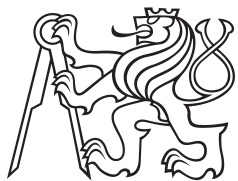


Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická

Modelování ozvučení pomocí reproduktorových sloupů

Matěj Hužvár

Školitel: Dr. Ing. Libor Husník
Srpen 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hužvár** Jméno: **Matěj** Osobní číslo: **474238**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra radioelektroniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Modelování ozvučení pomocí reproduktorových sloupů

Název bakalářské práce anglicky:

Modeling of Sound Reinforcement which Uses Line Arrays

Pokyny pro vypracování:

Pro různé typy geometrií liniových zářičů namodelujte ozvučení velkých poslechových prostor v různých kmitočtových pásmech. Diskutujte jejich umístění v prostoru, možnosti co nejrovnoměrnějšího pokrytí zvukem v příslušném kmitočtovém pásmu.

Seznam doporučené literatury:

- [1] HEIL, Christian a Marcel URBAN. Sound Fields Radiated by Arrayed Multiple Sound Sources. Presented at 92nd Convention. Vienna, 1992.
- [2] STRAUBE, Florian, Frank SCHULTZ, David BONILLO a Stefan WEINZERL. An Analytical Approach for Optimizing the Curving of Line Source Arrays. Journal of the Audio Engineering Society [online]. 2018, 66(1/2), 4-20 [cit. 2020-02-10]. DOI: 10.17743/jaes.2017.0043. ISSN 15494950. Dostupné z: <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=19372>
- [3] URBAN, Marcel, Christian HEIL a Paul BAUMAN. Wavefront Sculpture Technology. Presented at 111nd Convention. New York, NY, USA, 2001.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Dr. Ing. Libor Husník, katedra radioelektroniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **12.02.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14.08.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

Dr. Ing. Libor Husník
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Josef Dobeš, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Dr. Ing. Liboru Husníkovi za vedení práce, poskytnutí odborné literatury a rady a připomínky k formě i obsahu práce.

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

Abstrakt

Práce *Modelování ozvučení pomocí reproduktorových sloupů* se zabývá vytvořením a zkoumáním modelu chování zvuku šířeného ze soustavy line array reproduktorů ve velkém prostoru. Zkoumán je zejména vliv tvarování sloupu na šíření zvuku. Pro modelování je použito prostředí MATLAB.

Klíčová slova: šíření zvuku, soustava zdrojů, reproduktory, line array, MATLAB

Školitel: Dr. Ing. Libor Husník
Katedra radioelektroniky K13137
Fakulta Elektrotechnická, ČVUT v Praze

Abstract

The *Modeling of Sound Reinforcement which Uses Line Arrays* thesis is based around creating and studying a model of sound propagated from a line array speaker system in a large space. Important subject of study is how shaping the speaker array influences sound propagation. MATLAB environment is used for modelling purposes.

Keywords: sound propagation, source array, speakers, line array, MATLAB

Title translation: Modeling of Sound Reinforcement which Uses Line Arrays

Obsah

1 Použitá teorie	3
1.1 Matematický aparát	3
1.2 Fyzikální zákonitosti	4
2 Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem	7
2.1 Přímé vlny	8
2.2 Tvarování sloupu reproduktorů .	16
2.2.1 Konstantní prohnutí	16
2.2.2 Progresivní prohnutí	22
2.2.3 Prohnutí tvaru J	28
2.3 Započítání odrazů od stěn	34
2.3.1 Konstantní prohnutí	35
2.3.2 Progresivní prohnutí	40
2.3.3 Prohnutí J	46
3 Model prostoru se dvěma reproduktorovými sloupy	53
3.0.1 Konstantní prohnutí	54
3.0.2 Progresivní prohnutí	59
3.0.3 Prohnutí J	65
3.1 Srovnání výsledků	71
3.1.1 Vodorovné hlediště	71
3.1.2 Nakloněné rovné hlediště	73
3.1.3 Rovné hlediště se zlomem	74
3.1.4 Parabolické hlediště	76
3.2 Vykreslení šíření zvuku v rovině	78
3.2.1 Vodorovné hlediště	80
3.2.2 Hlediště tvaru amfiteátru	85
3.2.3 Rovinné hlediště se zlomem	90
3.2.4 Parabolické hlediště	95

Obrázky

2.1 Tvary prostoru pro publikum	7
2.2 Sloup reproduktorů před jeho tvarováním	8
2.3 Zasazení sloupu do prostoru s rovným nakloněným hledištěm	10
2.4 Šíření zvuku z rovného sloupu nad rovným povrchem, 20 Hz	10
2.5 Šíření zvuku z rovného sloupu nad rovným povrchem, 200 Hz	10
2.6 Šíření zvuku z rovného sloupu nad rovným povrchem, 2 kHz	11
2.7 Šíření zvuku z rovného sloupu nad rovným povrchem, 20 kHz	11
2.8 Šíření zvuku z rovného sloupu nad nakloněným povrchem, 20 Hz	11
2.9 Šíření zvuku z rovného sloupu nad nakloněným povrchem, 200 Hz . . .	12
2.10 Šíření zvuku z rovného sloupu nad nakloněným povrchem, 2 kHz	12
2.11 Šíření zvuku z rovného sloupu nad nakloněným povrchem, 20 kHz	12
2.12 Šíření zvuku z rovného sloupu nad lomeným povrchem, 20 Hz . . .	13
2.13 Šíření zvuku z rovného sloupu nad lomeným povrchem, 200 Hz . .	13
2.14 Šíření zvuku z rovného sloupu nad lomeným povrchem, 2 kHz . . .	14
2.15 Šíření zvuku z rovného sloupu nad lomeným povrchem, 20 kHz . .	14
2.16 Šíření zvuku z rovného sloupu nad parabolickým povrchem, 20 Hz	14
2.17 Šíření zvuku z rovného sloupu nad parabolickým povrchem, 200 Hz	15
2.18 Šíření zvuku z rovného sloupu nad parabolickým povrchem, 2 kHz	15
2.19 Šíření zvuku z rovného sloupu nad parabolickým povrchem, 20 kHz	15
2.20 Sloup reproduktorů při konstantním prohnutí	16
2.21 Šíření zvuku nad rovným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 Hz	17
2.22 Šíření zvuku nad rovným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 200 Hz	17
2.23 Šíření zvuku nad rovným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 2 kHz	17
2.24 Šíření zvuku nad rovným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 kHz	18
2.25 Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 Hz	18
2.26 Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 200 Hz	18
2.27 Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 2 kHz	19
2.28 Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 kHz	19
2.29 Šíření zvuku nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 Hz	19
2.30 Šíření zvuku nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 200 Hz	20
2.31 Šíření zvuku nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 2 kHz	20
2.32 Šíření zvuku nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 kHz	20
2.33 Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 Hz	21
2.34 Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 200 Hz	21
2.35 Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 2 kHz	21
2.36 Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 kHz	22
2.37 Sloup reproduktorů při progresivním prohnutí	22

