

UNIVERSITATEA TEHNICA DE CONSTRUCTII BUCURESTI
FACULTATEA DE INGINERIE A INSTALATIILOR
Departamentul Sisteme Termo - Hidraulice și Protecția Atmosferei

Raport de cercetare 2

Măsuratori acustice în centrale termice

Student doctorand:
drd.ing. Cătălin Florin Băilescu

Conducator științific:
Prof. dr. ing. Vlad Iordache

BUCURESTI
2018

Contents

1. Introducere.....	3
2. Influența presiunii și a temperaturii gazului asupra sarcinii termice	4
3. Masuratori experimentare realizate / planificate	7
4. Protocol experimental.....	10
4.1 Subiectul experimentului	10
4.2 Locul, data și pregătirea experimentelor:	11
4.3 Munca depusă pentru experimente.....	12
5. Protocolul experimental pentru centrala 1, putere termică 3300 KW	13
5.1 Locație:	13
5.2 Prezentarea arhitecturală a încăperii.....	13
5.3 Echipamentele centralei termice	14
5.4 Soluțiile de protecție acustică existente	14
5.5 Partea experimentală	15
5.6 Baza de date și interpretarea datelor experimentale	18
5.7 Interpretarea datelor experimentale	23
6. Protocol experimental pentru centrala 2, putere termică 4800 kw	28
6.1 Locație:	28
6.2 Prezentarea arhitecturală a încăperii.....	28
6.3 Echipamentele centralei termice	29
6.4 Soluțiile de protecție acustică existente	29
6.5 Partea experimentală	30
6.6 Baza de date și interpretarea datelor experimentale	33
7. Protocol experimental pentru centrala 3, putere termică 1540 kw	37
7.1 Locația:	37
7.2 Prezentarea arhitecturală a încăperii.....	37
7.3 Echipamentele centralei termice	38
7.4 Soluțiile de protecție acustică existente	38
7.5 Partea experimentală	39
7.6 Baza de date și interpretarea datelor experimentale	42
8. Concluzii	46
9. Referințe.....	48

1. Introducere

Raportul 2 de cercetare al tezei de doctorat intitulat “Masuratori acustice in centrale termice” prezinta o sinteza a modului în care s-au desfășurat experimentele din spațiile tehnice, cum s-au realizat măsurările și care au fost parametrii masurați.

Pentru realizarea experimentelor a fost necesara participarea unui numar mare de persoane, inclusiv profesori universitari, student doctoranzi, automatisti, fochisti, directori, samd, activitate desfasurata in perioada 2017-2018. In aceasta etapa, teza are o intarziere datorata implicatiilor si problemelor aparute in campania experimentală:

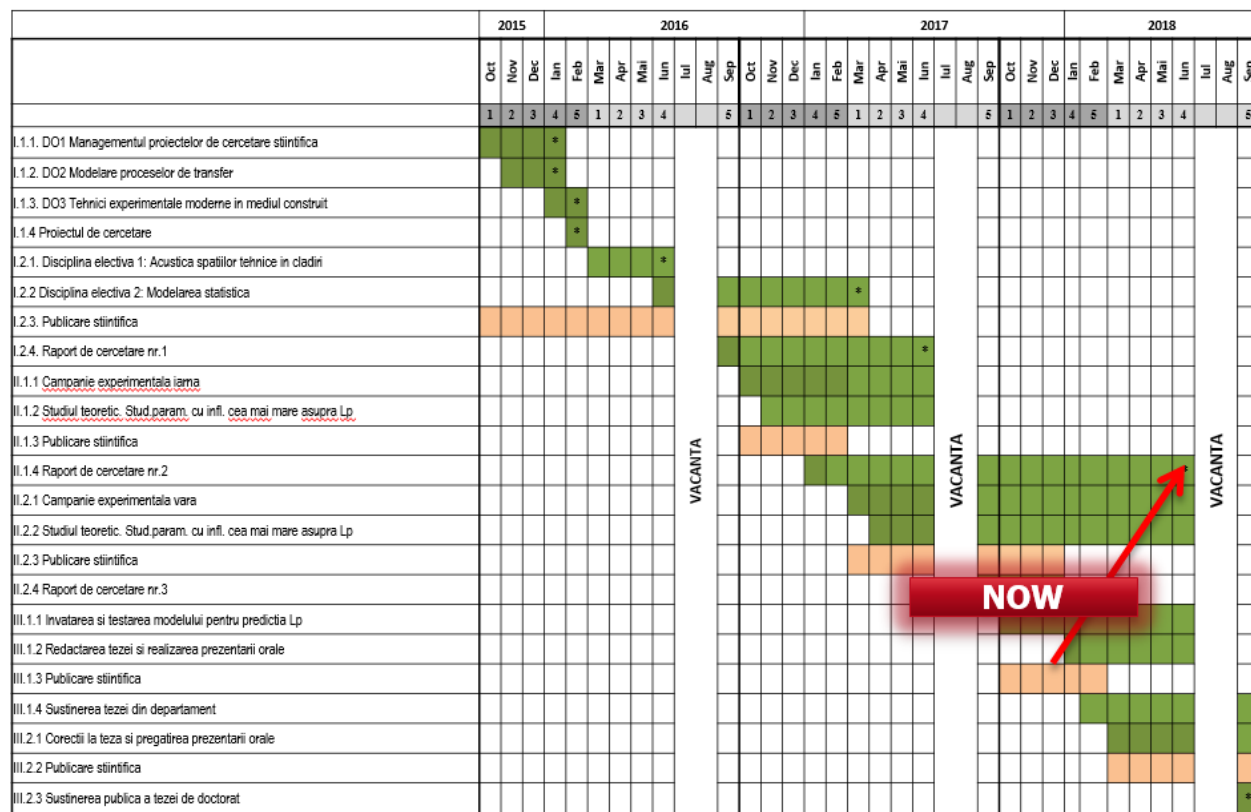


Fig.1 Calendarul tezei de doctorat

Acest raport prezinta influenta parametrilor precum temperatura si presiunea gazului asupra sarcinii termice pentru centrale termice din orase diferite: Ploiesti, Brasov si Bucuresti, si o comparatie a rezultatelor obtinute cu valorile prezise de modele existente in literatură de specialitate.

2. Influența presiunii și a temperaturii gazului asupra sarcinii termice

Importanța acestui capitol se datorează procesului izocoric al gazului, un proces termodinamic în timpul căruia volumul sistemului închis care suferă un astfel de proces rămâne constant.

Legea gazului ideal, numită și ecuația generală a gazului, este ecuația de stare a unui gaz ideal ipotetic. Este o bună aproximare a comportamentului gazului metan în multe condiții.

Legea gazului ideal este:

$$\frac{p \cdot V}{T} = ct, \quad (1)$$

unde ct este o constantă direct proporțională cu cantitatea de gaz, n (legea lui Avogadro). Factorul de proporționalitate este constanta universală a gazului R , i.e. $ct = nR$.

Există două situații ale legii gazelor:

- Condiții normale, când $p_o(\text{bar}) = p_{atm}$ și $T_o = 273,15^\circ\text{C}$
- Condiții reale când $p(\text{bar}) = p_{atm} + p_g$ and $T(^{\circ}\text{C}) = T_o + t_g$,

Această schimbare a gazului poate introduce schimbări mari în performanța unui arzător, dar nu știm cât de mare este influența varianței acestor doi parametri în situații reale asupra fenomenului nostru (predicția nivelului de zgomot). Deci, vrem să estimăm această influență. Aceasta este ceea ce propunem în acest capitol, pentru a evidenția cât de mare este influența lui p și t asupra puterii termice și, mai departe, asupra nivelului de zgomot de la centralele termice.

Puterea termică a centralei este măsurată la contorul de gaz, deci puterea termică la nivelul ramificării, nu puterea termică utilă (ceea ce iese din cazan). Această putere termică depinde de starea normală a gazului (presiune normală și temperatură normală), de puterea calorică mai mică și nu de condițiile reale ale gazului.

$$\Phi_{burner} = B \cdot H_{i\ comb} = \frac{V_{1min}^N}{60[s]} \cdot H_i, \quad (2)$$

Unde $\Phi_{burner} [kW]$ - puterea termică reală pentru 60 secunde, $H_i [kJ/m^3_N] = 35372$ – puterea calorică inferioară a gazului pentru condiții normale, $V_{1min}^N [m^3]$ – volumul gazului pentru condiții normale $B [m^3_N/s]$ – consumul de gaz pentru 1 minut.

Volumul de gaz pentru condiții normale este determinat pe baza relației de stare (1), în funcție de condițiile reale de gaz p_{real} , T_{real} și gazul la condiții normale, p_{atm} , $T = 273,15^\circ\text{C}$ și volumul real de gaz pe baza măsurătorilor contorului de gaz.

$$\left(\frac{p \cdot V}{T}\right)_{conditii\ normale} = \left(\frac{p \cdot V}{T}\right)_{conditii\ reale}, \quad (3)$$

$$\frac{p_o \cdot V_o}{T_o} = \frac{p_{real} \cdot V_{real}}{T_{real}}, \quad (4)$$

$$\frac{p_{atm} \cdot V_{1min}^N}{T_o} = \frac{p_{real} \cdot V_{1min}}{T_{real}}, \quad (5)$$

$$\frac{p_{atm} \cdot V_{1min}^N}{273.15} = \frac{(p_g + p_{atm}) \cdot V_{1min}}{273.15 + t_g}, \quad (6)$$

$$V_{1min}^N = V_{1min} \cdot \frac{p_g + p_{atm}}{p_{atm}} \cdot \frac{273.15}{273.15 + t_g} \quad (7)$$

unde p_{real} [bar] – presiunea gazului in conditii reale T_{real} [K]- temperatura gazului in conditii reale, p_{atm} [bar] – presiunea atmosferica, $T_o = 273,15$ [°C], V_{1min}^N [m³] – volumul de gaz masurat pentru 1 minut de la contor, B [m³/s] – consumul de gaz pentru 1 minut, p_g [bar]- presiunea gazului metan, t_g [°C] – temperatura gazului metan.

Volumul real de gaz consumat într-un minut este determinat pe baza citirilor contorului de gaz la începutul și la sfârșitul acestui minut.

$$V_{1min} = I_F - I_I \quad (8)$$

unde I_F [m³] – indexul final citit de la contor I_I [m³] – indexul initial citit de la contor

Timpul considerat optim pentru aceste experimente a fost de 1 minut. În acest timp, cazanul trebuie să funcționeze liniar, fără întreruperi sau fără a fi într-o stare de inițializare.

V_{1min}^N din ecuația (7) este introdusă în ecuația (2) pentru a obține formula de calcul pentru puterea termică în funcție de indicele gazului:

$$\Phi_{burner} = \frac{V_{1min} \cdot \frac{p_g + p_{atm}}{p_{atm}} \cdot \frac{273.15}{273.15 + t_g}}{60} \cdot H_{i\ comb} \quad (9)$$

Din relația anterioară (7) rezultă ecuația pe care am folosit-o pentru a calcula puterea termică produsă de arzător în experimentele efectuate.

$$\Phi_{burner} = \frac{(I_{1min} - I_{0min}) \cdot \frac{p_g + p_{atm}}{p_{atm}} \cdot \frac{273.15}{273.15 + t_g}}{60} \cdot 35372 \quad (10)$$

Având în vedere că presiunea și temperatura pentru gazul metan furnizat de distribuitorul de energie nu variază foarte mult, densitatea obținută are variații nesemnificative.

Folosind ecuația (10), puterea termică a fost calculată pentru $V_{1min}=1$ [m3], temperaturi între 5-15 [°C] și presiuni de 0-40 [mbar] pentru condițiile obișnuite de gaz metan.

Tabelul 1 Puterea termică Φ_{burner} (kW) pentru diferite temperaturi și presiuni ale gazului

		Temp, tg, [°C]										
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Pres.GAZ, p_g , [mbar]	20	1892	1885	1878	1872	1865	1859	1852	1846	1839	1833	1826
	25	1883	1876	1869	1863	1856	1849	1843	1837	1830	1824	1817
	30	1874	1867	1860	1854	1847	1840	1834	1828	1821	1815	1809
	35	1865	1858	1851	1845	1838	1832	1825	1819	1812	1806	1800
	40	1856	1849	1842	1836	1829	1823	1816	1810	1804	1797	1791

Din tabelul de mai sus se observă că pentru aceste variații de temperatură și presiune, puterea termică este slab influențată, prin urmare, atunci când parametrii gazului nu pot fi identificați, putem folosi ca valoare implicită $p_g=30$ [mbar] $t_g=10$ [°C]

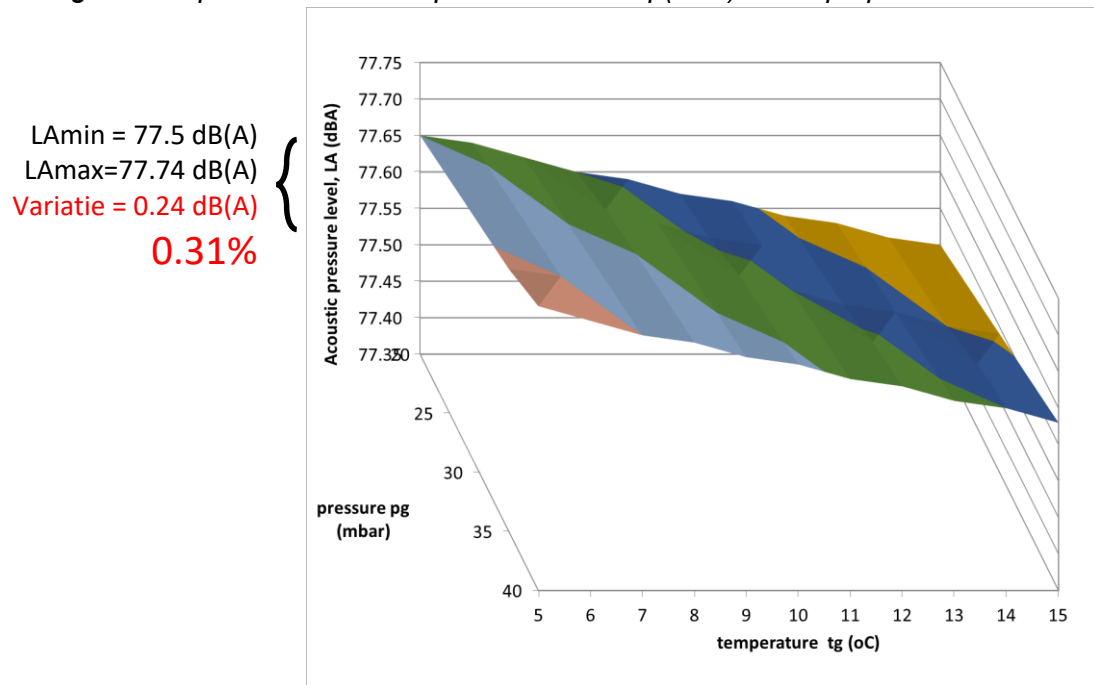
În următorul tabel vom calcula nivelul de presiune acustică globală LA [dBA] - în funcție de puterea termică cu modelul de predicție al Hamayon [1996], pentru a evidenția influența presiunii și temperaturii asupra LAeq produsă de arzător.

Tabelul 2 Nivelul de presiune acustică LAeq (dBA) pentru diferite temperaturi și presiuni ale gazului

		Temp, tg, [°C]										
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Pres GAZ, p_g , [mbar]	20	77.74	77.72	77.70	77.69	77.67	77.66	77.64	77.63	77.61	77.60	77.58
	25	77.71	77.70	77.68	77.67	77.65	77.64	77.62	77.61	77.59	77.58	77.56
	30	77.69	77.68	77.66	77.65	77.63	77.62	77.60	77.58	77.57	77.55	77.54
	35	77.67	77.66	77.64	77.63	77.61	77.59	77.58	77.56	77.55	77.53	77.52
	40	77.65	77.64	77.62	77.60	77.59	77.57	77.56	77.54	77.53	77.51	77.50

Tabelul de mai sus arată o diferență de doar 0,24 [dBA] între valorile minime și maxime ale nivelului de presiune acustică global ponderat A LAeq [dBA] pe baza puterii termice. Având în vedere această valoare, putem concluziona prin faptul că temperatura reală și presiunea gazului metan au o influență scăzută asupra zgomotului arzătorului.

Fig. 2 Nivel global de presiune acustică ponderat A LAeq (dBA) bazat pe puterea termică



3. Masuratori experimentare realizate / planificate

Până în prezent, au fost realizate un total de 9 centrale termice din cele 50 propuse la începutul tezei de doctorat. Trebuie avut în vedere faptul că pentru fiecare centrală termică au fost simulate un număr de 5-12 situații operaționale, astfel încât baza de date actuală cuprinde aproape 100 de situații reale de operare.

Tabelul 3 Tabelul centralelor termice realizare și planificate în viitor

Nr. crt	Oras	Institutie	Cladire	Data	Status
1	Ploiesti	-	Isolate boiler plant	04/04/18	REALIZAT
2		-	Block of flats	04/04/18	REALIZAT
3	Brasov	-	Hotel	05/09/18	REALIZAT
4		-	Student Flats	05/09/18	REALIZAT
5		-	Colina	05/09/18	CONTOR DEFECT
6	Bucuresti	-	FII	11/20/17	REALIZAT
7		-	Cantina	04/24/18	REALIZAT
8		-	Geodesy	04/19/18	REALIZAT
9		-	Students Flats 5	04/24/18	REALIZAT
10		-	Students Flats 6	04/24/18	REALIZAT

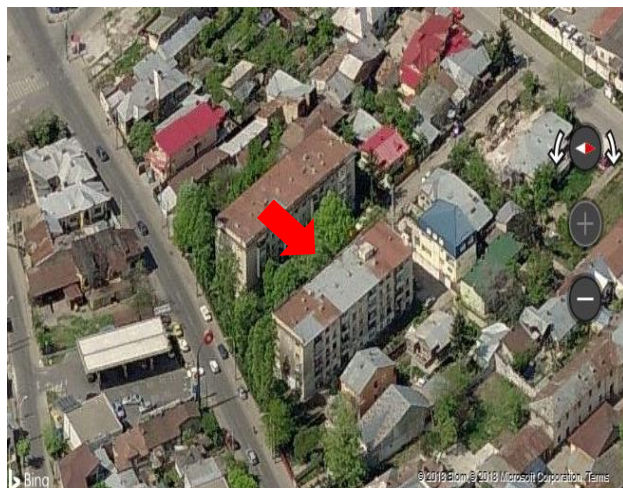


Fig. 3 Centrale termice din Ploiesti

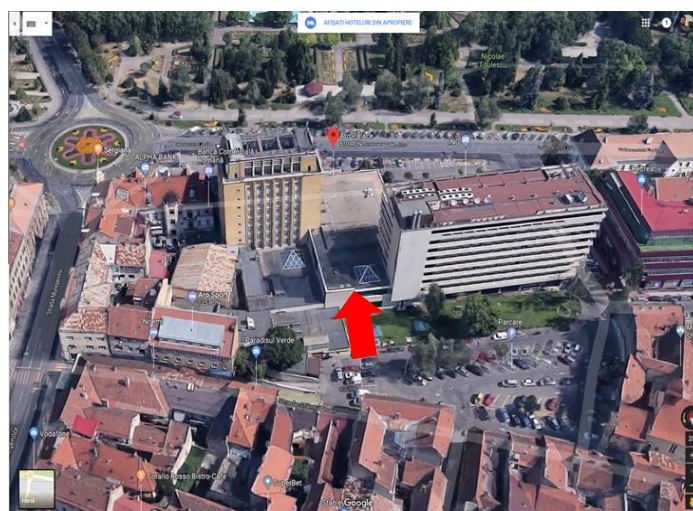
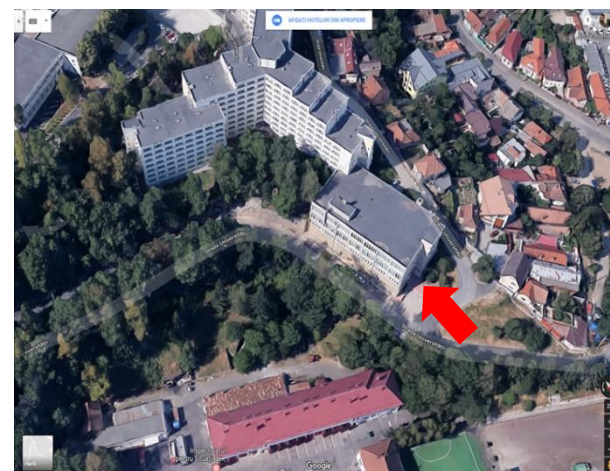
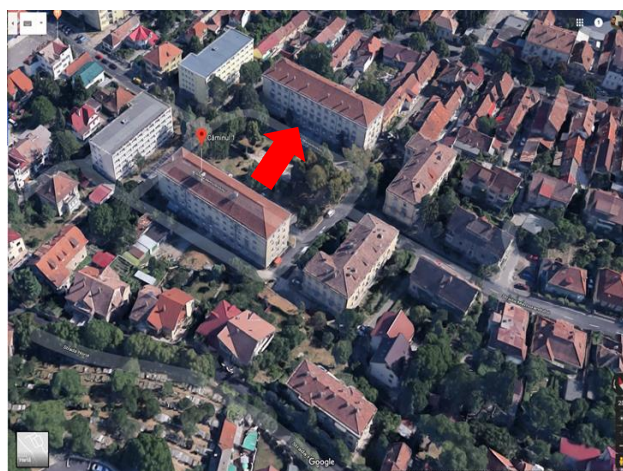


