

	<h1 style="margin: 0;">АКУСТИКА</h1> <p style="margin: 0;">Национална конференция „Акустика 2019“</p>	<p style="margin: 0;">Варна 25-26.10.2019 г.</p> <p style="margin: 0;">София 29-30.11.2019 г.</p>
Година XXI	□ Брой 21	декември 2019 г.

Using COMSOL to Investigate the Effectiveness of Mufflers

Krasimir NEDELICHEV¹, Rosen RUSANOV²

Technical University of Sofia, Department of Mechanics, Bulgaria

¹krasined@tu-sofia.bg

²krasined@tu-sofia.bg

Abstract

The paper studies the influence of some of the parameters of the open type acoustic barrier, which are used to reduce sound pressure levels, through passive noise reduction devices in ventilation systems and some types of acoustic barriers /Sonic Crystal Acoustic Barriers/. The study was realized with a model in the environment of COMSOL Multiphysics.

Keywords: Acoustic Barriers, Silencer, Muffler, Sonic Crystal, COMSOL Multiphysics®, Sound Pressure Level

Използване на COMSOL за Изследване на Ефективността на Конструкцията на Шумозаглушителни Устройства

Красимир НЕДЕЛЧЕВ¹, Росен РУСАНОВ²

Технически Университет – София, катедра „Механика“,

¹krasined@tu-sofia.bg

²krasined@tu-sofia.bg

1. Увод

Естествената вентилация на жилищните и промишлени помещения не може да покрие съвременните хигиенни изисквания за качество на въздуха в помещенията, което налага използването на принудителна вентилация на помещенията [6, 7, 8]. За изпълнението на съвременните хигиенни изисквания е необходимо поставянето на добра вентилационна система, която да осигурява достатъчно количество свеж въздух в помещенията и съответно да отвежда отработения въздух от тях. Организирането на необходимият дебит за добра вентилация в повечето случаи води до повишаване на нивото на шума предизвикано от движението на въздуха във вентилационната система. Това налага използването на шумозаглушители устройства за да се намали нивото на шума до допустимите стойности за съответния вид помещение. За постигане на необходимите нива на шума във вентилираните помещения е необходимо да се постави шумозаглушително устройство с подходящи характеристики [1÷5].

Целта на настоящата работа е да се представи основен алгоритъм за работа при проектиране на шумозаглушителни устройства за вентилационни системи.

2. Моделиране на изследвания обект

2.1. Алгоритмът за моделиране и числено изследване на шумозаглушителни устройства

Численото изследване се реализира в COMSOL Multiphysics /Structural Mechanics Module and Acoustics Module/[9]. Изследването на модела може да се реализира с различни видове модели отразяващи физическата същност на изследваният обект, както и да се приложат различни видове анализи върху използвания модел в зависимост от поставената задача.

Алгоритмът за моделиране и числено изследване на шумозаглушителни устройства може да се опише със следните основни стъпки:

1. Дефиниране на целта и задачите на изследването;
 - 1.1. Определяне на необходимото ниво на редукция на шума;
 - 1.2. Определяне на спектъра на шума на източника (разпределението на шума по терцооктави);
 - 1.3. Задаване на максималните размери на шумозаглушителното устройство;
 - 1.4. Определяне на вида на източника на шум: механичен или аеродинамичен;
2. Избор на обект за изследване;
 - 2.1. В зависимост от принципа на действие на шумозаглушителя
 - 2.1.1. Резонаторен;
 - 2.1.2. Реактивен;
 - 2.1.3. Пасивен;
 - 2.1.4. Активен;
 - 2.1.5. Комбиниран;
 - 2.2. В зависимост от напречното сечение
 - 2.1.1. Кръгло;
 - 2.1.2. Правоъгълно;
 - 2.1.3. С друга форма;
3. Дефиниране на модела на обекта.
 - 3.1. Скициране на обекта за моделиране.
 - 3.2. Избор на размерност на модела: 3D, 2D axisymmetric или 2D;
 - 3.3. Избор на вида на основните елементи изграждащи модела: твърдотелни, твърдотелни с отвори, обемни или тип черупка /отчитане влиянието на характеристиките на структурата обекта върху характеристиките на шумозаглушителя: Pressure Acoustics или Acoustic-Structure Interaction/;
 - 3.4. Определяне на изследваните параметри и алгоритъма на параметризиране, които са съобразени с поставената задача;
 - 3.5. Изграждане на параметричен модел на шумозаглушителя;
 - 3.6. Дефиниране на променливи;
 - 3.7. Дефиниране на функции;
 - 3.8. Дефиниране на връзките между обектите;
 - 3.9. Дефиниране на групи от обекти с еднакви и/или специфични свойства;
 - 3.10. Дефиниране на материалните характеристики на обектите в модела;
 - 3.10.1. Материални характеристики на основната среда /въздух, газ, течност и др./;
 - 3.10.2. Материални характеристики на абсорбиращият материал, ако има такъв /минерална вата, каменна вата и др./;
 - 3.10.3. Материални характеристики на структурата на обекта /стени, корпус и др./;
 - 3.11. Дефиниране на източниците на акустично въздействие /Acoustics Source/;