2.38 Šíření zvuku nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz	23	2.53 Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz	28
2.39 Šíření zvuku nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz	23	2.54 Sloup reproduktorů při prohnutí do tvaru J	28
2.40 Šíření zvuku nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz	23	2.55 Šíření zvuku nad rovným povrchem, prohnutí J, 20 Hz	29
2.41 Šíření zvuku nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz	24	2.56 Šíření zvuku nad rovným povrchem, prohnutí J, 200 Hz	29
2.42 Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz	24	2.57 Šíření zvuku nad rovným povrchem, prohnutí J, 2 kHz	29
2.43 Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz	24	2.58 Šíření zvuku nad rovným povrchem, prohnutí J, 20 kHz	30
2.44 Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz	25	2.59 Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 20 Hz	30
2.45 Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz	25	2.60 Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 200 Hz	30
2.46 Šíření zvuku nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz	25	2.61 Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 2 kHz	31
2.47 Šíření zvuku nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz	26	2.62 Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 20 kHz	31
2.48 Šíření zvuku nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz	26	2.63 Šíření zvuku nad lomeným povrchem, prohnutí J, 20 Hz	31
2.49 Šíření zvuku nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz	26	2.64 Šíření zvuku nad lomeným povrchem, prohnutí J, 200 Hz	32
2.50 Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz	27	2.65 Šíření zvuku nad lomeným povrchem, prohnutí J, 2 kHz	32
2.51 Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz	27	2.66 Šíření zvuku nad lomeným povrchem, prohnutí J, 20 kHz	32
2.52 Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz	27	2.67 Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 20 Hz	33
		2.68 Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 200 Hz	33
		2.69 Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 2 kHz	33
		2.70 Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 20 kHz	34
		2.71 Zasazení sloupu do prostoru s rovným nakloněným hledištěm	34
		2.72 Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz	35
		2.73 Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz	35

2.74 Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz	36	2.89 Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz	41
2.75 Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz	36	2.90 Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz	41
2.76 Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz	36	2.91 Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz	42
2.77 Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz	37	2.92 Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz	42
2.78 Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz	37	2.93 Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz	42
2.79 Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz	37	2.94 Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz	43
2.80 Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz	38	2.95 Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz	43
2.81 Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz	38	2.96 Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz	43
2.82 Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz	38	2.97 Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz	44
2.83 Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz	39	2.98 Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz	44
2.84 Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz	39	2.99 Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz	44
2.85 Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz	39	2.100 Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz	45
2.86 Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz	40	2.101 Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz	45
2.87 Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz	40	2.102 Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz	45
2.88 Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz	41	2.103 Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz	46

2.104 Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, prohnutí J, 20 Hz	46	3.1 Zasazení sloupů do prostoru s nakloněným rovinným hledištěm ..	53
2.105 Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, prohnutí J, 200 Hz	47	3.2 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz	54
2.106 Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, prohnutí J, 2 kHz	47	3.3 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz	54
2.107 Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, prohnutí J, 20 kHz	47	3.4 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz	55
2.108 Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 20 Hz	48	3.5 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz	55
2.109 Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 200 Hz	48	3.6 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz	55
2.110 Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 2 kHz	48	3.7 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz	56
2.111 Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 20 kHz	49	3.8 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz	56
2.112 Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, prohnutí J, 20 Hz	49	3.9 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz	56
2.113 Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, prohnutí J, 200 Hz	49	3.10 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz	57
2.114 Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, prohnutí J, 2 kHz	50	3.11 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz	57
2.115 Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, prohnutí J, 20 kHz	50	3.12 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz	57
2.116 Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 20 Hz	50	3.13 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz	58
2.117 Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 200 Hz	51	3.14 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz	58
2.118 Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 2 kHz	51	3.15 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz	58
2.119 Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 20 kHz	51		

3.16 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz	59	3.31 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz	64
3.17 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz	59	3.32 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz	64
3.18 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz	60	3.33 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz	65
3.19 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz	60	3.34 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, prohnutí J, 20 Hz	65
3.20 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz	60	3.35 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, prohnutí J, 200 Hz	66
3.21 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz	61	3.36 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, prohnutí J, 2 kHz	66
3.22 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz	61	3.37 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, prohnutí J, 20 kHz	66
3.23 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz	61	3.38 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 20 Hz	67
3.24 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz	62	3.39 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 200 Hz	67
3.25 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz	62	3.40 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 2 kHz	67
3.26 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz	62	3.41 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 20 kHz	68
3.27 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz	63	3.42 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, prohnutí J, 20 Hz	68
3.28 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz	63	3.43 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, prohnutí J, 200 Hz	68
3.29 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz	63	3.44 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, prohnutí J, 2 kHz	69
3.30 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz	64	3.45 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, prohnutí J, 20 kHz	69
		3.46 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 20 Hz	69

3.47 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 200 Hz	70	3.70 Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 20 Hz, konstantní prohnutí	80
3.48 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 2 kHz	70	3.71 Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 20 Hz, progresivní prohnutí	81
3.49 Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 20 kHz	70	3.72 Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 20 Hz, prohnutí J ..	81
3.50 Vliv tvarování sloupů, vodorovné hlediště, 20 Hz	71	3.73 Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 200 Hz, konstantní prohnutí	81
3.51 Vliv tvarování sloupů, vodorovné hlediště, 200 Hz	71	3.74 Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 200 Hz, progresivní prohnutí	82
3.52 Vliv tvarování sloupů, vodorovné hlediště, 2 kHz	72	3.75 Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 200 Hz, prohnutí J ..	82
3.53 Vliv tvarování sloupů, vodorovné hlediště, 20 kHz	72	3.76 Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 2 kHz, konstantní prohnutí	83
3.54 Vliv tvarování sloupů, nakloněné rovné hlediště, 20 Hz	73	3.77 Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 2 kHz, progresivní prohnutí	83
3.55 Vliv tvarování sloupů, nakloněné rovné hlediště, 200 Hz	73	3.78 Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 2 kHz, prohnutí J ..	83
3.56 Vliv tvarování sloupů, nakloněné rovné hlediště, 2 kHz	74	3.79 Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 20 kHz, konstantní prohnutí	84
3.57 Vliv tvarování sloupů, nakloněné rovné hlediště, 20 kHz	74	3.80 Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 20 kHz, progresivní prohnutí	84
3.58 Vliv tvarování sloupů, hlediště se zlomem, 20 Hz	75	3.81 Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 20 kHz, prohnutí J ..	85
3.59 Vliv tvarování sloupů, hlediště se zlomem, 200 Hz	75	3.82 Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 20 Hz, konstantní prohnutí	85
3.60 Vliv tvarování sloupů, hlediště se zlomem, 2 kHz	76	3.83 Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 20 Hz, progresivní prohnutí	86
3.61 Vliv tvarování sloupů, hlediště se zlomem, 20 kHz	76	3.84 Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 20 Hz, prohnutí J ..	86
3.62 Vliv tvarování sloupů, parabolické hlediště, 20 Hz	77	3.85 Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 200 Hz, konstantní prohnutí	86
3.63 Vliv tvarování sloupů, parabolické hlediště, 200 Hz	77	3.86 Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 200 Hz, progresivní prohnutí	87
3.64 Vliv tvarování sloupů, parabolické hlediště, 2 kHz	78		
3.65 Vliv tvarování sloupů, parabolické hlediště, 20 kHz	78		
3.66 Vodorovné hlediště	79		
3.67 Hlediště tvaru amfiteátru	79		
3.68 Rovinné hlediště se zlomem ...	79		
3.69 Parabolické hlediště	80		

3.87 Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 200 Hz, prohnutí J	87	3.103 Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 20 kHz, konstantní prohnutí	94
3.88 Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 2 kHz, konstantní prohnutí	88	3.104 Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 20 kHz, progresivní prohnutí	94
3.89 Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 2 kHz, progresivní prohnutí	88	3.105 Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 20 kHz, prohnutí J	95
3.90 Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 2 kHz, prohnutí J	88	3.106 Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 20 Hz, konstantní prohnutí	95
3.91 Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 20 kHz, konstantní prohnutí	89	3.107 Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 20 Hz, progresivní prohnutí	96
3.92 Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 20 kHz, progresivní prohnutí	89	3.108 Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 20 Hz, prohnutí J	96
3.93 Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 20 kHz, prohnutí J	90	3.109 Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 200 Hz, konstantní prohnutí	96
3.94 Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 20 Hz, konstantní prohnutí	90	3.110 Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 200 Hz, progresivní prohnutí	97
3.95 Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 20 Hz, progresivní prohnutí	91	3.111 Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 200 Hz, prohnutí J	97
3.96 Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 20 Hz, prohnutí J	91	3.112 Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 2 kHz, konstantní prohnutí	98
3.97 Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 200 Hz, konstantní prohnutí	91	3.113 Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 2 kHz, progresivní prohnutí	98
3.98 Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 200 Hz, progresivní prohnutí	92	3.114 Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 2 kHz, prohnutí J	98
3.99 Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 200 Hz, prohnutí J	92	3.115 Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 20 kHz, konstantní prohnutí	99
3.100 Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 2 kHz, konstantní prohnutí	93	3.116 Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 20 kHz, progresivní prohnutí	99
3.101 Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 2 kHz, progresivní prohnutí	93	3.117 Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 20 kHz, prohnutí J	100
3.102 Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 2 kHz, prohnutí J	93		

Tabulky



Úvod

Tato práce se zabývá modelováním a zkoumáním chování zvuku šířeného ze sloupu reproduktorů o různém zahnutí ve velkém prostoru. Modelování je prováděno pro různé tvary prostoru pro publikum.