Fig. 4 Centrale termice din Brasov

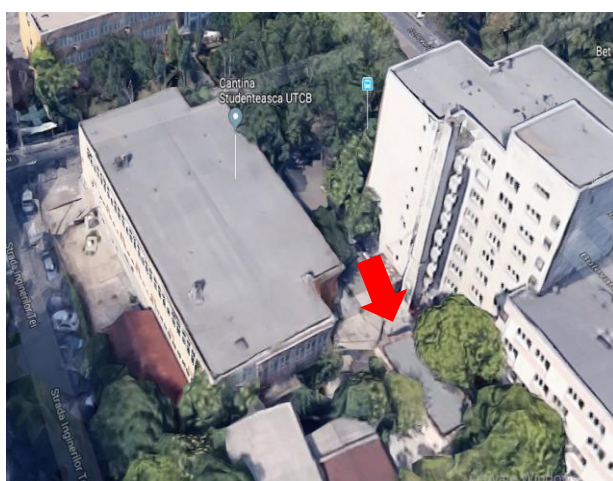
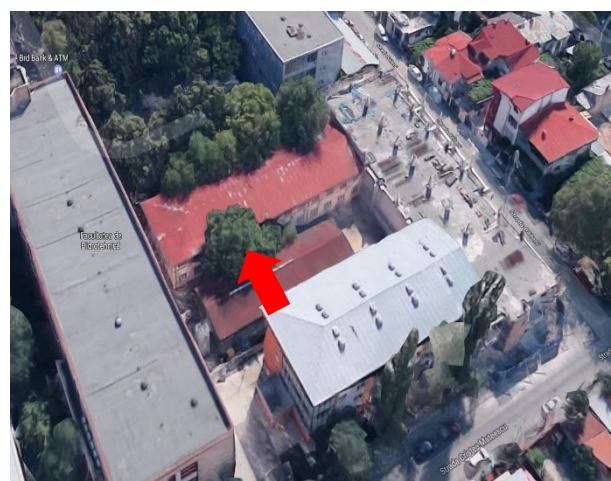
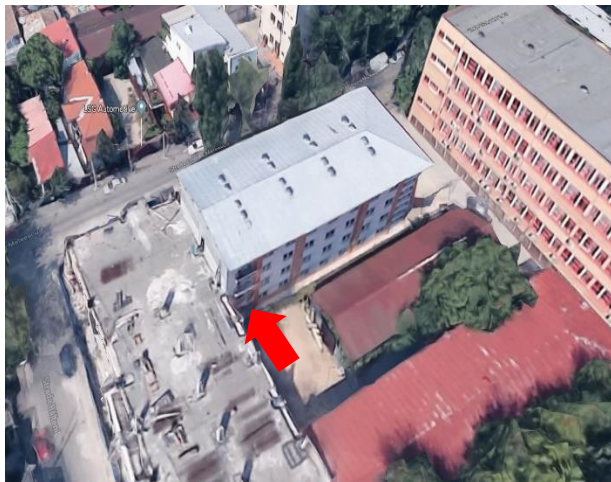


Fig. 5 Centrale termice din Bucuresti

4. Protocol experimental

4.1 Subiectul experimentului

Experimentul constă în măsurarea experimentală a nivelului de zgomot în stațiile centralei folosind amplificatorul portabil de 2250 canal amplificat cu frecvență între 4-22 kHz.



Fig. 6 Echipamente utilizate în experimente sonometru și instrument de măsurare laser

Sonometrul pe care l-am folosit în timpul experimentelor a fost dezvoltat special pentru măsurarea zgomotului ocupațional, de mediu și de produs, respectând în același timp toate standardele naționale și internaționale relevante.

Sonometru de tip 2250 este un sonometru modular de clasă 1 care integrează-calculează cu o interfață ușor de utilizat pentru configurări rapide și simple de măsurare, iar descarcarea datelor s-a realizat prin software-ul opțional de analiză a frecvenței 1/1 și 1/3-octavă.

Toate octavelele sunt măsurate în același moment, împreună cu valorile ponderate A și C în bandă largă, deci nu există comutare de filtru sau schimbare de interval.

De asemenea, pe sonometru am avut instalată, o aplicație care acceptă două metode de măsurare a timpului de reverberare: excitație impulsivă (Metoda Schroeder) și zgomot întrerupt. În experimentele noastre am folosit metoda de excitație impulsivă și sonometrul de tip 2250 care a permis măsurarea automată a timpului de reverberație după ce s-a spart un balon pentru a produce un zgomot ridicat la interiorul centralei termice.

Măsurătorile de reverberare în mai multe puncte s-au efectuat în ordine. Parametrii T20, T30 și EDT au fost toți măsuși atât pentru banda largă, cât și pentru fiecare bandă de octavă pentru a calcula automat mediile camerei.

S-a folosit software-ul utilitar BZ-5503 pentru analizoare portabile pentru a transfera date într-o arhivă de pe computer. Apoi am exportat datele din arhivă într-un Excel. Exportul a fost controlat de software-ul BZ-5503 (nu s-au putut deschide datele instrumentului direct din software-ul de post-procesare și raportare sau Excel).

Pentru măsurătorile arhitecturale s-a utilizat GLM40. Măsurarea cu laser este ușor de operat, deci a trebuit apăsat doar un buton pentru a obține măsurători precise până la 3 [mm] și o distanță de măsurare de până la 100 [m].

4.2 Locul, data și pregătirea experimentelor:

Experimentul prezentat are un caracter aplicativ și are rolul de a ajuta la crearea unei baze de date necesare pentru a determina un model de predicție a zgomotului în spațiile tehnice.

Experimentul se desfășoară în mai multe centrale termice din București și Brașov.

Pentru a finaliza experimentul:

- Realizarea de fotografii din diferite unghiuri pentru analiza arhitecturii locației și a locației din surse externe (tip stradă etc.);
- Identificarea tipului de material absorbant (tip perete, podea, plafon)
- Identificarea tipului de cazan (putere maximă a cazanului, tip arzător, cazan din fontă, oțel);
- Identificarea contorului de gaz;
- Identificarea altor echipamente generatoare de zgomot (pompe, schimbător de căldură, cutie de fum etc.);
- Identificarea soluțiilor de tratament acustic (atenuator de zgomot, ușă masivă, coș izolat, demontarea cazanului etc.)
- Analiza posibilității de măsurare a debitului de gaz;
- Măsurători arhitecturale (dimensiunile camerei);
- Analizor portabil acustic B&K Type 2250 (montare trepied, punere în funcțiune, calibrare, setarea parametrilor de lucru)

- Folosind software-ul Pulse Labshop ver 15.1.0, vor fi efectuate 25 de măsurători timp de 10 secunde, totalizând 250 de niveluri de presiune acustică. Aceste valori au fost salvate ca fișier .txt, importate în Excel și procesate ulterior, pentru a obține nivelurile de presiune acustică în dB.
- Folosind software-ul Pulse Labshop ver 15.1.0, măsurătorile timpului de reverberare vor fi efectuate prin ruperea unui balon de aer lângă arzător.
- Aceste valori vor fi salvate ca fișier .txt, importate în Excel și procesate ulterior, pentru a obține capacitățile de absorbție ale camerei la diferite frecvențe.
- În urma experimentului, următoarea bază de date va fi obținută pentru a genera valori de intrare: Φ_{burner} , $\log_{10}(\Phi_{\text{burner}})$, L_w , V , $\alpha_{125\text{Hz}}$, $\alpha_{250\text{Hz}}$, $\alpha_{500\text{Hz}}$, $\alpha_{1000\text{Hz}}$, $\alpha_{2000\text{Hz}}$, $\alpha_{4000\text{Hz}}$, $\alpha_{8000\text{Hz}}$, datele arhitecturale și de ieșire sunt: L_{Aeq} , L_p 63-8000Hz, T20, T30, EDT.

4.3 Munca depusa pentru experimente

Pentru fiecare experiment, s-au făcut eforturi semnificative. Experimentele au fost efectuate noaptea, în timpul săptămânii și în diferite orașe (Brașov, Ploiești, București). Pentru fiecare experiment, era nevoie de o resursă umană de 3-4 persoane. De asemenea, a fost nevoie de aprobări din partea conducerii instituțiilor în care s-au făcut măsurători.

Măsurătorile au fost efectuate de o echipă formată din trei sau patru persoane: o persoană înregistrează indicele de gaz, alta operează automatizarea cazanului, iar a treia persoană efectuează măsurătorile de zgomot.

La experimente au participat fochisti, automatisti, studenți doctoranzi, profesorii universitari și alte persoane, carora le sunt foarte recunoscător pentru efortul depus.

5. Protocol experimental pentru centrala 1, putere termica 3300 KW

5.1 Locatie:

Prima centrală termică este situată în Ploiești și este o clădire autonomă amplasată lângă blocuri și deservește 6 blocuri de locuințe cu înălțimea P + 10E, cu o capacitate termică instalată de 3300 kW.



Fig. 7 Amplasarea centralei termice

5.2 Prezentarea arhitecturala a incaperii

Incaperea are formă dreptunghiulară, despărțită în mijloc de grinzi transversale, iar dimensiunile sale sunt: 17,72m lungime, 8,90m lățime și 4,67m înălțime. Pereții centralei termice sunt din cărămidă, lemn de esență tare și pardoseala de beton finisată. Cele două ferestre au un cadru metalic și o singură foaie de sticlă, iar în partea de jos este un material din plasă care permite compensarea presiunii în interior.

Volumul centralei este de 736,49 m³. Suprafețele pereților, tavanelor și podelelor sunt din materiale care reflecta sunetul, astfel încât coeficientul de absorbție a încăperii este foarte scăzut.

Suprafețele dure ale acestei camere a cazanelor vor avea un timp de reverberație mai mare decât ale unor încăperi finisate cu materiale fono-absorbante. Efectul imediat al reflexiilor multiple este o creștere a intensității sunetului cauzată de reflexii. Un foschist va auzi sunetul direct care ajunge

la ureche împreună cu toate reflexele multiple. Astfel, intensitatea combinată a sunetului direct și a sunetului reflectat va fi mai mare decât sunetul direct singur.



Fig. 8 Camera centralei la interior

5.3 Echipamentele centralei termice

Centrala termică are două cazane Chappee Arizona HR2 de 1400KW și un cazan Viessman Vitoplex100 de 500KW. Arzătoarele acestor cazane sunt de tip SICMA GS151RAG cu două trepte de putere de 1000-2000KW, respectiv Vitoflame 100 cu două trepte de putere cuprinse între 380-560KW.

În ansamblul cazanului găsim 22 de pompe Grundfoss MG90LA4, două schimbătoare de căldură cu plăci, 2 rezervoare tampon.

Cazanele Chappee Arizona sunt echipate cu cos de fum dublu. Conductele fasciculului tubular, care formează al doilea canal, sunt situate în partea superioară a cosului, evitând astfel formarea de condens. Arzătorul acestor cazane are două trepte progresive de putere și posibilitatea de funcționare cu modulare a puterii operate de la panoul de control al cazanului - RWF40.

Vitoplex 100 tip SX1, cu putere termică de 500kW este un cazan pe gaz cu temperatură scăzută. Acesta este un cazan cu trei trepte progresive pentru o funcționare modulată a temperaturii apei. Arzătorul acestui cazan este un arzător cu aer insuflat Vitoflame 100, echipat cu o unitate de control a cazanului pentru menținerea unei temperaturi constante a apei.

5.4 Soluțiile de protecție acustică existente

Coșul de fum al cazanului este realizat din material metalic fără izolație totală la exterior și este amplasat în interior și parțial în exterior. Cazanele sunt fixate prin desolidarizare: fundație și pufere.

Cele trei arzătoare nu au o carcasă fonoabsorbantă, iar conexiunile conductelor sunt realizate de brăţări metalice. Instalaţia de încălzire nu are conexiuni flexibile la conductele cazanului (termic / gaz / fluid).

Nu există altă protecţie împotriva zgomotului, cum ar fi atenuatorul de sunet la coş (în țeavă sau în sfert de undă) sau pereţi capisonati cu vată minerală şi / sai rigips.

Trecerea țevelor prin pereti este realizata fără nicio soluţie de reducere a vibraţiilor transmise de arderea gazului.

Tabelul 4 Tipul de echipament şi soluţiile de protecţie la zgomot existente

Case [-]	Pump Burner 1 [-]	Pump Burner 2 [-]	Burner 1 [-]	Burner 2 [-]	Tr [s]	Volum [m3]	Boiler type [-]	Type of fuel [-]	Burner type [-]	Burner case [-]	WallAcoustic treatment [-]	Boiler dissociation [-]	Boiler fundation [-]	Flexible connection [-]	Passing pipes [-]	Chimney insulation [-]
1	0	0	0	0	1.49	736.49	ReverseFlame	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
2	0	1	0	0	1.49	736.49	ReverseFlame	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
3	1	0	0	0	1.49	736.49	ReverseFlame	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
4	1	1	0	0	1.49	736.49	ReverseFlame	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
5	1	1	0	1	1.49	736.49	ReverseFlame	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
6	1	1	0	2	1.49	736.49	ReverseFlame	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
7	1	1	1	0	1.49	736.49	ReverseFlame	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
8	1	1	1	1	1.49	736.49	ReverseFlame	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
9	1	1	1	2	1.49	736.49	ReverseFlame	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
10	1	1	2	0	1.49	736.49	ReverseFlame	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
11	1	1	2	1	1.49	736.49	ReverseFlame	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
12	1	1	2	2	1.49	736.49	ReverseFlame	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0

Tabelul de mai sus face parte din baza de date a tezei de doctorat şi include tipul constructiv al echipamentelor de generare a zgomotului din instalaţia termică şi soluţiile de tratament acustic existente. De asemenea, în acest tabel se află volumul spaţiului interior şi timpul de reverberaţie măsurat în timpul experimentului, ambele utilizate pentru un calcul mai uşor al coeficientului mediu de absorbţie al suprafeţelor interioare.



Fig. 9 Soluţii de protecţie la zgomot în centrala termica

5.5 Partea experimentală

S-au făcut cinci tipuri de măsurători pentru fiecare centrală termică:

- dimensiuni (cameră, echipament, ferestre, uşi, coş de fum). Dimensiunile camerei sunt: 17,72m lungime, 8,90m lăţime şi 4,67m înălţime.

- presiunea și temperatura gazului. $p_g = 0.03 \text{ [bar]}$; $T_g = 11.78 \text{ [}^\circ\text{C]}$;
- timpul de reverberație în interiorul centralei termice (EDT, T20, T30);

Tabel 5 Timp de reverberare (EDT, T20, T30) măsurat cu sunetmetru

Frequency	(500 Hz-1 kHz)	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	2kHz	4kHz	8kHz
T20	1.49	1.65	1.63	1.47	1.55	1.43	1.23	0.98	0.62	1.23	0.98	0.62
T30	1.48	1.81	1.70	1.54	1.51	1.44	1.22	1.00	0.66	1.22	1.00	0.66
EDT	1.28	1.64	1.43	1.71	1.35	1.22	0.97	0.65	0.37	0.97	0.65	0.37

- nivelul de zgomot pentru diferite puteri termice nivelul echivalent de zgomot continuu (LAeq), nivelurile de presiune a sunetului în benzile de frecvență $L_{p16\text{Hz}}$, $L_{p31.5\text{Hz}}$, $L_{p63\text{Hz}}$, $L_{p125\text{Hz}}$, $L_{p250\text{Hz}}$, $L_{p500\text{Hz}}$, $L_{p1000\text{Hz}}$, $L_{p2000\text{Hz}}$, $L_{p4000\text{Hz}}$, $L_{p8000\text{Hz}}$
- consumul de gaz pentru fiecare putere termică.

Investigația constă în:

- tipuri de perete; pereții sunt din cărămidă albă, pardoseala și tavanul sunt din beton;
- tipul constructiv al echipamentelor (arzătoare, pompe, cazane)
 - Tipul arzătorului: SICMA tip GS151RAG cu două trepte de putere de 1000-2000KW, respectiv Vitoflame 100 cu două trepte de putere între 380-560KW.
 - Tipuri de cazane: două cazane Chappée Arizona HR2 de 1400KW și un cazan Viessman Vitoplex100 de 500KW ambele cu raport de turndown;
 - Tipul pompelor: 22 pompe Grundfoss MG90LA4

Deoarece arzătoarele au două trepte de putere, am putut experimenta un număr de 12 situații reale de funcționare.

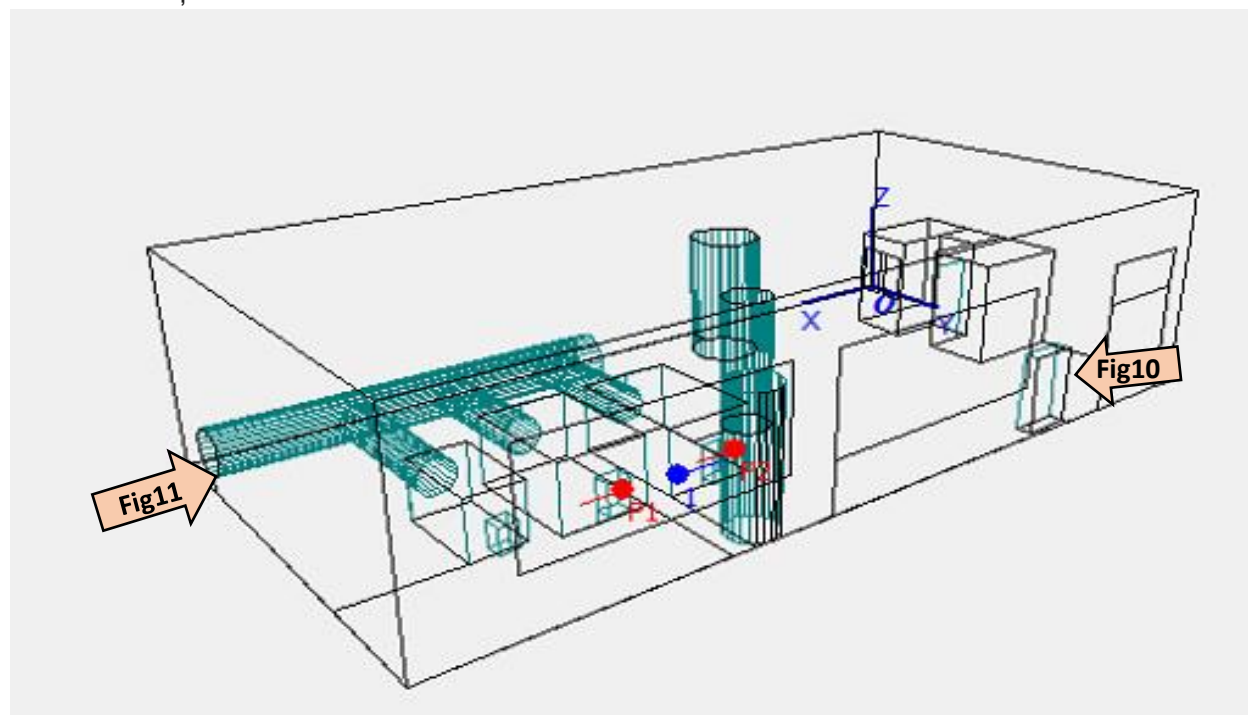


Fig.10 Poziția arzătorului (sursa de zgomot) și receptor (sonometru Bruel și Kjaer)

Controlul treptei arzătorului a fost realizat prin utilizarea panoului de control al cazanului prin selectarea treptei dorite, așa cum e arătat mai jos.

