

# Buletin de încercări modul de pompare echipat cu minibooster MP1, care alimentează un cilindru hidraulic cu sarcină constantă pe întreaga cursă

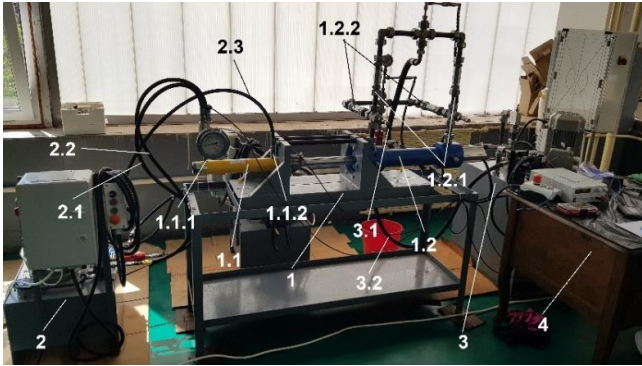


Fig. 1: Stand testare experimentală modul de pompare echipat cu minibooster.

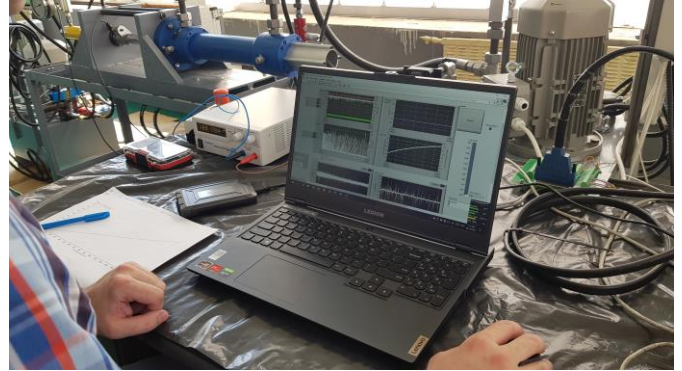


Fig. 2: Modulul de comandă și achiziții de date al standului.

1. Structura standului și a modului de pompare testat din figurile 1 și 2 este următoarea:

**1: modul de prindere cilindri hidraulici;** 1.1: cilindru de probare cu  $\varnothing$  piston= 38.1 mm,  $\varnothing$  tijă= 25 mm, cursă = 257 mm,  $p_{max}=700$  bar; 1.1.1: racord de prindere cameră piston cilindru cu secundar minibooster; 1.1.2: racord de prindere și furtun pentru cameră tijă cilindru; 1.2: cilindru de sarcină cu traductor de cursă încorporat și  $\varnothing$  piston= 80 mm,  $\varnothing$  tijă= 45 mm, cursă = 300 mm,  $p_{max}=300$  bar; 1.2.1= supape de sens admisie camere cilindru; 1.2.2= supape de sens evacuare camere cilindru;

**2: modul de pompare la joasă presiune** prevăzut cu: electropompă 4 kW, 200 bar, 10,5 l/min; rezervor de ulei cu  $V= 38$  l; filtru de umplere și aerisire și filtru de retur; bloc hidraulic cu filtru de presiune, supapă de reglare a presiunii, distribuitor hidraulic 4/3; minibooster HC7, cu raport de amplificare 5:1, presiune pe ieșire 0...1000 bar, debit pe ieșire 10,5...1,2 l / min; tablou electric; 2.1, 2.2= furtune pentru racorduri primar minibooster;

**3: stație de pompare pentru umplerea cilindrului de sarcină** prevăzută cu: electropompă 2 kW, 10 bar, 90 l/min; rezervor de ulei cu  $V= 180$  l; supapă de reglare a presiunii de umplere; supapă proporțională de reglare a sarcinii; filtru de umplere și aerisire; filtru de retur; 3.1= racord și furtun de umplere camere cilindru; 3.2= racord și furtun de golire camere cilindru;

**4: modul de comandă și achiziții de date** de la traductoarele de: **acclerație** măsurată pe direcția de deplasare a pistoanelor miniboosterului, figura 3 (**Acc1**); **acclerație** măsurată pe pe direcția de deplasare a cilindrilor hidraulici, figura 4 (**Acc2**); **presiune** pompă primar minibooster, figura 5 (**p1**); **presiune** cilindru de sarcină, figura 6 (**p2**); **presiune** pompă de umplere, figura 6 (**p3**); **debit** intrare primar minibooster, figura 5 (**Q1**); **debit** cilindru de sarcină, figura 7 (**Q2**); **cursă**, figura 8 (**Tc**- încorporat în cilindrul de sarcină).

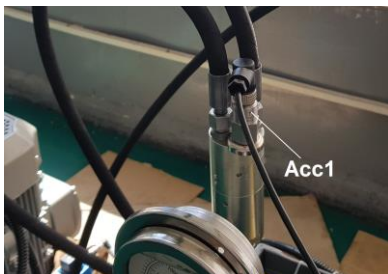


Fig.3: Traductorul de accelerație **Acc1**.

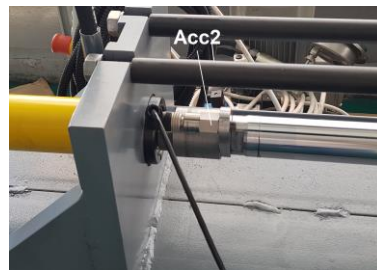


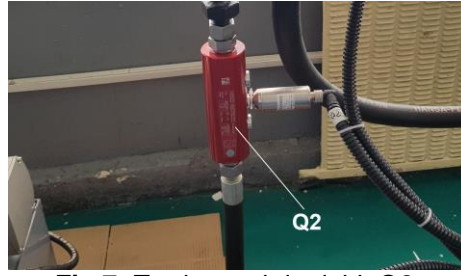
Fig.4: Traductorul de accelerație **Acc2**.



Fig.5: Traductoarele de presiune **p1** și de debit **Q1**.



**Fig.6:** Traductoarele de presiune **p2** și **p3**.



**Fig.7:** Traductorul de debit **Q2**.



**Fig.8:** Traductorul de cursă (**Tc**-încorporat în cilindrul de sarcină).

## 2. Condițiile de probare:

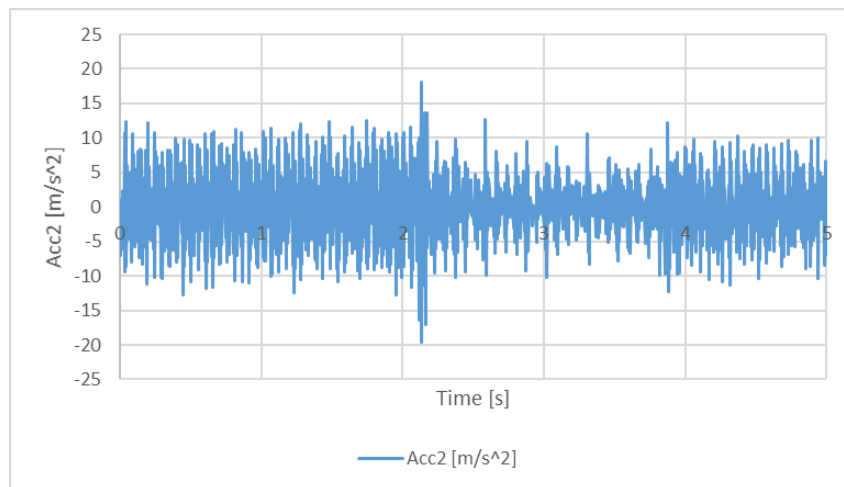
Încercările experimentale au fost efectuate în următoarele condiții:

- pe standul din fig.1, fig.2 a fost reglată presiunea de deschidere a supapei normal închise, cu care este prevăzut modulul de pompare de joasă presiune MP1, la **160 bar**,
- presiunea de deschidere a supapei de siguranță a pompei de umplere a cilindului de sarcină a fost reglată la **19 bar**,
- s-au făcut încercări ale cilindului de probare pentru cinci valori ale sarcinii: **0 bar** (probă fără minibooster și deplasare cilindru pe cursa de retragere), **18 bar** (curent zero în supapa proporțională, sarcină creată numai de frecările din etanșările cilindrilor hidraulici), **30 bar**, **700 bar** și **800 bar**,
- încercările experimentale, în afară de cele la sarcină zero, s-au realizat pe **cursa de avans** a cilindului de probare;
- achiziția de date s-a făcut cu viteza de **200 eșantioane / s**;
- durata achiziției de date a fost de; **44 s** (test la 800 bar), **20 s** (test la 700 bar), **6,995 s** (test la 30 bar), **5,995 s** (test la 18 bar) și **4,995 s** (test la 0 bar);
- cursa cilindului de probare parcursă pe durata achiziției de date a fost de: **27,6 mm**, pentru testul la 800 bar, **169,6 mm**, pentru testul la 700 bar, **247,11 mm**, pentru testul la 30 bar, **241,36 mm**, pentru testul la 18 bar, **256,24 mm**, pentru testul la 0 bar sarcină.

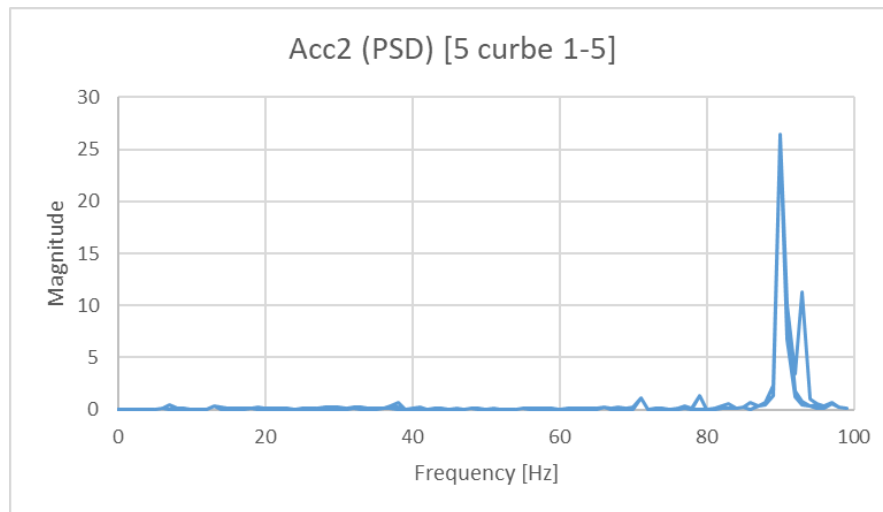
## 3. Rezultatele încercărilor pentru testarea modului de pompare de 4 kW și $i=5$

### 3.1 Încercări la sarcină egală cu 0 bar (fără minibooster):

În figura 9 se prezintă rezultatele măsurătorilor variației accelerației cilindului hidraulic de probare, pe durata deplasării cilindului hidraulic, la sarcină de **0 bar**.

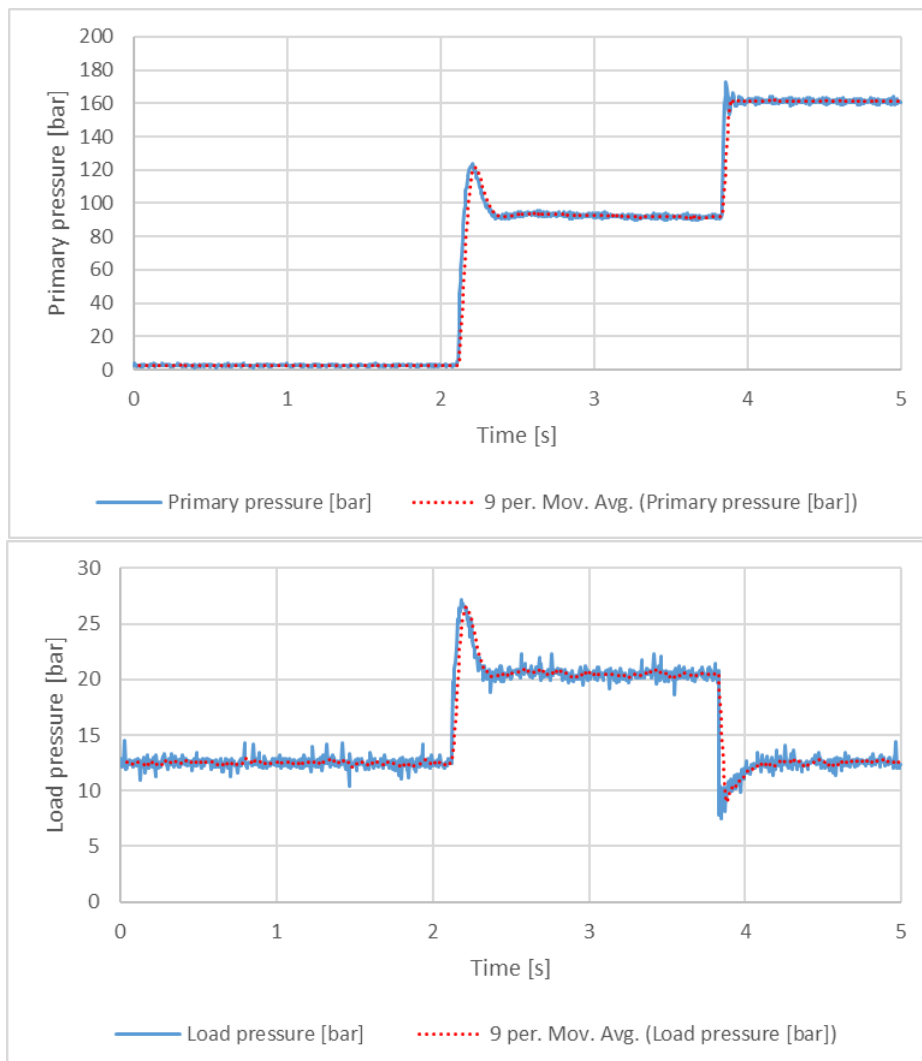


**Fig.9:** Variația în timp a accelerației cilindului hidraulic (**Acc2**), la sarcină de 0 bar.



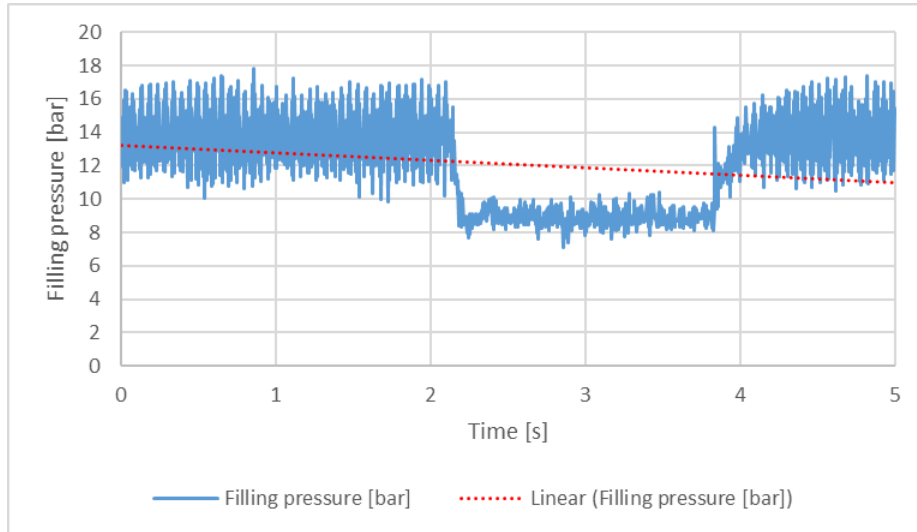
**Fig.10:** Densitatea spectrală de putere a cilindrului hidraulic, la sarcină de 0 bar (**Acc2** – cilindru).

