

## ASPECTE PRACTICE PRIVIND REOLOGIA MEDIILOR DE UNGERE HIDRAULICE

S.I. univ. dr. ing. Aristia-Ioana POPOVICI, U.T.C.B. - Facultatea de Utilaj Tehnologic  
Prof. univ. dr. ing. Florin PETRESCU, U.T.C.B. - Facultatea de Utilaj Tehnologic

### ABSTRACT

The objective of the research was to identify experimental modification of the rheological properties of hydraulic fluids in various stages of degradation, caused by contamination with solid particles, to set the range of variation of characteristic parameters and analyzing the results.

### 1. ASPECTE GENERALE ȘI PARTICULARE ALE REOLOGIEI MEDIILOR DE UNGERE HIDRAULICE

Obiectivul cercetării efectuate a fost cuantificarea experimentală a modificării proprietăților reologice ale uleiurilor hidraulice aflate în diverse stadii de degradare, provocate de contaminarea cu particule solide, stabilirea plajei de variație a parametrilor caracteristici și analiza rezultatelor obținute.

Pe această bază, cu datele obținute, se poate analiza influența variației vâscozității asupra performanțelor sistemelor hidraulice de reglare automată, respectiv a servovalvelor [1].

Determinarea proprietăților reologice ale uleiurilor hidraulice cercetate s-a realizat, practic, cu ajutorul vîscozimetruului rotațional *Brookfield* cu geometria de lucru con-disc.

Principiul pe baza căruia este conceput și realizat vîscozimetruul este prezentat în figura 1.

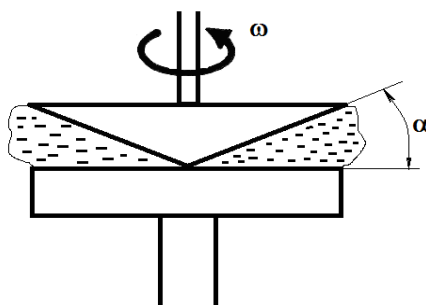


Fig. 1 Principiul vîscozimetruului rotațional [2]

Piesele principale ale vîscozimetruului sunt conul și discul, între care se introduce proba de ulei. Conului i se imprimă o mișcare de rotație cu viteza unghiulară  $\omega$ ; discul este fix. Vîscozimetruul este prevăzut cu traductoare cu ajutorul cărora se măsoară parametrii caracteristici curgerii uleiului: gradientul de viteză, tensiunea tangențială și temperatura.

Vederea generală a vîscozimetrului *Brookfield* și elementele sale componente (setul de conuri și unitatea de programare, comandă, achiziție de date și prelucrare numerică a datelor) sunt prezentate în figura 2 și figura 3.

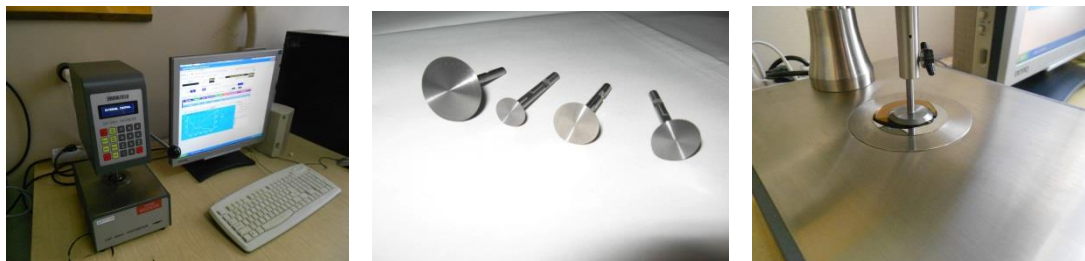


Fig. 2 Elementele componente ale vîscozimetrului Brookfield

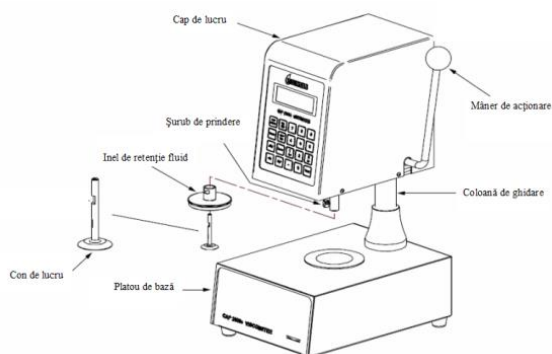


Fig. 3 Elementele componente ale vîscozimetrului Brookfield CAP 2000+ [3]

Conurile de diverse mărimi, diferențiate în funcție de raza la baza conului și unghiul pe care îl face generatoarea cu discul, sunt definite geometric astfel încât să mențină constantă viteza de deformare în toate punctele filmului de lubrifianț.