Case [-]	Pump Burner 1 [-]	Pump Burner 2 [-]	Burner 1 [-]	Burner 2 [-]
1	0	0	0	0
2	0	1	0	0
3	1	0	0	0
4	1	1	0	0
5	1	1	0	1
6	1	1	0	2
7	1	1	1	0
8	1	1	1	1
9	1	1	1	2
10	1	1	2	0
11	1	1	2	1
12	1	1	2	2

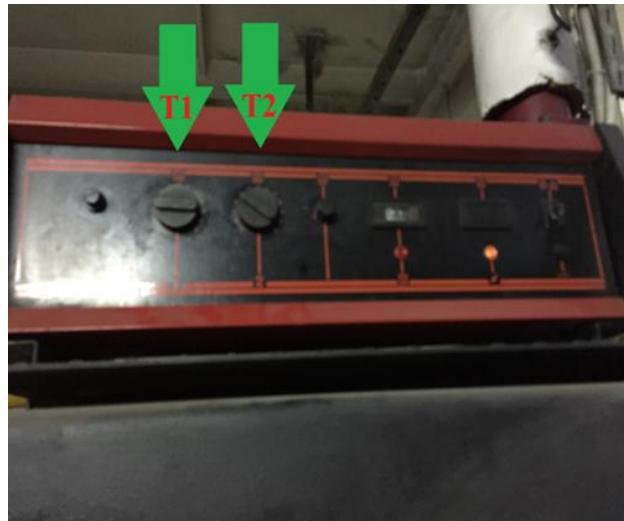


Fig.11 a) Condiții de funcționare b) panoul de comandă al cazanului T1-stage1 / T2-

Pentru măsurarea consumului de combustibil, indicele inițial și final pentru contorul de gaz a fost înregistrat pentru o perioadă de 1 minut. În acest timp măsurătorile de zgomot au fost făcute în interiorul spațiului tehnic.

Înainte de începerea măsurătorilor efective, temperatura și presiunea gazului au fost înregistrate

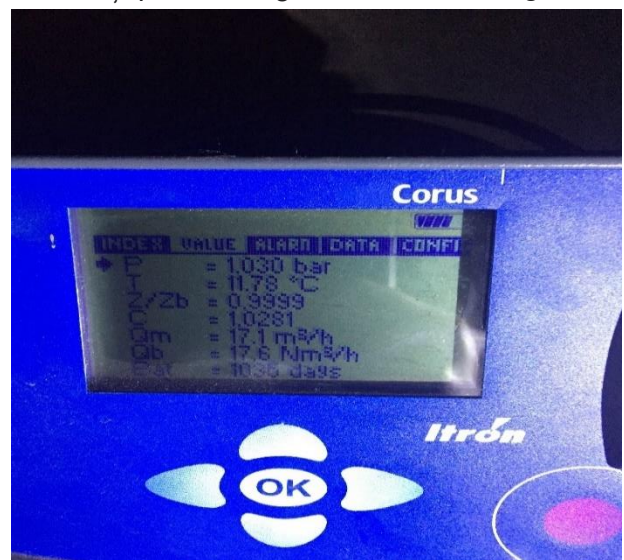


Fig.12 Citirea a) indicelui gazului b) parametrilor gazului

Măsurarea nivelului de zgomot a fost efectuată cu ajutorul unui sonometru Bruel & Kjaer 2250. Măsurătorile au fost efectuate de o echipă formată din trei persoane: o persoană a înregistrat

indicele de gaz la contor, alta a operat automatizarea cazanului, iar a treia persoană a efectuat măsurători de zgomot.

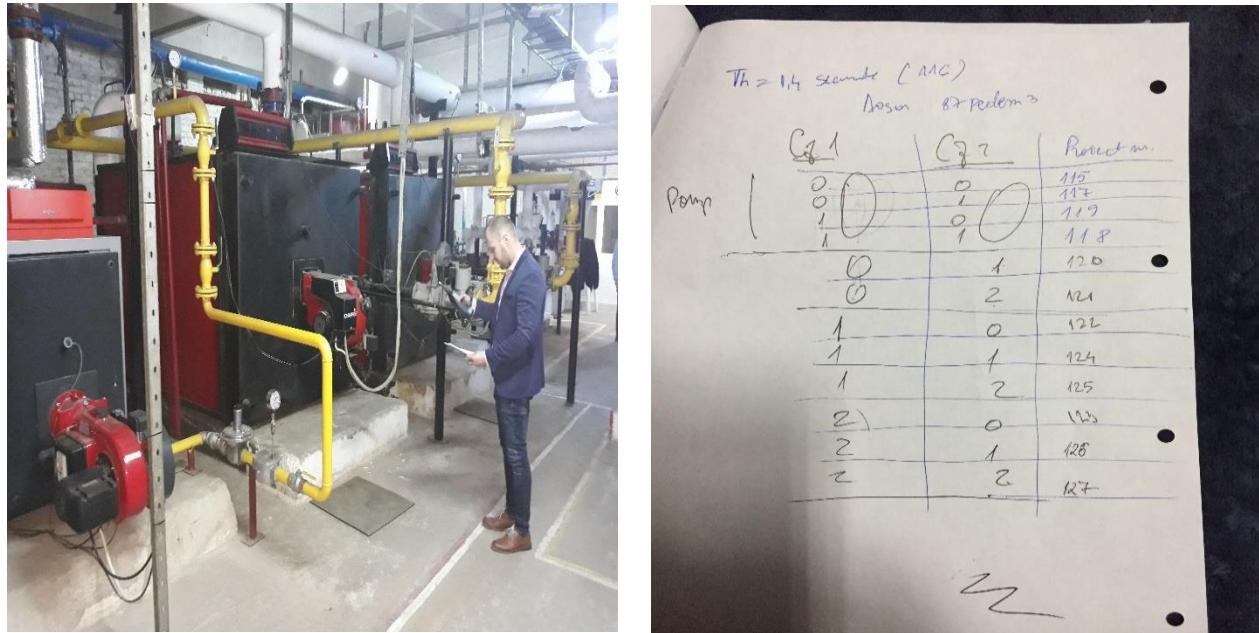


Fig.13 a) Noise level measurements b) Project and operating stage notation

O altă măsurătoare realizată în timpul acestui protocol experimental este măsurarea timpului de reverberație. Metoda de excitație a impulsului a fost utilizată folosind același sunet B&K 2250 și un balon. A fost înregistrată curba de descreșterea a zgomotului pentru toate benzile de frecvență, iar timpul de reverberație a fost calculat prin intermediul software-ului 7277 pentru sonometru pentru toate frecvențele.

5.6 Baza de date si interpretarea datelor experimentale

Următoarea formulă a fost utilizată pentru a determina sarcina termică efectivă a cazanului:

$$\Phi_{burner} = \frac{I_F - I_I}{60} \cdot \frac{p_g \cdot 273.15}{p_0} \cdot \frac{p}{T} \cdot H_i$$

$$\Phi_{burner} = \frac{I_F - I_I}{60} \cdot \rho_{comb} \cdot H_{i comb}$$

unde Φ_{burner} - putere termică reală timp de 60 de secunde, $I_F [m^3]$ and $I_I [m^3]$ index final și înregistrarea inițial citită de la contorul de gaz, $\rho_{comb} [-]$; densitatea combustibilului, $H_{i comb} [kJ/m^3_N]$ puterea calorifică inferioară a combustibilului, $p_0 [bar]$, $p_0 = 1.01325 [bar]$ presiune și $T [K]$ temperatura gazului în condiții normale.

Table 7 Tabel de măsurare pentru nivelul echivalent de zgomot

Case [-]	Pump Burner 1 [-]	Pump Burner 2 [-]	Burner 1 [-]	Burner 2 [-]	Index I [m3]	Index F [m3]	Consum. [m3]	Time [s]	Flow [m3/s]	Hi [kJ/m3N]	p/po*To/T [-]	Φ burner [kW]	LOG10 (Φ b) [kW]	Project Name [-]	LAeq [dB(A)]
1	0	0	0	0	2525764.38	2525764.38	0.00	60	0.00	35371.70	0.99	0	0	Project 115	43.63
2	0	1	0	0	2525764.38	2525764.38	0.00	60	0.00	35371.70	0.99	0	0	Project 117	61.63
3	1	0	0	0	2525764.38	2525764.38	0.00	60	0.00	35371.70	0.99	0	0	Project 119	63.89
4	1	1	0	0	2525764.38	2525764.38	0.00	60	0.00	35371.70	0.99	0	0	Project 118	63.04
5	1	1	0	1	2525764.38	2525766.33	1.95	60	0.03	35371.70	0.99	1135	3.05	Project 120	86.15
6	1	1	0	2	2525768.80	2525770.35	1.55	60	0.03	35371.70	0.99	902	2.96	Project 121	83.99
7	1	1	1	0	2525773.30	2525774.80	1.50	60	0.03	35371.70	0.99	873	2.94	Project 122	86.87
8	1	1	1	1	2525781.30	2525784.76	3.46	60	0.06	35371.70	0.99	2013	3.30	Project 124	88.72
9	1	1	1	2	2525788.30	2525791.72	3.42	60	0.06	35371.70	0.99	1990	3.30	Project 125	87.48
10	1	1	2	0	2525776.20	2525777.38	1.18	60	0.02	35371.70	0.99	687	2.84	Project 123	86.29
11	1	1	2	1	2525797.40	2525800.85	3.45	60	0.06	35371.70	0.99	2008	3.30	Project 126	88.07
12	1	1	2	2	2525805.20	2525808.20	3.00	60	0.05	35371.70	0.99	1746	3.24	Project 127	87.34

În primul tabel, puterea termică reală a fost calculată pe baza consumului de gaz, care este diferența dintre indicele final și citirea inițială din contorul de gaz, masuratoare realizata de către unul dintre participanții la experiment.

Timpu la care a avut loc acest consum a fost de 60 de secunde, moment în care a fost înregistrată și o măsurare a zgomotului la 1 metru de arzător, măsurată conform prescripțiilor normelor.

Puterea calorică inferioara a fost calculată utilizând temperatura și presiunea gazului indicate de contorul de gaz digital.

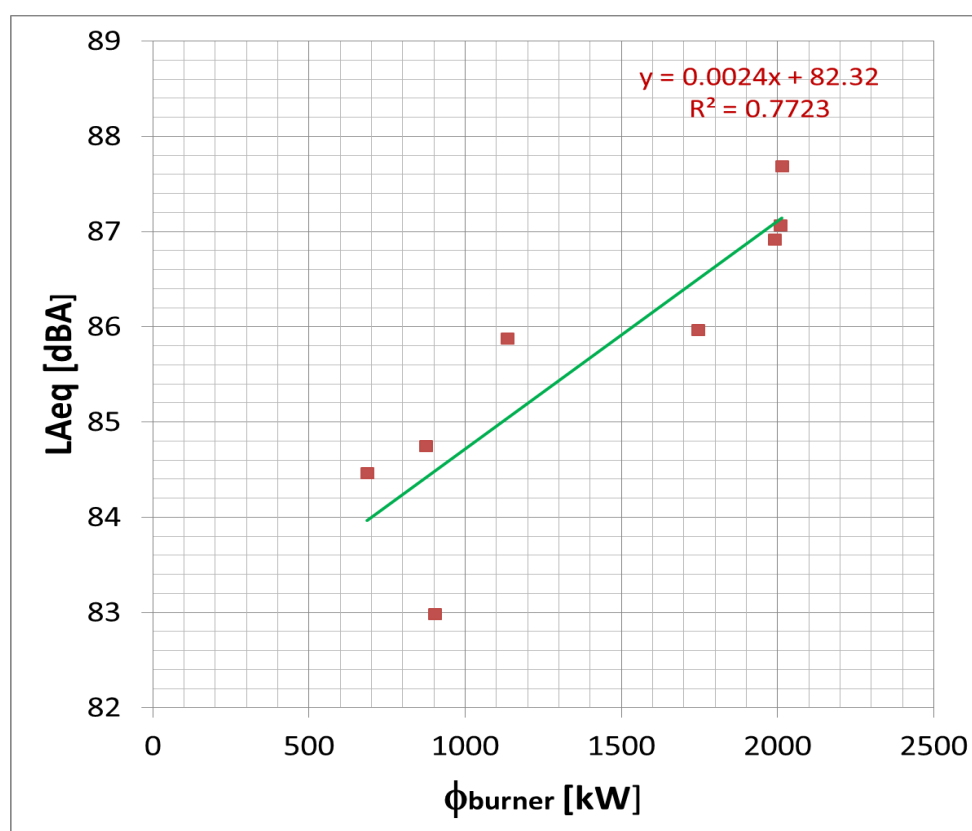


Fig.14 Nivel de zgomot echivalent bazat pe puterea termică reală, ecuație și R^2

Din acest grafic putem vedea tendința de creștere a nivelului de zgomot echivalent în funcție de sarcina termică a cazanului. Această creștere validează modelele de predicție din literatură, care au componenta și sarcina lor termică, ca parametru principal.

Tabelul 8 Tabel de măsurare a nivelului de zgomot echivalent și a nivelului de zgomot pe fiecare frecvență

Case [-]	Pump Burner 1 [-]	Pump Burner 2 [-]	Burner 1 [-]	Burner 2 [-]	LAeq [dB(A)]	LZeq_O 16Hz [dB]	LZeq_O 31.5Hz [dB]	LZeq_O 63Hz [dB]	LZeq_O 125Hz [dB]	LZeq_O 250Hz [dB]	LZeq_O 500Hz [dB]	LZeq_O 1kHz [dB]	LZeq_O 2kHz [dB]	LZeq_O 4kHz [dB]	LZeq_O 8kHz [dB]
1	0	0	0	0	43.63	58.59	50.06	45.09	44.46	40.02	37.43	37.18	32.47	27.31	20.67
2	0	1	0	0	61.63	58.93	57.56	56.63	56.78	57.12	60	54.96	48.96	42.32	47.47
3	1	0	0	0	63.89	54.52	52.75	48.31	59.27	58.86	62.02	57.86	49.88	42.73	50.63
4	1	1	0	0	63.04	57.8	57.08	53.38	60.76	57.85	60.79	56.99	50.82	44.14	49.38
5	1	1	0	1	86.15	84.07	82.75	80.86	81.68	78.72	85.88	77.82	76.57	73.01	65.46
6	1	1	0	2	83.99	81.85	79.02	75.81	79.47	77.38	82.99	76.74	76.02	71.49	63.25
7	1	1	1	0	86.87	78.32	76.22	80.55	82.02	81.43	84.75	80.18	79.36	75.92	68.48
8	1	1	1	1	88.72	81.31	81.42	82.69	85.1	82.5	87.69	81.22	80.08	75.72	67.93
9	1	1	1	2	87.48	81.94	80.55	82.04	82.65	81.19	86.92	80.14	78.55	74.23	65.88
10	1	1	2	0	86.29	74.97	76.61	78.82	77.87	79.4	84.47	78.14	78.48	74.6	68.13
11	1	1	2	1	88.07	82.63	81.76	82.76	84.77	81.73	87.07	80.59	79.69	75.78	67.41
12	1	1	2	2	87.34	77.36	80.05	81.67	80.08	78.66	85.97	80.23	79.5	74.31	65.89

Tabelul 9 Tabel cu nivel de zgomot echivalent și nivel de zgomot Cz80 conform normelor

Nr crt. [-]	Laeq_No [dB(A)]	LZeq_No 16Hz [dB]	LZeq_No 31.5Hz [dB]	LZeq_No 63Hz [dB]	LZeq_No 125Hz [dB]	LZeq_No 250Hz [dB]	LZeq_No 500Hz [dB]	LZeq_No 1kHz [dB]	LZeq_No 2kHz [dB]	LZeq_No 4kHz [dB]	LZeq_No 8kHz [dB]
Cz80	85	121.1	109.9	98.7	91.6	86.4	82.7	80	77.7	75.9	74.4

Tabelele de mai sus prezintă nivelurile de zgomot pentru fiecare frecvență măsurate de sonometrul Bruel Kjaer în timpul experimentelor, iar în tabelul numărul doi nivelul de zgomot pentru spațiile tehnice conform curbei Cz80 indicată în norma românească de protecție împotriva zgomotului.

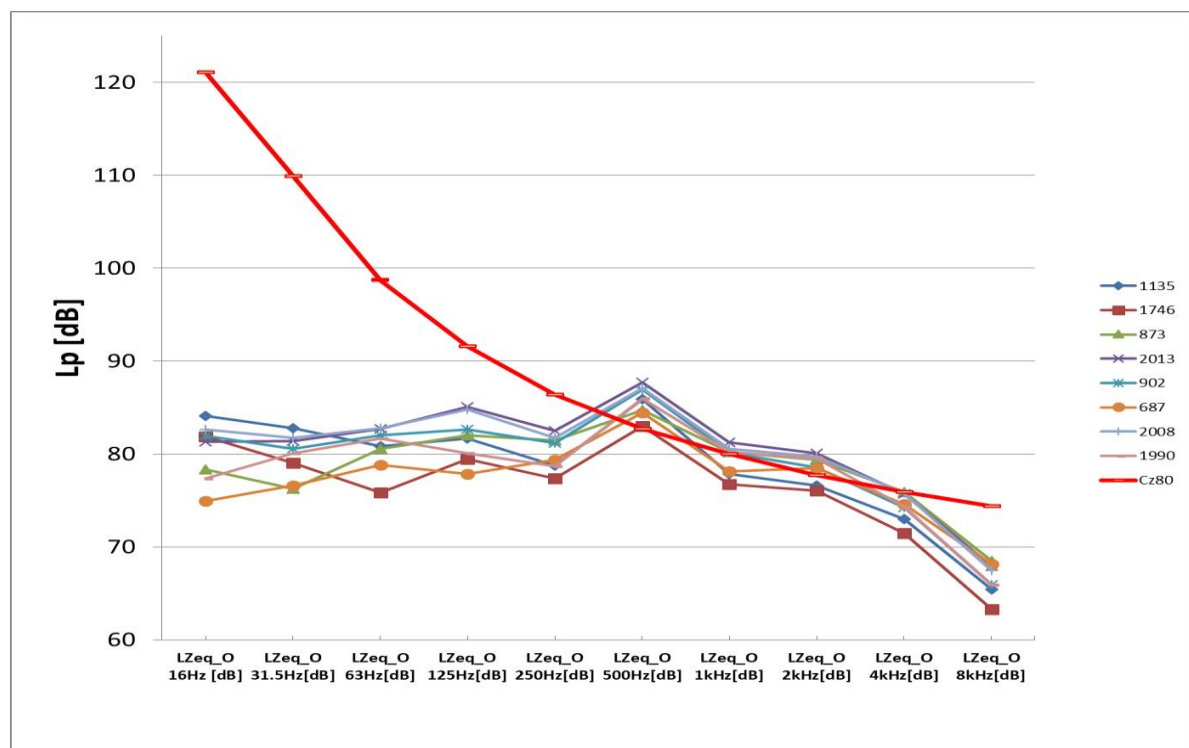


Fig. 15 Comparație între nivelul de zgomot pe fiecare frecvență și Cz80 din norma

În graficul de mai sus, se observă că până la frecvența de 250 Hz pentru toate nivelurile de zgomot se depășeșc valorile indicate în norme, rezultând necesitatea unui tratament acustic la frecvențe joase (frecvențe de ardere). Pentru frecvențe mai ridicate, nivelul de zgomot este sub curba Cz80, respectând astfel nivelul de zgomot maxim admisibil într-o centrală de cazane.

Tabelul 10 Tabelul cu inspecțiile efectuate în timpul experimentului pe această centrală termică

Case [-]	Pumps [-]	Burner 1 [-]	Burner 1 [-]	Burner 1 [-]	Burner 2 [-]	Tr [s]	Volum [m3]	Type of fuel [-]	Burner type [-]	Burner case [-]	Acoustic treatment [-]	Boiler dissociation	Boiler fundation [-]	Flexible connection [-]	Passing pipes [-]	Chimney insulation [-]
1	0	0	0	0	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
2	0	1	0	0	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
3	1	2	0	0	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
4	1	0	0	1	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
5	1	0	0	2	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
6	1	1	0	2	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
7	1	2	0	2	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
8	1	1	0	1	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
9	1	1	2	0	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
10	1	1	2	1	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
11	1	2	2	2	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
12	1	2	2	2	2	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0

Tabelul de mai sus prezintă inspecțiile efectuate în timpul experimentului pe această centrală termică. Se observă că o altă cerință esențială privind confortul acustic, și anume timpul de reverberare, respectă valorile indicate în C125.

Există multe modalități de a controla treapta de putere a cazanului. Această instalație folosește un panou de control sofisticat pentru a centra și roti cazanele automat în funcție de cerere. O sursă de căldură pornită / oprită trebuie acționată cu un diferențial pentru a preveni ciclul scurt. Diferențialul cazanului este împărțit în jurul temperaturii țintă a cazanului.