- 3.12. Дефиниране на зоните на измерване на изменение на акустичното въздействие /Acoustics Receiver's/: точка, линия, повърхност или обем;
- 3.13. Дефиниране на предавателни функции /Sound Transmission Loss/;
- 3.14. Дефиниране на мрежа
 - 3.13.1. User-controlled mesh;
 - 3.13.2. Physics-controlled mesh;
- 3.15. Дефиниране на честотен обхват
- 4. Избор на вида на структурата на модела.
 - 4.1. Pressure Acoustics
 - 4.2. Acoustic-Structure Interaction
 - 4.3. Aeroacoustics
 - 4.4. Thermoviscous Acoustics
- 5. Избор на вида на анализа за изследване
 - 5.1. Eigenfrequency
 - 5.2. Frequency Domain
 - 5.3. Frequency Domain Modal
 - 5.4. Time Dependent
- 6. Обработка на резултатите от изследването.
 - 6.1. Звуково налягане;
 - 6.2. Ниво на звуково налягане;
 - 6.3. Напрежение при структурно-акустичните анализи
 - 6.4. Деформации при структурно-акустичните анализи
- 7. Изследване на влиянието на параметрите върху акустичните показатели на шумозаглушителя /оптимизация/
 - 7.1. Избор на оптимизационни параметри;
 - 7.2. Избор на оптимизирани параметри;
 - 7.3. Избор на алгоритъм за оптимизиране;
- 8. Верификация на резултатите от изследването
 - 8.1. С експериментално изследване;
 - 8.2. С данни от други предходни изследвания;
 - 8.3. Чрез сравняване с резултати от утвърдени аналитични зависимости.

2.2. Числено изследване на шумозаглушаващите характеристики на шумозаглушител

За численото изследване се използва пасивен шумозаглушител с правоъгълно напречно сечение с еднаква ширина на въздушната междина и дебелина на пластините. Моделирането е реализирано с 2D модел в среда на COMSOL Multiphysics®.

1. **Целта на** изследването е да се определят размерите на шумозаглушителя осигуряващи необходимото ниво на шумозаглушаване;
 - 1.1. Определяне на необходимото ниво на редукция на шума: $\Delta L_{Trr} = 40 \text{ dB}$;
 - 1.2. Определяне на спектъра на шума на източника (разпределението на шума по терцооктави): *определя се от източника на шум*;
 - 1.3. Задаване на максималните размери на шумозаглушителното устройство: ;
 - 1.4. Определяне на вида на източника на шум: *механичен*;