În figura 10 se prezintă curbele de analiză a accelerației în domeniul frecvență, respectiv variația magnitudinii frecvenței (frecvența maximă / frecvența minimă), funcție de frecvență a cilindrului hidraulic de probare, pe durata deplasării acestuia la sarcină de **0 bar**.

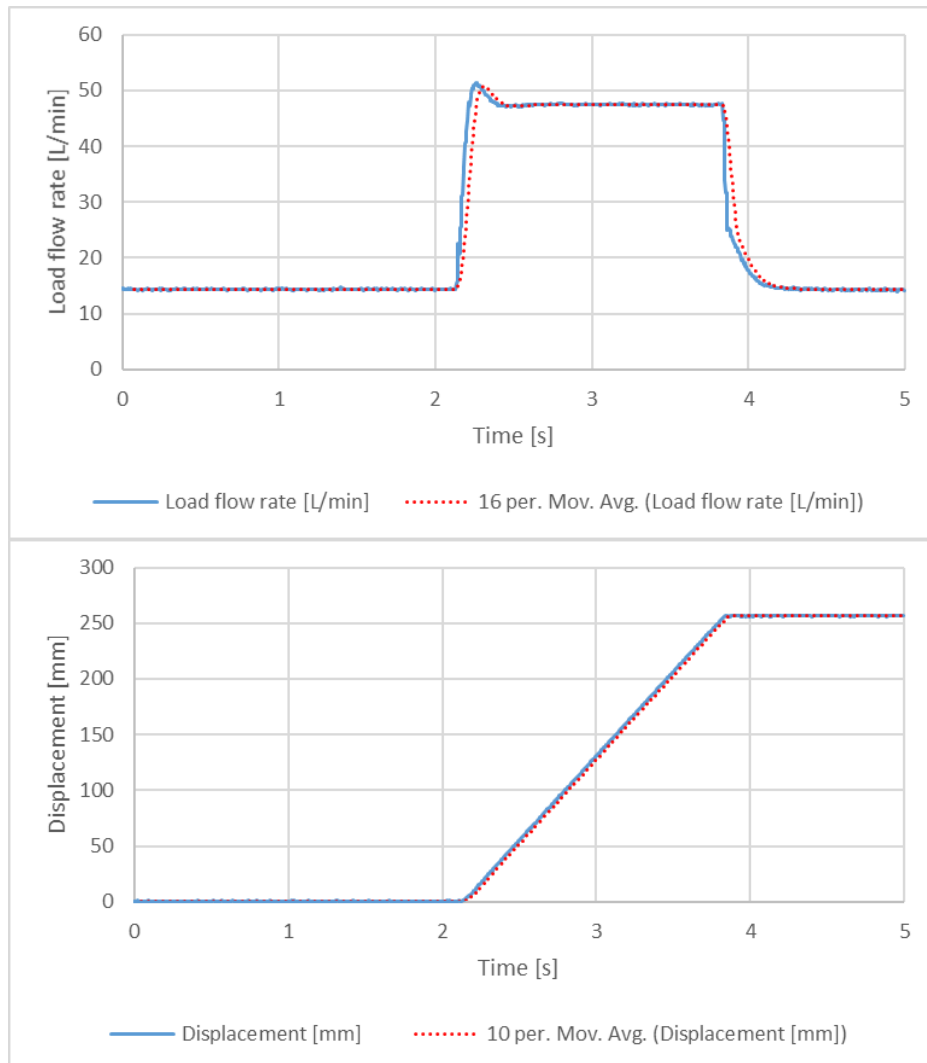


**Fig.11:** Variația în timp a presiunii, la sarcină de 0 bar (sus-**p1**, primar; jos- **p2**).

În figura 11 se prezintă variația în timp a presiunilor (cu roșu valorile medii) din primar și de sarcină, iar în figura 12 variația presiunii de umplere (cu roșu valorile medii), în timpul deplasării cilindrului hidraulic, la sarcină de **0 bar**.

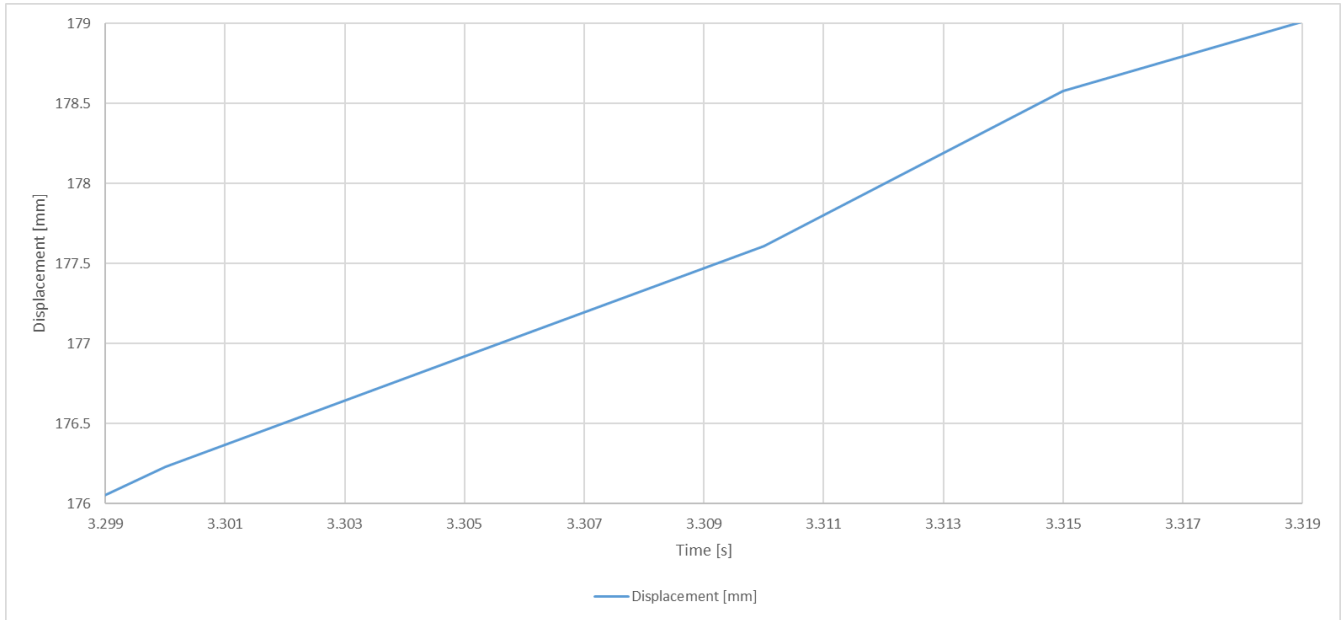


**Fig.12:** Variația în timp a presiunii de umplere (**p3**), la sarcină de 0 bar.



**Fig.13:** Variația în timp a debitului de sarcină (**Q2-sus**) și deplasării cilindrului de probare (**Tc-jos**), la sarcină de 0 bar.

În figura 13 se prezintă variațiile în timp ale următorilor parametri (cu roșu valorile medii): debitului din cilindru de sarcină; deplasării cilindrului de probare la sarcină de **0 bar** (deplasare cilindru = 257 mm; interval durată = 2,2...3,8 s).

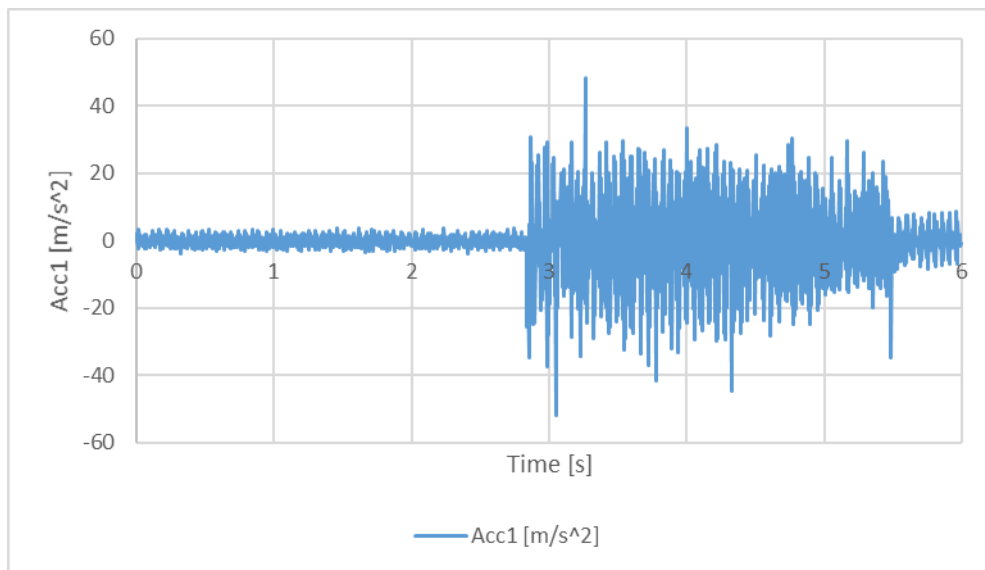


**Fig.14:** Detaliu- variația deplasării în timp a cilindrului de probare, la sarcină de 0 bar.

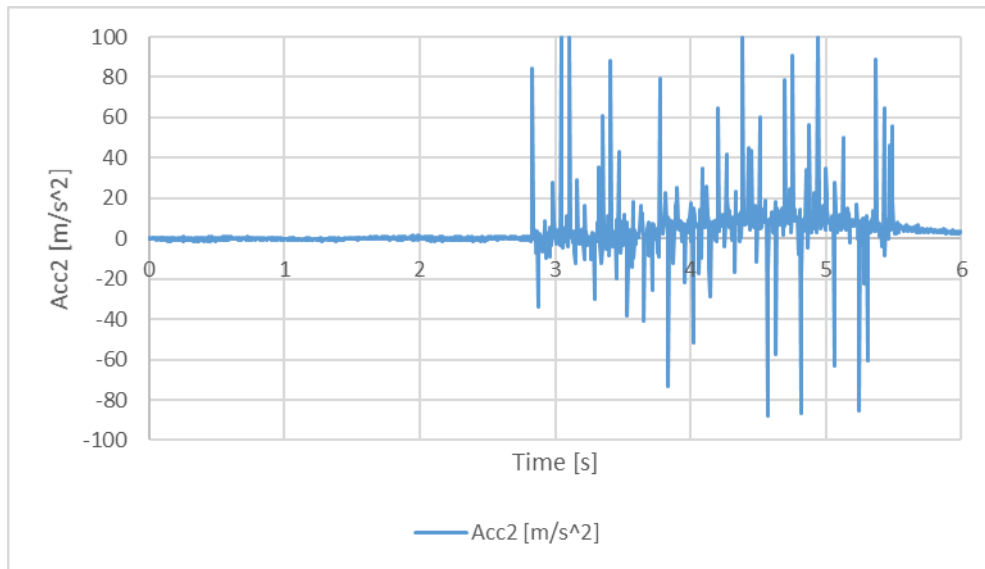
În figura 14 se prezintă un detaliu al deplasării cilindrului hidraulic de probare, în intervalul de timp 3,299 s - 3,319 s, atunci când cilindrul de sarcină are presiunea de **0 bar** (fără minibooster, există numai forța de frecare din etanșări).

