0.12}C_{0.02}O_{0.256}N_{0.17}$	3555	
	$W_{0.074}Ti_{0.11}B_{0.272}S_{0.07}C_{0.02}O_{0.313}N_{0.141}$	3000	
12	$W_{0.16}Ti_{0.11}B_{0.231}S_{0.25}C_{0.02}O_{0.14}N_{0.089}$	5780	
	$W_{0.15}Ti_{0.11}B_{0.254}S_{0.25}C_{0.02}O_{0.095}N_{0.121}$	2755	
	$W_{0.14}Ti_{0.11}B_{0.272}S_{0.19}C_{0.02}O_{0.197}N_{0.071}$	2111	
13	$W_{0.051}Ti_{0.16}B_{0.304}S_{0.075}C_{0.02}O_{0.204}N_{0.186}$	6111	
	$W_{0.048}Ti_{0.16}B_{0.304}S_{0.075}C_{0.02}O_{0.207}N_{0.186}$	4333	
	$W_{0.043}Ti_{0.16}B_{0.304}S_{0.075}C_{0.02}O_{0.212}N_{0.186}$	2000	
14	$W_{0.0}Ti_{0.22}B_{0.3}S_{0.01}C_{0.02}O_{0.25}N_{0.186}$	10000	
	$W_{0.0}Ti_{0.12}B_{0.3}S_{0.01}C_{0.12}O_{0.25}N_{0.186}$	1755	

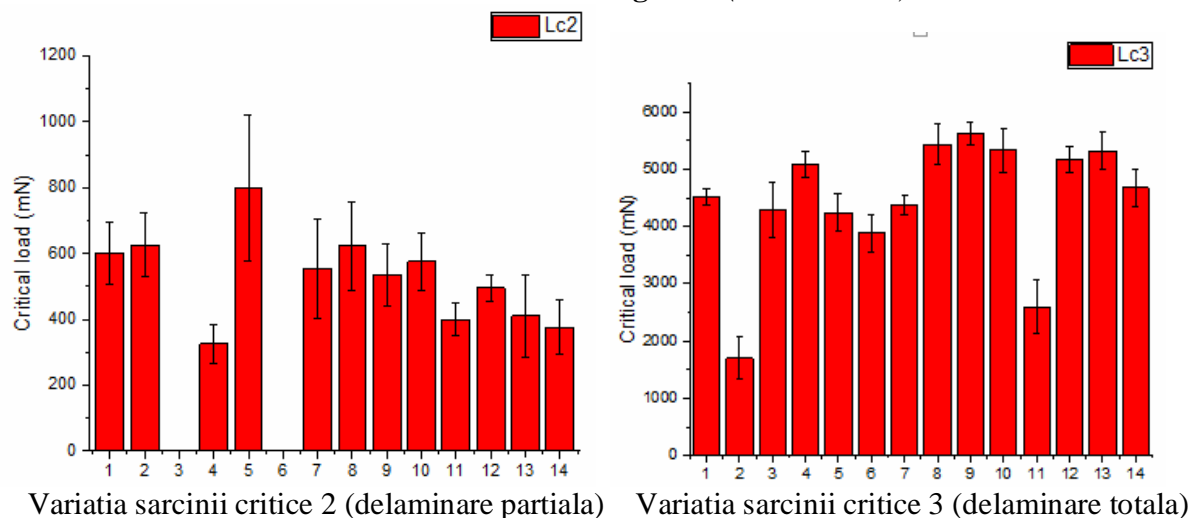
#### d. Caracterizarea mecanica si tribologica a straturilor depuse

Pentru caracterizarea functionala (*meccanica si tribologica*) s-au folosit echipamentele specializate de determinare a: duritatii (*Hardness Test*), aderenței (*Scratch Test*) si a coeficientului de frecare (*Tribometer Test*), existente la Univesitatea Transilvania din Brasov, iar rezultatele testelor sunt prezentate sintetic in figurile si tabellele de mai jos.