Sistemul de calcul al vîscozimetrului poate determina parametrii următoarelor modele reologice: *modelul Bingham*, *modelul Casson*, *modelul legea puterii* și *modelul Herschel-Bulkley*, folosind un test de tipul „**gradient de viteză impus**” [4]. Relațiile constitutive specifice modelelor amintite sunt înscrise în tabelul 1.

Tabel 1. Relațiile constitutive ale modelelor reologice specifice vîscozimetrului Brookfield

Nr. crt.	Modelul reologic	Relația constitutivă
1	Bingham	$\tau = \tau_0 + \mu\dot{\gamma}$
2	Casson	$\tau^{0.5} = \tau_0^{0.5} + (\mu \cdot \dot{\gamma})^{0.5}$
3	Legea puterii	$\tau = m\dot{\gamma}^n$
4	Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + m\dot{\gamma}^n$

Caracteristicile tehnice ale vîscozimetrului sunt:

- turația axului principal: 50 – 1000 [rot/min];
- gradientii de viteză impuși se încadrează în intervalul 100 și 13330 [s<sup>-1</sup>];
- temperatura de testare: între 5 – 75 °C (reglabilă cu pasul de 1 °C);
- plaja de măsură a vîscozității uleiurilor testate: 0.01 – 10 [Pa·s].

## 2. PROPRIETĂȚILE FIZICE ȘI CHIMICE ALE ULEIURILOR HIDRAULICE TESTATE

Firma *Mannesmann REXROTH* recomandă, pentru servovalve, utilizarea uleiurilor hidraulice din clasa **HL** și **HLP** (DIN 51524) sau a uleiurilor sintetice, fosfat-esterice **HFD-R**. Domeniul de temperatură recomandat este  $-20^{\circ}\text{C}$ – $60^{\circ}\text{C}$ , domeniul vîscozității de la 20 la  $380\text{ mm}^2/\text{s}$  și cel optim recomandat este între 30 și  $45\text{ mm}^2/\text{s}$ . Clasa de puritate maximă admisă pentru uleiul hidraulic utilizat este clasa 7 / NAS 1638 [5].

Uleiurile testate sunt uleiurile hidraulice HLP 32 și HLP 46, utilizate la sistemele hidraulice caracteristice utilajelor pentru construcții. Proprietățile fizico-chimice ale uleiurilor analizate sunt înscrise în tabelul 2.

Tabel 2. Proprietățile fizico-chimice ale uleiurilor testate [6]

Proprietatea	HLP 32	HLP 46
vîscozitatea cinematică la $40^{\circ}\text{C}$ , $\text{mm}^2/\text{s}$	32	46
vîscozitatea cinematică la $100^{\circ}\text{C}$ , $\text{mm}^2/\text{s}$	5.4	6.7
îndicele de vîscozitate, min.	99	97
Punct de inflamabilitate, $^{\circ}\text{C}$	226	226
Punct de congelare, $^{\circ}\text{C}$	-25	-25

Pentru uleiurile analizate s-au recoltat probe cu grade de uzură diferite, prelevate la anumite intervale de timp (0, 300, 800 și 1200 ore) și s-au supus testelor pe vîscozimetru *Brookfield*.