### 3.2 Încercări la sarcină egală cu 18 bar:

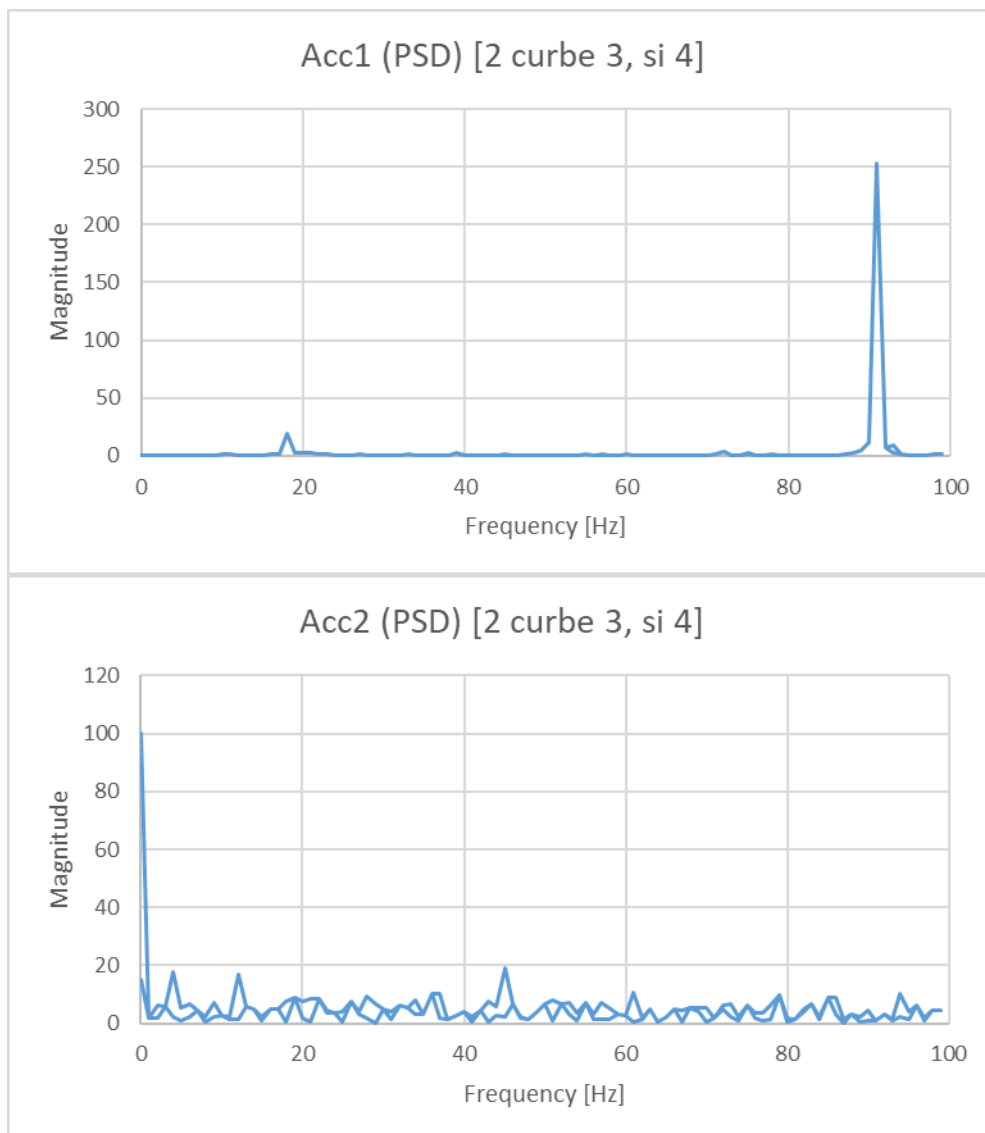
În figurile 15 și 16 se prezintă rezultatele măsurătorilor variației accelerației miniboosterului, respectiv cilindrului hidraulic de probare, pe durata deplasării cilindrului hidraulic, la sarcină de **18 bar**.



**Fig.15:** Variația în timp a accelerației miniboosterului (**Acc1**), la sarcină de 18 bar.

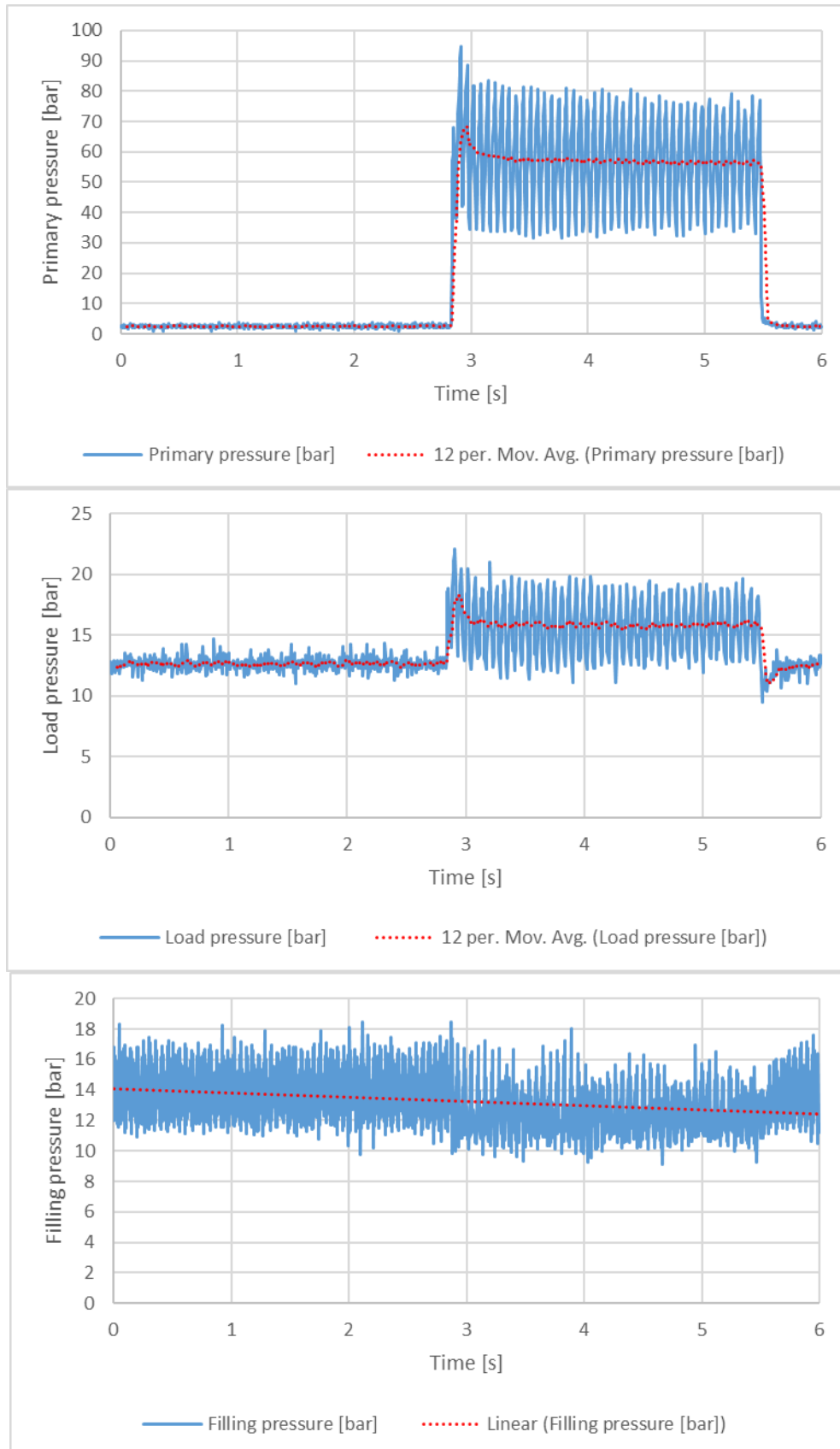


**Fig.16:** Variația în timp a accelerației cilindrului hidraulic (**Acc2**), la sarcină de 18 bar.



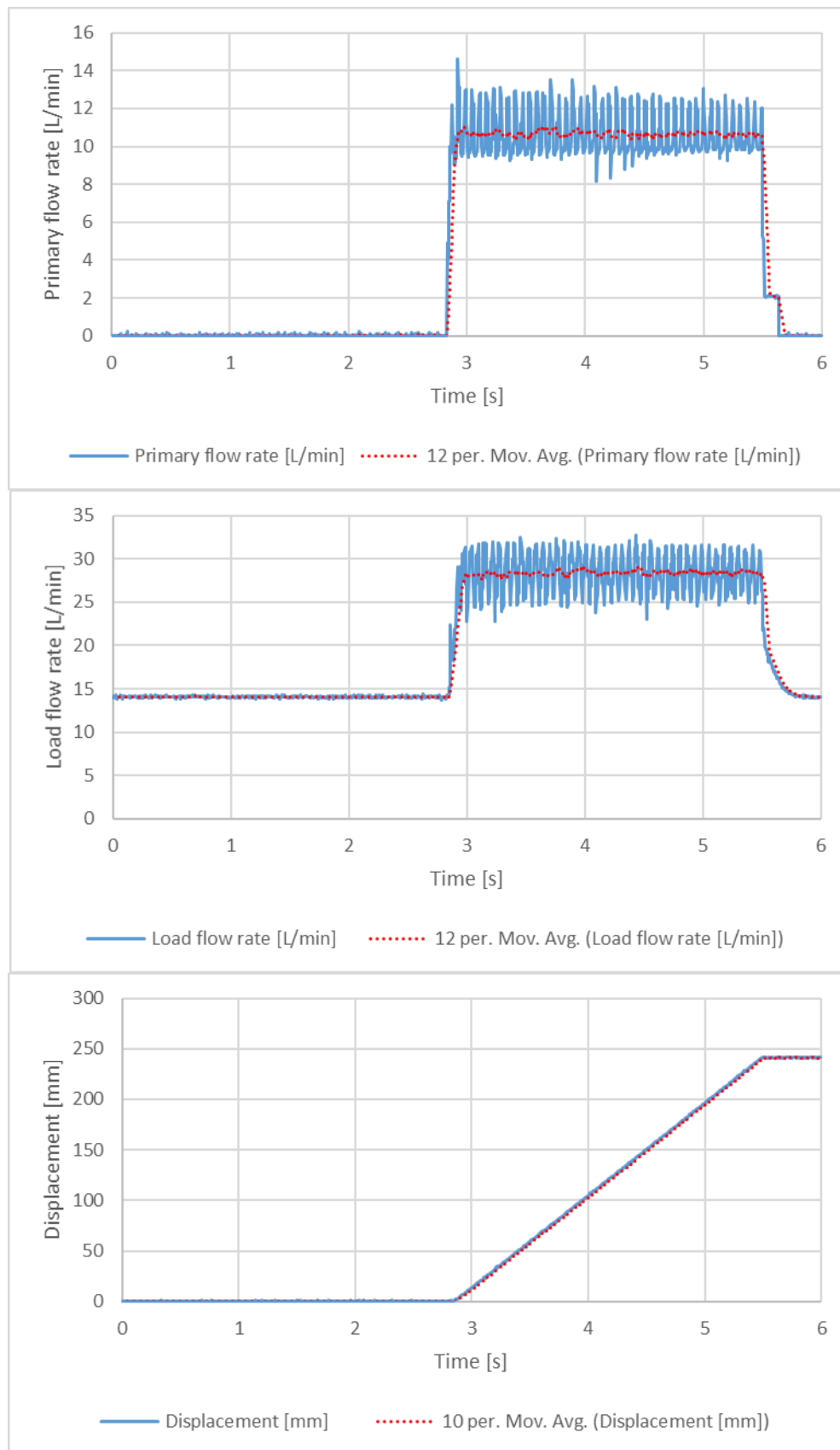
**Fig.17:** Densitatea spectrală de putere, la sarcină de 18 bar (**Acc1** sus-minibooster; **Acc2** jos-cilindru).

În figura 17 se prezintă curbele de analiză a accelerației în domeniul frecvență, respectiv variația magnitudinii frecvenței (frecvența maximă / frecvența minimă), funcție de frecvență (sus-minibooster; jos-cilindru hidraulic), pe durata deplasării cilindrului hidraulic, la sarcină de **18 bar**.



**Fig.18:** Variația în timp a presiunii, la sarcină de 18 bar (sus-**p1**, primar; centru- **p2**, sarcină; jos-**p3**, umplere).

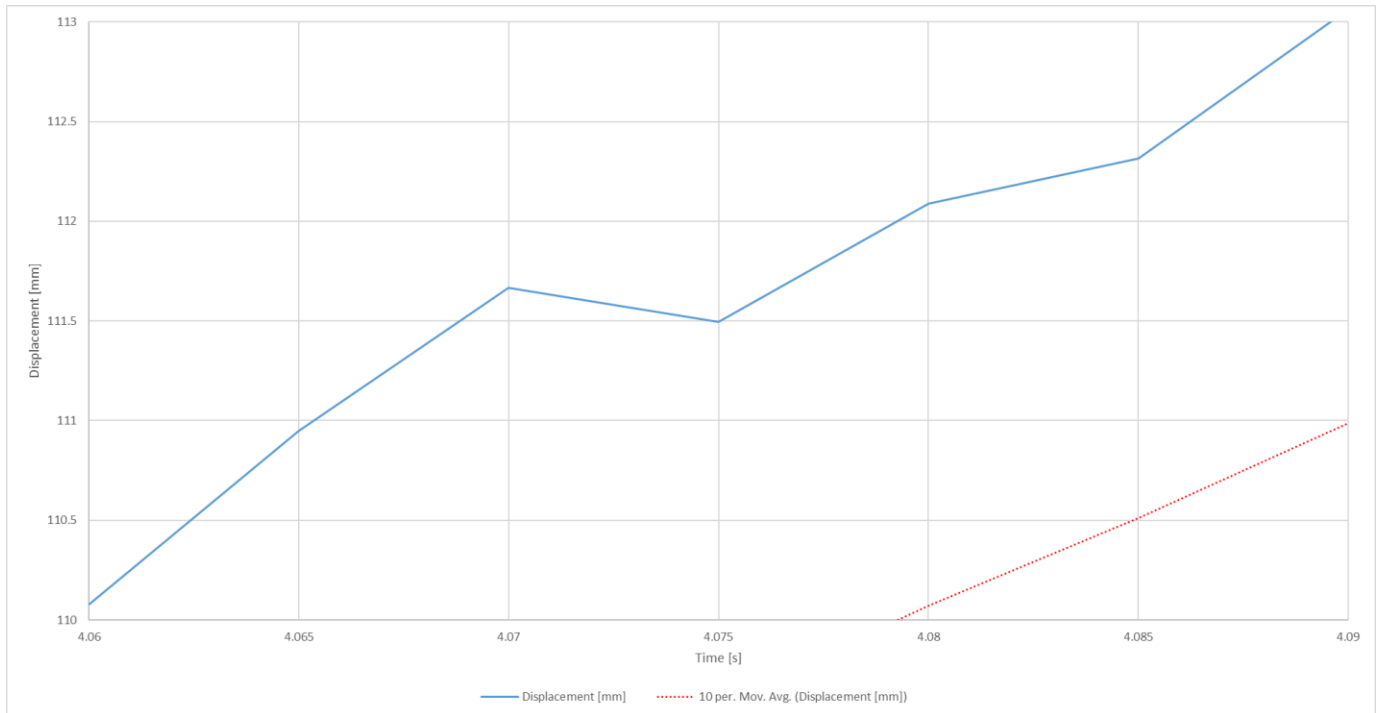
În figura 18 se prezintă variația în timp a presiunilor (cu roșu valorile medii) din primar, de sarcină și de umplere, în timpul deplasării cilindrului hidraulic, la sarcină de **18 bar**.