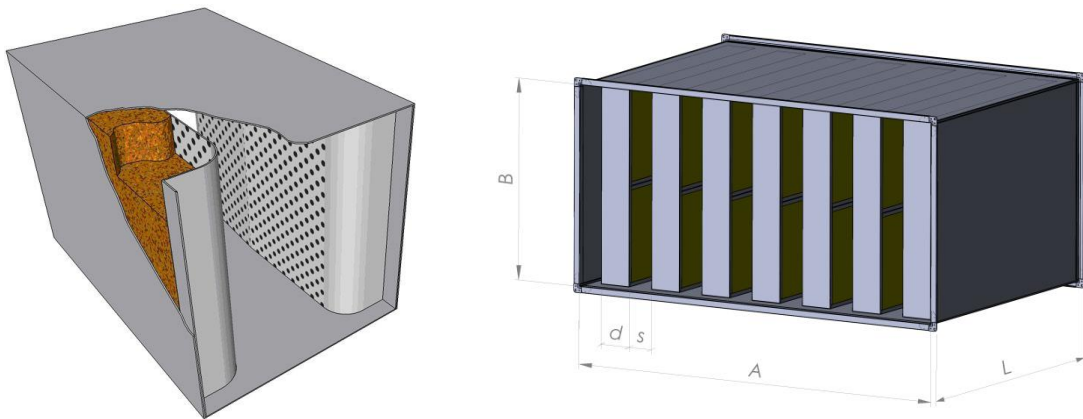


Fig. 1. Шумозаглушител с правоъгълно напречно сечение [6, 7]

където A – широчина на шумозаглушителя, [m];

B – височина на шумозаглушителя, [m];

L – дължина на шумозаглушителя, [m];

d – дебелина на пластините на шумозаглушителя, [m];

s – ширина на въздушните отвори на шумозаглушителя, [m].

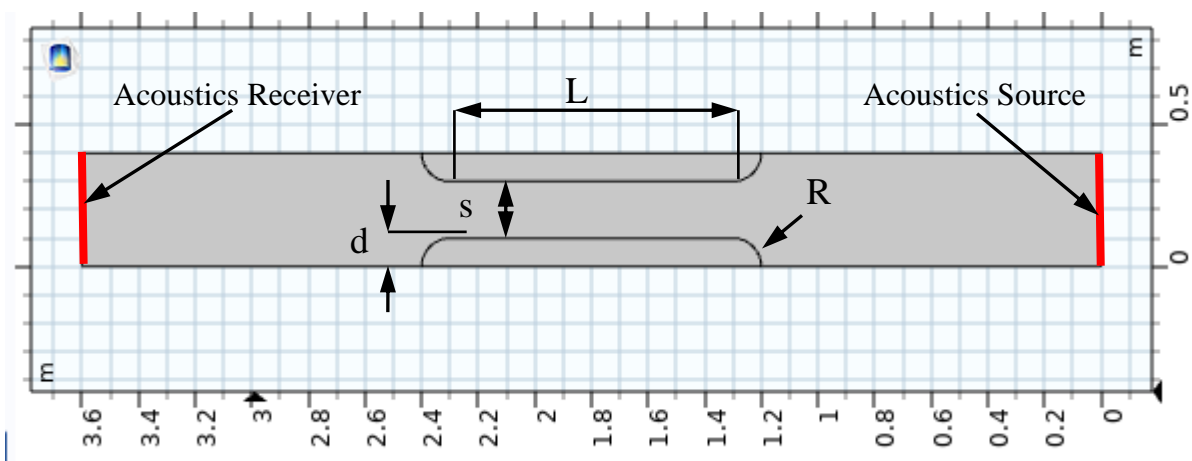


Fig. 2. Секция на модел на шумозаглушител с правоъгълно напречно сечение.

2. Избор на обект за изследване: пасивен шумозаглушител с правоъгълно напречно сечение с еднаква ширина на въздушната междина и дебелина на пластините;
3. Дефиниране на модела на обекта.
 - 3.1. Скициране на обекта за моделиране /фиг.2/.
 - 3.2. Избор на размерност на модела: $2D$;
 - 3.3. Избор на вида на основните елементи изграждащи модела: твърдомелни /Pressure Acoustics/;
 - 3.4. Определяне на изследваните параметри /фиг.2/:
 - $B = 1 \text{ m}$ – височина на шумозаглушителя;
 - $L = L_{sil} = 0,4:0,4:2,4 \text{ m}$ – дължина на шумозаглушителя;
 - $d = 0,2 \text{ m}$ – дебелина на пластините на шумозаглушителя;
 - $d = 0,2:0,1:0,4 \text{ m}$ – дебелина на пластините на шумозаглушителя за $L_{sil} = 1,2 \text{ m}$;

$s = 0,2 \text{ m}$ – ширина на въздушните отвори на шумозаглушителя;
 $R = 0,1 \text{ m}$ – радиус на пластините на шумозаглушителя.