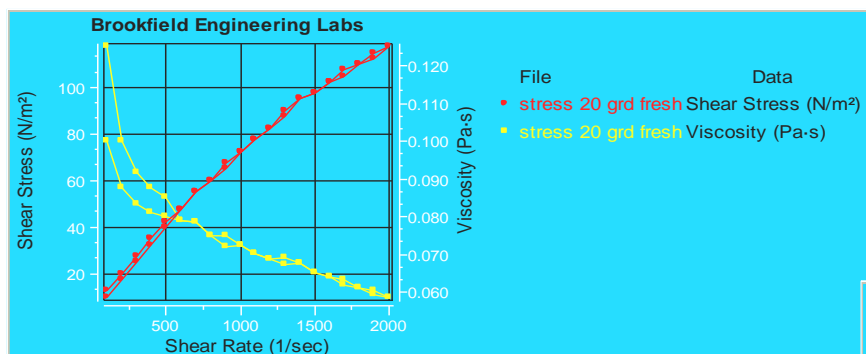
## 3. METODOLOGIA DETERMINĂRIILOR EXPERIMENTALE. REZULTATE OBTINUTE

Proprietățile reologice testate se referă la: variația tensiunii tangențiale din film în funcție de gradientul de viteză; parametrii modelului reologic considerat; variația vîscozității cu temperatura.

Determinările experimentale s-au realizat în următoarele condiții:

- gradientul de viteză impus este cuprins în intervalul 100 și 2000  $[\text{s}^{-1}]$ ;
- temperatura de referință:  $20^{\circ}\text{C}$ ;
- plaja temperaturilor testate este de la  $5^{\circ}\text{C}$  la  $75^{\circ}\text{C}$  cu un gradient de viteză egal cu  $600\text{ s}^{-1}$

Rezultatele determinărilor experimentale sunt prezentate, sub formă grafică, în figurile 4 și 5 pentru uleiul proaspăt și în figurile 6 și 7 pentru uleiul uzat (1200 ore).



ntia din film și a vîscozității în  
iteză pentru uleiul proaspăt

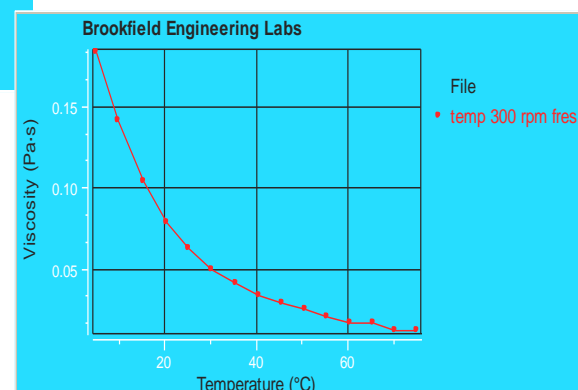
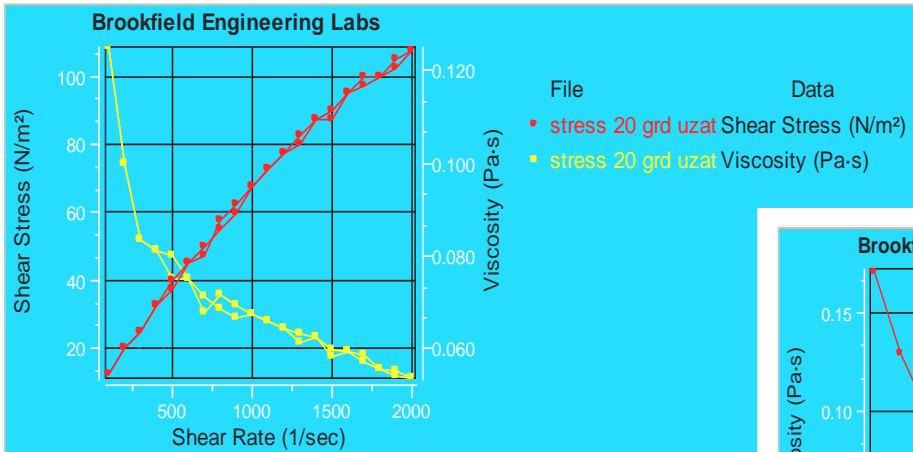