**Fig.19:** Variația în timp a debitului din primar (**Q1-sus**), debitului de sarcină (**Q2-centru**) și deplasării cilindrului de probare (**Tc-jos**), la sarcină de 18 bar.



În figura 19 se prezintă variațiile în timp ale următorilor parametri (cu roșu valorile medii): debitului din primarul miniboosterului; debitului din cilindrul de sarcină; deplasării cilindrului de probare la sarcină de **18 bar** (deplasare cilindru = 242 mm; interval durată 2,9...5,5 s).

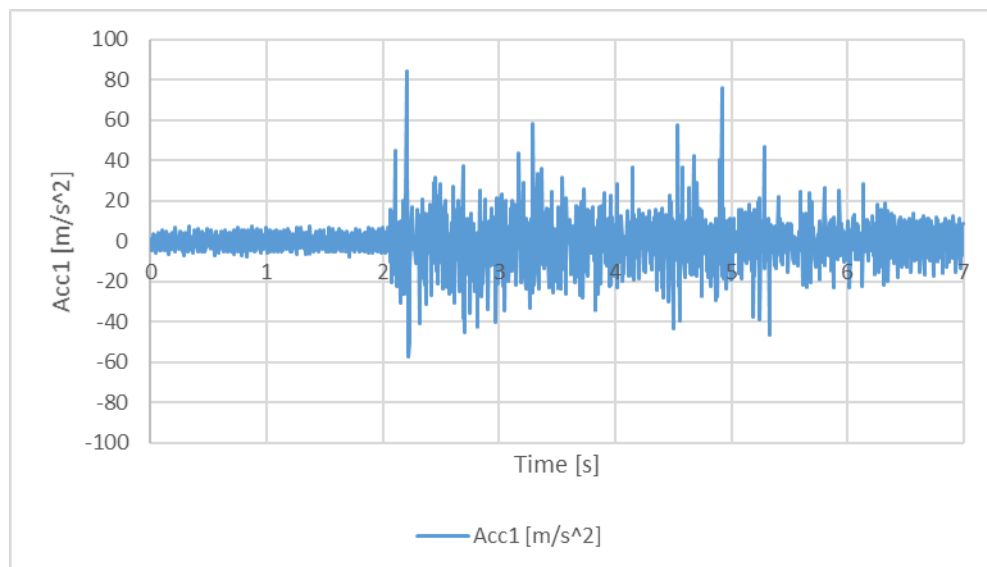


**Fig.20:** Detaliu- variația deplasării în timp a cilindrului de probare, la sarcină de 18 bar.

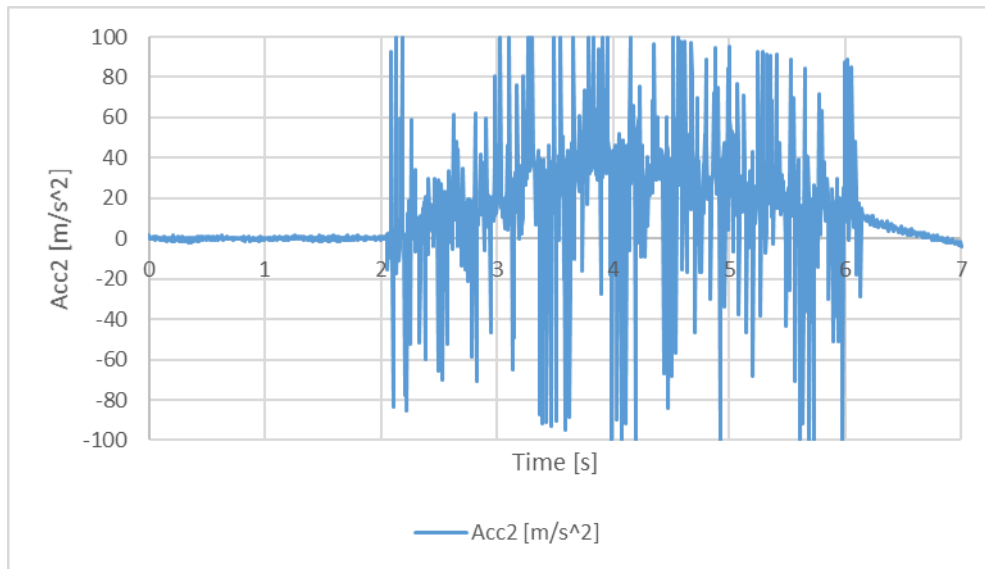
În figura 20 se prezintă un detaliu al deplasării cilindrului hidraulic de probare, în intervalul de timp 4,06 s - 4,09 s, atunci când cilindrul de sarcină are presiunea de **18 bar**.

### 3.3 Încercări la sarcină egală cu 30 bar:

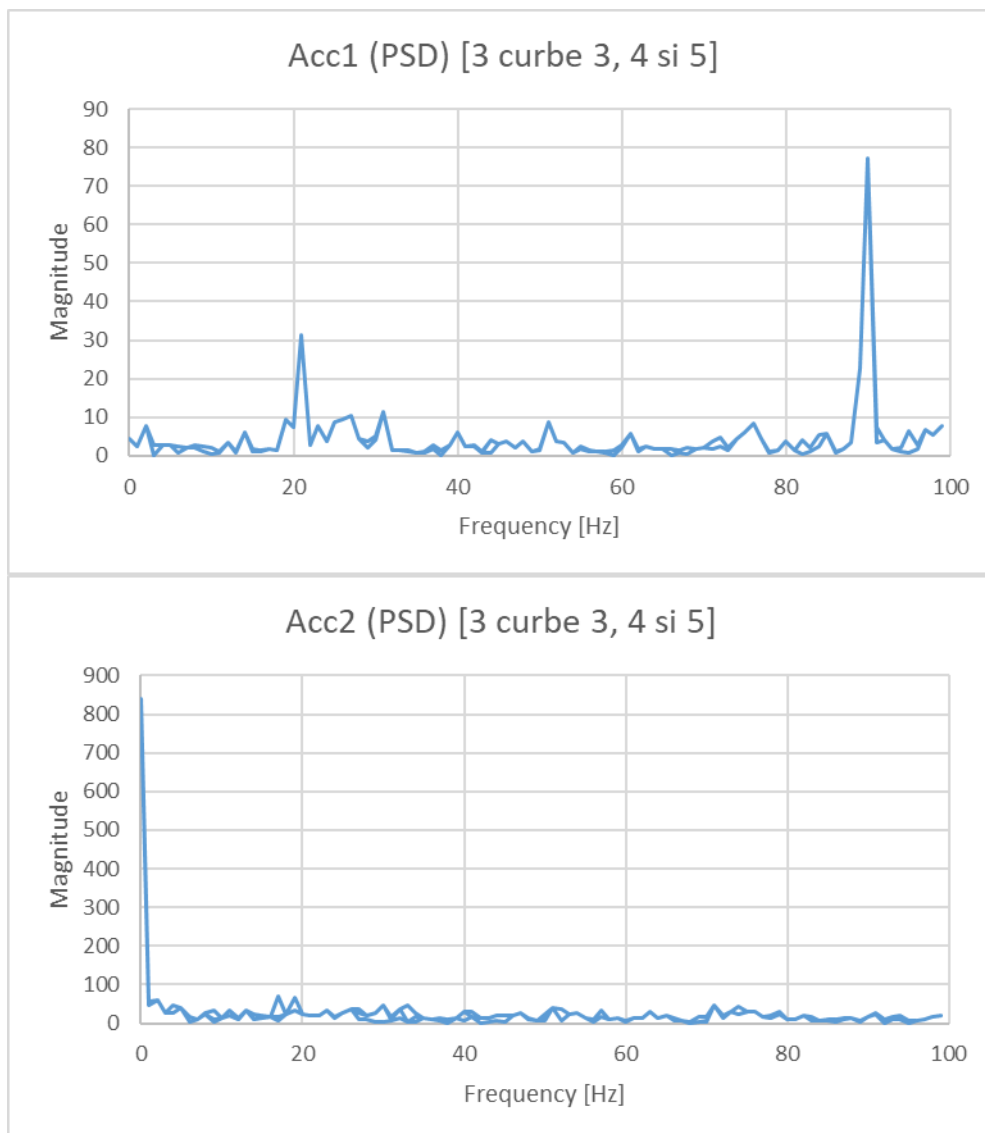
În figurile 21 și 22 se prezintă rezultatele măsurătorilor variației accelerației miniboosterului, respectiv cilindrului hidraulic de probare, pe durata deplasării cilindrului hidraulic, la sarcină de **30 bar**.