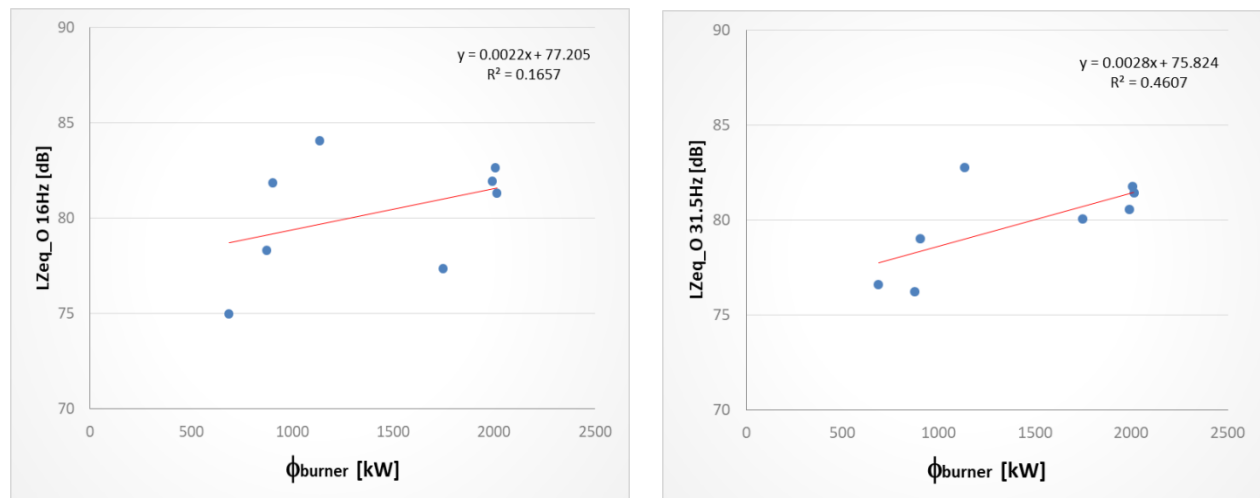


Fig.16 Niveluri de zgomot măsurate la frecvență joasă, raportate la puterea termică și R^2

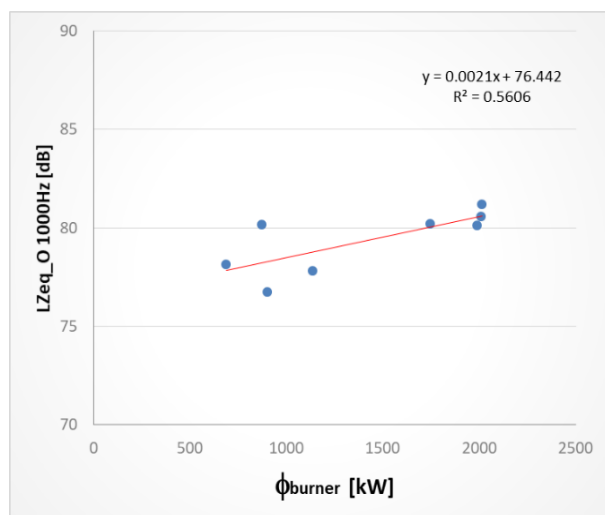
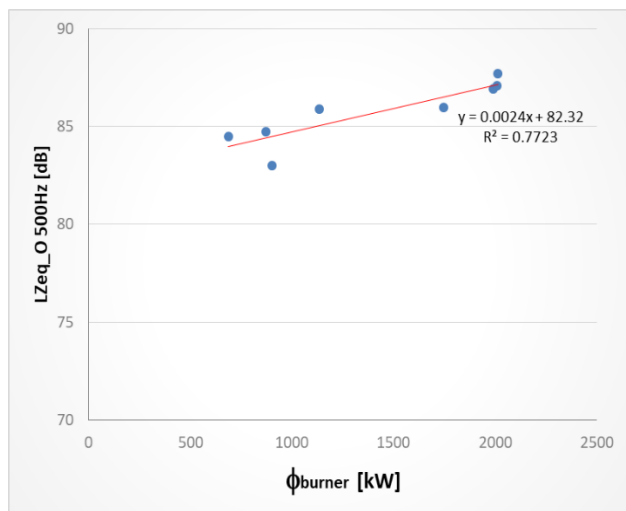


Fig.17 Niveluri de zgomot măsurate la frecvență medie, raportate la puterea termică și R^2

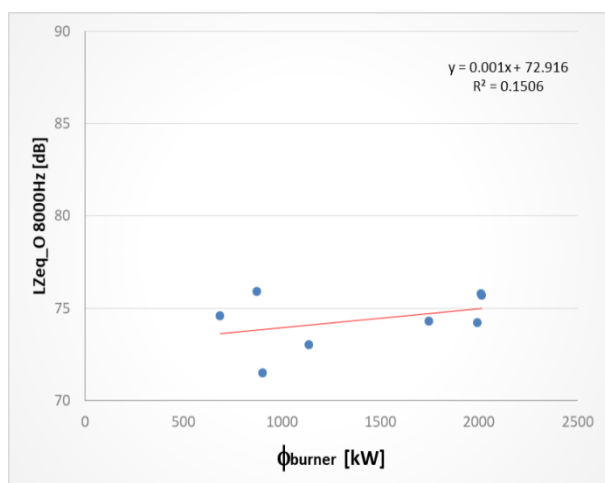
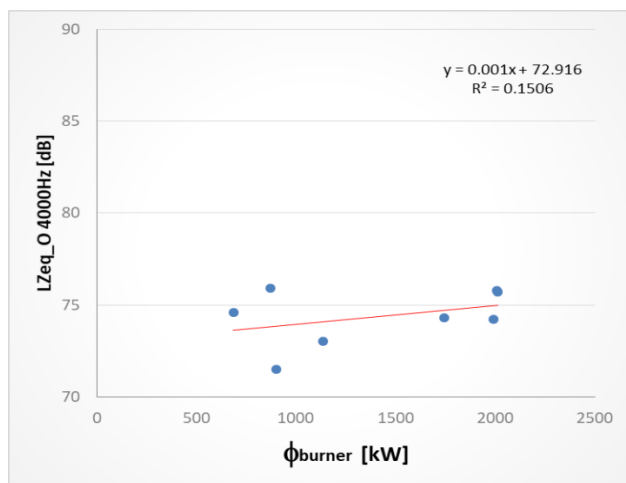


Fig.18 Niveluri de zgomot măsurate la frecvență mare, raportate la puterea termică și R^2

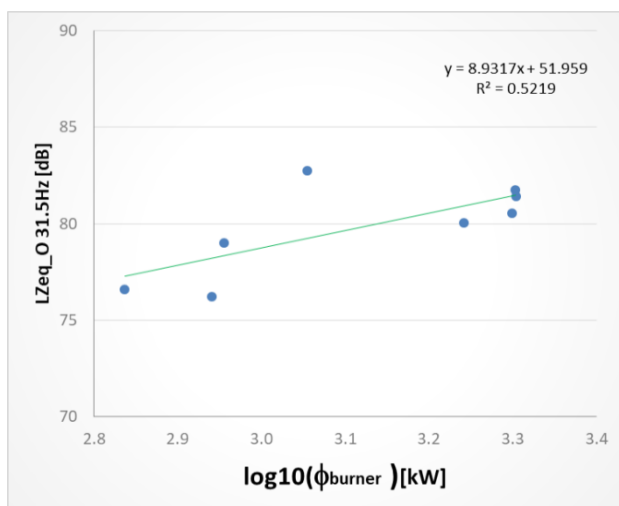
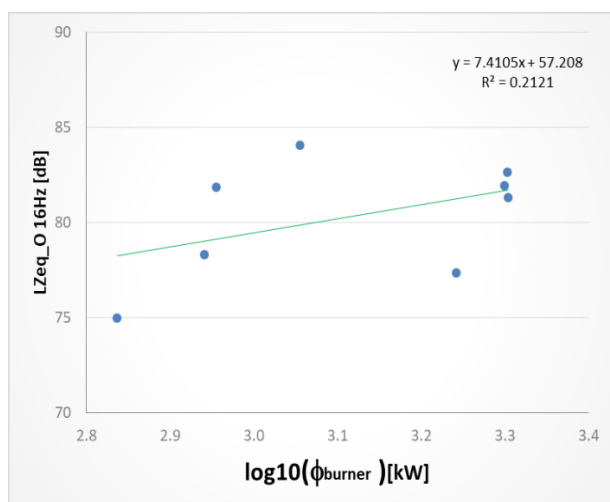


Fig.19 Niveluri de zgomot măsurate la frecvență joasă, raportate la puterea termice în baza logaritmică și R^2

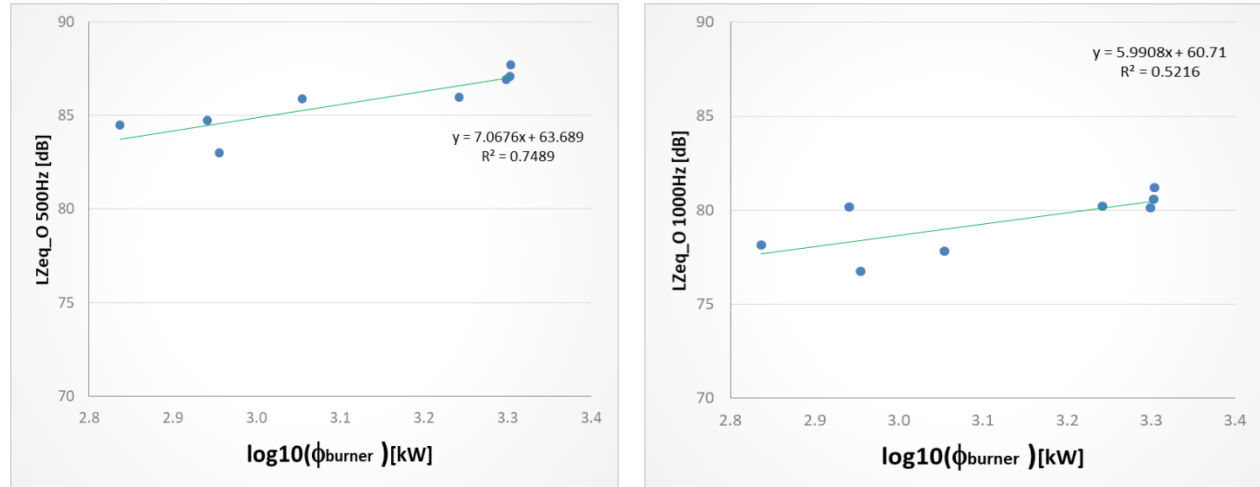


Fig.20 Niveluri de zgomot măsurate la frecvență medie, raportate la puterea termice în baza logaritmică și R^2

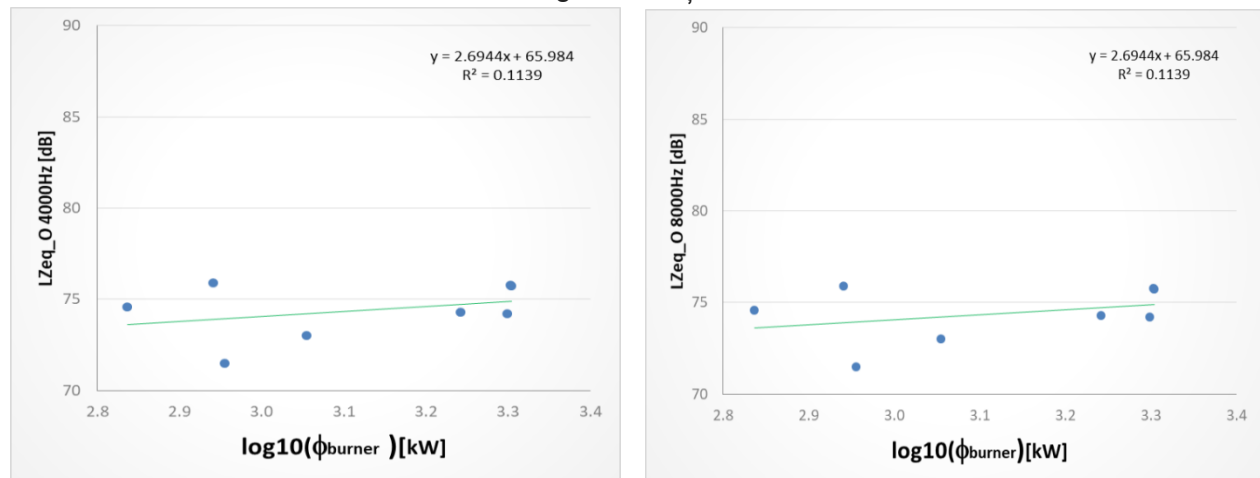


Fig.21 Niveluri de zgomot măsurate la frecvență înaltă, raportate la puterea termice în baza logaritmică și R^2

Din graficele de mai sus, există o tendință de creștere a nivelului de zgomot pe fiecare frecvență, în funcție de creșterea sarcinii termice, similar cu nivelul echivalent de zgomot, unde este posibil să se utilizeze un model de predicție în ambele cazuri sarcina termică reală .

5.7 Interpretarea datelor experimentale

În acest capitol vom compara valorile obținute din experiment cu predicțiile nivelului de zgomot conform formulelor din literatură:

L_{AeqM1} [dBA] – model de predicție al L_{Aeq} funcție de puterea termică [Hamayon,1996]

$$L_{AeqM1} = 10.086 \cdot \log_{10} \phi_{burner} + 44.69$$

L_{AeqM2} [dBA]– model de predicție al L_{Aeq} funcție de puterea termică și volum [Cyssau ,1997];

$$LAeqM2 = 16 \cdot \log_{10} \Phi_{burner} - 10 \cdot \log_{10} V + 54$$

Eroarea, între nivelul echivalent de zgomot măsurat și nivelul echivalent de zgomot determinat de una dintre cele două formule de predicție, a fost calculată cu eroarea medie a rădăcinii pătratice (RMSE), o măsură frecvent utilizată a diferențelor dintre valori (eșantion și valori ale populației) prezise de un model și valorile măsurate.

$$RMSE_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=5}^{10} (LA_{eqM1,i} - LA_{eq,i})^2}{6}}$$

$$RMSE_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=5}^{10} (LA_{eqM2,i} - LA_{eq,i})^2}{6}},$$

unde LA_{eq1} [dB] este nivelul de zgomot măsurat în cazul 1, V este Volumul, Φ este puterea termică reală, i [-] coeficientul numărului de măsurare; j [-] este numărul modelului, $j = 1$ corespundență la Cyssau și $j = 2$ corespundență la Cyssau.

Tabelul 11 Compararea valorilor măsurate comparativ cu predicțiile modelului literaturii

Case [-]	Pump Burner 1 [-]	Pump Burner 2 [-]	Burner 1 [-]	Burner 2 [-]	Φ burner [kW]	LOG10 (Φb) [kW]	Project Name [-]	LA_{eq} [dB(A)]	Volum [m3]	LA_{eqM1} [dBA]	LA_{eqM2} [dBA]	Err_1 LA_{eq1} [dBA]	Err_2 LA_{eq2} [dBA]	Err_1_2 LA_{eq1} [dBA]	Err_2_2 LA_{eq2} [dBA]
1	0	0	0	0	0	0	Project 115	43.63	736.49	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	Project 117	61.63	736.49	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	Project 119	63.89	736.49	0	0	0	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0	Project 118	63.04	736.49	0	0	0	0	0	0
5	1	1	0	1	1135	3.05	Project 120	86.15	736.49	75.50	74.21	10.65	11.94	7.09	6.21
6	1	1	0	2	902	2.96	Project 121	83.99	736.49	74.49	72.61	9.50	11.38	7.84	6.38
7	1	1	1	0	873	2.94	Project 122	86.87	736.49	74.35	72.38	12.52	14.49	5.94	5.00
8	1	1	1	1	2013	3.30	Project 124	88.72	736.49	78.01	78.19	10.71	10.53	7.28	7.43
9	1	1	1	2	1990	3.30	Project 125	87.48	736.49	77.96	78.11	9.52	9.37	8.19	8.34
10	1	1	2	0	687	2.84	Project 123	86.29	736.49	73.30	70.72	12.99	15.57	5.64	4.54
11	1	1	2	1	2008	3.30	Project 126	88.07	736.49	78.00	78.17	10.07	9.90	7.74	7.90
12	1	1	2	2	1746	3.24	Project 127	87.34	736.49	77.38	77.20	9.96	10.14	7.77	7.61
													RMSE	7.24	6.80

În tabelul de mai sus se observă că pentru primele 4 cazuri nivelul de zgomot prezis datorită funcționării centralei termice ar trebui să fie 0, deși nivelul de zgomot real pentru situația în care cazanul nu funcționează este de 43,63 dBA din cauza nivelului de zgomot de fond .

În cazurile 2-4 când pompele funcționează, nivelul de zgomot are valori cuprinse între 61,63-63,04 dBA. Pentru a compara valorile prezise cu valorile reale, s-au calculat erorile (eroare rădăcină-medie-pătrat și R-pătrat).

Analiza nr.1: Comparație între valorile experimentale și normele valoarea maximă admisibilă

În graficul de mai jos valorile măsurate depășesc valorile indicate în norma C125 / 2012 (maxim 85 dB (A)) pentru instalațiile de cazane în aproape toate condițiile de funcționare ale cazanelor. Concluzia este că această centrală termică are nevoie de masuri de tartare acustică pentru a îndeplini normele acustice actuale.

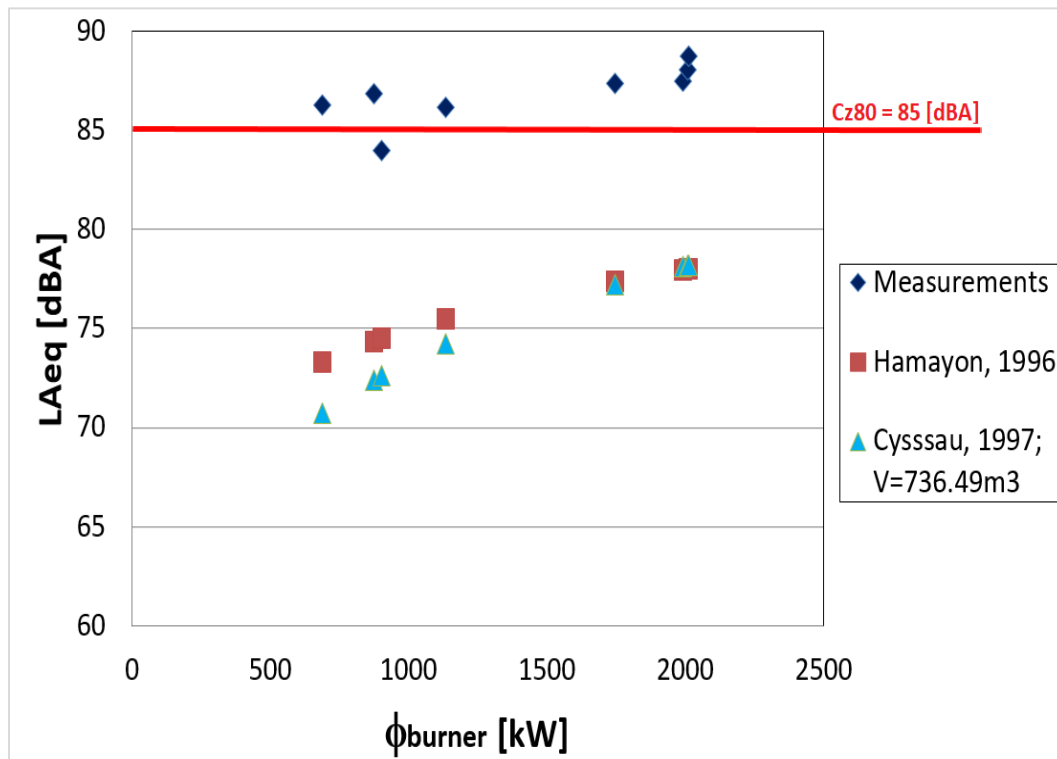


Fig.22 Graficul Scatter pentru a compara nivelul de zgomot real cu nivelurile de zgomot din literatura de specialitate

Se poate observa că modelul lui Hamayon are o eroare de 7,24 dBA, valoare apropiată de intervalul de precizie al formulei. În schimb, modelul lui Cyssau are o eroare de 6,8 dBA, mult mai mare decât cea de 5 dBA declarată.

Analiza nr.2: Comparație între valorile experimentale și modelul de predicție Hamayon, 1996

Mai jos se va reprezenta grafic o comparație între nivelul zgomotului real măsurat și nivelul de zgomot prezis cu Hamayon. (1996). De asemenea, în grafice se vor reprezenta și limitările acestui model.