Fig. 5 Variația vîscozității cu temperatura pentru uleiul proaspăt



șiale din film și a vîscozității în viteză pentru uleiul uzat

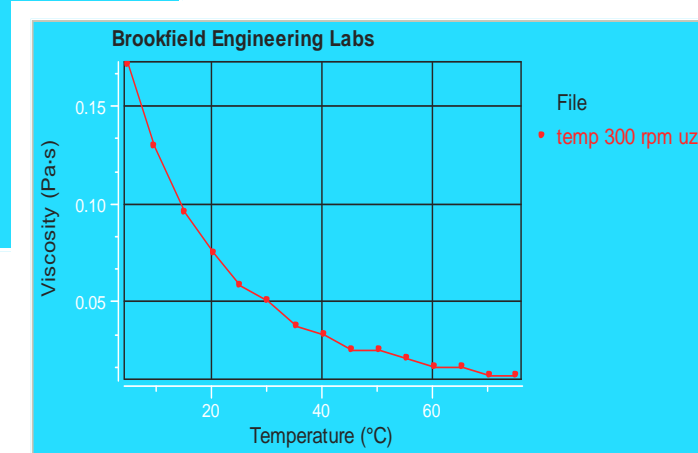


Fig. 7 Variația vîscozității cu temperatura pentru uleiul uzat

Interpolarea datelor au fost obținute cu ajutorul programului specific vîscozimetrului (*Software-ul CAPCALC 32*) și sunt evidențiate în figurile 8 a și 9 a - pentru uleiul proaspăt și în figurile 8 b și 9 b - pentru uleiul uzat.

Dintre modelele reologice proprii vîscozimetrului, cel care aproximează cel mai „fidel” comportamentul uleiurilor testate, atât pentru uleiul proaspăt cât și pentru cel uzat, este modelul legea puterii.

*Observație:* Ecuația constitutivă a modelului legii puterii are forma:

$$\tau = m\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

unde:  $m$  – indicele de consistență,  $n$  – indicele de curgere și  $\dot{\gamma}$  - gradientul vitezei.

În cazul lichidelor newtoniene indicele de consistență este echivalent cu vîscozitatea, iar indicele de curgere este egal cu unitatea, legea puterii este așadar generalizarea legii newton.

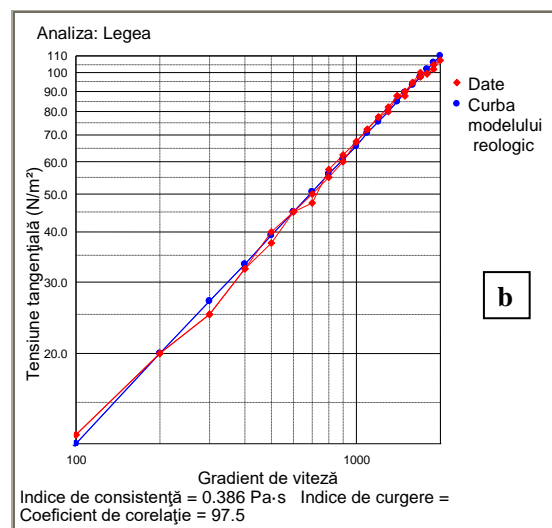
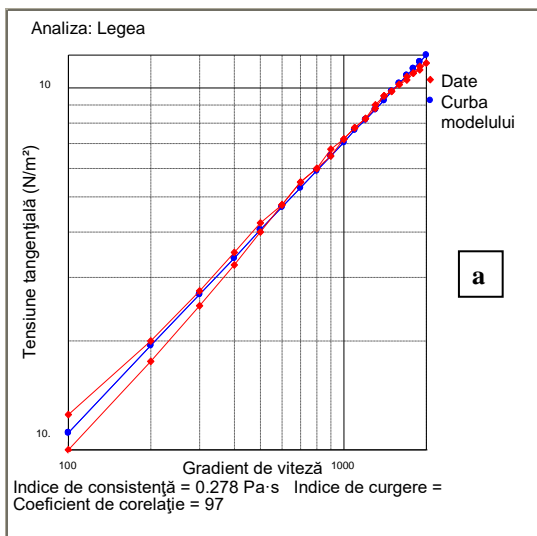


Fig. 8 Interpolarea datelor cu modelul reologic legea puterii pentru uleiul proaspăt (a) și uzat (b)