Zkoumání vychází z předpokladu, že sloupovou soustavu reproduktorů lze aproximovat jako soustavu akustických vysílačů nultého řádu. Všechny zdroje jsou modelovány jako bodové zdroje a jejich poloměr je zanedbáván.

Zásadním cílem zkoumání je vliv prohnutí sloupu na šíření zvuku v prostoru, které je díky všesměrovosti zdrojů simulováno pouze polohou zdroje. Oproti reálným aplikacím, kde jsou zdroji směrové reproduktory, se tak problematika zjednodušuje o natočení reproduktorů.

Modelování zdrojů je prováděno v prostředí MATLAB, které umožňuje jednoduché a přehledné vykreslování i vícerozměrných grafů.

Kapitola 1

Použitá teorie

1.1 Matematický aparát

V práci se bude opakovaně objevovat počítání a vykreslování efektivních hodnot veličin, zejména akustického tlaku. Efektivní hodnotu veličiny lze získat obecně vztahem

$$x_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{(T)} x^2(t) dt}. \quad (1.1)$$

Pro harmonický průběh navíc platí

$$x_{\text{ef}} = \frac{x_m}{\sqrt{2}}. \quad (1.2)$$

Důkaz. Mějme frekvenci harmonického signálu $f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$, jeho amplitudu x_m a fázový posun ϕ . Pak platí

$$\begin{aligned} x_{\text{ef}} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_{(T)} x_m^2 \sin^2(\omega t + \phi) dt} \\ &= x_m \sqrt{\frac{1}{T\omega} \int_{(T)} \sin^2(u) du} \\ &= x_m \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{(T)} \frac{1 - \cos(2u)}{2} du} \\ &= x_m \sqrt{\frac{1}{4\pi} \left(\left[\frac{2\pi}{T} t + \phi \right]_0^T + \left[\frac{\sin(\frac{4\pi}{T} t + \phi)}{2} \right]_0^T \right)} \\ &= x_m \sqrt{\frac{1}{4\pi} (2\pi + 0)} \\ &= \frac{x_m}{\sqrt{2}}. \quad \square \end{aligned}$$

Přístup k modelování je založen na vlnové akustice a je tedy nutné pro získání vztahu pro šíření zvuku řešit vlnovou rovnici, která je pro modelovanou situaci ve tvaru homogenní lineární obyčejné diferenciální rovnice druhého řádu s konstantními koeficienty ve tvaru

$$\frac{d^2 f}{dx^2}(x) + af(x) = 0, \quad (1.3)$$

kde $a > 0$. Řešením takové rovnice bude

$$f(x) = Ae^{\hat{i}\sqrt{a}x} + Be^{-\hat{i}\sqrt{a}x}, \quad (1.4)$$

kde $A, B \in \mathbb{R}$.

Důkaz. Výpočet spočívá v nalezení charakteristického polynomu a nalezení vlastních čísel λ rovnice.

$$\lambda^2 + a = 0 \Rightarrow \lambda_{1,2} = \pm \hat{i}\sqrt{a}$$

S pomocí vlastních čísel je získáno obecné řešení.

$$f(x) = Ae^{\lambda_1 x} + Be^{\lambda_2 x} = Ae^{\hat{i}\sqrt{a}x} + Be^{-\hat{i}\sqrt{a}x}$$

□

1.2 Fyzikální zákonitosti

Protože jednotlivé reproduktory budou v modelu považovány za bodové zdroje, je pro výpočet šíření akustického tlaku z každého zdroje použit vztah získaný řešením vlnové rovnice pro kulovou vlnu definovanou v [1] jako

$$\frac{d^2 \psi |\vec{r}|}{d|\vec{r}|^2} + k^2 \psi |\vec{r}| = 0, \quad (1.5)$$

kde $k = \frac{\omega}{c_0}$ je vlnové číslo a ψ je amplituda rychlostního potenciálu Φ . Protože se jedná o rovnici stejného typu jako 1.3, bude zjevně jejím řešením

$$\psi(\vec{r})|\vec{r}| = Ae^{ik|\vec{r}|} + Be^{-ik|\vec{r}|}. \quad (1.6)$$

Po dosazení do vzorce pro rychlostní potenciál z [1] je získán vztah

$$\Phi(\vec{r}, t)|\vec{r}| = Ae^{\hat{i}(\omega t + k|\vec{r}|)} + Be^{\hat{i}(\omega t - k|\vec{r}|)}. \quad (1.7)$$

Konstanty A a B ve vztahu vyjadřují amplitudy vln postupující směrem ke zdroji a od zdroje ve vzdálenosti 1 m od zdroje. Při modelování je přijímán předpoklad že se vlny šíří směrem od zdroje a platí tedy $A = 0$. Vztah 1.7 je tak upraven do tvaru

$$\Phi(\vec{r}, t) = \frac{B}{|\vec{r}|} e^{\hat{i}(\omega t + k|\vec{r}|)}. \quad (1.8)$$

Akustický tlak je pak z Φ získán dosazením do vztahu

$$p(\vec{r}, t) = -\rho \frac{\partial \Phi}{\partial t}(\vec{r}, t) = -\hat{i}\omega \rho \frac{B}{|\vec{r}|} e^{\hat{i}(\omega t + k|\vec{r}|)} \quad (1.9)$$

podle [2], kde ρ je hustota prostředí. Pro potřeby zjednodušení modelu je arbitrárně určena konstanta B tak, aby byl vztah normovaný a amplituda tlaku ve vzdálenosti 1 m od středu zdroje byla rovna 1 Pa, tedy $B = \frac{1}{\rho\omega}$. Vztah 1.9 předpokládá, že zdroj se nachází ve středu souřadného systému, což pro model není vyhovující, protože je modelováno několik zdrojů v různých polohách. Vztah je tedy upraven na tvar

$$p(\vec{r}, t) = \frac{-\hat{i}}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} e^{\hat{i}(\omega t - k|\vec{r} - \vec{r}_0|)}, \quad (1.10)$$

kde \vec{r}_0 je poloha zdroje.

Všechny grafy akustického tlaku v budou vykreslovány v logaritmické veličině hladiny akustického tlaku pomocí vztahu

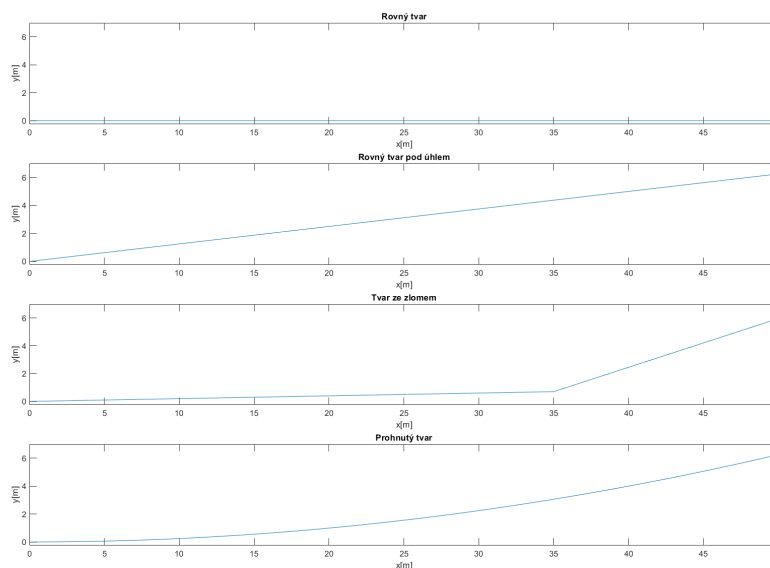
$$L_p = 20 \cdot \log \frac{p_{\text{ef}}}{p_0} \quad (1.11)$$

definovaného v [2]. p_0 ve vztahu vyjadřuje referenční hodnotu akustického tlaku, která je rovna 20 μPa .