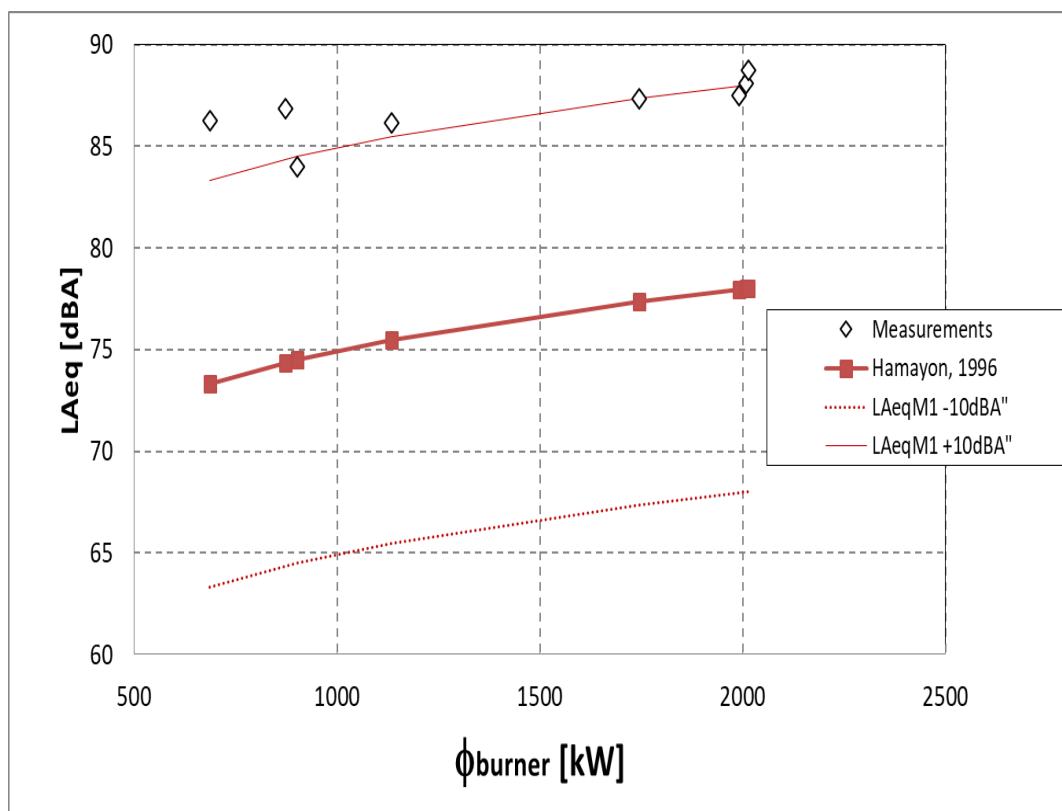


Fig.23 Grafic comparativ între nivelul de zgomot echivalent măsurat, modelul de predicție LAeqM1 [Hamayon, 1996] și eroarea sa de $\pm 10\text{dBA}$ declarată.

Erorile modelului Hamayon în comparație cu datele experimentale obținute nu sunt centrate în zero, astfel există un fenomen pe care modelul Hamayon de predicție rapidă nu îl ia în considerare. Concluzionăm că modelul Hamayon nu este potrivit pentru puterile termice actuale și pentru noile echipamente de producere a energiei termice. Prin urmare, este nevoie de o adaptare a modelelor de predicție a zgomotului la condițiile termice actuale (centrale termice mai mari, echipamente mai zgomotoase, control automat).

Analiza nr.3: Comparație între valorile experimentale și modelul de predicție Cyssau, 1997

Mai jos s-a reprezentat grafic o comparație între nivelul zgomotului real măsurat și nivelul de zgomot prezis cu Cyssau, (1997). De asemenea, limitările acestui model vor fi reprezentate în grafic.

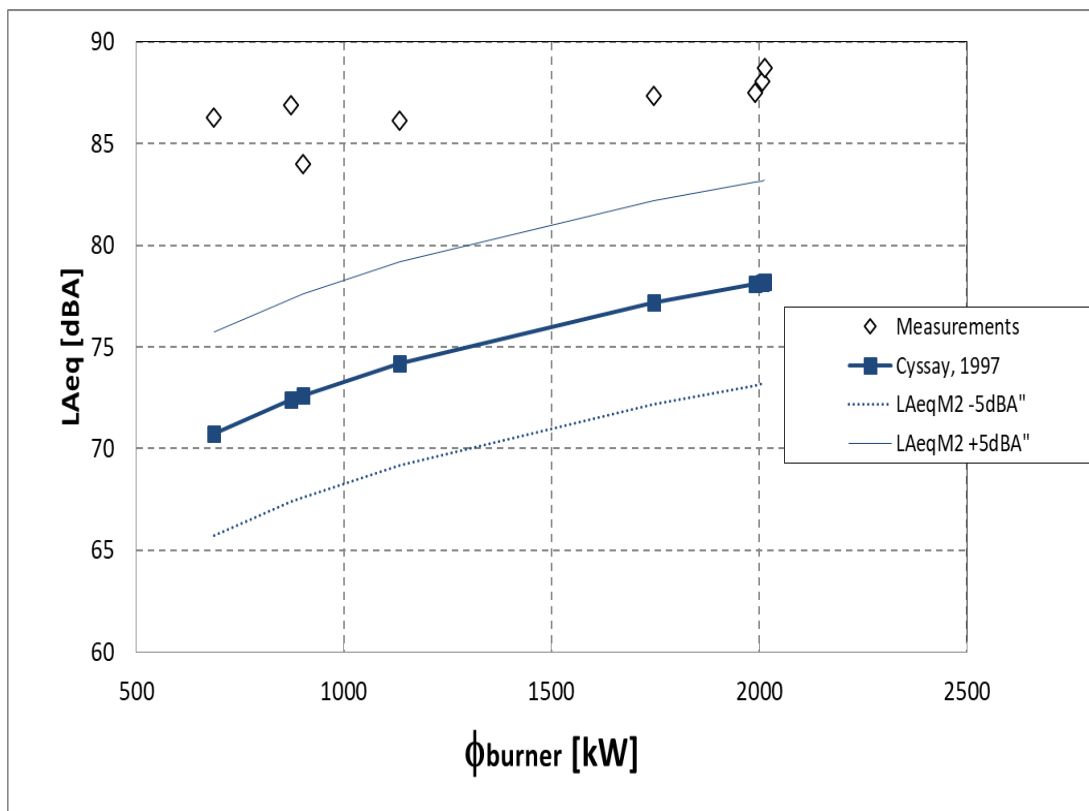


Fig.24 Grafic comparativ între nivelul de zgomot echivalent măsurat, modelul de predicție LAeqM2 [Cyssau, 1997] și eroarea sa de $\pm 5\text{dBA}$ declarată.

Graficul de mai jos arată că modelul Cyssau prezice niveluri de zgomot mai mici decât cele măsurate pentru 8 puteri termice diferite, iar limita inferioară și superioară a erorii sale este departe de măsurătorile efectuate în timpul experimentului.

Similar cu Hamayon, modelul Cyssau, care teoretic are o eroare mai mică, nu este potrivit pentru puterile termice actuale și pentru noile echipamente de producer a energiei termice. Prin urmare, este nevoie de o adaptare a modelelor de predicție a zgomotului la condițiile actuale (centrale termice mai mari, echipamente mai zgomotoase, control automat).

6. Protocol experimental pentru centrala 2, putere termica 4800 kw

6.1 Locatie:

Cea de-a doua centrală termică este situată în București, la demisolul unei facultăți și deservește un grup de cinci facultăți și anexe, cu o capacitate termică instalată de 4800 kW.



Fig.25 Amplasarea centralei termice

6.2 Prezentarea arhitecturala a incaperii

Camera are o formă complexă, iar dimensiunile sale sunt: 12,46m lungime, 10,96m lățime și 4,84m înălțime. Pereții centralei termice sunt din cărămidă, iar podeaua de beton finisată. Cele trei ferestre au un cadru metalic și o singură foaie de sticlă, iar ușa are în partea de jos un material din plasă care permite compensarea presiunii în interior.

Volumul camerei centrale este de 660,96 m³. Suprafața pereților, tavanelor și podelelor este din materiale reflectorizante, astfel încât coeficientul de absorbție a încăperii este foarte scăzut.

Suprafața dura a materialelor din aceasta central termică va da naștere unui timp de reverberație mare față de cel al unor încăperile finisate cu materiale fono-absorbante. Efectul imediat al reflexiilor multiple este o creștere a intensității sunetului cauzate de reflexii. Un fochist va auzi sunetul direct care ajunge la ureche împreună cu toate reflexele multiple. Astfel, intensitatea combinată a sunetului direct și a sunetului reflectat va fi mai mare decât sunetul direct.



Fig.26 Centrala termica la interior

6.3 Echipamentele centralei termice

Centrala termică are trei Prextherm RSW de 1480KW și una Prextherm RSW de 399KW. Arzătoarele acestor cazane sunt de tip RBL RS190 cu două trepte de putere de 470-2290KW, respectiv RBL de tip R38 cu două trepte de putere de 105-440KW

În ansamblul cazanului găsim 12 pompe Grundfoss MG90LA4, două schimbătoare de căldură cu plăci, 2 rezervoare tampon.

6.4 Soluțiile de protecție acustică existente

Coșul de fum al cazanului este realizat din material metalic fără izolație totală la exterior și este situat în interior și parțial în exterior. Cazanele sunt fixate prin deconstrucție: fundație și puffere.

Cele patru arzătoare nu au o carcasă fonoabsorbantă, iar racordurile conductelor sunt realizate de brățări metalice. Instalația de încălzire nu are conexiuni flexibile la conductele cazanului (termic / gaz / fluid).

Nu există altă protecție împotriva zgomotului, cum ar fi atenuatorul de sunet la coș (în țeavă sau în sfert de undă) sau pereții capturați cu vată minerală și / și rigips.

Trecerea pereților de către conducte este fără nicio soluție pentru a reduce vibrațiile transmise prin arderea gazului.

Tabelul 12 Tipul echipamentelor și tabelul existent al soluțiilor de protecție împotriva zgomotului

Case [-]	Pumps [-]	Burner 1 [-]	Burner 1 [-]	Burner 1 [-]	Burner 2 [-]	Tr [s]	Volum [m ³]	Type of fuel [-]	Burner type [-]	Burner case [-]	Acoustic treatment [-]	Boiler dissociation	Boiler foundation [-]	Flexible connection [-]	Passing pipes [-]	Chimney insulation [-]
1	0	0	0	0	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
2	0	1	0	0	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
3	1	2	0	0	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
4	1	0	0	1	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
5	1	0	0	2	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
6	1	1	0	2	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
7	1	2	0	2	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
8	1	1	0	1	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
9	1	1	2	0	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
10	1	1	2	1	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
11	1	2	2	2	0	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0
12	1	2	2	2	2	1.34	660.96	gas	Aer insuflat	0	0	1	1	0	0	0

Tabelul de mai sus face parte din baza de date a tezei de doctorat și include tipul constructiv al echipamentelor generatoare de zgomot din instalația termică și soluțiile de tratament acustic existente. De asemenea, în tabel se află volumul spațiului interior și timpul de reverberație măsurat în timpul experimentului, ambele utilizate pentru un calcul mai ușor al coeficientului mediu de absorbție al suprafețelor interioare.



Fig.27 Soluții de protecție împotriva zgomotului în instalația de cazan

6.5 Partea experimentală

S-au făcut cinci tipuri de măsurători pentru aceasta centrală termică:

- dimensiuni (cameră, echipament, ferestre, uși, coș de fum). Dimensiunile camerei sunt: 12,46m lungime, 10,96m lățime și 4,84m
- presiunea și temperatura gazului . $p_g = 0.06 \text{ [bar]}$; $T_g = 18.83 \text{ [}^\circ\text{C]}$;
- timpul de reverberație în interiorul centralei termice (EDT, T20, T30);

Tabelul 13 Timp de reverberare (EDT, T20, T30) măsurat cu sunetmetru

Frequency	(500 Hz-1 kHz)	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
T20	1.34	1.59	1.59	1.59	1.44	1.24	1.04	0.81	0.62
T30	1.32	1.50	1.50	1.50	1.44	1.19	1.04	0.82	0.60
EDT	1.16	3.27	1.53	1.36	1.24	1.09	0.92	0.77	0.54

- nivel de zgomot pentru diferite puteri termice nivelul echivalent de zgomot continuu (L_{Aeq}), niveluri de presiune acustică în benzile de frecvență L_{p16Hz} , $L_{p31.5Hz}$, L_{p63Hz} , L_{p125Hz} , L_{p250Hz} , L_{p500Hz} , $L_{p1000Hz}$, $L_{p2000Hz}$, $L_{p4000Hz}$, $L_{p8000Hz}$
- consumul de gaz pentru fiecare putere termică.

Investigația constă în:

- tipuri de perete; pereții sunt din cărămidă albă, pardoseala și tavanul este din beton;
- tipul constructive al echipamentelor (arzătoare, pompe, cazane)
 - Tip arzător: RBL tip RS190 cu două trepte de putere de 470-2290KW, respectiv RBL tip R38 cu două trepte de putere de 105-440KW
 - Tipuri de cazane: trei Prextherm RSW de 1480KW și unul Prextherm RSW de 399KW.
 - Tip pompe: 12 pompe Grundfoss MG90LA4 Deoarece arzătoarele au două trepte de putere, am putut experimenta un număr de 12 situații reale de funcționare.

Deoarece arzătoarele au două trepte de putere, s-au putut simula un număr de 12 situații reale de funcționare.

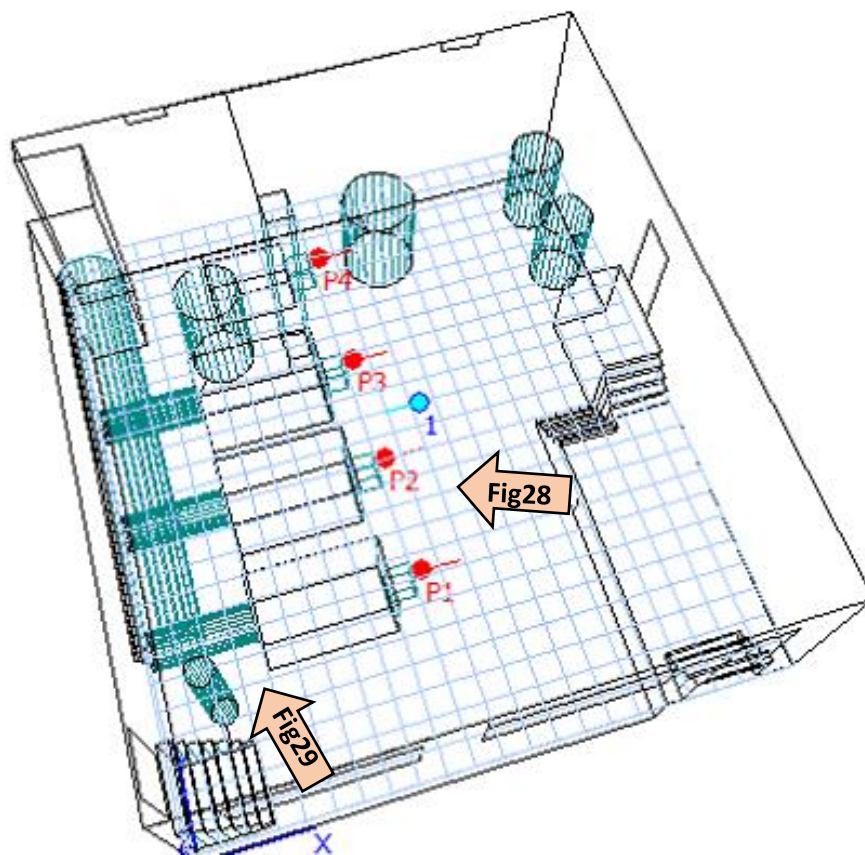


Fig.28 Poziția de ardere (surse de zgomot) și receptor (sonometru Bruel și Kjaer)

Controlul treptei arzătorului s-a realizat prin utilizarea panoului de control al cazanului și selectarea treptei dorite, așa cum se arată mai jos.

Case	Pumps	Burner 1	Burner 2	Burner 3	Burner 4
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	1	2	0	0	0
4	1	0	0	1	0
5	1	0	0	2	0
6	1	1	0	2	0
7	1	2	0	2	0
8	1	1	0	1	0
9	1	1	2	0	0
10	1	1	2	1	0
11	1	2	2	2	0
12	1	2	2	2	2



Fig.29 a) Condiții de funcționare b) panoul de comandă al cazanului T1-treapta1 / T2-treapta2 /

Pentru măsurarea consumului de combustibil, indicele inițial și final pentru contorul de gaz a fost înregistrat pentru o perioadă de 1 minut. În acest timp s-au realizat măsurătorile de zgomot la interiorul spațiului tehnic.

Înainte de a începe măsurătorile efective s-a înregistrat temperatura și presiunea gazului.

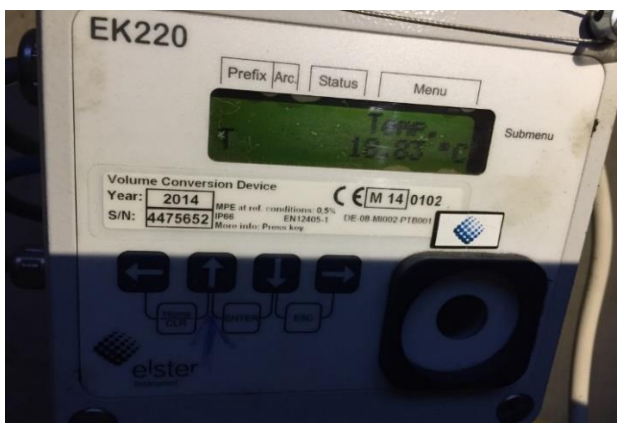


Fig.30 Citirea a) indicelui gazului b) parametrilor gazului

Măsurarea nivelului de zgomot s-a realizat cu ajutorul unui sonometru Bruel & Kjaer 2250. Măsurătorile au fost efectuate de o echipă formată din trei persoane: o persoană a înregistrat indicele de gaz, alta a operat automatizarea cazanului, iar a treia persoană a efectuat măsurători de zgomot.

O altă măsurătoare realizată în timpul protocolului experimental este timpul de reverberație. S-a utilizat metoda de excitație a impulsului, folosind un zgomot produs de un balon spart și sonometru B&K 2250. A fost înregistrată curba de descreșterea a zgomotului pentru toate benzile de frecvență, iar timpul de reverberație a fost calculat prin intermediul software-ului 7277 pentru sonometru pentru toate frecvențele.

6.6 Baza de date si interpretarea datelor experimentale

Pentru calculele realizate in acest capitol s-au folosit aceleași formule descrise în rapoartele centralei termice de mai sus, iar apoi s-a completat baza de date cu valorile rezultate din experiment

În tabelul de mai jos, puterea termică reală a fost calculată pe baza consumului de gaz, si reprezinta diferența dintre indicele final și citirea inițială a contorul de gaz de către unul dintre participanții la experiment. Timpul in care s-a înregistrat acest consum a fost de 60 de secunde, perioada în care s-a înregistrat și o măsurare a zgomotului la 1 metru de arzător, măsurată conform prescripțiilor normelor.

Puterea calorică inferioara a fost calculată utilizând temperatura și presiunea gazului indicate de contorul de gaz digital.