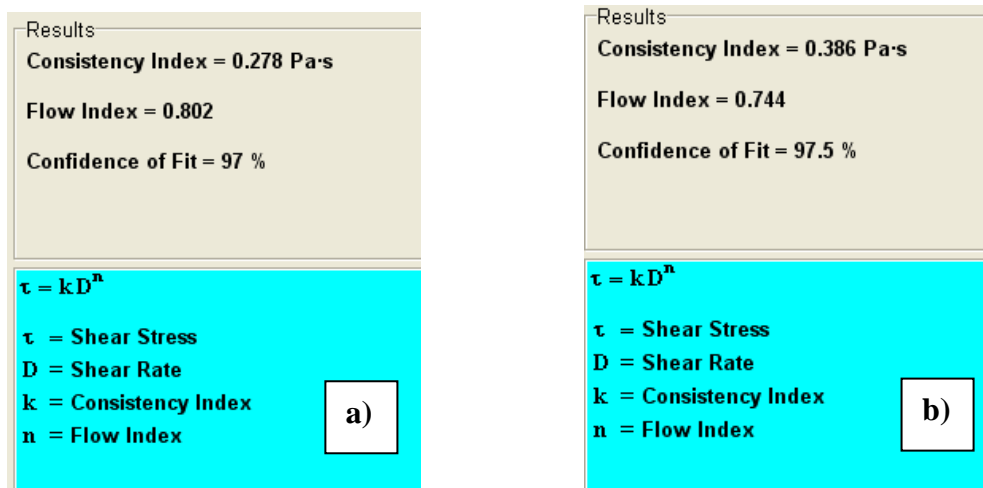


Fig. 9 Parametrii modelului reologic legea puterii pentru uleiul proaspăt (a) și uzat (b)

Compararea grafică a rezultatelor testelor efectuate, exprimată grafic, este prezentată în figurile 10 și 11.

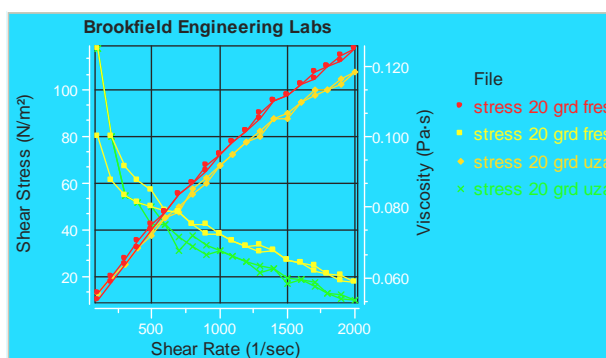


Fig. 10 Variația tensiunii tangențiale din film și a vâscozității în funcție de gradientul de viteză - pentru uleiurile proaspăt și uzat

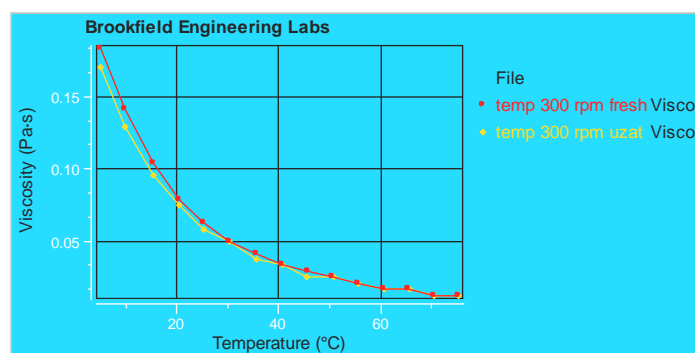


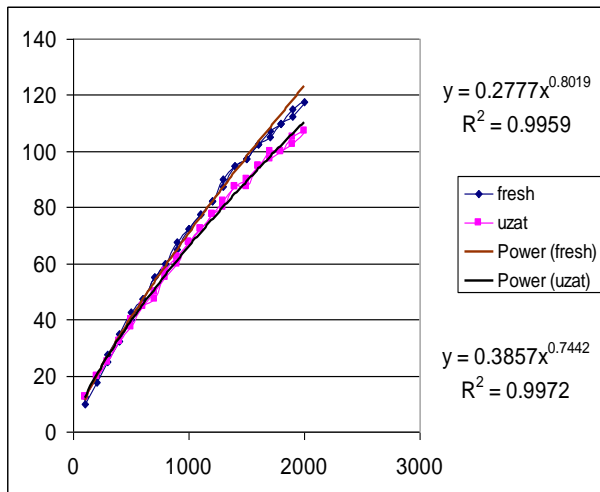
Fig. 11 Variația vâscozității cu temperatura pentru uleiul proaspăt și uzat

În tabelul 3 sunt înscrise, pentru exemplificare, valorile parametrilor reologici în conformitate cu modelul legii puterii și modelul newtonian propuse pentru uleiul hidraulic HLP32, în funcție de starea de uzură a acestuia. Se observă că modelul *legea puterii* are un coeficient de corelație superior celui al modelului newtonian.