**Fig.21:** Variația în timp a accelerației miniboosterului (**Acc1**), la sarcină de 30 bar.

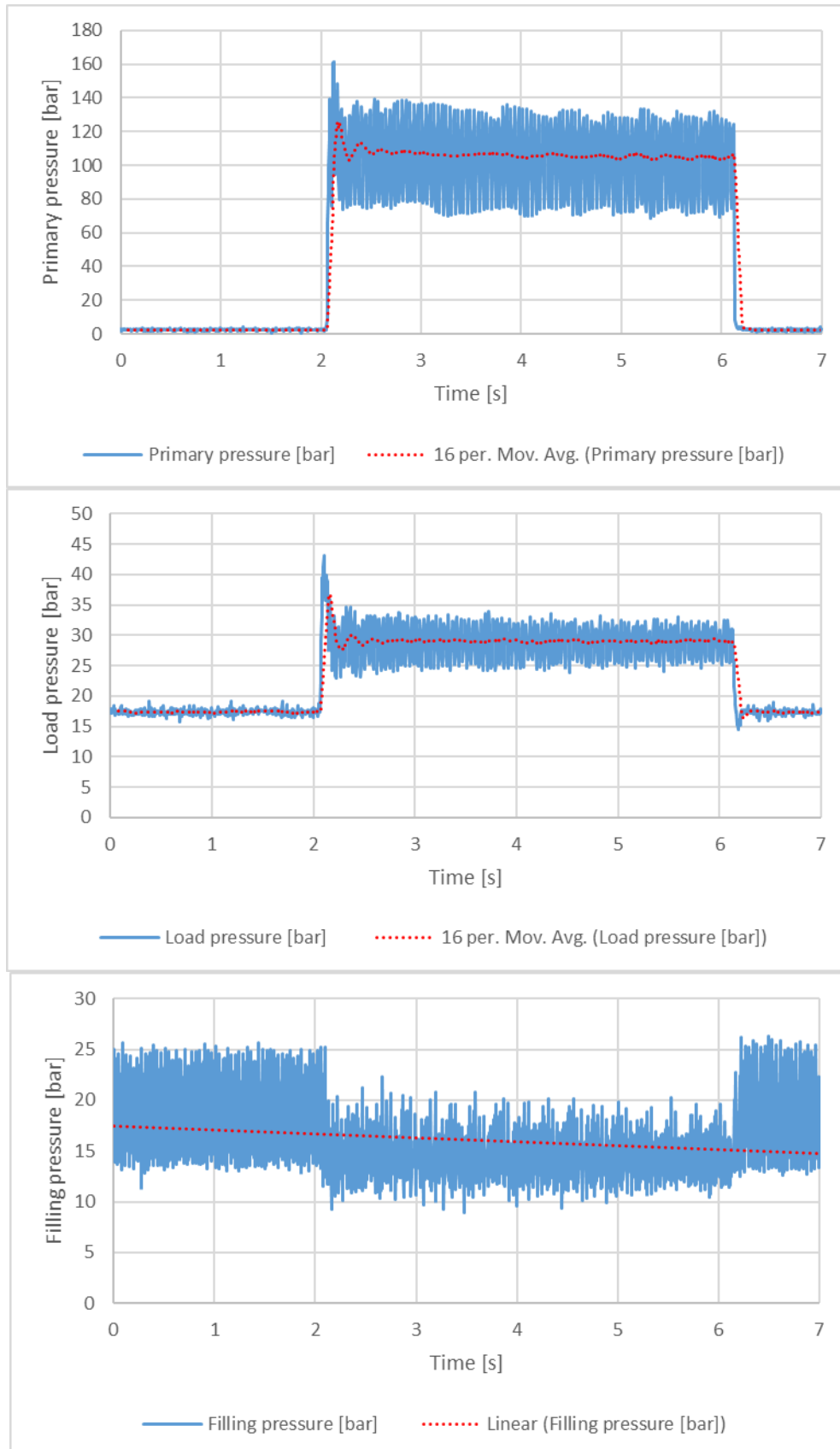


**Fig.22:** Variația în timp a accelerației cilindrului hidraulic (**Acc2**), la sarcină de 30 bar.



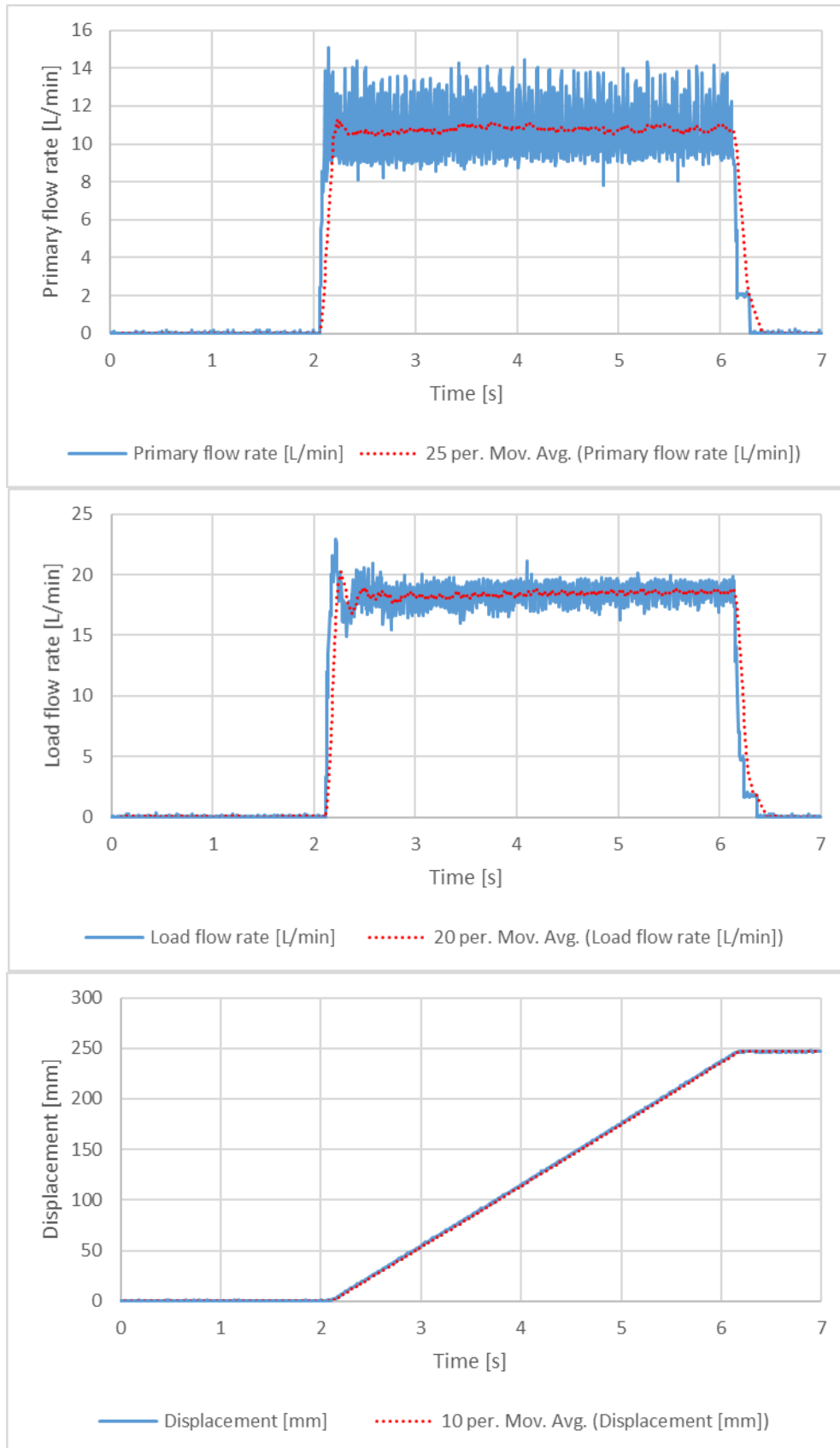
**Fig.23:** Densitatea spectrală de putere, la sarcină de 30 bar (**Acc1** sus-minibooster; **Acc2** jos-cilindru).

În figura 23 se prezintă curbele de analiză a accelerației în domeniul frecvență, respectiv variația magnitudinii frecvenței (frecvența maximă / frecvența minimă), funcție de frecvență (sus-minibooster; jos-cilindru hidraulic), pe durata deplasării cilindrului hidraulic, la sarcină de **30bar**.



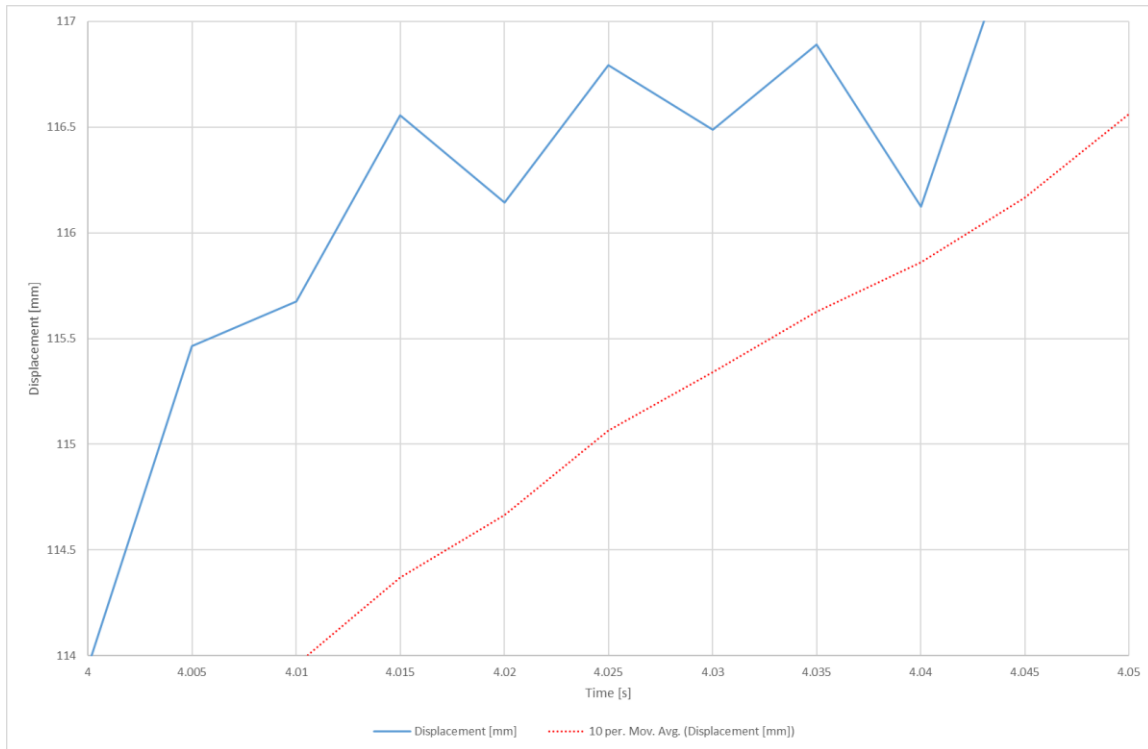
**Fig.24:** Variația în timp a presiunii, la sarcină de 30 bar (sus-**p1**, primar; centru- **p2**, sarcină; jos-**p3**, umplere).

În figura 24 se prezintă variația în timp a presiunilor (cu roșu valorile medii) din primar, de sarcină și de umplere, în timpul deplasării cilindrului hidraulic, la sarcină de **30 bar**.



**Fig.25:** Variația în timp a debitului din primar (**Q1-sus**), debitului de sarcină (**Q2-centru**) și deplasării cilindrului de probare (**Tc-jos**), la sarcină de 30 bar.

În figura 25 se prezintă variațiile în timp ale următorilor parametri (cu roșu valorile medii): debitului din primarul miniboosterului; debitului din cilindrul de sarcină; deplasării cilindrului de probare la sarcină de **30 bar** (deplasare cilindru = 250 mm; interval durată = 2,1...6,2 s).

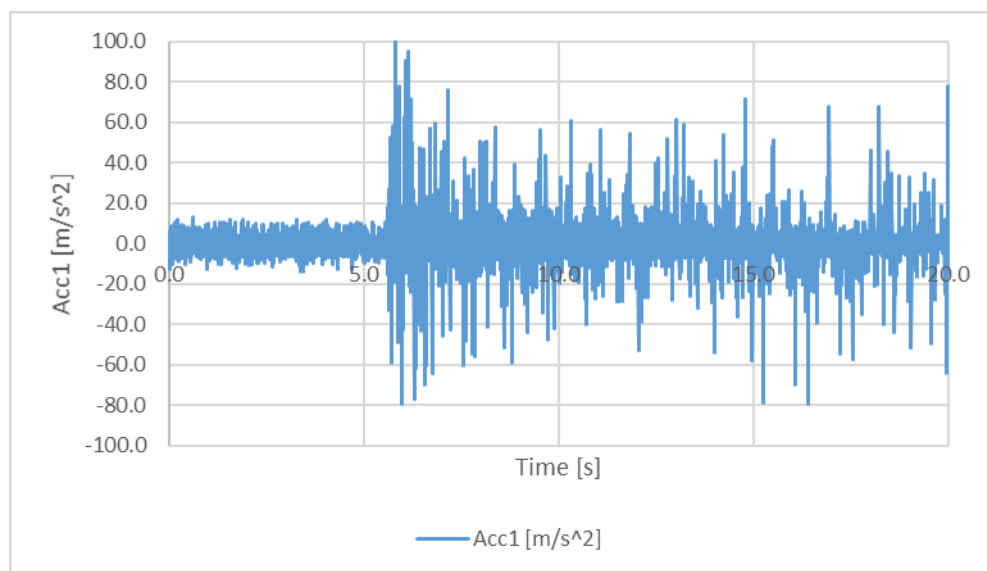


**Fig.26:** Detaliu- variația deplasării în timp a cilindrului de probare, la sarcină de 30 bar.

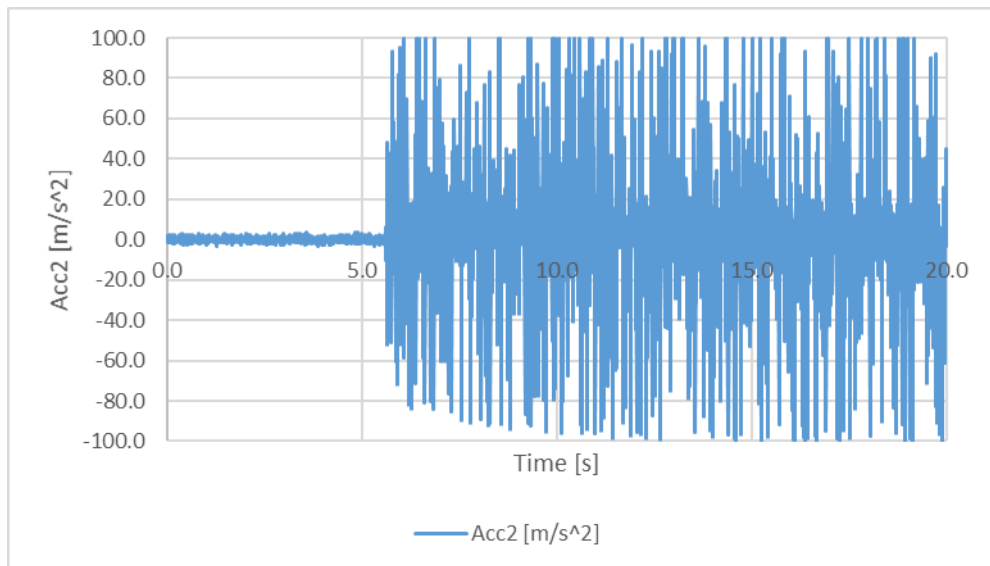
În figura 26 se prezintă un detaliu al deplasării cilindrului hidraulic de probare, în intervalul de timp 4 s - 4,05 s, atunci când cilindrul de sarcină are presiunea de **30 bar**.

### 3.4 Încercări la sarcină egală cu 700 bar:

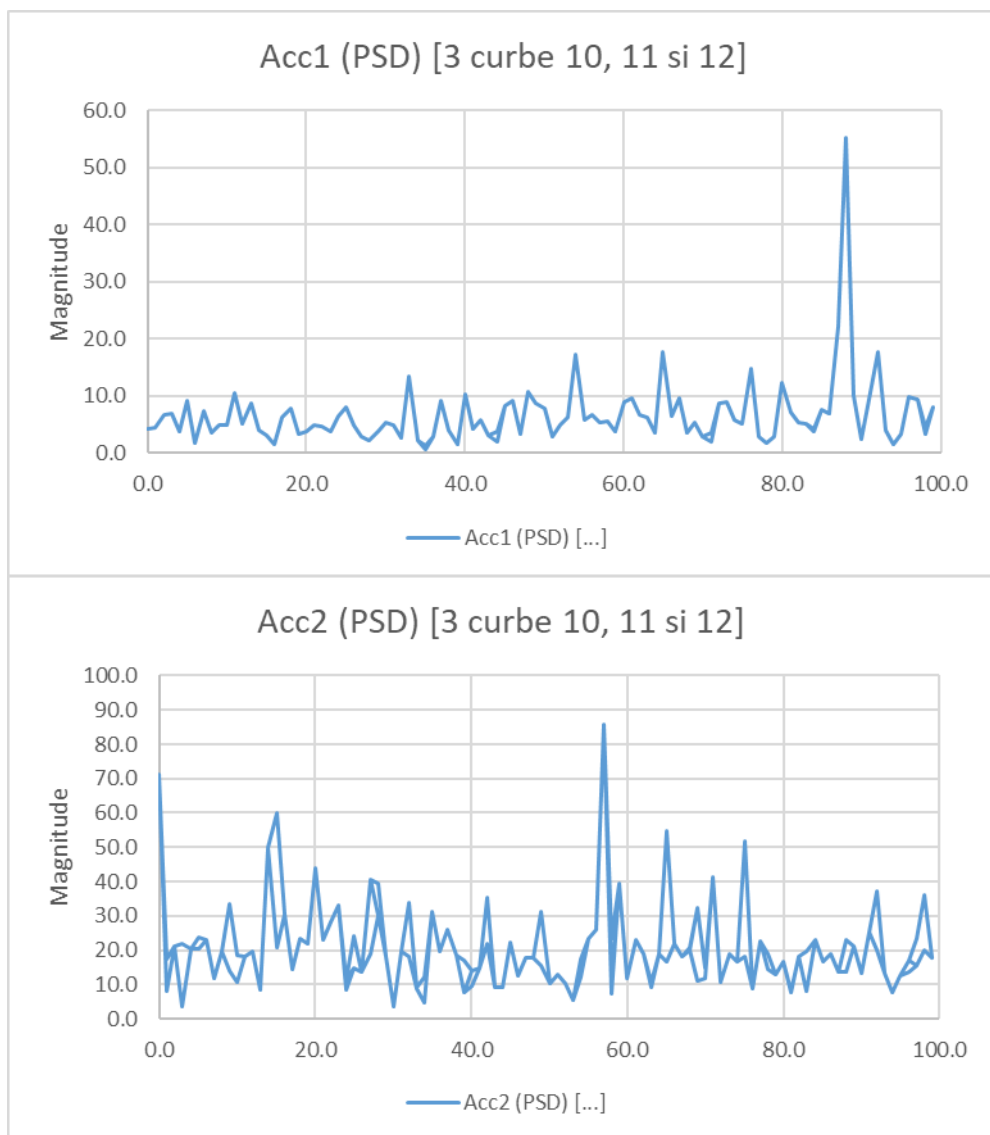
În figurile 27 și 28 se prezintă rezultatele măsurătorilor variației accelerației miniboosterului, respectiv cilindrului hidraulic de probare, pe durata deplasării cilindrului hidraulic, la sarcină de **700 bar**.