Tabelul 14 Tabelul de măsurare pentru nivelul de zgomot echivalent

Case [-]	Pumps [-]	Burner 1 [-]	Burner 2 [-]	Burner 3 [-]	Burner 4 [-]	Index I [m3]	Index F [m3]	Consu m. [-]	Time [s]	Flow [m3/s]	Hi [kJ/m3N]	p/po*To/T [-]	Φ burner [kW]	LOG10 (Φ b) [kW]	Project Name [-]	LAeq [dB(A)]
1	0	0	0	0	0	364698.20	364698.20	0.00	60	0.00	35371.70	0.99	0	0	Project 148	33.19
2	0	1	0	0	0	364707.60	364708.96	1.36	60	0.02	35371.70	0.99	794	2.90	Project 149	62.8
3	1	2	0	0	0	364698.20	364699.55	1.35	60	0.02	35371.70	0.99	787	2.90	Project 151	80.21
4	1	0	0	1	0	364711.60	364713.05	1.45	60	0.02	35371.70	0.99	847	2.93	Project 152	78.46
5	1	0	0	2	0	364715.70	364717.10	1.40	60	0.02	35371.70	0.99	818	2.91	Project 153	78.18
6	1	1	0	2	0	364731.60	364734.18	2.58	60	0.04	35371.70	0.99	1507	3.18	Project 155	81.19
7	1	2	0	2	0	364724.24	364727.00	2.76	60	0.05	35371.70	0.99	1612	3.21	Project 154	80.94
8	1	1	0	1	0	364738.70	364741.50	2.80	60	0.05	35371.70	0.99	1636	3.21	Project 156	81.05
9	1	1	2	0	0	364757.22	364759.78	2.56	60	0.04	35371.70	0.99	1495	3.17	Project 158	81.71
10	1	1	2	1	0	364764.90	364768.78	3.88	60	0.06	35371.70	0.99	2266	3.36	Project 159	82.99
11	1	2	2	2	0	364777.90	364782.46	4.56	60	0.08	35371.70	0.99	2664	3.43	Project 160	82.89
12	1	2	2	2	2	364787.50	364791.60	4.10	60	0.07	35371.70	0.99	2395	3.38	Project 161	82.98

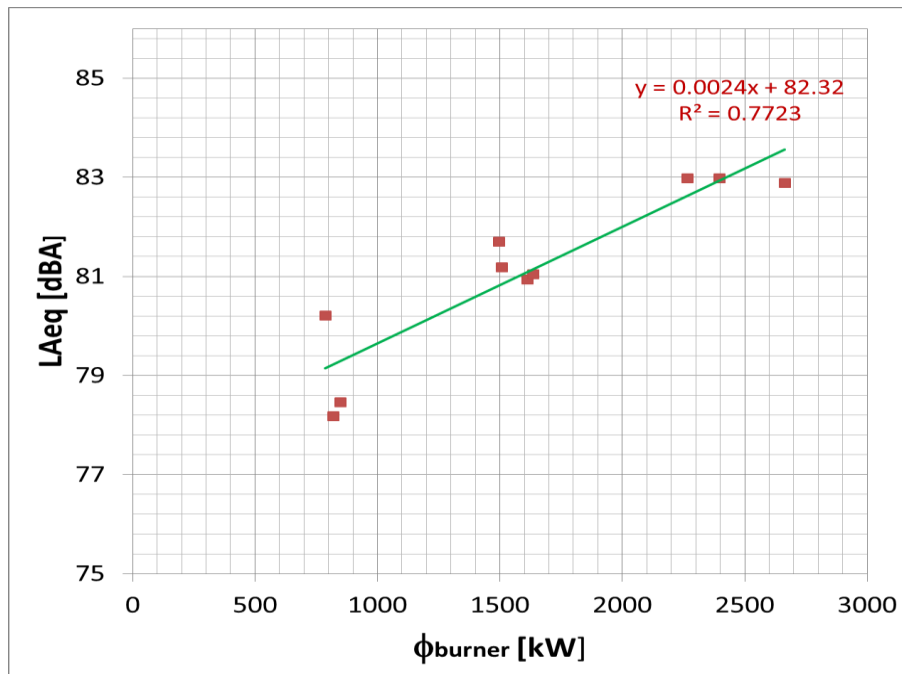


Fig.31 Nivel de zgomot echivalent bazat pe puterea termică reală, ecuație și R2

Din acest grafic se observa tendința de creștere a nivelului de zgomot echivalent în funcție de sarcina termică a cazanului. Această creștere validează modelele de predicție din literatură, care au în componența sarcina termică, ca parametru principal.

Tabelul 15 Tabel de măsurare a nivelului de zgomot echivalent și pentru toate frecvențele

Case [-]	Pumps [-]	Φ burner [kW]	L _{Aeq} [dB(A)]	L _{Zeq_O} 16Hz [dB]	L _{Zeq_O} 31.5Hz[dB]	L _{Zeq_O} 63Hz[dB]	L _{Zeq_O} 125Hz[dB]	L _{Zeq_O} 250Hz[dB]	L _{Zeq_O} 500Hz[dB]	L _{Zeq_O} 1kHz[dB]	L _{Zeq_O} 2kHz[dB]	L _{Zeq_O} 4kHz[dB]	L _{Zeq_O} 8kHz[dB]
1	0	0	33.19	53.12	53.23	50.18	42.27	32.91	28.39	26.63	22.38	22.81	19.28
2	0	794	62.8	55.4	58.43	59.41	60.49	60.82	59.97	59.82	53.69	44.05	34.4
3	1	787	80.21	73.4	85.23	81.17	85.52	79.5	76.12	75.03	71.54	69.07	68.15
4	1	847	78.46	72.62	84.1	80.65	84.56	78.24	74	73	70.64	65.68	63.31
5	1	818	78.18	72.6	84.29	80.69	85.05	78.2	73.6	72.42	70.42	65.68	62.84
6	1	1507	81.19	74.46	87.74	83.01	88.15	81.71	77.14	75.69	72.3	68.64	66.96
7	1	1612	80.94	73.83	88.57	83.49	87.86	81.08	76.7	75.51	72.28	68.27	66.31
8	1	1636	81.05	73.74	87.91	83.01	88.29	81.03	76.33	75.7	72.46	68.57	65.91
9	1	1495	81.71	73.87	87.63	83.39	88.04	80.92	78.01	76.44	72.85	69.15	68.75
10	1	2266	82.99	75.31	87.81	84.89	89.45	82.36	79.03	77.6	74.65	70.55	68.72
11	1	2664	82.89	74.84	88.48	85.53	88.72	82.04	79.09	77.59	74.72	70.59	68.17
12	1	2395	82.98	73.5	88.81	85.54	89.06	82.58	79.32	77.48	74.55	70.53	68.42

Tabelul 16 Tabel cu nivel de zgomot echivalent și nivel de zgomot Cz80 conform normelor

Nr crt. [-]	L _{Aeq_No} [dB(A)]	L _{Zeq_No} 16Hz [dB]	L _{Zeq_No} 31.5Hz[dB]	L _{Zeq_No} 63Hz[dB]	L _{Zeq_No} 125Hz[dB]	L _{Zeq_No} 250Hz[dB]	L _{Zeq_No} 500Hz[dB]	L _{Zeq_No} 1kHz[dB]	L _{Zeq_No} 2kHz[dB]	L _{Zeq_No} 4kHz[dB]	L _{Zeq_No} 8kHz[dB]
Cz80	85	121.1	109.9	98.7	91.6	86.4	82.7	80	77.7	75.9	74.4

Tabelele de mai sus prezintă nivelurile de zgomot pentru fiecare frecvență măsurate cu sonometrul Bruel Kjaer în timpul experimentelor, iar în tabelul numărul doi nivelul de zgomot pentru spațiile tehnice conform Cz80 indicată în norma românească de protecție împotriva zgomotului.

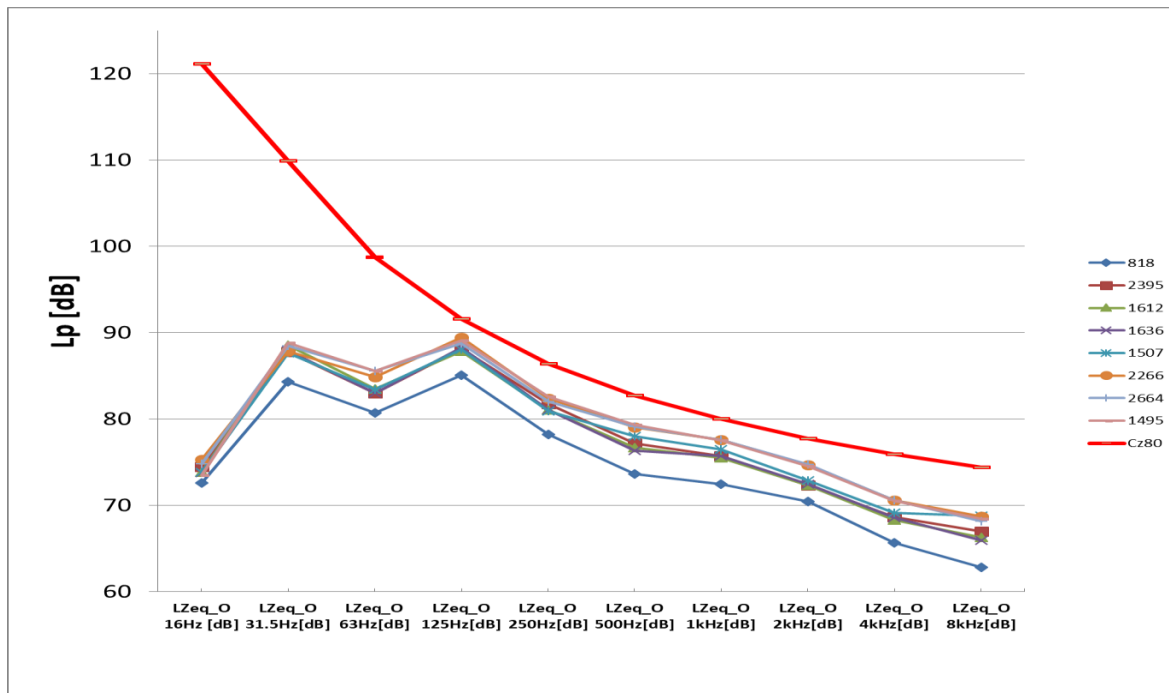


Fig.32 Comparație între nivelul de zgomot pe fiecare frecvență și Cz80 din norme

În graficul de mai sus, se observă că nivelul de zgomot este sub curba Cz80, respectându-se astfel nivelul maxim de zgomot permis într-o centrală termică.

Tabelul 17 Tabel cu inspecțiile efectuate în timpul experimentului pe această centrală termică

Case [-]	Tr [s]	Volum [m3]	Boiler type [-]	Type of fuel [-]	Burner type [-]	Burner case [-]	WallAcoustic treatment [-]	Boiler dissociation [-]	Boiler foundation [-]	Flexible connection [-]	Passing pipes [-]	Chimney insulation [-]	Gas pres [mbar]	Gas temp [oC]
1	1.34	660.96	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	60	18.83
2	1.34	660.96	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	60	18.83
3	1.34	660.96	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	60	18.83
4	1.34	660.96	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	60	18.83
5	1.34	660.96	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	60	18.83
6	1.34	660.96	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	60	18.83
7	1.34	660.96	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	60	18.83
8	1.34	660.96	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	60	18.83
9	1.34	660.96	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	60	18.83
10	1.34	660.96	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	60	18.83
11	1.34	660.96	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	60	18.83
12	1.34	660.96	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	60	18.83

Tabelul de mai sus prezintă inspecțiile efectuate în timpul experimentului pe această centrală termică. Se observă că o altă cerință esențială privind confortul acustic, și anume timpul de reverberatie, respectă valorile indicate în C125.

Similar cu capitoul precedent, vom compara valorile obținute din experiment cu predicțiile nivelului de zgomot conform formulelor găsite în literatură:

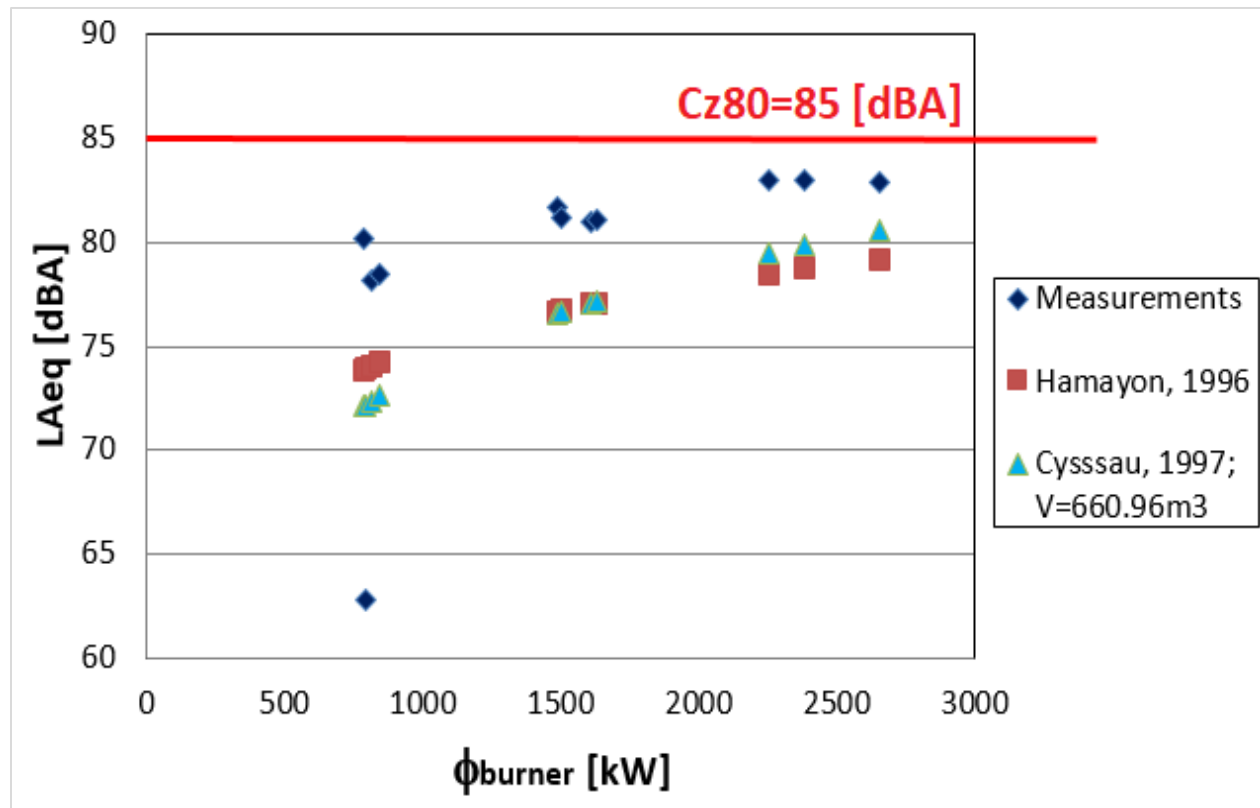


Fig.33 Graficul Scatter pentru a compara nivelul de zgomot real cu nivelurile de zgomot din literatura de specialitate

Valorile măsurate sunt sub valorile indicate în norma C125 / 2012 (maximum 85 dB (A)) pentru spațiile tehnice în toate condițiile de funcționare ale cazanelor. Concluzia este că această centrală termică nu are nevoie de un tratament acustic.

Se poate observa că modelul lui Hamayon are o eroare de până la 11,31 dBA, valoare apropiată de intervalul de precizie al formulei. În schimb, modelul lui Cyssau are o eroare de 9,39 dBA, mult mai mare decât 5dBA declarat.

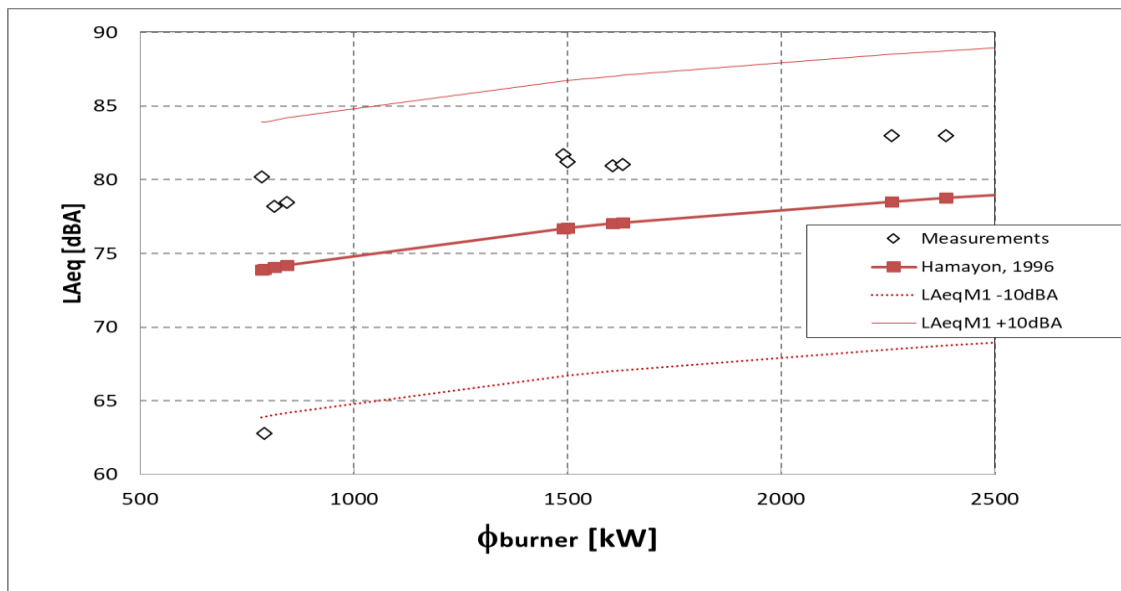


Fig.34 Grafic comparativ între nivelul de zgomot echivalent măsurat, modelul de predicție LAeqM1 [Hamayon, 1996] și eroarea sa de ± 10 dBA declarată

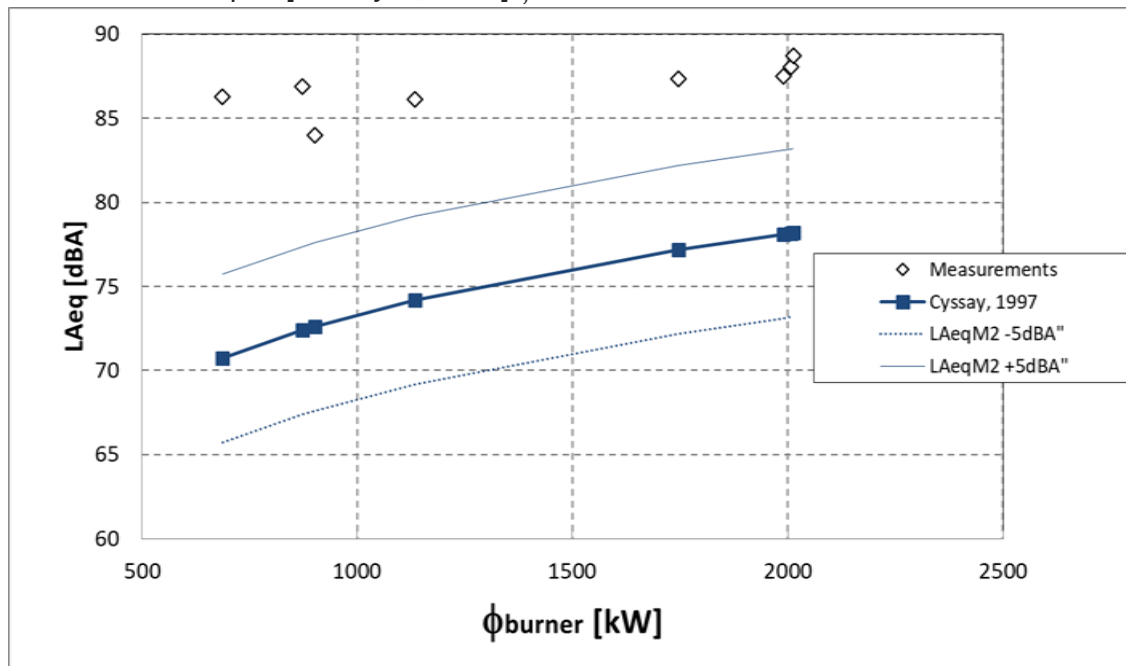


Fig.35 Grafic comparativ între nivelul de zgomot echivalent măsurat, modelul de predicție LAeqM2 [Cyssau, 1997] și eroarea sa de ± 5 dBA declarată.

Erorile modelelor lui Hamayon și ale lui Cyssau în comparație cu valorile noastre experimentale nu sunt centrate pe zero, deci există un fenomen pe care modelul de predictive Hamayon nu îl ia în considerare. Concluzionăm că modelul Hamayon nu este potrivit pentru puterile termice actuale și pentru noile echipamente de tip centrala termică. Prin urmare, este nevoie de o adaptare a modelelor de predicție a zgomotului la condițiile termice actuale (centrale termice mai mari, echipamente mai zgomotoase, control automat).

7. Protocol experimental pentru centrala 3, putere termica 1540 kw

7.1 Locatia:

Centrala termică 3 este o centrală situată la demisolul Facultății de Inginerie a Instalatiilor din București și deservește clădirea facultății și anexele, cu o capacitate termică instalată de 1540 kW.



Fig.36 Locatia centralei termice

7.2 Prezentarea arhitecturala a incaperii

Camera are o formă complexă, iar dimensiunile sale sunt: 14,45m lungime, 9,05m lățime și 5,09 înălțime. Pereții centralei termice sunt din cărămidă, iar podeaua din beton finisat. Cele două ferestre au un rama din lemn și o singură foaie de sticlă, iar ușa are în partea de jos un material din plasă care permite compensarea presiunii din interior.

Volumul centralei termice este de 665,63 m³. Suprafața pereților, tavanelor și podelelor este realizată din materiale reflectante, iar coeficientul de absorbție al încăperii este foarte scăzut.

Suprafața dura a materialelor din aceasta centrala termica va da natere unui timp de reverberație mai mare in comparative cu al unor spatii tehnice prevazute cu materiale fono-absorbant. Efectul imediat al reflexiilor multiple este o creștere a intensității sunetului cauzată de reflexii. Un fochist va auzi sunetul direct care ajunge la ureche împreună cu toate reflexele multiple. Astfel, intensitatea combinată a sunetului direct și a sunetului reflectat va fi mai mare decât sunetul direct.



Fig.37 Centrala termica la interior

7.3 Echipamentele centralei termice

Centrala termică are două cazane de 760KW producator DeDietrich tip GTE514. Arzătoarele acestor cazane sunt de tip FBR GAS P100 / 2CE cu două trepte de putere de 581-1162KW.

În ansamblul cazanului găsim 14 pompe NOCCHI model R2C 65-23, două schimbătoare de căldură cu plăci si 2 rezervoare tampon.