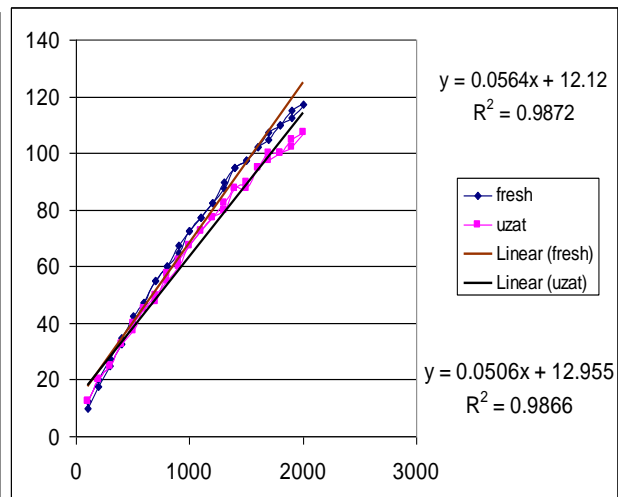
Tabelul 3. Parametri reologici ai lubrifianților în funcție de gradul de uzură

Uleiul	Durata de funcționare [ore]	Modelul legii puterii			Modelul newtonian	
		Indice de consistență, <b>m</b> [Pa·s]	Indice de curgere, <b>n</b>	Coef de corelație	Vâscozitate [Pa·s]	Coef de corelație
HLP 32	0	0,278	0,802	0,97	0,0655	0,9539
	300	0,314	0,781	0,98	0,0639	0,95
	800	0,3526	0,7601	0,98	0,0620	0,945
	1200	0,386	0,744	0,975	0,0603	0,9394

Interpolarea datelor cu programul Microsoft EXCEL pentru cele două modele analizate este prezentată în figurile 12 (modelul legea puterii) și 13 (modelul newtonian).



**Fig. 12 Modelul Legea Puterii**



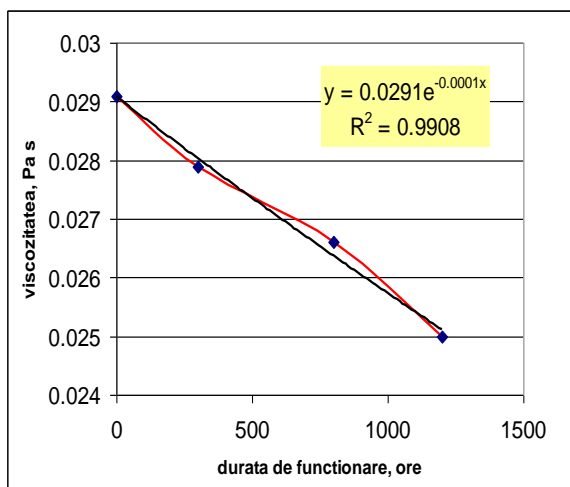
**Fig. 13 Modelul Newtonian**

Valorile vîscozității la temperatura de 50<sup>0</sup>C (temperatura medie de funcționare normală a servovalvei), determinate pentru cele două uleiuri testate, sunt înscrise în tabelul 4 și reprezentate grafic în funcție de starea de uzură a uleiurilor, în figurile 14 (ulei HLP 32) și 15 (ulei HLP 46).

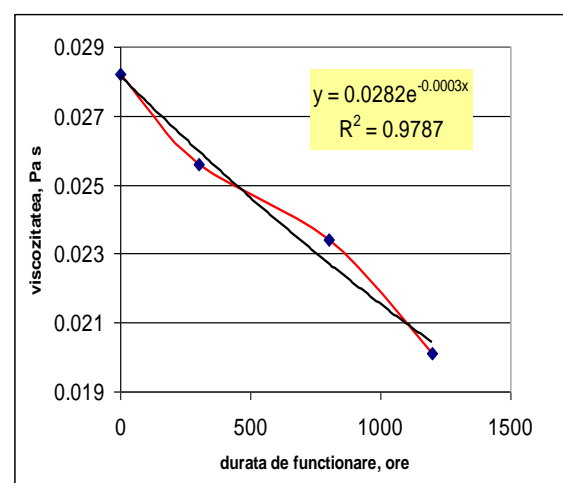
**Tabelul 4. Vîscozitatea uleiurilor înregistrată la 50<sup>0</sup>C, în funcție de gradul de uzură**