Kapitola 2

Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem

Model byl nejprve realizován pro šíření přímo od zdroje k publiku pro různé tvary prostoru pro publikum. Grafy vykreslované v průběhu vytváření modelu jsou grafy úrovní akustického tlaku v řezu středem místnosti v přibližné výšce posluchače, tedy v 1.5 m nad podlahou posluchárny. Odrazy zvuku od podlahy jsou zanedbávány. V obrázku 2.1 jsou zobrazeny řezy prostor, tedy linie podlah nad kterými jsou další grafy vykreslovány.



Obrázek 2.1: Tvary prostoru pro publikum

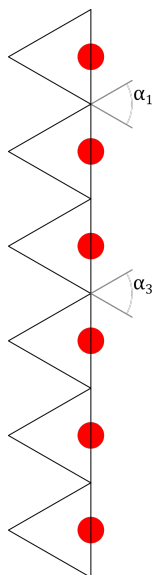
2.1 Přímé vlny

Akustický tlak v libovolném bodě \vec{r} pro soustavu bodových zdrojů lze superpozicí zdrojů podle vztahu 1.10 získat vztahem

$$p(\vec{r}, t) = \sum_{i=1}^n p_i(\vec{r}, t), \quad (2.1)$$

kde n je počet zdrojů, v případě použitého modelu 6. Vztah 2.1 lze použít pouze pro modelování šíření ve volném poli, kde nedochází k odrazům. Pro zkoumaný model je zatím přijímán předpoklad, že modelovaný prostor se jako volný chová a odrazy jsou tedy zanedbány.

V obrázku 2.2 je pohled na reproduktorový sloup tak, jak je modelován před zkoumáním vlivu jeho tvarování. Samotné bodové zdroje jsou vyznačeny červeně, α_1 a α_3 jsou pak splay úhly mezi jednotlivými zdroji. Vzájemná vzdálenost zdrojů je stejná pro všechny případy a je rovna 0.4 m.



Obrázek 2.2: Sloup reproduktorů před jeho tvarováním

Výpočet v Matlabu je popsán v následujícím skriptu. Funkce `source2d` ve skriptu je čistý přepis vztahu 1.9 pro dvojrozměrný případ do syntaxe Matlabu. Funkce `aline` generuje křivku, ve které je šíření počítáno. Konstanty, na které je odkazováno, ale nejsou při výpočtech měněny, jsou pro zpřehlednění kódu definovány v jiném souboru. Funkce `positions` slouží k nastavení poloh jednotlivých zdrojů. Argument `0` určuje, že se jedná o rovný reproduktorový sloup.

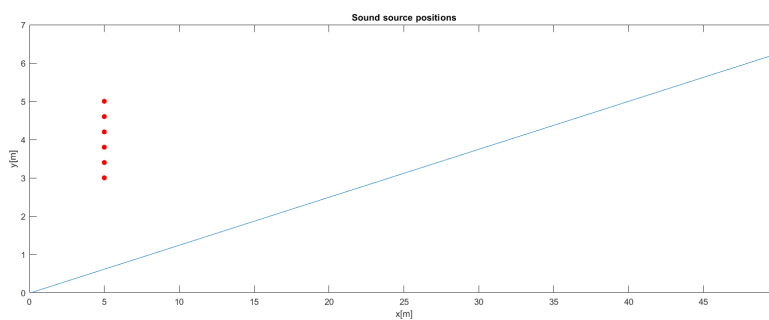
V obrázku 2.3 je zobrazen nakloněný rovinný případ prostoru s červeně vyznačenými akustickými zdroji a modře vykreslenou linií hlediště. Pro čtyři pásma slyšitelných frekvencí jsou výsledky nad rovným povrchem vyneseny do grafů v obrázcích 2.4, 2.5, 2.6 a 2.7.


```

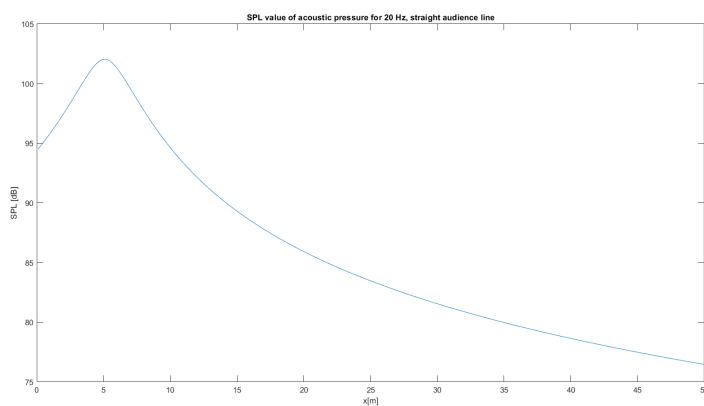
1 %one array modelling
2 close all
3
4 %{
5 audience line shaping
6 0=flat , 1=flat at an angle , 2=flat with a break , 3=parabola
7 %}
8
9 shape=["straight audience line ","straight audience line at
        an angle ","straight audience line with a breaking point
        ","parabolic audience line "];
10
11 fvec =[20,200,2000,20000];
12
13 [x0,y0,z0]=positions(0);
14
15 for line=0:3
16     [x,y]=aline(line);
17     Lp=zeros(size(x));
18     for finc=1:4
19         f=fvec(finc);
20         w=2*pi*f;
21         k=w/c;
22         B=1/(rho*w);
23         t=linspace(0,1/f,100);
24         for i=1:length(x)
25             pressure=zeros(size(t));
26             for yinc=1:6
27                 pressure=pressure+source2d(x(i),y(i),x0(yinc)
28                 ),y0(yinc),w,k,rho,B,phi,t);
29             end
30             prms0=rms(pressure);
31             prms=squeeze(prms0(1, :, :));
32             Lp(i)=20*log10(prms/(20/1000000));
33         end
34     end
35     figure
36     plot(Lp)
37     xticklabels([0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50])
38     xlabel('x[m]')
39     ylabel('SPL [dB]')
40     title(['SPL value of acoustic pressure for ',
41           num2str(f), ' Hz, ', shape(line+1)])
42 end
43 end
44 end

```

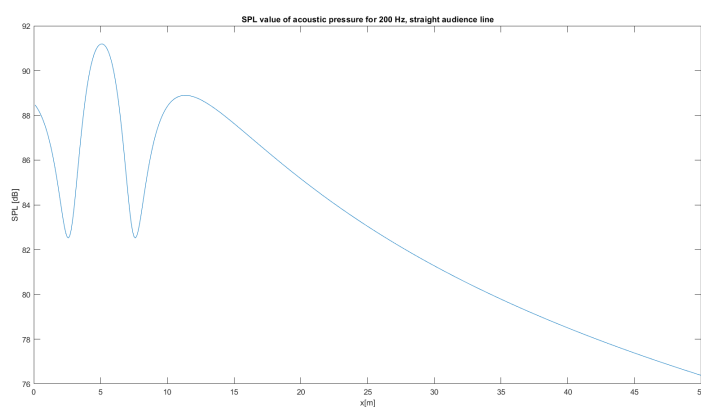
2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem



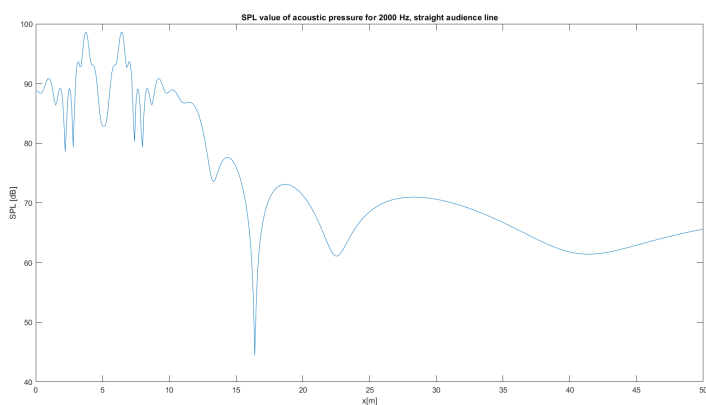
Obrázek 2.3: Zasazení sloupu do prostoru s rovným nakloněným hledištěm



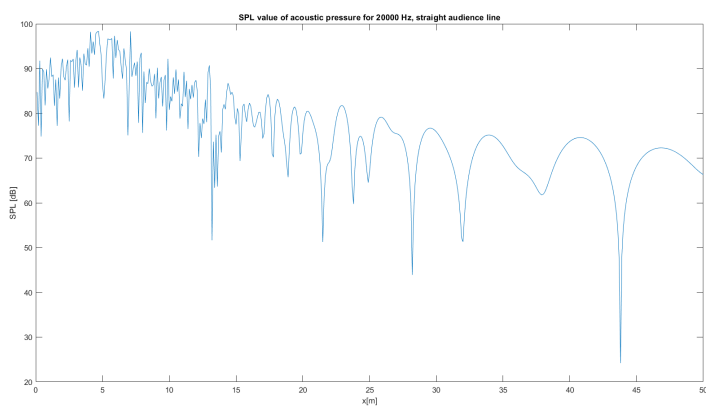
Obrázek 2.4: Šíření zvuku z rovného sloupu nad rovným povrchem, 20 Hz



Obrázek 2.5: Šíření zvuku z rovného sloupu nad rovným povrchem, 200 Hz

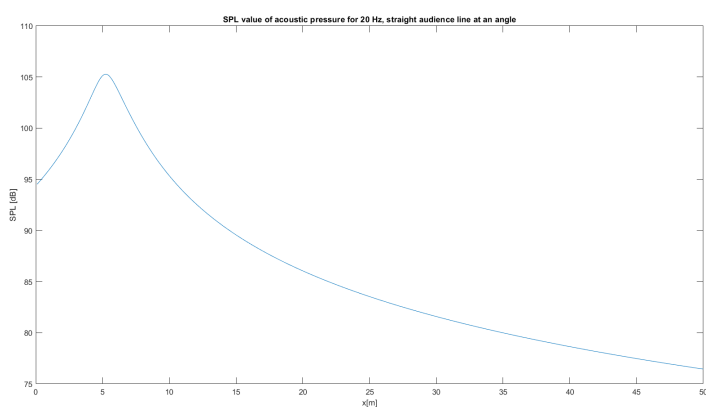


Obrázek 2.6: Šíření zvuku z rovného sloupu nad rovným povrchem, 2 kHz



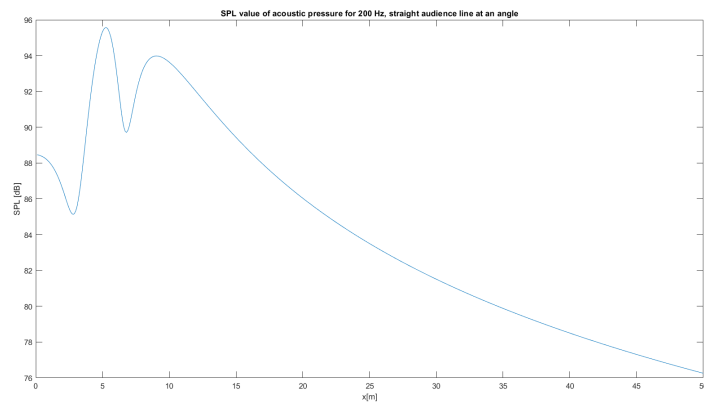
Obrázek 2.7: Šíření zvuku z rovného sloupu nad rovným povrchem, 20 kHz

Nad nakloněným povrchem je situace vynesena do grafů v obrázcích 2.8, 2.9, 2.10 a 2.11.

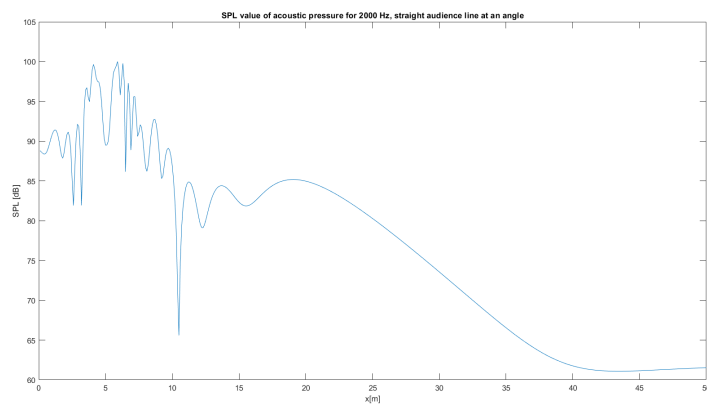


Obrázek 2.8: Šíření zvuku z rovného sloupu nad nakloněným povrchem, 20 Hz

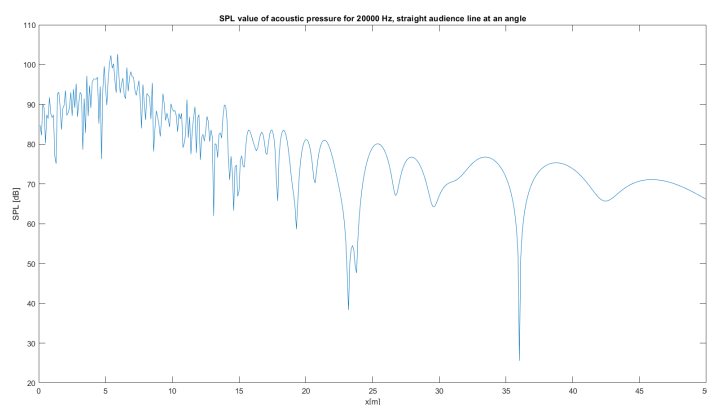
2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem



Obrázek 2.9: Šíření zvuku z rovného sloupu nad nakloněným povrchem, 200 Hz

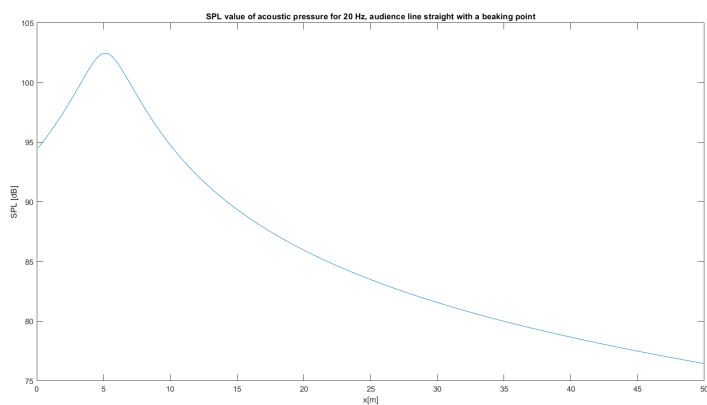


Obrázek 2.10: Šíření zvuku z rovného sloupu nad nakloněným povrchem, 2 kHz

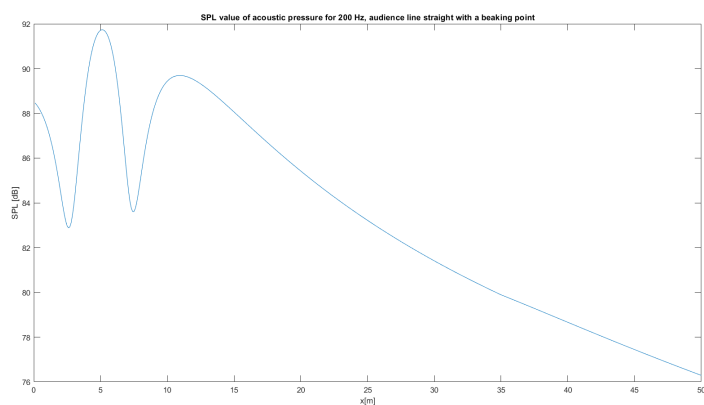


Obrázek 2.11: Šíření zvuku z rovného sloupu nad nakloněným povrchem, 20 kHz

V grafech v obrázcích 2.12, 2.13, 2.14 a 2.15 je vykreslena situace nad lomeným povrchem. Vliv zlomu je vidět zejména v obrázku 2.14 pro hodnotu $x = 35$ m.

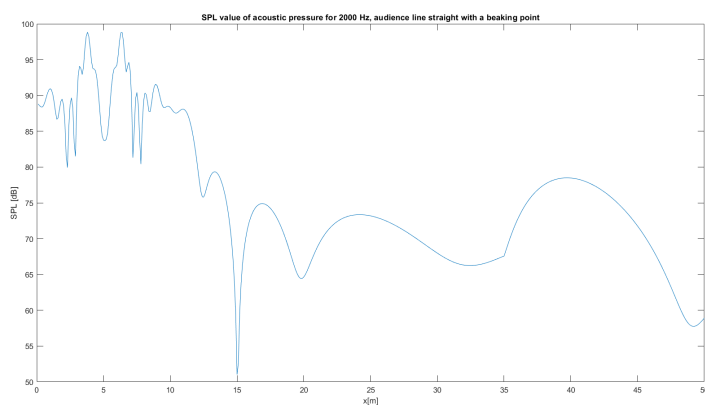


Obrázek 2.12: Šíření zvuku z rovného sloupu nad lomeným povrchem, 20 Hz

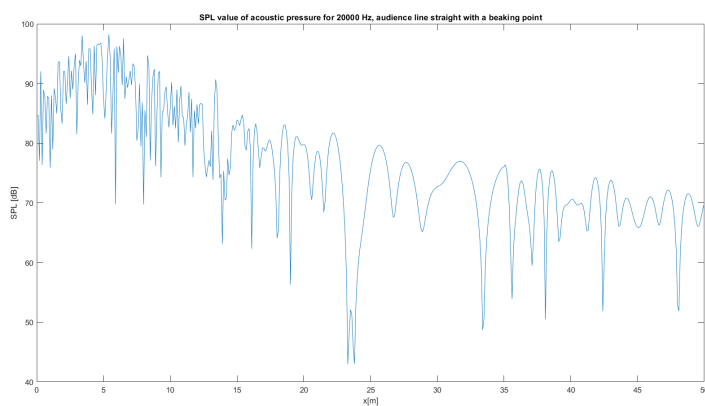


Obrázek 2.13: Šíření zvuku z rovného sloupu nad lomeným povrchem, 200 Hz

2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem

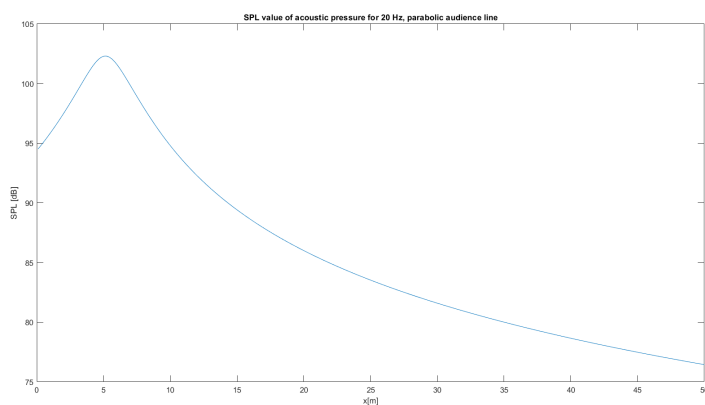


Obrázek 2.14: Šíření zvuku z rovného sloupu nad lomeným povrchem, 2 kHz

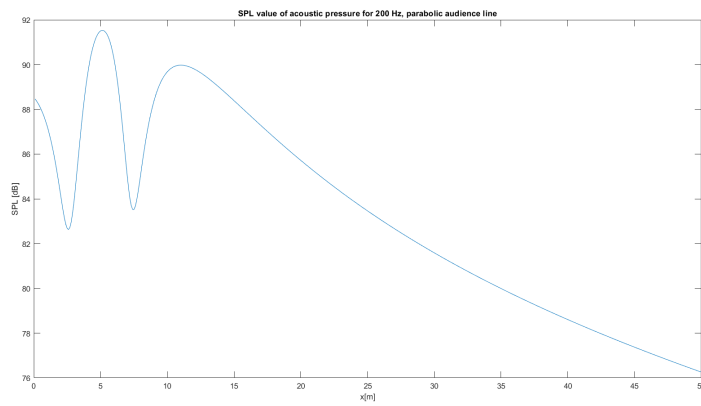


Obrázek 2.15: Šíření zvuku z rovného sloupu nad lomeným povrchem, 20 kHz

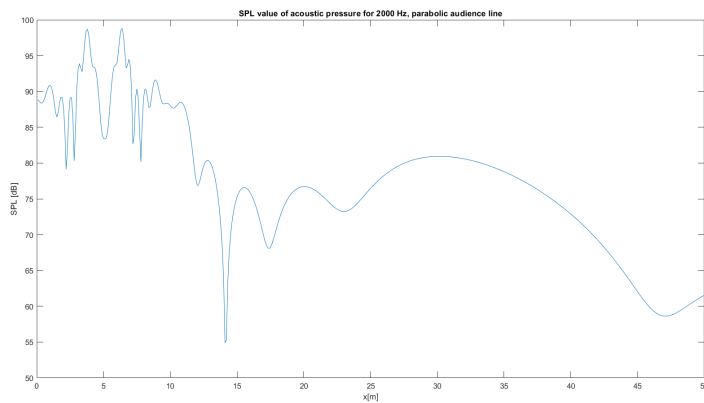
Situace při parabolickém tvaru podlahy je vynesena do grafů v obrázcích 2.16, 2.17, 2.18 a 2.19.