7.4 Solutiile de protectie acustica existente

Coșul de fum al cazanului este realizat din material metalic fără izolație la exterior și este amplasat în interior și parțial la exterior. Cazanele sunt fixate prin desolidarizare: fundație și puffere.

Cele patru arzătoare nu au o carcasă fonoabsorbantă, iar racordurile conductelor sunt realizate prin brățări metalice. Instalația de încălzire nu are conexiuni flexibile la conductele cazanului (termic / gaz / fluid).

Nu există altă protecție împotriva zgomotului, cum ar fi atenuatorul de sunet la coș (în țevă sau în sferă de undă) sau pereții izolați cu vată minerală și / și rigips.

Trecerea prin pereți a conductelor este fără nici o soluție de reducere a vibrațiilor transmise prin arderea gazului.

Tabelul 18 Tipul echipamentului și tabelul existent al soluțiilor de protecție împotriva zgomotului

Case [-]	Pumps [-]	Burner 1 [-]	Burner 2 [-]	Tr [s]	Volum [m ³]	Boiler type [-]	Type of fuel [-]	Burner type [-]	Burner case [-]	WallAcoustic treatment [-]	Boiler dissociation [-]	Boiler foundation [-]	Flexible connection [-]	Passing pipes [-]	Chimney insulation [-]
1	0	0	0	1.34	665.83	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0
2	1	0	0	1.34	665.83	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0
3	1	0	1	1.34	665.83	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0
4	1	0	2	1.34	665.83	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0
5	1	1	0	1.34	665.83	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0
6	1	1	1	1.34	665.83	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0
7	1	1	2	1.34	665.83	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0
8	1	2	0	1.34	665.83	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0
9	1	2	1	1.34	665.83	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0
10	1	2	2	1.34	665.83	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0

Tabelul de mai sus face parte din baza de date a tezei de doctorat și include tipul constructiv al echipamentelor de generare a zgomotului din instalația termică și soluțiile de tratament acustic existente. De asemenea, în acest tabel este reprezentat și volumul spațiului interior și timpul de reverberație măsurat în timpul experimentului, ambele utilizate pentru un calcul mai ușor al coeficientului mediu de absorbție al suprafețelor interioare.



Fig.38 Soluții de protecție împotriva zgomotului în instalația de cazane

7.5 Partea experimentală

S-au făcut cinci tipuri de măsurători pentru fiecare centrală termică:

- dimensiuni (cameră, echipament, ferestre, uși, coș de fum). Dimensiunile camerei sunt: 14,45 m lungime, 9,05 m lățime și 5,09 înălțime;
- presiunea și temperatura gazului $p_g = 0.025 \text{ [bar]}$; $T_g = 8.88 \text{ [}^\circ\text{C]}$;
- timpul de reverberație la interiorul centralei termice (EDT, T20, T30);

Tabelul 19 Timp de reverberare (EDT, T20, T30) măsurat cu sonometru

Frequency	(500 Hz-1 kHz)	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
T20	1.34	2.49	1.43	1.47	1.36	1.38	1.36	1.08	0.66
T30	1.31	2.5	1.56	1.5	1.42	1.44	1.37	1.09	0.72
EDT	1.24	1.99	1.56	1.56	1.35	1.25	1.11	0.96	0.54

- nivel de zgomot pentru diferite puteri termice nivelul echivalent de zgomot continuu (L_{Aeq}), niveluri de presiune acustică în benzile de frecvență L_{p16Hz} , $L_{p31.5Hz}$, L_{p63Hz} , L_{p125Hz} , L_{p250Hz} , L_{p500Hz} , $L_{p1000Hz}$, $L_{p2000Hz}$, $L_{p4000Hz}$, $L_{p8000Hz}$
- consumul de gaz pentru fiecare putere termică

Investigația constă din:

- tipuri de perete; pereții sunt din cărămidă albă, pardoseala și tavanul sunt din beton;
- echipamente de tip constructiv (arzătoare, pompe, cazane)
 - Tip arzător: FBR tip GAS P100 / 2CE cu două trepte de putere de 581-1162KW.
 - Tipuri de cazane: 760KW DeDietrich tip GTE514
 - Pompe tip: 14 pompe Grundfoss NOCCHI model R2C 65-23

Pentru că arzătoarele au două trepte de putere, am putut experimenta un număr de 10 situații reale de funcționare.

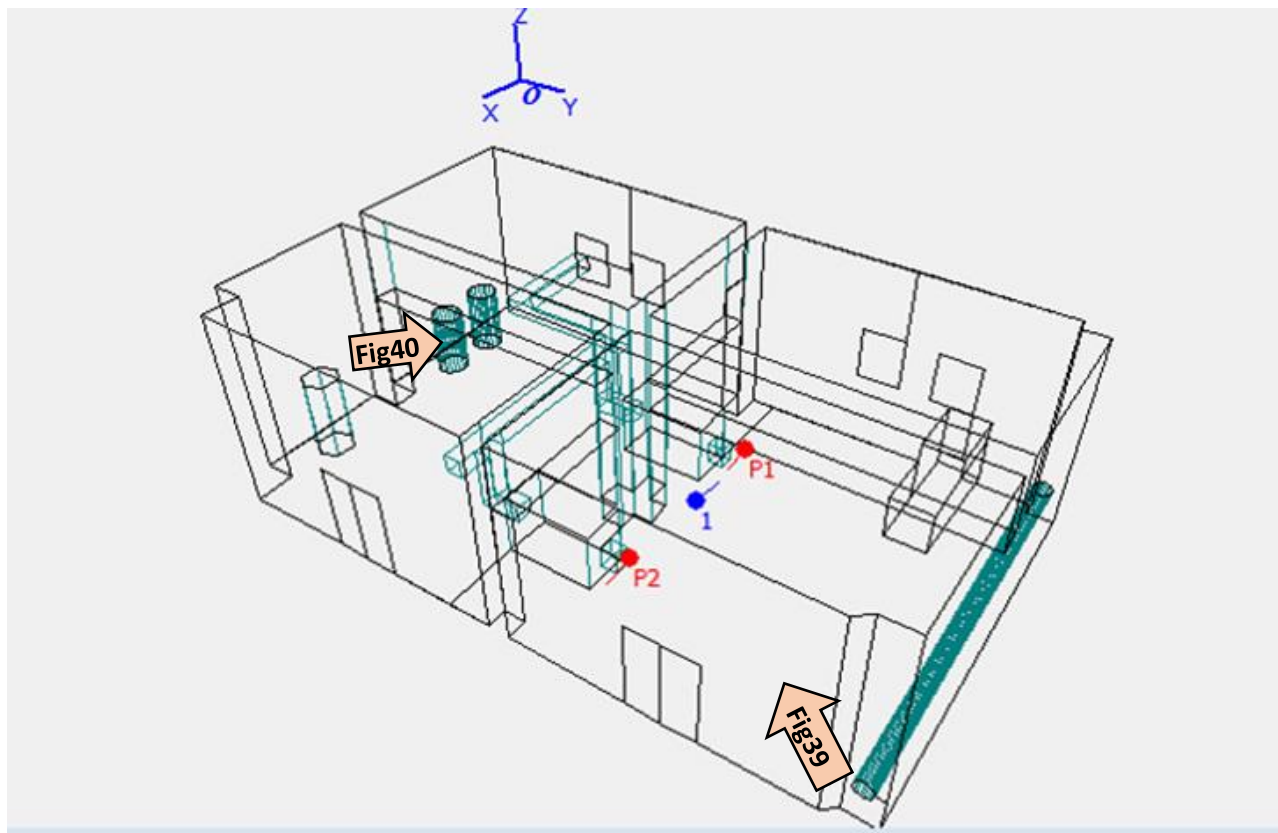


Fig.39 Poziția de ardere (surse de zgomot) și receptor (sonometru Bruel și Kjaer)

Controlul treptei arzătorului a fost realizat prin operarea panoului de control al cazanului și selectarea treptei dorite, așa cum se arată mai jos.

Case [-]	Pumps [-]	Burner 1 [-]	Burner 2 [-]
1	0	0	0
2	1	0	0
3	1	0	1
4	1	0	2
5	1	1	0
6	1	1	1
7	1	1	2
8	1	2	0
9	1	2	1
10	1	2	2



Fig.40 a) Condiții de funcționare b) panoul de comandă al cazanului T1-etapa1 / T2-etapa2

Pentru măsurarea consumului de combustibil, indicele inițial și final pentru contorul de gaz a fost înregistrat pentru o perioadă de 1 minut. În acest timp măsurătorile de zgomot au fost făcute în interiorul spațiului tehnic.

Înainte de a începe măsurătorile efective, temperatura și presiunea gazului au fost înregistrate



Fig.41 Citirea a) indicelui gazului b) parametrii gazului

Măsurarea nivelului de zgomot a fost efectuată cu ajutorul unui sonometru Bruel & Kjaer 2250. Măsurătorile au fost efectuate de o echipă formată din trei persoane: o persoană a înregistrat indicele de gaz, o alta operat automatizarea cazanului, iar a treia persoană a efectuat măsurătorile de zgomot.

O altă măsurătoare efectuată în timpul acestui protocol experimental a fost timpul de reverberație. S-a utilizat metoda de excitație a impulsului folosind un zgomot produs de spargerea unui balon

si masurare cu B&K 2250. A fost înregistrată curba de descreșterea a zgomotului pentru toate benzile de frecvență, iar timpul de reverberație a fost calculat prin intermediul software-ului 7277 pentru sonometru pentru toate frecvențele.

7.6 Baza de date si interpretarea datelor experimentale

Pentru calculele realizate in acest capitol s-au folosit aceleași formule descrise în rapoartele centralei termice de mai sus, iar apoi s-a completat baza de date cu valorile rezultate din experiment

În tabelul de mai jos, puterea termică reală a fost calculată pe baza consumului de gaz, si reprezinta diferența dintre indicele final și citirea inițială a contorul de gaz de către unul dintre participanții la experiment. Timpul in care s-a înregistrat acest consum a fost de 60 de secunde, perioada în care s-a înregistrat și o măsurare a zgomotului la 1 metru de arzător, măsurată conform prescripțiilor normelor.

Puterea calorică inferioara a fost calculată utilizând temperatura și presiunea gazului indicate de contorul de gaz digital.

Tabelul 20 Tabelul de măsurare pentru nivelul echivalent de zgomot

Case [-]	Pumps [-]	Burner 1 [-]	Burner 2 [-]	Index I [m3]	Index F [m3]	Consu m.	Time [s]	Flow [m3/s]	Hi [kJ/m3N]	p/po*To/T [-]	Φ burner [kW]	LOG10 (Φ b) [kW]	Project Name [-]	LAeq [dB(A)]	LZeq_O 16Hz [dB]
1	0	0	0	1503755.83	1503755.83	0.00	60	0.00	35371.70	0.99	0	0	Project 119	27.28	39.76
2	1	0	0	1503755.83	1503755.83	0.00	60	0.00	35371.70	0.99	0	0	Project 118	54.77	57.79
3	1	0	1	1503755.83	1503757.56	1.73	180	0.01	35371.70	0.99	337	2.53	Project 120	83.36	66.08
4	1	0	2	1503762.40	1503763.83	1.43	60	0.02	35371.70	0.99	838	2.92	Project 121	83.52	66.23
5	1	1	0	1503766.18	1503766.69	0.51	60	0.01	35371.70	0.99	299	2.48	Project 122	78.39	73.54
6	1	1	1	1503773.84	1503774.92	1.08	60	0.02	35371.70	0.99	635	2.80	Project 124	84.76	69.7
7	1	1	2	1503780.38	1503782.34	1.96	60	0.03	35371.70	0.99	1144	3.06	Project 125	84.42	68.08
8	1	2	0	1503769.06	1503769.87	0.82	60	0.01	35371.70	0.99	479	2.68	Project 123	81.9	73.41
9	1	2	1	1503786.60	1503787.99	1.39	60	0.02	35371.70	0.99	811	2.91	Project 126	85.42	68.67
10	1	2	2	1503790.95	1503793.18	2.23	60	0.04	35371.70	0.99	1305	3.12	Project 127	85.44	69.48

În primul tabel, puterea termică reală a fost calculată pe baza consumului de gaz, care reprezinta diferența dintre indicele final și citirea inițială a contorului de gaz de către unul dintre participanții la experiment.

Timpul in care s-a masurat acest consum a fost de 180 și 60 de secunde, moment în care a fost înregistrată și o măsurare a zgomotului la 1 metru de arzător, măsurătoare realizată conform prescripțiilor normelor.

Puterea calorică inferioară a fost calculată utilizând temperatura și presiunea gazului indicate de contorul de gaz digital.

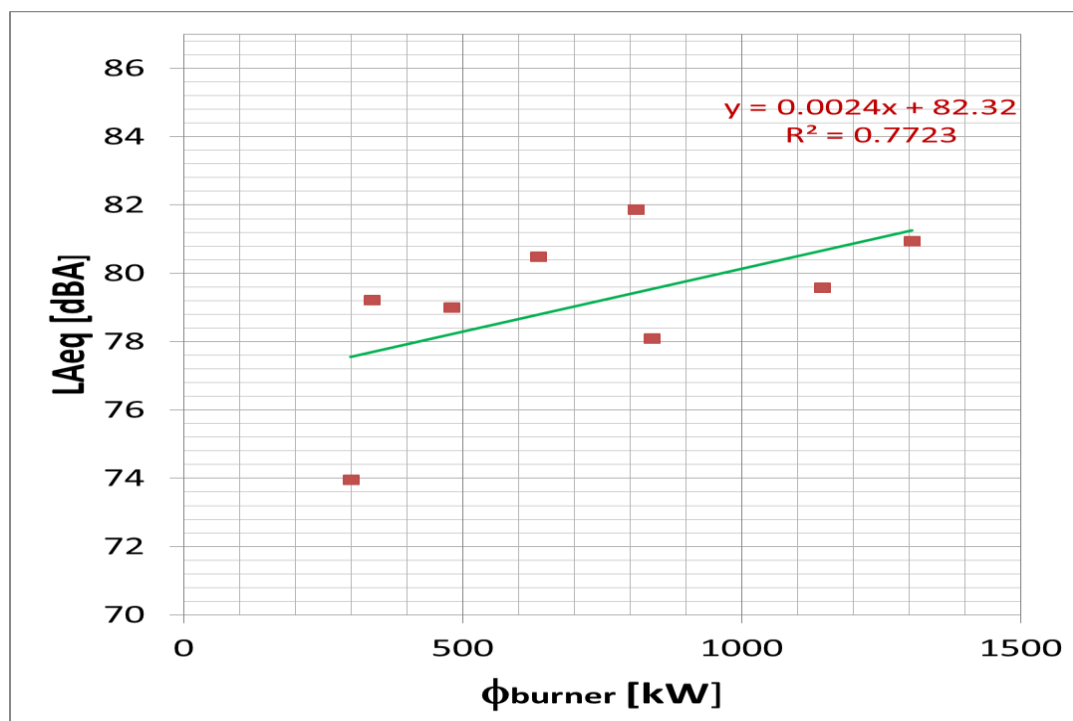


Fig.42 Nivel de zgomot echivalent bazat pe puterea termică reală, ecuație și R2

Din acest grafic se observa o tendință de creștere a nivelului de zgomot echivalent, funcție de sarcina termică a cazanului. Această creștere validează modelele de predicție din literatură, care au componentă și sarcina lor termică, ca parametru principal.

Tabelul 21 Tabelul de măsurare pentru un nivel de zgomot echivalent și pentru fiecare nivel de zgomot de frecvență

Case [-]	Pumps [-]	Burner1 [-]	Burner2 [-]	Φ burner [kW]	LAeq [dB(A)]	LZeq_O 16Hz [dB]	LZeq_O 31.5Hz[dB]	LZeq_O 63Hz[dB]	LZeq_O 125Hz[dB]	LZeq_O 250Hz[dB]	LZeq_O 500Hz[dB]	LZeq_O 1kHz[dB]	LZeq_O 2kHz[dB]	LZeq_O 4kHz[dB]	LZeq_O 8kHz[dB]
1	0	0	0	0	27.28	39.76	34.34	40.33	35.65	27.2	24.12	22.49	13.45	15.62	11.98
2	1	0	0	0	54.77	57.79	52.31	59.44	61.88	59.47	54.27	45.5	40.91	32.79	26.76
3	1	0	1	337	83.36	66.08	63.01	72.47	70.4	72.48	79.23	77.48	77.93	73.79	65.51
4	1	0	2	838	83.52	66.23	69.69	78.13	80.28	76.26	78.09	79.7	77.16	72.27	65.65
5	1	1	0	299	78.39	73.54	61.54	67.56	69.49	72.65	73.96	73.03	72	69.35	62.57
6	1	1	1	635	84.76	69.7	64.78	73.87	71.86	76.41	80.49	79.56	78.83	74.78	67.08
7	1	1	2	1144	84.42	68.08	70.9	77.97	80.48	78.5	79.58	79.91	78.33	73.8	67.26
8	1	2	0	479	81.9	73.41	64.59	69.6	77.17	80.33	79.01	77.36	74.07	69.96	62.66
9	1	2	1	811	85.42	68.67	67.69	74.33	77.53	82.37	81.88	80.31	78.81	74.43	66.39
10	1	2	2	1305	85.44	69.48	75.15	78.88	81.53	83.95	80.94	81.17	78.23	73.77	66.97

Tabelul 22 Tabel cu nivel de zgomot echivalent și nivel de zgomot Cz80 conform normelor

Nr crt. [-]	LAeq_No [dB(A)]	LZeq_No 16Hz [dB]	LZeq_No 31.5Hz[dB]	LZeq_No 63Hz[dB]	LZeq_No 125Hz[dB]	LZeq_No 250Hz[dB]	LZeq_No 500Hz[dB]	LZeq_No 1kHz[dB]	LZeq_No 2kHz[dB]	LZeq_No 4kHz[dB]	LZeq_No 8kHz[dB]
Cz80	85	121.1	109.9	98.7	91.6	86.4	82.7	80	77.7	75.9	74.4

Tabelele de mai sus prezintă nivelurile de zgomot pentru fiecare frecvență măsurate cu sonometrul Bruel Kjaer pe durata experimentelor, iar în tabelul numărul doi nivelul de zgomot pentru spațiile tehnice conform curbei Cz80 indicate în norma românească de protecție împotriva zgomotului.

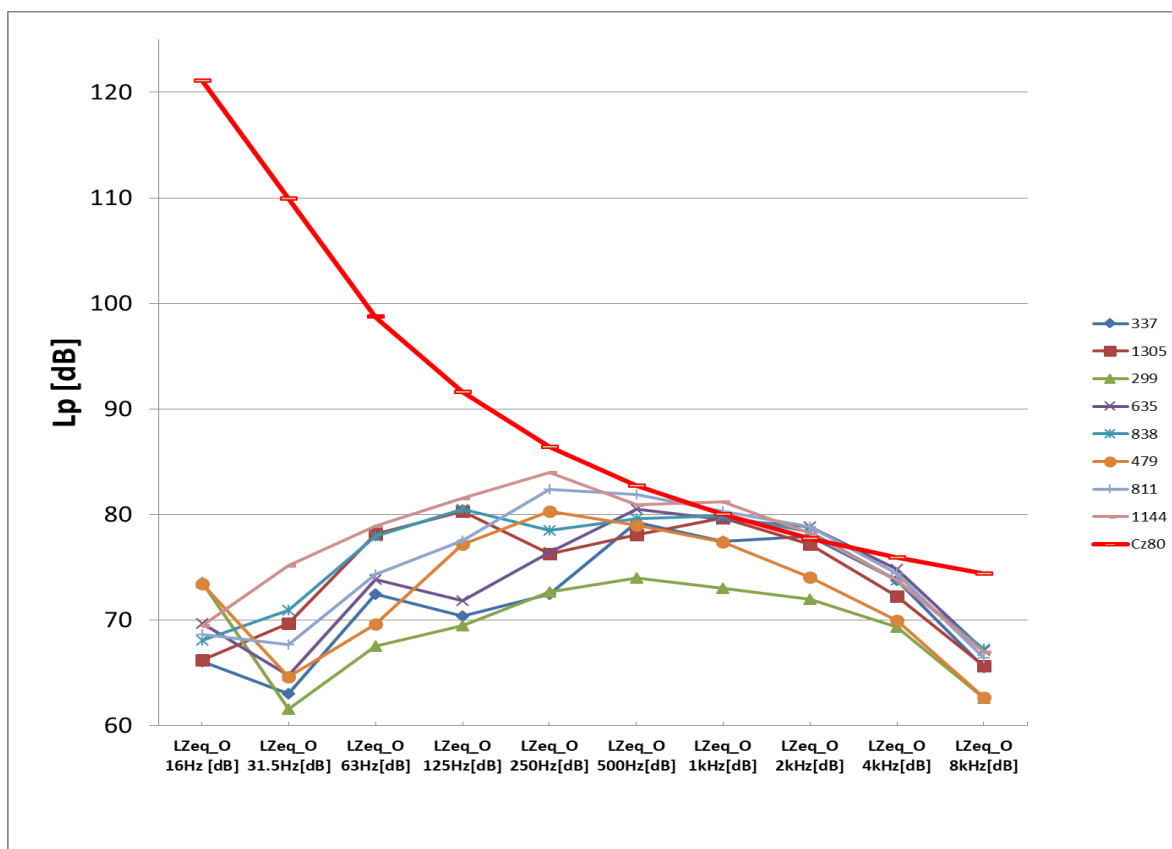


Fig.43 Comparație între nivelul de zgomot pe fiecare frecvență și Cz80 din norme

În graficul de mai sus, se observă că până la frecvența de 500 Hz pentru toate nivelurile de zgomot se depășesc valorile indicate în norme, de unde rezultă necesitatea unui tratament acustic la frecvențe joase (frecvențe de ardere). Pentru frecvențe mai ridicate, nivelul de zgomot este sub curba Cz80, respectând astfel nivelul de zgomot maxim admisibil într-o centrală de termică.