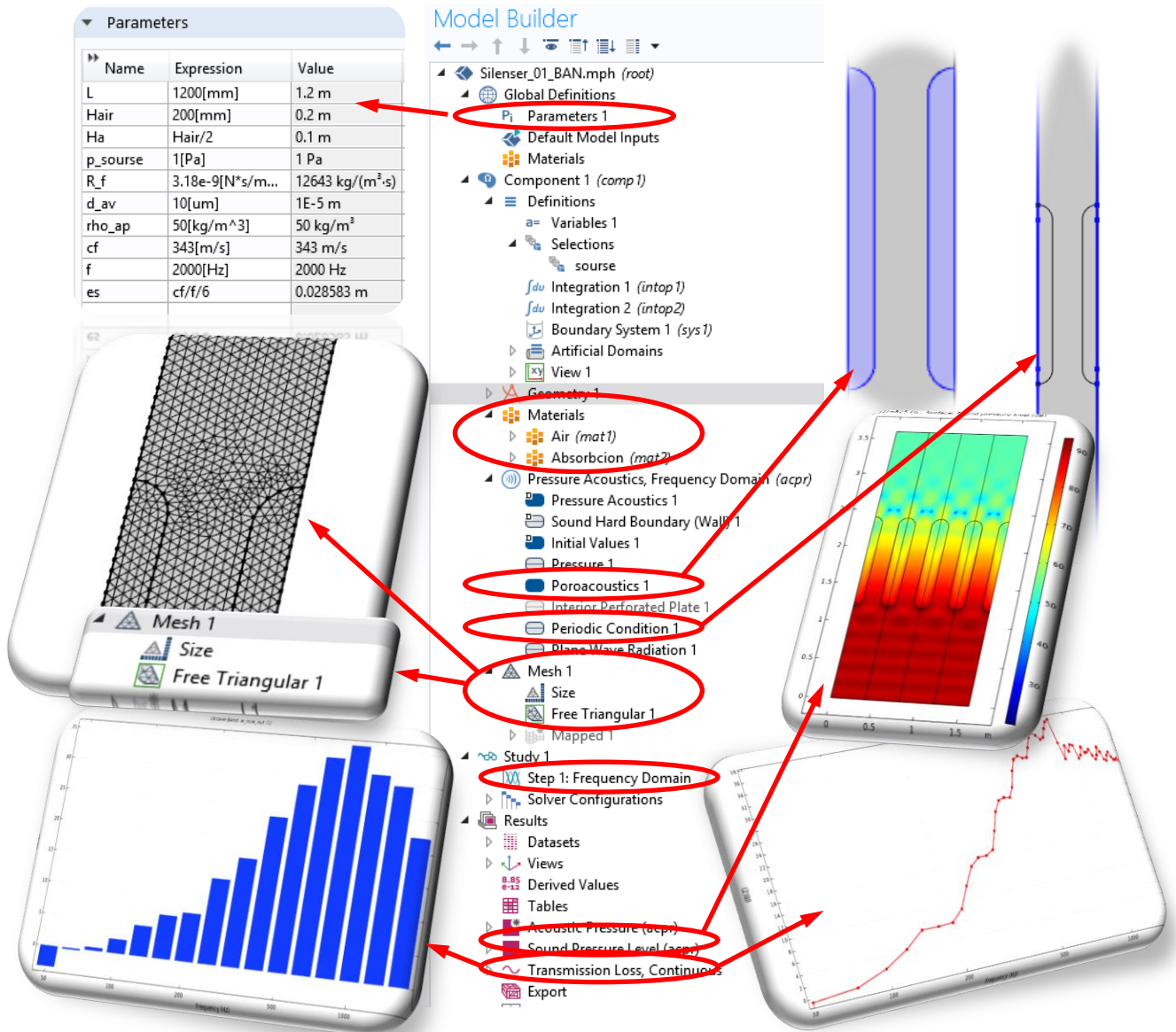


Fig. 3. Структура на дървото на модел на шумозаглушителя

- 3.5. Изграждане на параметричен модел на шумозаглушителя/фиг.2/;
- 3.6. Дефиниране на променливи;
- 3.7. Дефиниране на функции;
- 3.8. Дефиниране на групи от обекти с еднакви и/или специфични свойства;
- 3.9. Дефиниране на материалните характеристики на обектите в модела;
 - i. Материални характеристики на основната среда: въздух;
 - ii. Материални характеристики на абсорбиращия материал: минерална вата;
- 3.10. Дефиниране на източниците на акустично въздействие /Acoustics Source/: линия,
Pressure, P = 1 Pa;

- 3.11. Дефиниране на зоните на измерване на изменение на акустичното въздействие /Acoustics Receiver/: *линия, Plane Wave Radiation*;
- 3.12. Дефиниране на предавателни функции /Sound Transmission Loss/;
- 3.13. Дефиниране на мрежа:
 User-controlled mesh: вид на мрежата: Free Triangular;
 Максимална стойност на елемента: 0.028583 [m];
 Минимална стойност на елемента: 5.4E-4 [m];
- 3.14. Дефиниране на честотен обхват: 50:25:1500 Hz;
4. Избор на вида на структурата на модела: *Pressure Acoustics*
5. Избор на вида на анализа за изследване: *Frequency Domain*
6. Обработка на резултатите от изследването: *Ниво на звуково налягане по терцооктави*;
7. Изследване на влиянието на параметрите върху акустичните показатели на шумозаглушителя /оптимизация/
 7.1.Избор на критерий за оптималност: ΔL_{Trr} ;