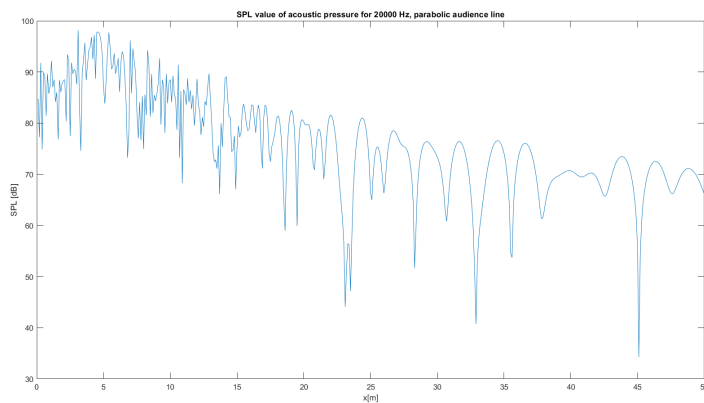
Obrázek 2.16: Šíření zvuku z rovného sloupu nad parabolickým povrchem, 20 Hz



Obrázek 2.17: Šíření zvuku z rovného sloupu nad parabolickým povrchem, 200 Hz



Obrázek 2.18: Šíření zvuku z rovného sloupu nad parabolickým povrchem, 2 kHz



Obrázek 2.19: Šíření zvuku z rovného sloupu nad parabolickým povrchem, 20 kHz

2.2 Tvarování sloupu reproduktorů

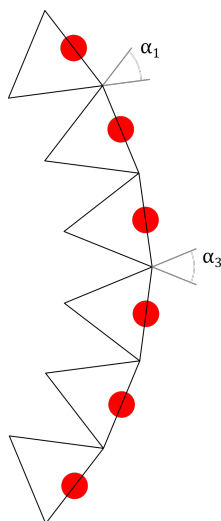
Pro optimalizaci zvukových vlastností soustavy reproduktorů jsou v reálných aplikacích sloupy reproduktorů vytvarovány. Tvarování se řídí vztahem specifickým pro požadované vlastnosti reproduktorové soustavy.

2.2.1 Konstantní prohnutí

Konstantní prohnutí sloupu je podle [4] realizováno pro utlumení L_p o 6 dB při zdvojnásobení vzdálenosti. Tvarování se podle [4] řídí vztahem

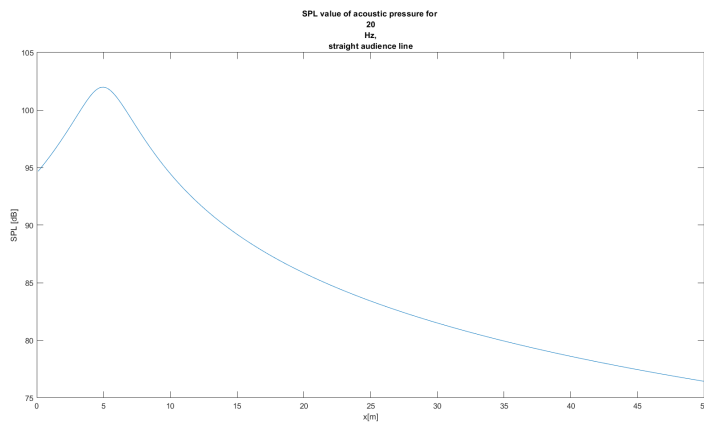
$$\alpha_n = konst.. \quad (2.2)$$

Z obrázku 2.2 je viditelné, že pro $\alpha_n = \frac{\pi}{3}$ je sloup rovný a pro zkoumání vlivu prohnutí je třeba zvolit ostřejší úhel. V obrázku 2.20 je úhel roven $\frac{\pi}{4}$ pro všechna n .

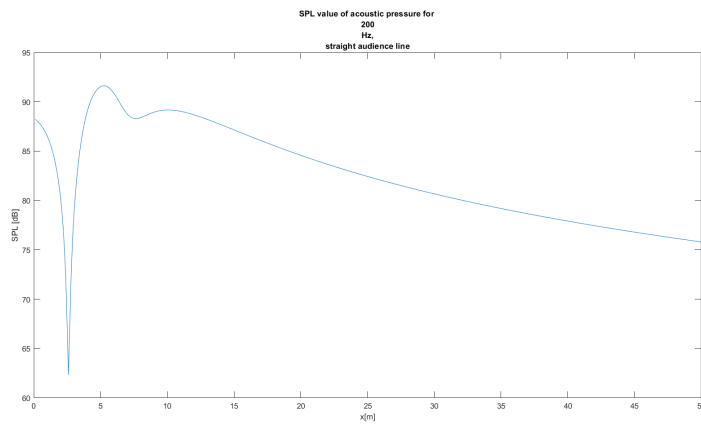


Obrázek 2.20: Sloup reproduktorů při konstantním prohnutí

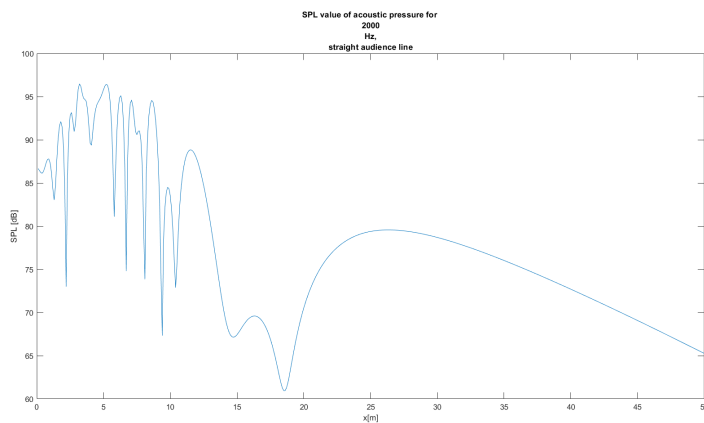
Vliv na šíření zvuku je viditelný v grafech v obrázcích 2.21, 2.22, 2.23 a 2.24 pro rovný povrch, 2.25, 2.26, 2.27 a 2.28 pro rovný nakloněný povrch, 2.29, 2.30, 2.31 a 2.32 pro rovný povrch se zlomem a 2.33, 2.34, 2.35 a 2.36 pro parabolicky prohnutý povrch.



Obrázek 2.21: Šíření zvuku nad rovným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 Hz

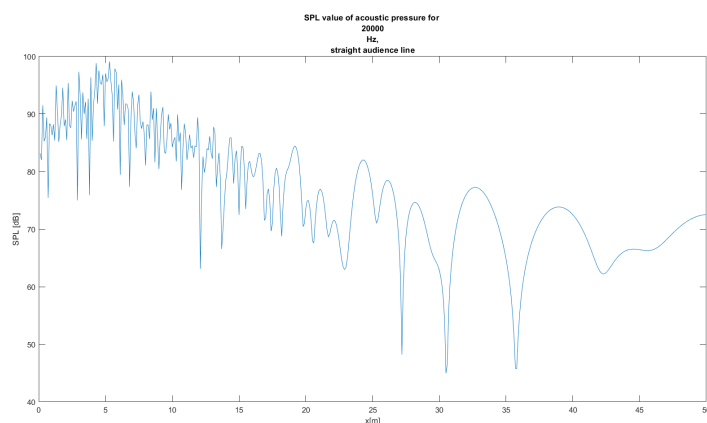


Obrázek 2.22: Šíření zvuku nad rovným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 200 Hz

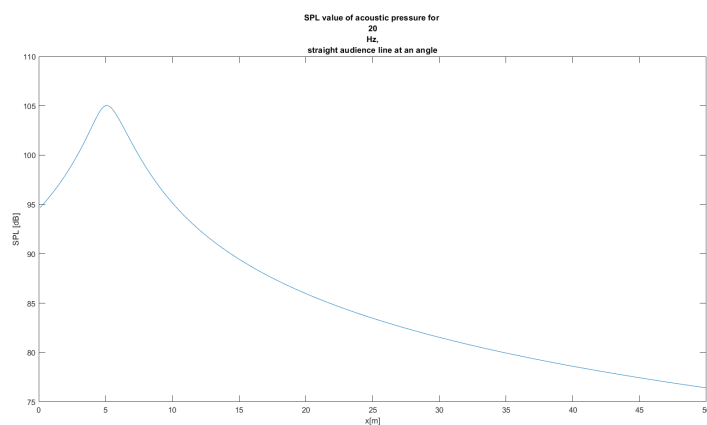


Obrázek 2.23: Šíření zvuku nad rovným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 2 kHz