**Fig.27:** Variația în timp a accelerației miniboosterului (**Acc1**), la sarcină de 700 bar.

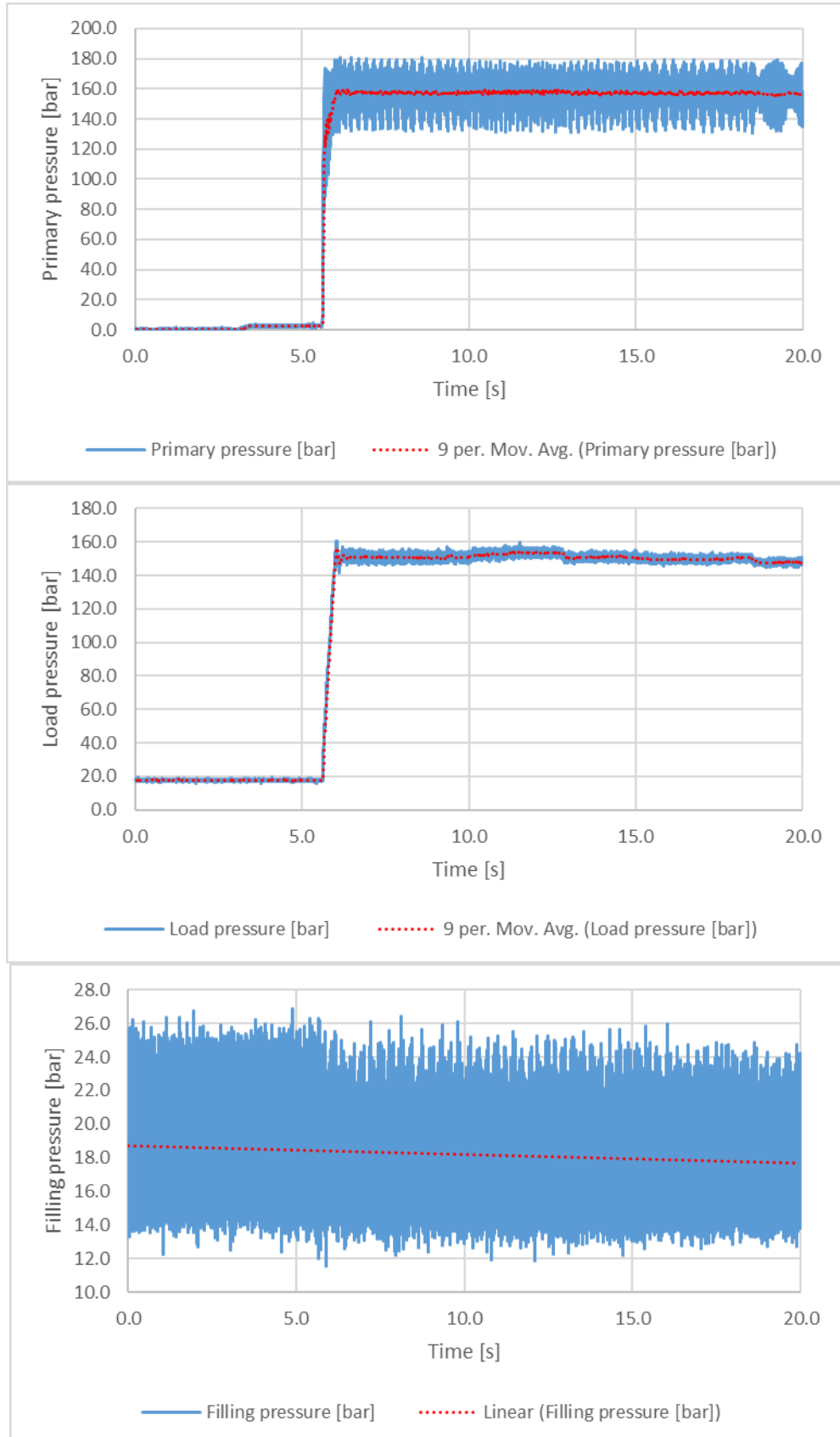


**Fig.28:** Variația în timp a accelerației cilindrului hidraulic (**Acc2**), la sarcină de 700 bar.



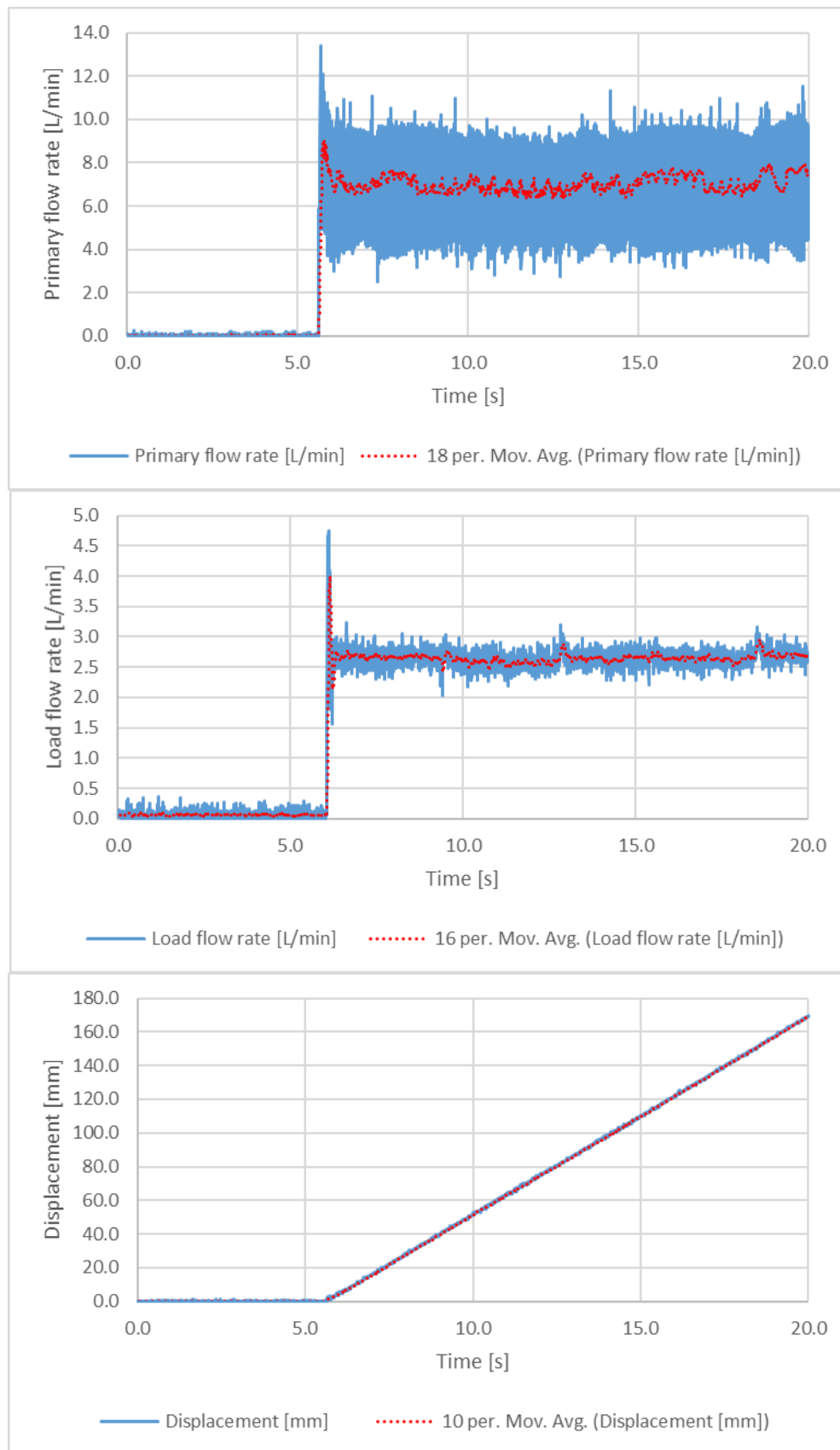
**Fig.29:** Densitatea spectrală de putere, la sarcină de 700 bar (**Acc1** sus-minibooster; **Acc2** jos-cilindru).

În figura 29 se prezintă curbele de analiză a accelerației în domeniul frecvență, respectiv variația magnitudinii frecvenței (frecvența maximă / frecvența minimă), funcție de frecvență (sus-minibooster; jos-cilindru hidraulic), pe durata deplasării cilindrului hidraulic, la sarcină de **700bar**.



**Fig.30:** Variația în timp a presiunii, la sarcină de 700 bar (sus-**p1**, primar; centru- **p2**, sarcină; jos-**p3**, umplere).

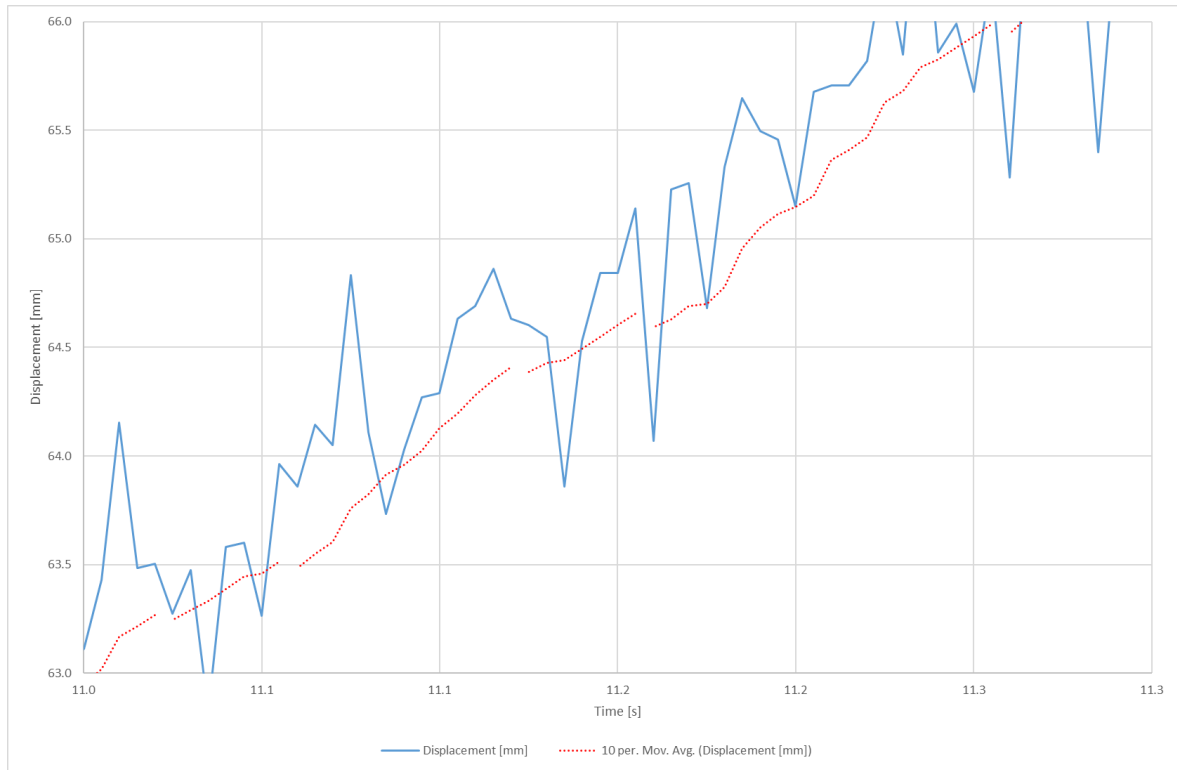
În figura 30 se prezintă variația în timp a presiunilor (cu roșu valorile medii) din primar, de sarcină și de umplere, în timpul deplasării cilindrului hidraulic, la sarcină de **700 bar**.



**Fig.31:** Variația în timp a debitului din primar (**Q1-sus**), debitului de sarcină (**Q2-centru**) și deplasării cilindrului de probare (**Tc-jos**), la sarcină de 700 bar.



În figura 31 se prezintă variațiile în timp ale următorilor parametri (cu roșu valorile medii): debitului din primarul miniboosterului; debitului din cilindrul de sarcină; deplasării cilindrului de probare la sarcină de **700 bar** ( deplasare cilindru = 170 mm; interval durată = 5,6...20s).

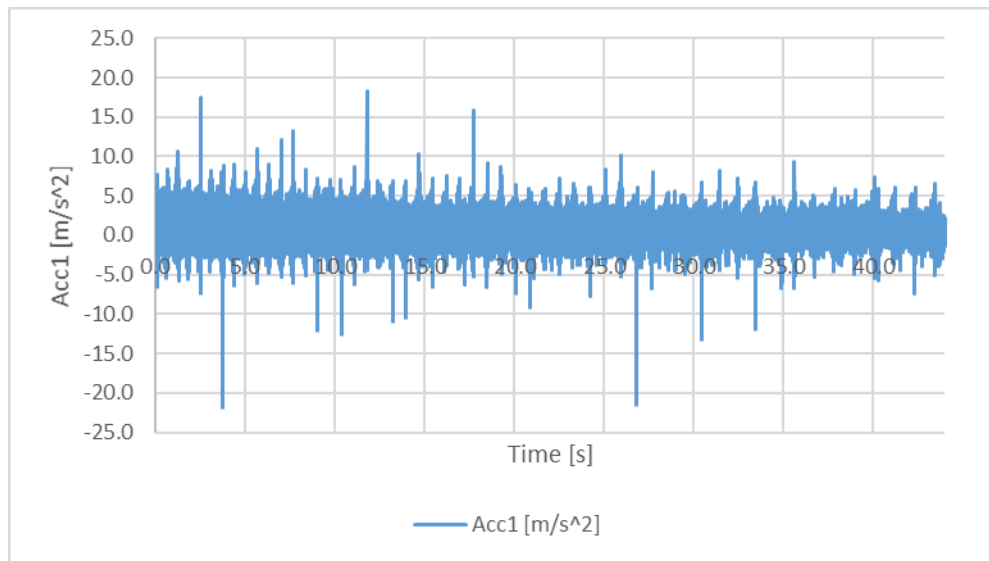


**Fig.32:** Detaliu- variația deplasării în timp a cilindrului de probare, la sarcină de 700 bar.

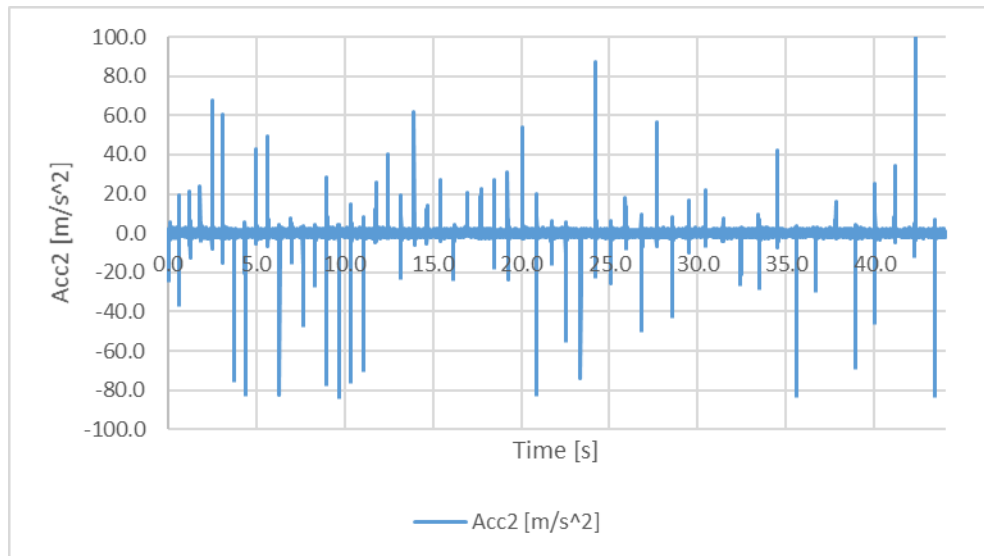
În figura 32 se prezintă un detaliu al deplasării cilindrului hidraulic de probare, în intervalul de timp 11 s – 11,3 s, atunci când cilindrul de sarcină are presiunea de **700 bar**.