- 7.2.Избор на управляващ параметър: s;
- 7.3.Избор на метод за оптимизация;
8. Верификация на резултатите от изследването: чрез сравняване с резултати от утвърдени аналитични зависимости.

3. Резултати от изследването

Резултатите от направените числени изследвания са представени в таблици 1 и 2, а на фиг.4 и 5 са показани графиките на изменение на нивото на звуково налягане при изменение на два характерни параметъра на устройството (дължина на шумозаглушителя и дебелина на пластините на шумозаглушителя).

Table 1. Ниво на звуково налягане при различни дължини на шумозаглушителя

№	f _{octave} , Hz	Lsil , mm						
		400	800	1200	1600	2000	2200	2400
1	50.12	-2.13	-2.44	-3.22	-3.70	-3.18	-2.63	-2.06
2	63.10	-0.18	-0.62	-0.25	0.05	-0.12	-0.01	0.38
3	79.43	-1.01	-0.64	0.53	1.21	1.34	1.27	1.35
4	100.00	-0.10	1.95	2.19	2.81	4.15	4.55	4.75
5	125.89	2.61	3.55	4.69	6.29	7.33	8.08	8.88
6	158.49	3.29	4.40	6.71	8.51	10.57	11.56	12.53
7	199.53	1.35	4.56	7.42	10.41	13.44	14.96	16.50
8	251.19	4.64	8.79	13.13	17.58	22.07	24.34	26.61
9	316.23	4.91	10.80	16.67	22.60	28.61	31.64	34.69
10	398.11	7.43	15.46	23.48	31.56	39.70	43.80	47.90
11	501.19	8.82	18.80	28.80	38.87	48.99	54.07	59.16
12	630.96	10.96	22.12	33.38	44.66	55.95	61.60	67.25
13	794.33	12.48	24.10	35.53	46.97	58.40	64.12	69.84
14	1000.00	9.61	20.48	31.31	42.15	53.00	58.43	63.86
15	1258.93	9.62	19.73	29.81	39.91	50.02	55.08	60.15
16	1584.89	3.04	12.66	22.25	31.84	41.43	46.22	51.02