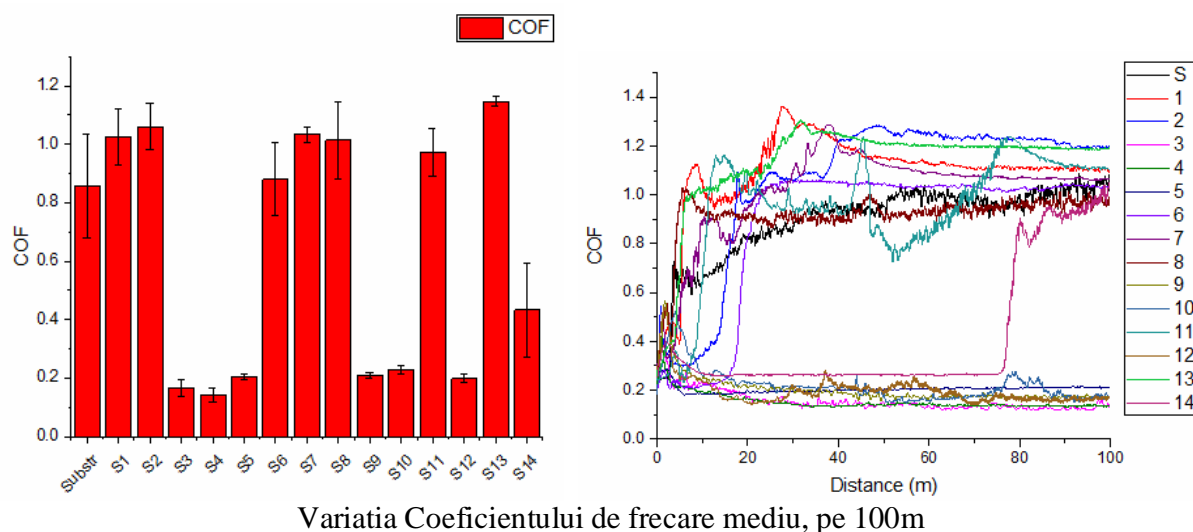
##### Rezultatele testului de duritate (*Hardness Test*)



### Rezultatele Testului de zgarere (*Scratch Test*)



### Rezultatele testului de Tribometrie (*Ball on Disk Tribometer Test*)



6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de indeplinire a obiectivului cu referire la tinte stabilite si indicatorii asociati pentru monitorizare si evaluare).

Faza constituie o noua etapa dintr-un program complex de cercetare aplicativa privind dezvoltarea tehnologiilor de realizare a acoperirilor lubrifiante uscate nanostructurate (*Nanostructured Dry Lubricant Coatings*), initiat de DFH din cadrul IFIN-HH si avand ca parteneri pentru caracterizarea acoperirilor, laboratoare specializate din: IFIN-HH, UTBv, UB, INCDFM, INFLPR si ICPE-CA.

Obiectivul fazei proiectului a constat în realizarea și caracterizarea straturilor subțiri depuse prin pulverizare magnetron în curent continuu și radio frecvență și caracterizarea structurală, compozițională și funcțională a acoperirilor tribologice □ dure obținute prin depunerea simultană a mai multor materiale simple sau compuse, bazate pe materiale lubrifiante uscate pentru cuplele de frecare, în vederea îmbunătățirii caracteristicilor de rezistență la uzură/duritate ale acestora.

S-au realizat în premieră acoperiri tribologice multicomponent din patru materiale simple și compuse (*Grupa-1: WC, TiB<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub> și Ti și Grupa 2: B<sub>4</sub>C, TiB<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub> și TiN*), ce au permis deschiderea unui domeniu nou de cercetare-dezvoltare pentru România și anume realizarea unei clase noi de materiale cu entropie ridicată, care să răspundă condițiilor extreme de temperatură și presiune, mai bine decât materiale clasice.

Rezultatele obținute în cadrul acestui proiect urmează să se disemineze prin realizarea în comun cu partenerii de la UTBV, în cadrul unui contract de cercetare, a unei lucrări științifice ce se va publica la o conferință internațională și/sau într-o revistă cotate ISI.

Ținând cont de complexitatea și noutatea tematicii abordate, de colaborarea fructuoasă dintre entitățile de cercetare, de complementaritatea echipei de cercetare, precum și de îndeplinirea obiectivului prezentei faze, se impune continuarea acestor cercetări în fazele ulterioare ale proiectului, în vederea creșterii performanțelor acoperirilor tribologice pentru extinderea potențialului de aplicabilitate industrială.

Responsabil proiect

*Prof. Dr. Mihai Petrovici*