### 3.5 Încercări la sarcină egală cu 800 bar:

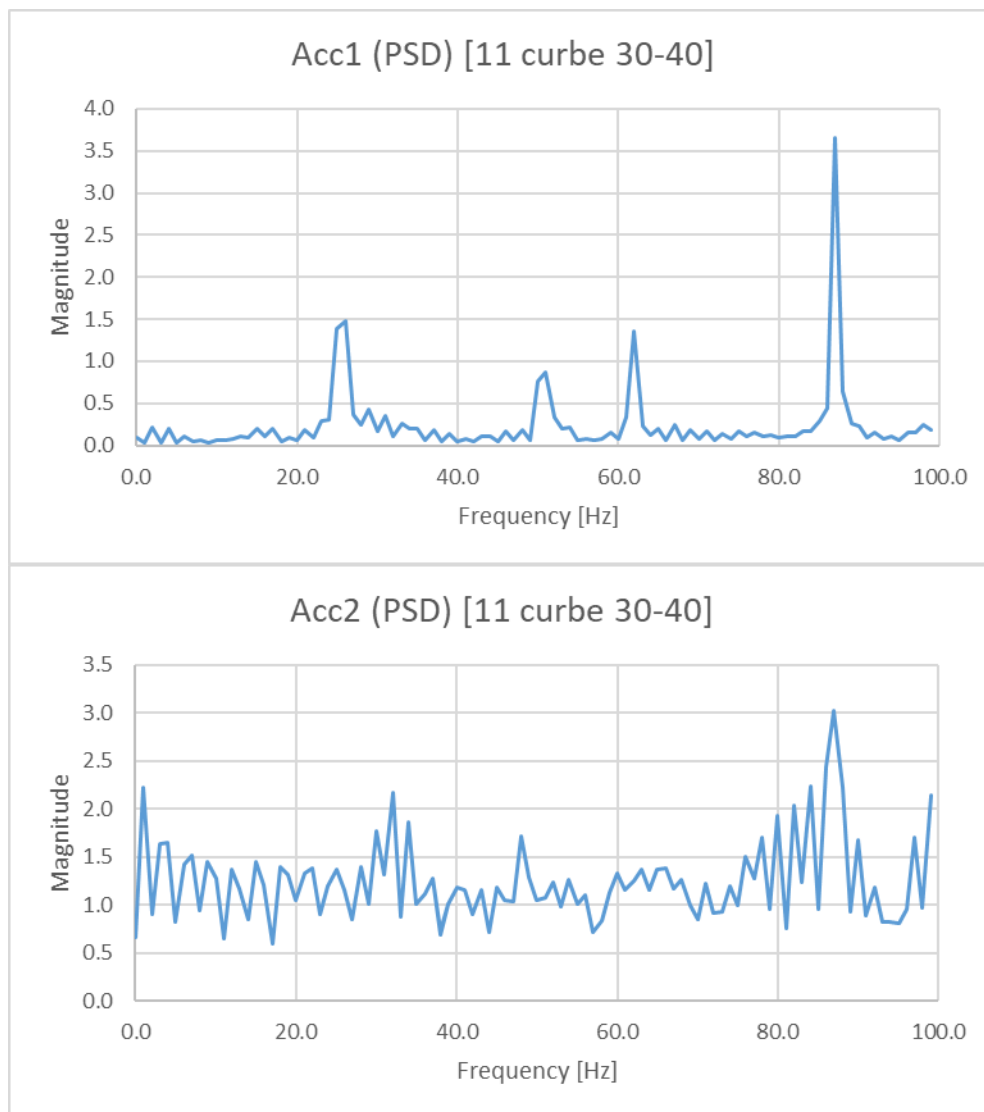
În figurile 33 și 34 se prezintă rezultatele măsurătorilor variației accelerației miniboosterului, respectiv cilindrului hidraulic de probare, pe durata deplasării cilindrului hidraulic, la sarcină de **800 bar**.



**Fig.33:** Variația în timp a accelerației miniboosterului (**Acc1**), la sarcină de 800 bar.

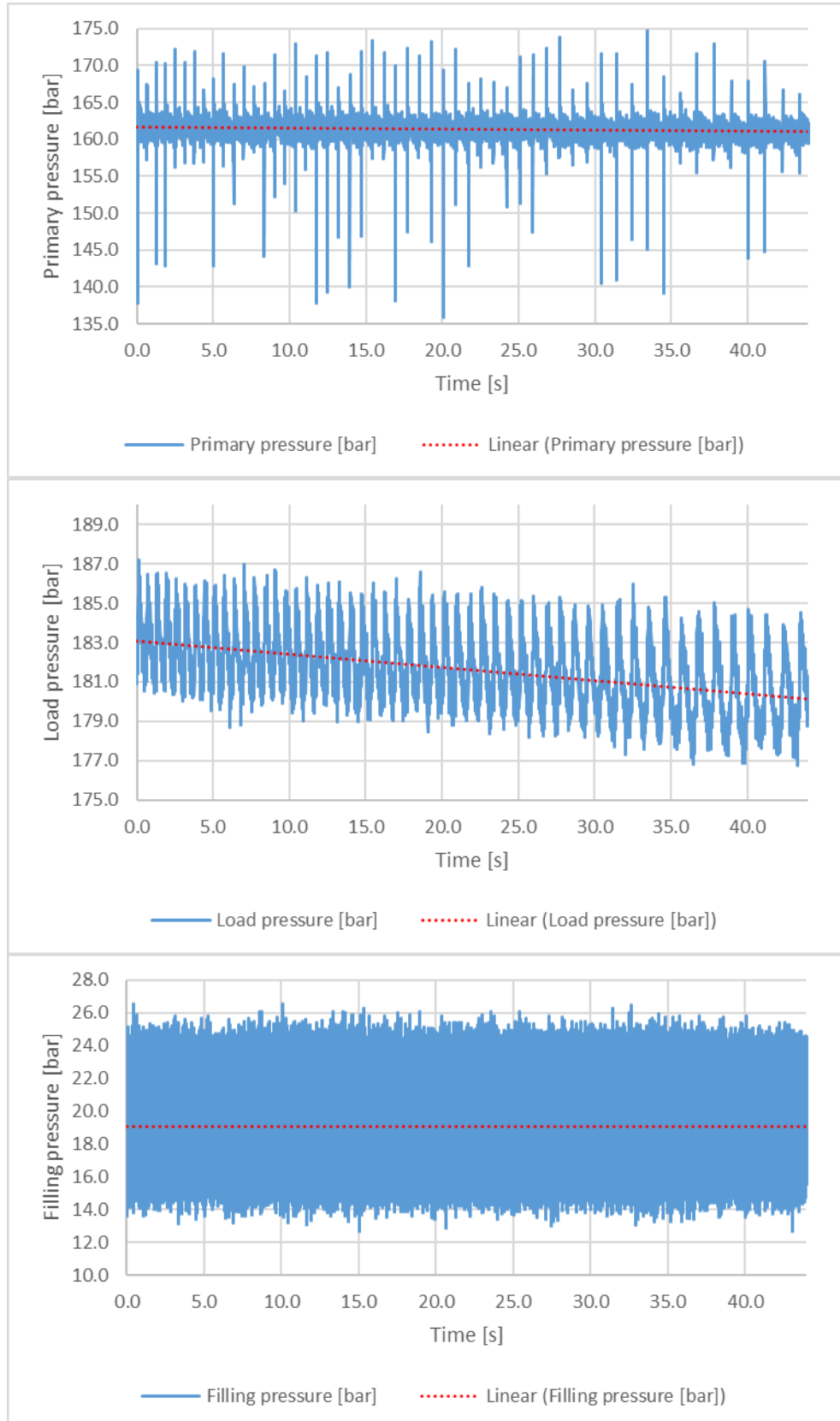


**Fig.34:** Variația în timp a accelerației cilindrului hidraulic (**Acc2**), la sarcină de 800 bar.



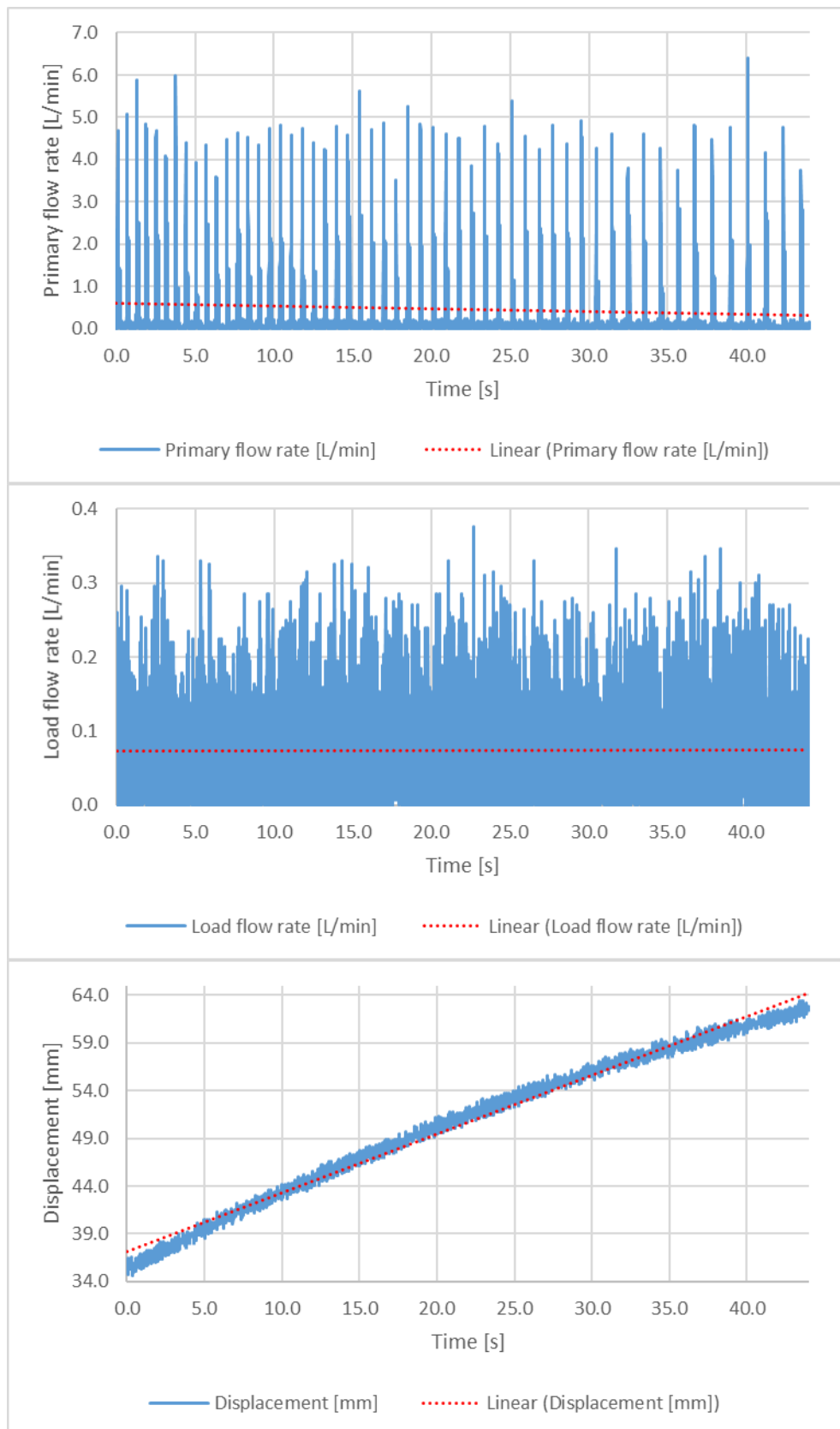
**Fig.35:** Densitatea spectrală de putere, la sarcină de 800 bar (**Acc1** sus-minibooster; **Acc2** jos-cilindru).

În figura 35 se prezintă curbele de analiză a accelerației în domeniul frecvență, respectiv variația magnitudinii frecvenței (frecvența maximă / frecvența minimă), funcție de frecvență (sus-minibooster; jos-cilindru hidraulic), pe durata deplasării cilindrului hidraulic, la sarcină de **800bar**.