Tabelul 23 Tabelul cu inspecțiile efectuate în timpul experimentului pe această centrală termică

Case [-]	Tr [s]	Volum [m3]	Boiler type [-]	Type of fuel [-]	Burner type [-]	Burner case [-]	WallAcoustic treatment [-]	Boiler dissociation [-]	Boiler foundation [-]	Flexible connection [-]	Passing pipes [-]	Chimney insulation [-]	Gas pres [mbar]	Gas temp [oC]
1	1.34	66.5.83	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	30	11.75
2	1.34	736.49	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	30	11.75
3	1.34	736.49	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	30	11.75
4	1.34	736.49	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	30	11.75
5	1.34	736.49	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	30	11.75
6	1.34	736.49	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	30	11.75
7	1.34	736.49	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	30	11.75
8	1.34	736.49	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	30	11.75
9	1.34	736.49	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	30	11.75
10	1.34	736.49	ReverseFlame	gas	Turndown	0	0	1	1	0	0	0	30	11.75

Tabelul de mai sus prezintă inspecțiile efectuate în timpul experimentului pe această centrală termică. Se observă că o altă cerință esențială privind confortul acustic, și anume timpul de reverberație, respectă valorile indicate în C125.

Similar cu capitolul precedent vom compara valorile obținute din experiment cu predicțiile nivelului de zgomot conform formulelor găsite în literatură.

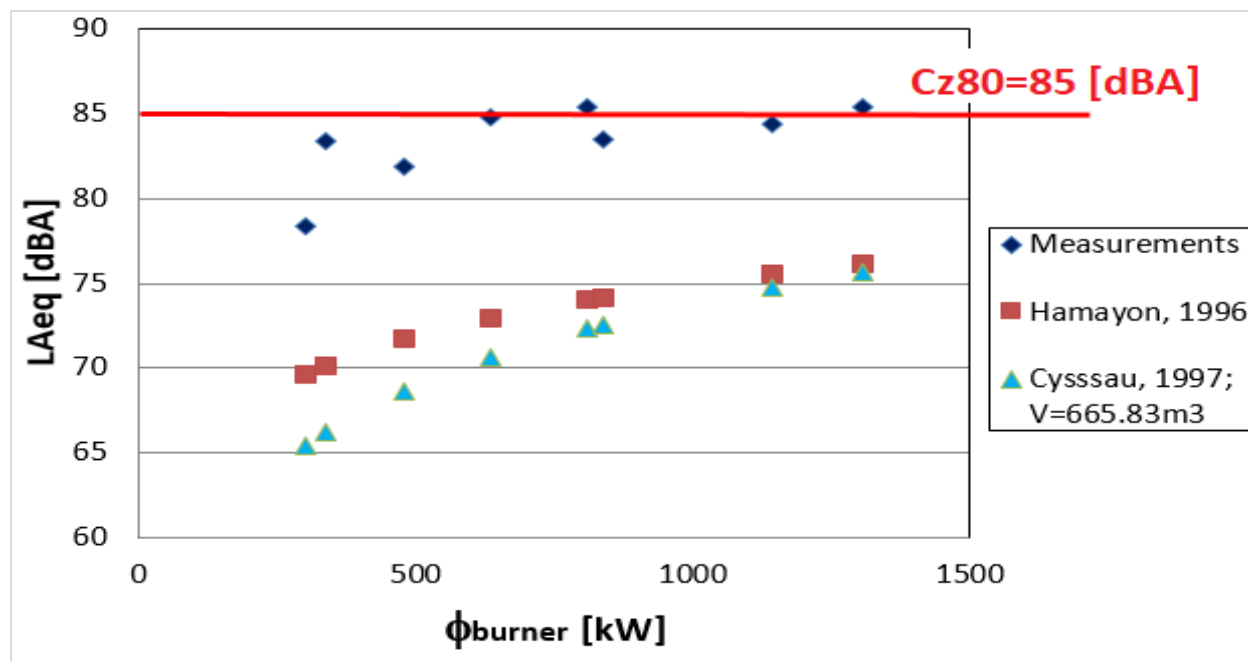


Fig.44 Graficul Scatter pentru a compara nivelul de zgomot real cu nivelurile de zgomot din literatura de specialitate

Valorile măsurate depășesc valorile indicate în norma C125 / 2012 (maximum 85 dB (A)) pentru instalațiile de cazane pentru toate cele trei situații de funcționare a cazanelor. Concluzia este că această centrală termică are nevoie de o soluție de tratament acustic pentru a îndeplini normele actuale.

Se poate observa că modelul lui Hamayon are o eroare de până la 13,18 dBA, valoare apropiată de intervalul de precizie al formulei. În schimb, modelul lui Cyssau are o eroare de 17,16 dBA, mult mai mare decât 5dBA declarată.

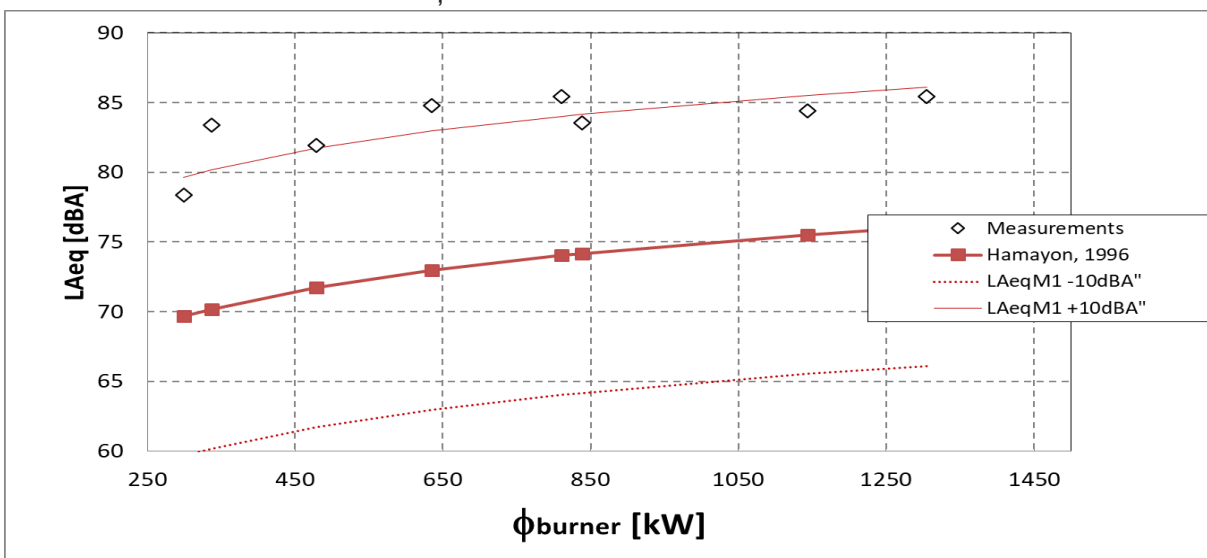


Fig.45 Grafic comparativ între nivelul de zgomot echivalent măsurat, modelul de predicție L_{AeqM1} [Hamayon, 1996] și eroarea sa de $\pm 10\text{dBA}$ declarată.

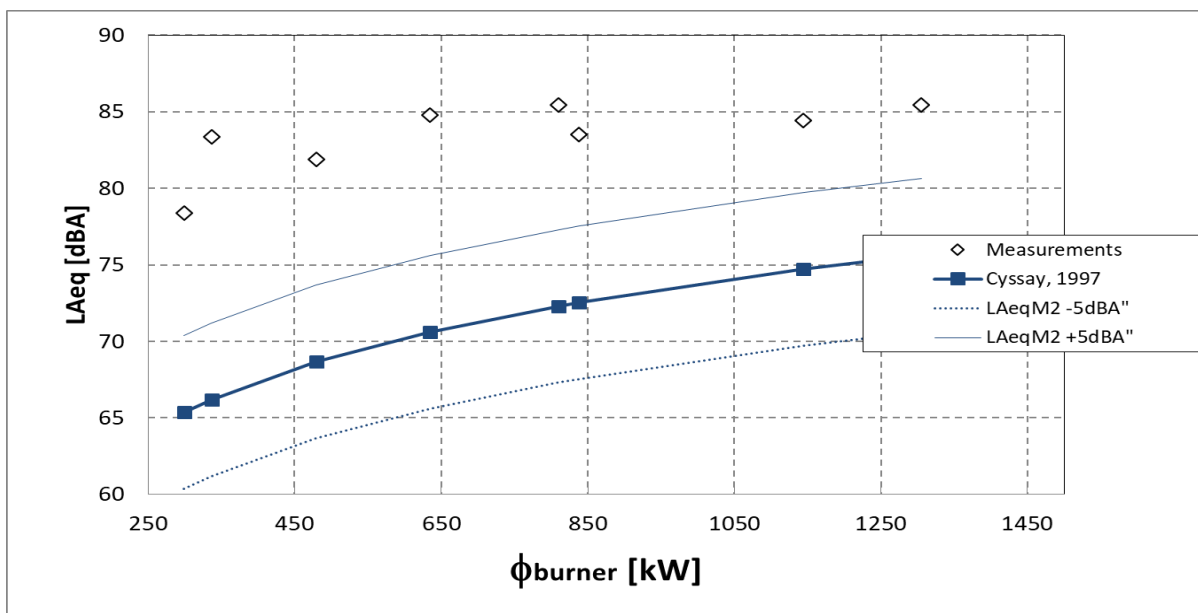


Fig.46 Grafic comparativ între nivelul de zgomot echivalent măsurat, modelul de predicție LAeqM2 [Cyssau, 1997] și eroarea sa de $\pm 5\text{dBA}$

În comparație cu datele noastre experimentale, erorile modelului Hamayon și Cyssau nu sunt centrate pe zero, deci există un fenomen pe care modelul de predicție Hamayon nu îl ia în considerare. Concluzionăm astfel că modelul Hamayon nu este potrivit pentru puterile termice actuale și pentru noile echipamente de tip centrală termică. Prin urmare, este nevoie de o adaptare a modelelor de predicție ale zgomotului la condițiile actuale (centrale termice mai mari, echipamente mai zgomotoase, control automat).

8.Concluzii

După compararea modelelor din literatură cu valorile obținute experimental în cele 12 situații de funcționare simulate, s-a dovedit că modelele din literatură nu sunt suficient de exacte din punct de vedere al preciziei, relevând astfel necesitatea îmbunătățirii lor prin completarea baza de date și validarea unor modele noi obținute prin experimente similare cu cele prezentate în aceste protocoale.

Aceste experimente sunt realizate pentru a crea o bază de date care va fi utilizată pentru a identifica un alt parametru dincolo de cei deja cunoscuți.

În raportul numărul 3 baza de date va fi extinsă cu alte măsurători. Unul dintre directorii generali al acestor companii a fost contactat, iar următoarea campanie experimentală va fi întârziată.

În graficul de mai jos, sunt reprezentate prin puncte puterile termice și volumele pentru fiecare situație simulată în cele 10 centrale în care au fost efectuate experimente.

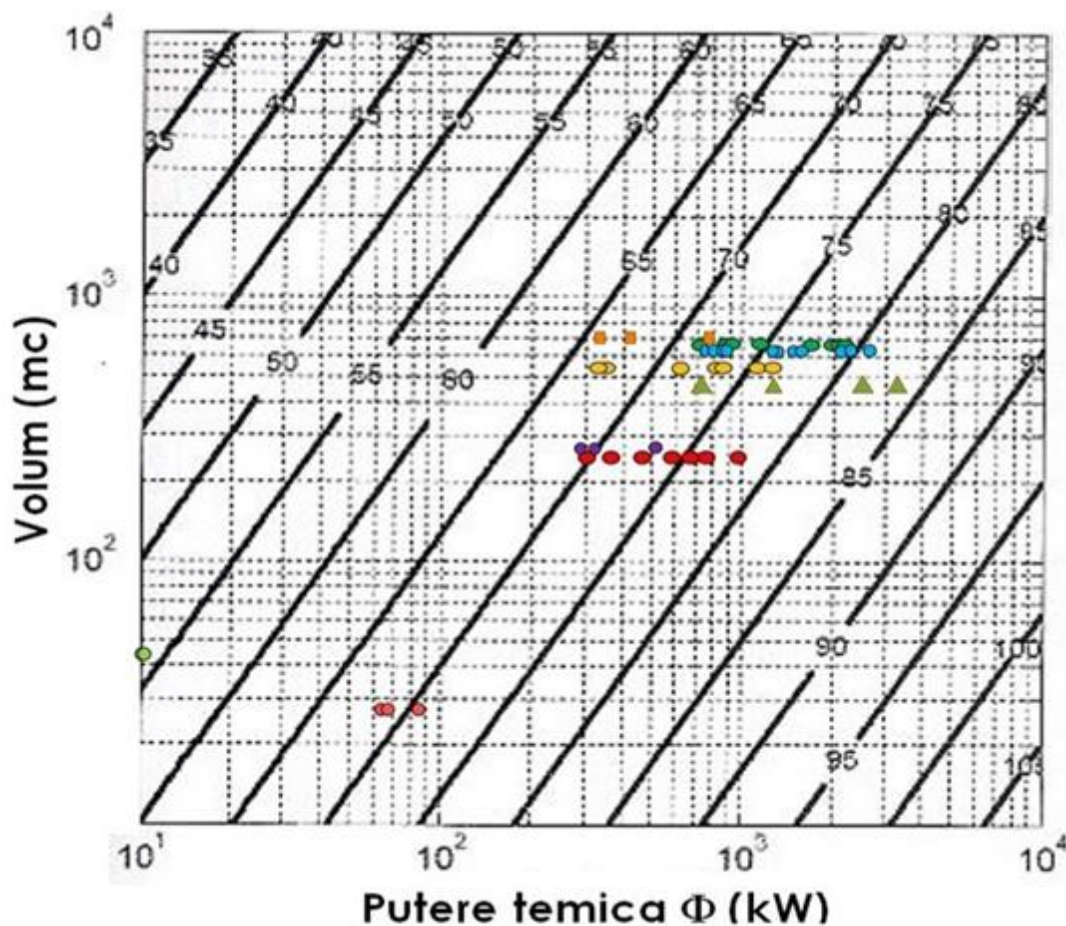


Fig.47 Grafic cu măsurători ale puterii termice și volumului pentru fiecare centrală

Legenda culorii: Ploiești: Izolați cazanul - verde închis; Bloc - triunghi verde Brasov: Hotel- portocaliu; Student Flats- mov; FII- galben .; Cantina- verde închis; Geodezie- cian; Studenți Apartamente 5- portocaliu închis; Studenți Apartamente 6- verde deschis.

Se poate observa că lipsesc valori pentru sarcini termice mici cu volume mari, respective pentru sarcini termice mari cu volume mici. Pentru a crea un model cu o aplicabilitate mai mare, se va încerca completarea bazei de date cu punctele lipsă.

De asemenea, în următorul raport va fi realizată analiza statistică după finalizarea bazei de date, din care va rezulta influența diferiților parametri asupra nivelului de zgomot din centrala termică.

Plusul pe care-l va aduce teza este dat de determinarea modelelor de predicție ale nivelului de presiune acustică global ponderată LAeq [dBA] la interiorul centralelor termice, funcție de parametrii cei mai importanți parametrii, testarea modelelor, comparația cu modelele existente în literatură și publicarea unor articole științifice.

9.Referințe

- [1] V.Iordache, Acustica clădirii și a instalațiilor, Matrixrom, București, 2007
- [2] Note de curs probabilități și statistică, Școala Doctorală, UTCB, 2015[39] Normativ privind Protecția la Zgomot C125-2013, Editura Fastprint, București, 2014
- [3] HG 731/1991 publicat în Monitorul Oficial, Partea I nr. 227 din 13.11.1991 pentru aprobarea Regulamentului de atestare tehnico-profesională a specialiștilor cu activitate în construcții
- [4] Iordache V., Catalina T., Acustica clădirii și a instalațiilor- Aplicații proiectare,, Editura Matrix Rom, București, 2013
- [5] Bratu P., Acustica interioară pentru construcții și mașini, Editura Matrix Rom, București, 2002
- [6] Hamayon L., Réussir l'acoustique d'un bâtiment, Ed. Le Moniteur, Paris, 1996;
- [7] Malet T., Acoustique des salles – Le guide de référence du praticien, Publ. Georges Ventillard, Neuilly sur Marne, 2005;
- [8] Pellerin G., Acoustique architecturale: Théories et pratiques, version électronique, 2006;
- [9] Stan M., Acustica pentru arhitecți, Ed. Fundației România de Măine, București 2007.
- [10] <http://www.knauf.ro/index.php?exp=174>
- [11] Carolina R., Paulo H., Statistical comparison of reverberation times measured by the integrated, ELSEVIER, 2010
- [12] Neubauer R., Kostek B., Prediction of the Reverberation Time in Rectangular Rooms with NonUniformly Distributed Sound Absorption, Consulting Bureau, Ingolstadt, Germany, 2009
- [13] A Revised Sound Energy Theory Based on a New Formula for the Reverberation Radius in Rooms with Non-Diffuse Sound Field, ARAU-PUCHADES H., BERARDI U., Spain, 2014
- [14] Peter K. Baade, How to solve abnormal combustion noise problems (Sound and vibration), Fayetteville, New York, SUA, 2004
- [15] Normativ privind Protecția la Zgomot C125-2013, Editura Fastprint, București, 2014
- [16] HG 731/1991 publicat în Monitorul Oficial, Partea I nr. 227 din 13.11.1991 pentru aprobarea Regulamentului de atestare tehnico-profesională a specialiștilor cu activitate în construcții
- [17] Malet T., Acoustique des salles – Le guide de référence du praticien, Publ. Georges Ventillard, Neuilly sur Marne, 2005;
- [18] Stan M., Acustica pentru arhitecți, Ed. Fundației România de Măine, București 2007.
- [19] Hamayon L., Réussir l'acoustique d'un bâtiment, Ed. Le Moniteur, Paris, 1996;
- [20] Pellerin G., Acoustique architecturale: Théories et pratiques, version électronique, 2006;

- [21] Bratu P., Acustica interioară pentru construcții și mașini, Editura Matrix Rom, București, 2002
- [22] Iordache V., Catalina T., Acustica clădirii și a instalațiilor- Aplicații proiectare,, Editura Matrix Rom, București, 2013
- [23] Iudin, E.Ia., Izolarea împotriva zgomotelor, Traducere din limba rusă, Ed. Tehnică, București, 1968.
- [24] Enescu, N., Magheț, I., Sârbu, M. A., Acustică tehnică, Ed. ICPE, București, '98, ISBN 973-98801-2-6.
- [25] Bell, L. H., Noise and Vibration Control. Fundamentals and Applications, Marcel Dekker, Inc. 1982
- [26] Bell, L.H., Bell, D.H., Industrial noise control. Fundamentals and applications. Second edition, revised and expanded, Ed. Marcel Dekker, Inc., 1994, ISBN 0-8247-9028-6.
- [27] Beranek, L.L., Vér, I.L., Noise and Vibration Control. Principles and Applications, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1992, ISBN 0-471-61751-2.
- [28] Selamet, A., Denia, F.D., Besa, A.J., Acoustic behavior of circular dual-chamber mufflers, Journal of Sound and Vibration 265 (2003), 967-985.
- [29] Tao, Z., Herrin, D.W., Seybert, A.F., A Review of Current Techniques for Measuring Muffler Transmission Loss, 03NVC-38, 2001, Society of Automotive Engineers, Inc.
- [30] STAS 10009-88 – Acustica urbană. Limite admisibile ale nivelului de zgomot
- [31] STAS 6161/1-79 - Acustica în construcții. Partea 1: Măsurarea nivelului de zgomot în construcții civile. Metode de măsurare