Durata de funcționare [ore]	Modelul legii puterii	
	HLP 32	HLP 46
0	0.0291	0.0288
300	0.0279	0.0273
800	0.0266	0.026
1200	0.0250	0.0246

Din analiza datelor înscrise în tabelul 4 nu rezultă diferențe semnificative ale vîscozității înregistrate la 50<sup>0</sup>C, între cele două uleiuri analizate. Cu datele obținute pentru uleiurile testate si poate analiza influența variației vîscozității cu degradarea asupra performanțelor servovalvelor.



**Fig. 14 Variația vîscozității cu gradul de uzură pentru uleiul HLP 32**



**Fig. 15 Variația vîscozității cu gradul de uzură pentru uleiul HLP 46**

Cu datele din tabelul 4, prin interpolarea rezultatelor grafice (figurile 14 și 15), s-au determinat relațiile de regresie pentru cele două uleiuri:

$$\eta = 0.0291e^{-0.0001t} \quad \text{- pentru HLP 32} \quad (2)$$

$$\eta = 0.0288e^{-0.0003t} \quad \text{- pentru HLP 46} \quad (3)$$

Variația vîscozității în timp se poate scrie sub următoare formă [4]:

$$\eta = \eta_0 e^{-c \cdot t} \quad (4)$$

unde:  $\eta_0$  - vîscozitatea inițială a lubrifianului proaspăt;  $c$  - coeficient al intensității de uzare, determinat pentru cazuri precizate;  $t$  - timpul.

#### 4. CONCLUZII

Analizând datele obținute în urma determinărilor experimentale se desprind următoarele:

- atât pentru uleiul proaspăt, cât și pentru cel uzat, modelul reologic care caracterizează cel mai bine comportamentul acestora este modelul legea puterii;
- vîscozitatea uleiului scade cu creșterea gradului de uzură a lubrifianului;
- uleiul hidraulic uzat, contaminat cu particule metalice prezintă modificări ale comportamentului reologic față de cel al uleiului proaspăt;
- diferențele dintre curbele de variație ale vîscozității cu temperatura pentru uleiul proaspăt și pentru uleiul uzat s-au înregistrat în intervalul de temperatură 5÷50 °C, peste 50 °C degradarea uleiului nu mai influențează comportamentul termic al lubrifianului;
- tensiunea tangențială din film și vîscozitatea în funcție de gradientul de viteză, suferă modificări (figura 4);
- histerezisul nu are practic nici o influență asupra utilizării uleiului în instalațiile hidraulice, pentru care gradientii de viteză sunt mult mai mari.
- gradul de uzură și durabilitatea unui lubrifian în general și al unui ulei hidraulic, în particular, pot fi apreciate cu ajutorul modificării proprietăților reologice caracteristice, măsurate prin metode și mijloace specifice reometriei, acestea sunt astfel indicatori ai degradării uleiului.

#### BIBLIOGRAFIE

- [1] **Popovici, A.I.**, – *Contribuții la studiul efectelor uzării asupra performanțelor sistemelor hidraulice de reglare automată*, Teză de doctorat , UTCB, București, 2012
- [2] **Briant, J., et al.**, – *Propriétés rhéologiques des lubrifiants* – Édition Techniq, 1985
- [3] [www.brookfieldengineering.com/products/viscometers](http://www.brookfieldengineering.com/products/viscometers) – Cap 2000+ viscosimeter
- [4] **Rădulescu, I.**, – *Cercetări experimentale privind monitorizarea lubrifianților industriali pe durata lor de viață*, Teză de doctorat , București, 2010
- [5] \*\*\* Catalog Rexroth “*Hydraulik Trainer – Volume 2*”
- [6] [http://www.liqui-moly.de/liquimoly/web.nsf/id/pa\\_home.html](http://www.liqui-moly.de/liquimoly/web.nsf/id/pa_home.html)