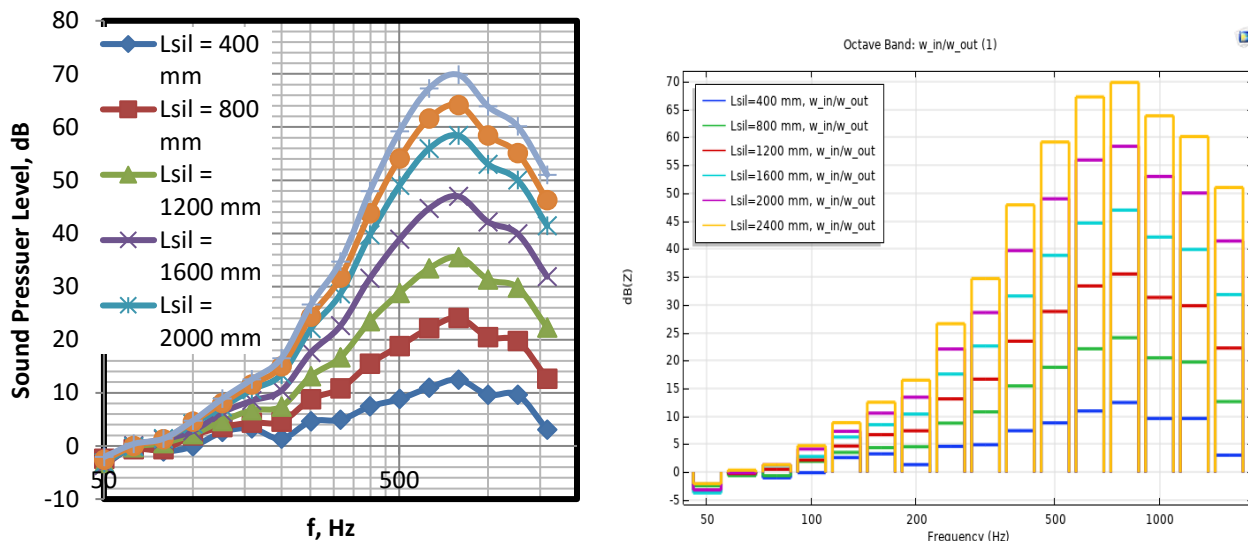


Fig. 4. Графика на изменение на ниво на звуково налягане при различни дължини на шумозаглушителя, по терцооктави

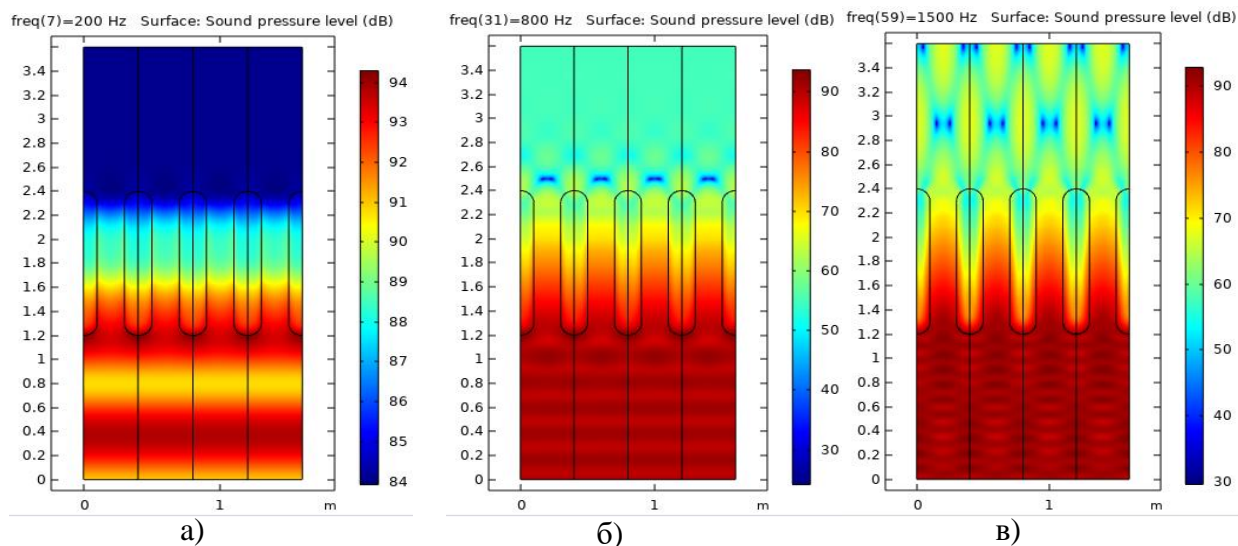


Fig. 5. Разпределение на нивото на звуково налягане в конструкцията на шумозаглушителя при няколко терцооктавни честоти: а) 200 Hz; б) 800 Hz; в) 1500 Hz.