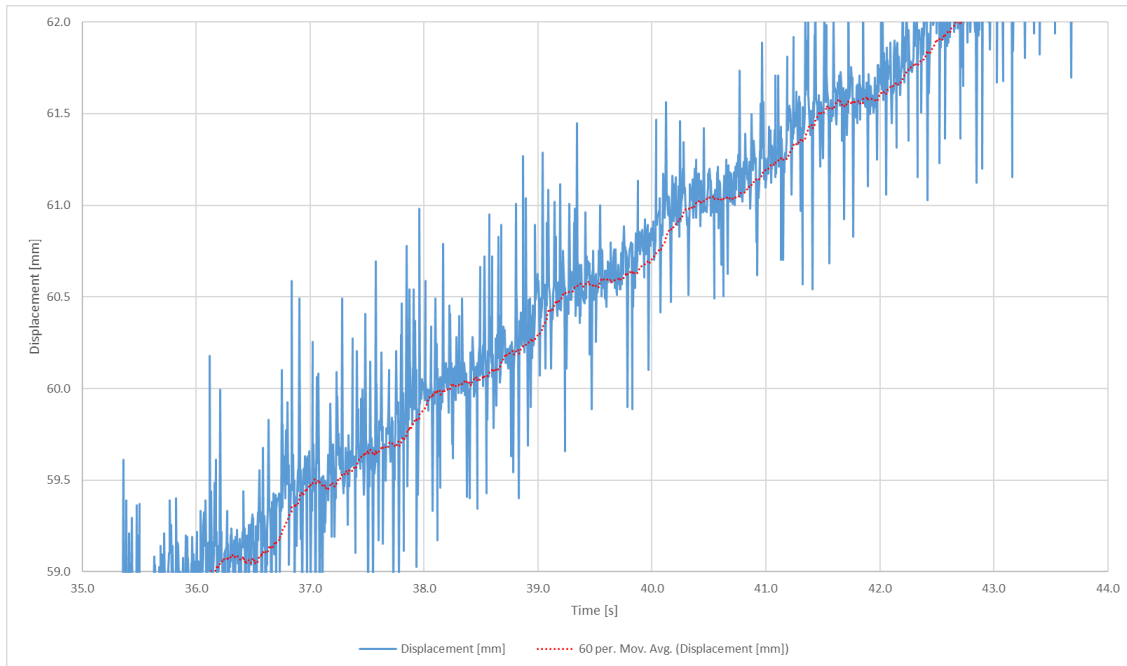
**Fig.36:** Variația în timp a presiunii, la sarcină de 800 bar (sus-**p1**, primar; centru- **p2**, sarcină; jos-**p3**, umplere).

În figura 36 se prezintă variația în timp a presiunilor (cu roșu valorile medii) din primar, de sarcină și de umplere, în timpul deplasării cilindrului hidraulic, la sarcină de **800 bar**.



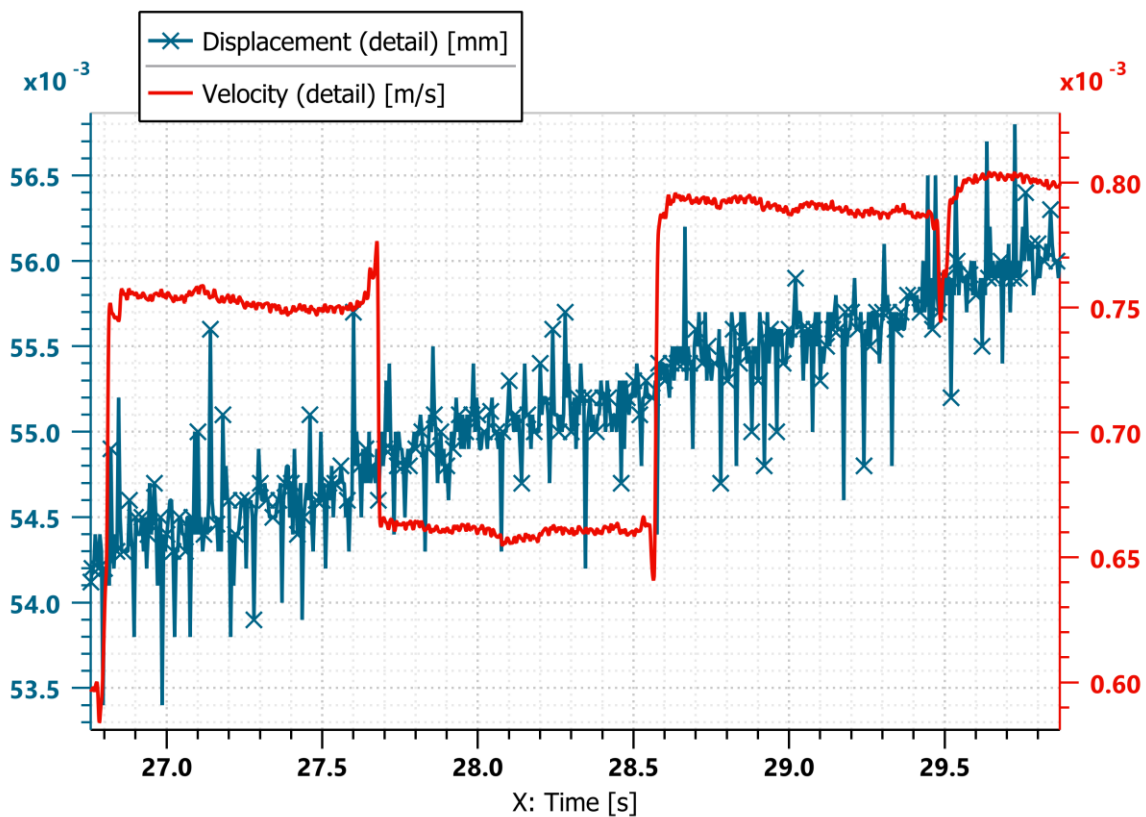
**Fig.37:** Variația în timp a debitului din primar (**Q1-sus**), debitului de sarcină (**Q2-centru**) și deplasării cilindrului de probare (**Tc-jos**), la sarcină de 800 bar.

În figura 37 se prezintă variațiile în timp ale următorilor parametri (cu roșu valorile medii): debitului din primarul miniboosterului; debitului din cilindrul de sarcină; deplasării cilindrului de probare la sarcină de **800 bar** (deplasare cilindru = 30 mm; interval durată = 34...64 s).



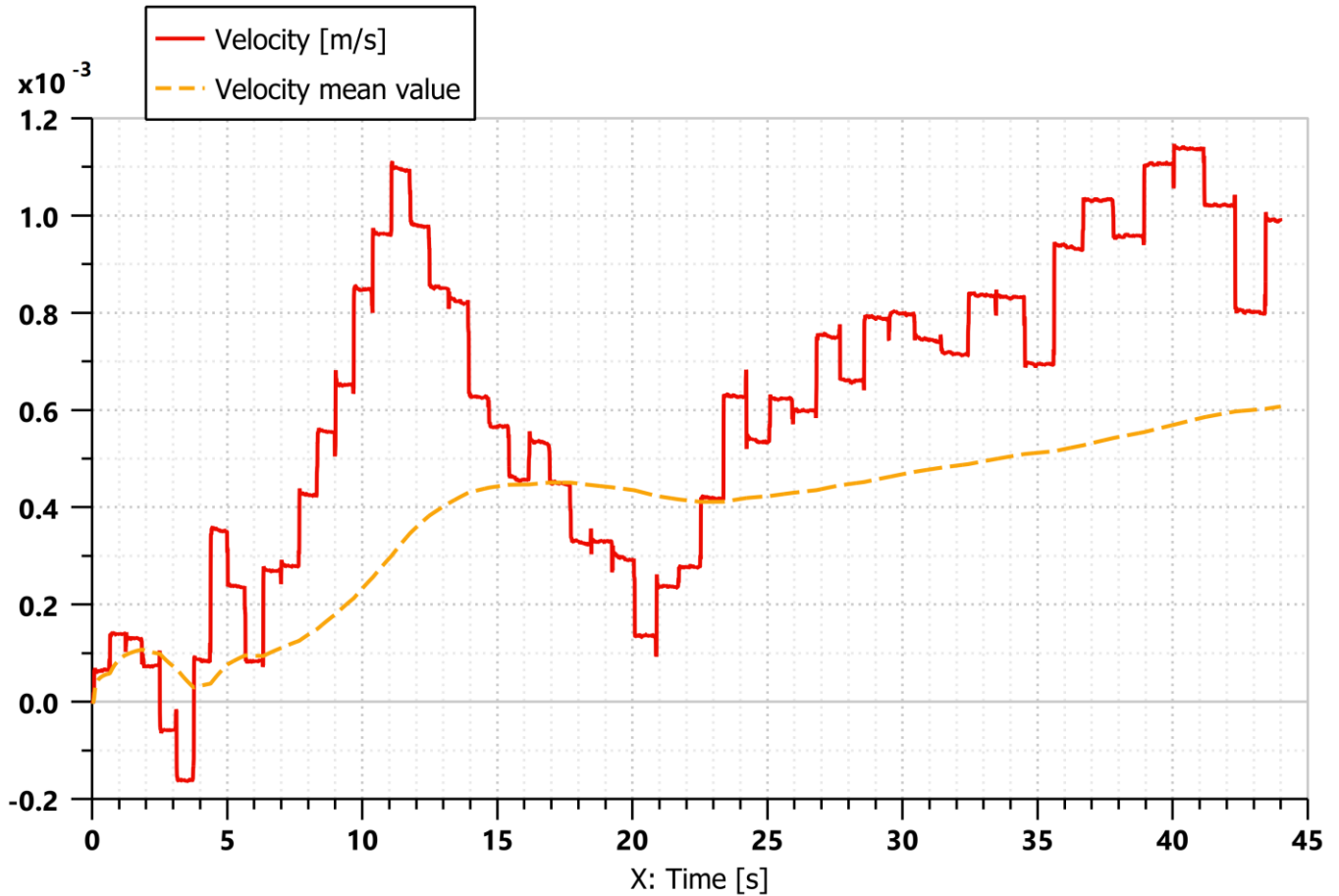
**Fig.38:** Detaliu- variația deplasării în timp a cilindrului de probare, la sarcină de 800 bar.

În figura 38 se prezintă un detaliu al deplasării cilindrului hidraulic de probare, în intervalul de timp 36 s – 43 s, atunci când cilindrul de sarcină are presiunea de **800 bar**.



**Fig.39:** Detaliu- variația în timp a deplasării și vitezei cilindrului de probare, la sarcină de 800 bar.

Integrând în raport cu timpul valorile accelerației măsurate cu accelerometrul montat între tijele celor doi cilindri hidraulici, s-a obținut viteza prezentată în figura 39. Integrând apoi valorile vitezei se obține variația în timp a deplasării. După cum se poate observa, viteza de deplasare a cilindrilor nu este uniformă, aceasta variază din cauza naturii pulsatorii a debitului de la intensificator, a compresibilității sistemului și a elasticității acestuia. Viteza medie are o valoare de 0,6 mm/s, aceasta rezulta din calculul de mai jos și din media prezentată în graficul din figura 40.



**Fig.40:** Detaliu- variația în timp a vitezei cilindrului de probare, la sarcină de 800 bar

$$Velocity\ mean\ value = \frac{(0.0627 - 0.0355)\ m}{43.995\ s} = 6.183 \times 10^{-4}\ \frac{m}{s} = 0.62\ \frac{mm}{s}$$

#### 4. Concluzii privind încercările modulului de pompare, care alimentează un cilindru hidraulic cu sarcină constantă:

Tabel 1: Concluzii

Sarcină [bar] / Interval de timp [s]	Accelații maxime [m/s <sup>2</sup> ]				Presiuni maxime [bar]			Debite maxime [l/min]		Deplasare / abatere deplasare liniară [mm]	Observații
	(Acc1) <sub>max</sub>	(Acc2) <sub>max</sub>	PSD1	PSD2	p1	p2	p3	Q1	Q2		
	Acc = f(t)	Acc = f(t)	A <sub>max</sub> /A <sub>min</sub> = f(f <sub>Hz</sub> )	A <sub>max</sub> /A <sub>min</sub> = f(f <sub>Hz</sub> )							
0 (2,2...3,8s)	-	± 10	-	25 / 87 Hz	92	21	15	-	48	252 / ± 0,00	-Fără minibooster; -Fără sarcină; -Cursa de retragere.
18 (2,9...5,5s)	± 20	± 40	2 / 60 Hz	10 / 60 Hz	60	16	15	11	28	249 / ± 0,00	-Cu minibooster; -Fără sarcină; -Cursă avans.
30 (2,1...6,2s)	± 30	± 60	10 / 20 Hz	40 / 20 Hz	110	30	15	10,5	18	250 / ± 0,5	-Cu minibooster; -Sarcină mică; -Cursă avans.
700 (5,2...20s)	± 40	± 80	5 / 20 Hz	40 / 20 Hz	158	150	18	7	2,8	170 / ± 0,8	-Cu minibooster; -Sarcină mare; -Cursă avans.
800 (0...40s)	± 5	± 20	0,1 / 20 Hz	1 / 20 Hz	160	180	19	0,5	0,08	30 / ± 1	-Cu minibooster; -Sarcină mare; -Cursă avans.

1. Deplasarea cilindrului hidraulic, alimentat de modulul de pompare testat, echipat sau neechipat cu minibooster, este uniformă și liniară la sarcină nulă (curentul de comandă a supapei proporționale de pe stand este zero);
2. Abaterile de la liniaritate ale deplasării cilindrului hidraulic cresc la sarcini mai mari, dar sunt suficient de mici pentru ca modulul de pompare echipat cu minibooster să poată fi utilizat în aplicații tehnice de deplasare a cilindrului hidraulic cu sarcini constante pe întreaga cursă;
3. Regimul pulsatoriu de funcționare al miniboosterului, cu frecvență de 0,01...20 Hz, cauzat de deplasarea *alternant simetrică* a ansamblului celor două pistoane și sertarului bistabil de distribuție, cu comandă hidraulică, nu induce șocuri periculoase care să afecteze rezistența mecanică a cilindrului hidraulic și sistemului său de acționare;
4. Pentru creșterea vitezei de deplasare a cilindrului hidraulic la sarcini mari trebuie reglată presiunea de deschidere a supapei de siguranță a modulului de pompare la o valoare superioară celei echivalente a sarcinii (pentru mărirea debitului din secundarul miniboosterului, supapa de siguranță se va regla mai sus).
5. Toate rezultatele măsurătorilor au fost stocate într-o bază de date; măsurătorile se pot repeta pentru orice sarcină a cilindrului de probare cuprinsă în intervalul 0... 800 bar.

Întocmit,  
dr.ing. Teodor Costinel POPESCU