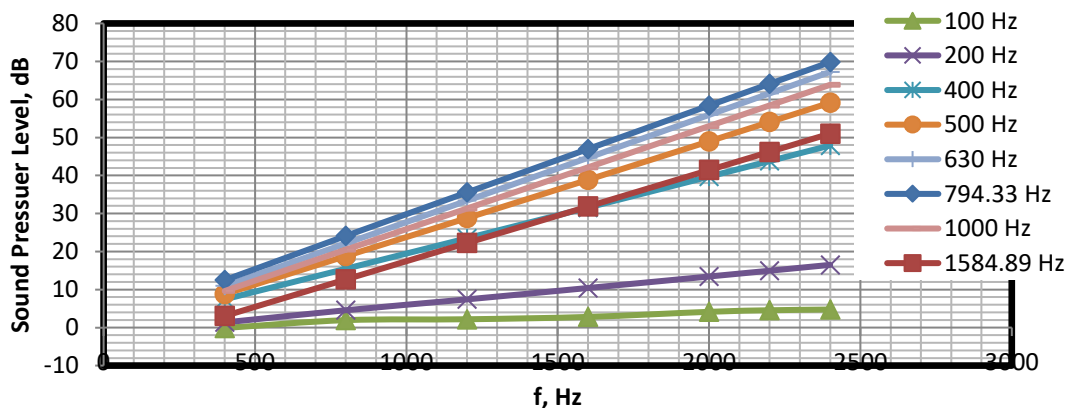


Fig. 6. Графика на изменение на ниво на звуково налягане при изменение на дължината на шумозаглушителя, за няколко терцооктави.

Table 2. Ниво на звуково налягане при различни ширина на въздушните отвори /дебелина на пластините/ на шумозаглушителя

№	f _{octave} , Hz	Lsil/d , mm			
		1200/100	1200/200	1200/300	1200/400
1	50.12	-3.76	-3.22	-2.52	-1.89
2	63.10	-0.69	-0.25	0.25	0.60
3	79.43	-0.06	0.53	1.21	1.66
4	100.00	0.98	2.19	3.62	4.53
5	125.89	2.93	4.69	6.31	6.72
6	158.49	4.13	6.71	8.41	8.16
7	199.53	4.35	7.42	8.66	7.63
8	251.19	8.58	13.13	13.70	11.59
9	316.23	11.68	16.67	15.30	12.27
10	398.11	17.75	23.48	18.99	16.18
11	501.19	24.05	28.80	21.34	14.19
12	630.96	32.57	33.38	20.86	15.42
13	794.33	42.85	35.53	20.50	15.45
14	1000.00	55.39	31.31	20.46	12.33
15	1258.93	71.10	29.81	16.79	9.46
16	1584.89	72.99	22.25	7.89	1.23

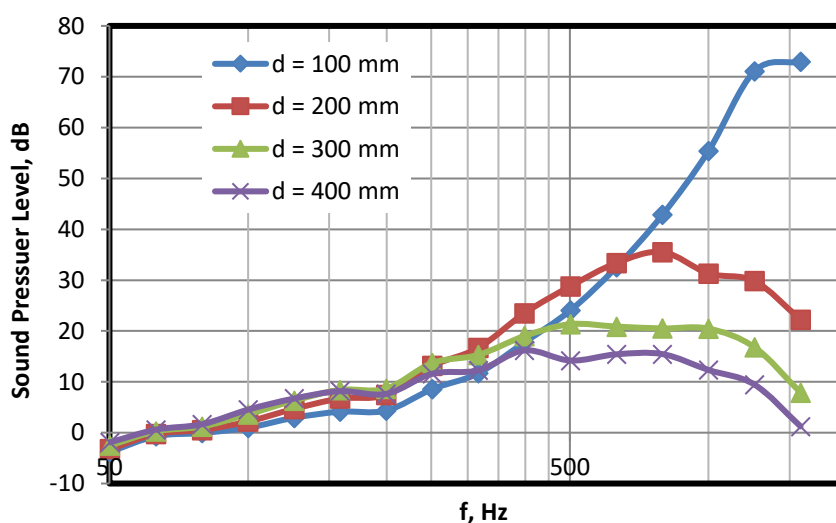


Fig. 7. Графика на изменение на ниво на звуково налягане при различни ширина на въздушните отвори /дебелина на пластините/ на шумозаглушителя, при различните терцооктави.

От фиг. 4 и таблица 1 се вижда, че при увеличаване на дължината на устройството се увеличава ефективността на шумозаглушаване, като най-голяма ефективност се получава при терцооктавна лента 794 Hz. При една и съща дължина на пластините и ширина на въздушните отвори на шумозаглушителя, най-висока ефективност се получава винаги при една и съща честота на терцооктавната лента.

На фиг. 6 се вижда че изменението на дължината на шумозаглушителя води до линейно изменение на нивото на шумо заглушаване по отделните терцооктави. При честоти от 400 Hz и повече скоростта на нарастване е по-висока от тази при ниските честоти и е приблизително една и съща.

Изменението на нивото на звуково налягане при изменение на дебелината на пластините и ширина на въздушните отвори на шумозаглушителя е показано на фиг.7 (таблица 2). От фигурата се вижда, че при увеличаване на разстоянието между въздушните отвори се намалява ефективността на шумозаглушаване. Едновременно с това се получава измества максимума на ефективността на шумозаглушаване, към ниските честоти.

4. Заключение

Въз основа на направения на резултатите от изследванията можем да направим следните изводи:

- при увеличаване на дължината на устройството се увеличава ефективността на шумозаглушаване (таблица 1 и фиг.4);
- при увеличаване на разстоянието между надлъжните пластини се намалява ефективността на шумозаглушаване (таблица 2 и фиг.7);
- при увеличаване на разстоянието между надлъжните пластини се измества максимума на ефективността на шумозаглушаване, към ниските честоти (таблица 2 и фиг.7);
- Чрез подходящ избор на конструктивен параметър, може да се променя изменението на еквивалентно ниво на звуково налягане след шумозаглушителното устройство /преграда/ за необходимият ни честотен интервал.
- чрез модела може да се изследва влиянието на материалните и конструктивните характеристики на елементите, върху изменението на нивото на звуковото налягане след шумозаглушителното устройство /преграда/.

Acknowledgments

This paper is carry out of project BG05M2OP001-1.001-0008 “National Center for Mechatronics and Clean Technologies”.

References/Литература

1. Aaron Grey, Induct dissipative bar-silencer design, Thesis, Department of Mechanical Engineering University of Canterbury Christchurch, New Zealand, 2004
2. Sabry Allam, Mats A°bom, Fan Noise Control Using Microperforated Splitter Silencers, Journal of Vibration and Acoustics, DOI: 10.1115/1.4027245, 2014
3. Antonio Petosic, Sanja Grubesa, Mia Suhaneck*, Ivan Djurek, Acoustic Performance of Parallel Baffled Silencers Different Configurations in HVAC Channel, Engineering and Applied Sciences, doi: 10.11648/j.eas.20180303.14, 2018.
4. Kralov, I., Nedelchev, K., Lowering the noise level in the transport flows through reduction of the traffic barrier reflected noise, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 618(1),012051, 2019
5. Gieva, E., Ruskova, I., Nedelchev, K., Kralov, I., An investigation of the influence of the geometrical parameters of a passive traffic noise barrier upon the noise reduction response, AIP Conference Proceedings, 2048,020020, 2018.
6. <https://tlumiki.smay.pl/lang,EN>
7. <https://continuingeducation.bnppmedia.com/courses/kinetics-noise-control/noise-reduction-in-hvac-duct-systems/7/>
8. <https://noisecontrol.vibro-acoustics.com/wp-content/uploads/Silencer-Selection-Instructions.pdf>
9. Introduction to the Acoustics Module, Version: COMSOL 5.4, COMSOL, 2018.