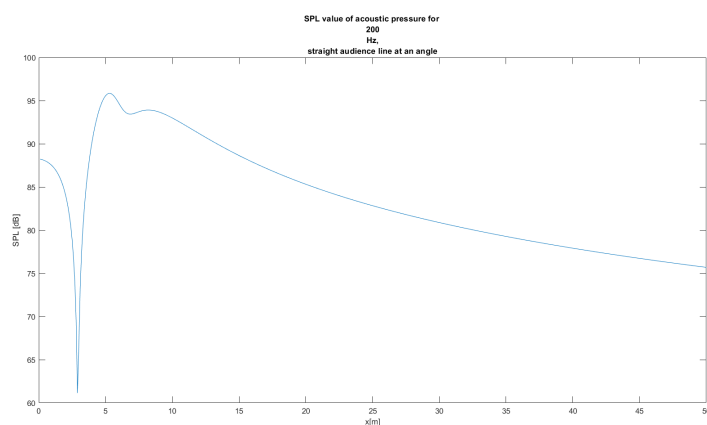
2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem



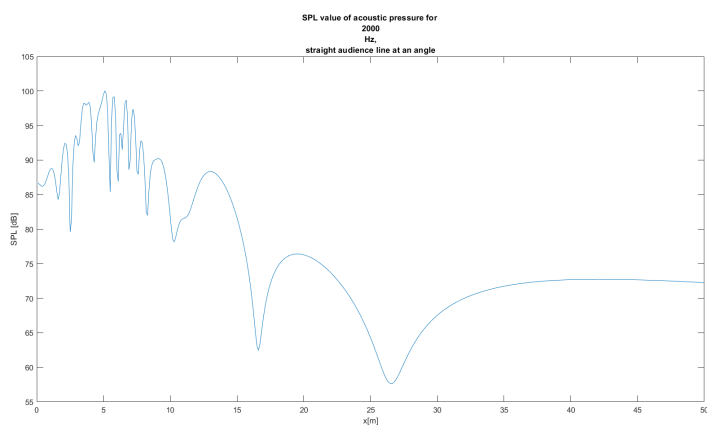
Obrázek 2.24: Šíření zvuku nad rovným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 kHz



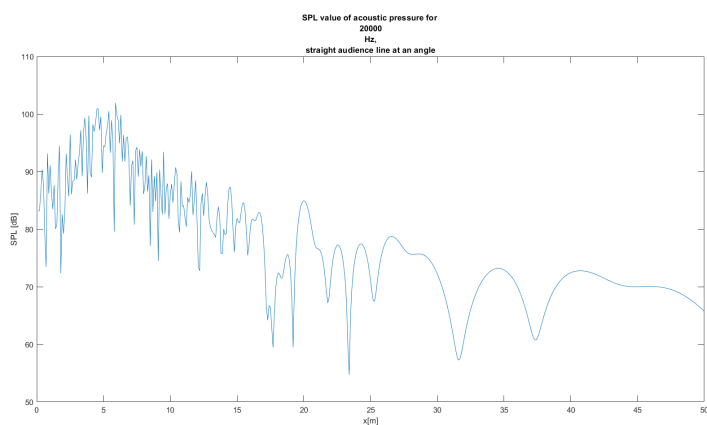
Obrázek 2.25: Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 Hz



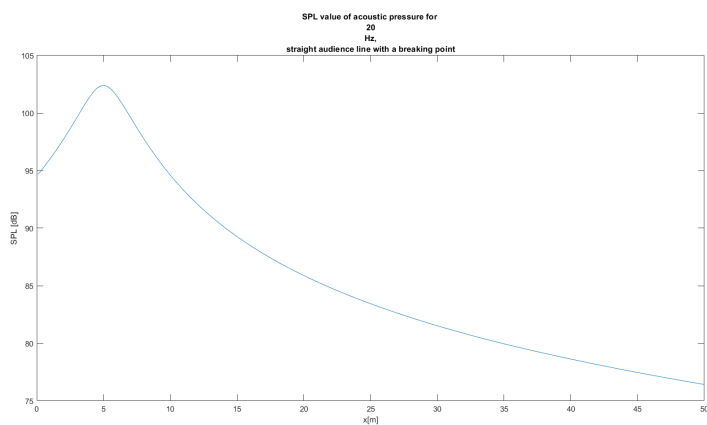
Obrázek 2.26: Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 200 Hz



Obrázek 2.27: Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 2 kHz

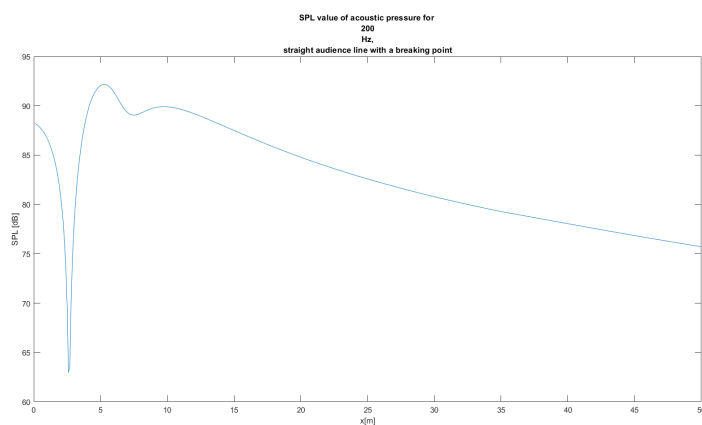


Obrázek 2.28: Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 kHz

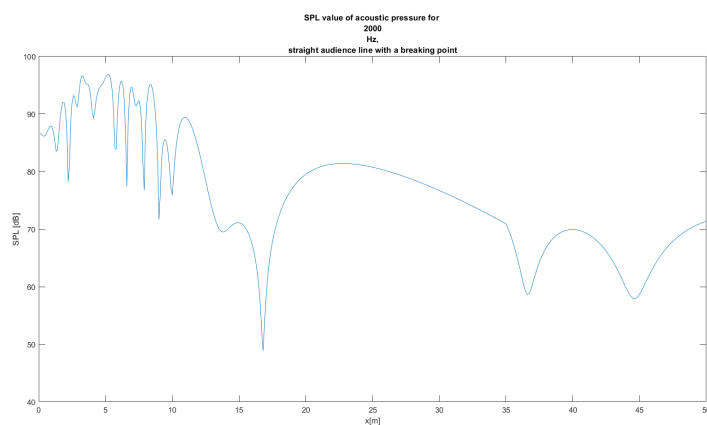


Obrázek 2.29: Šíření zvuku nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 Hz

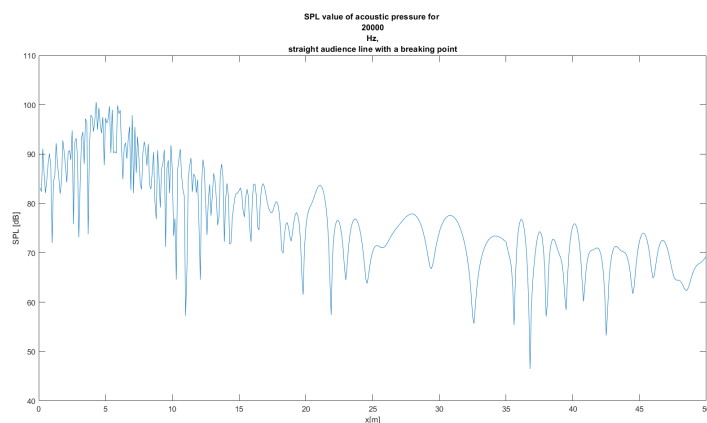
2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem



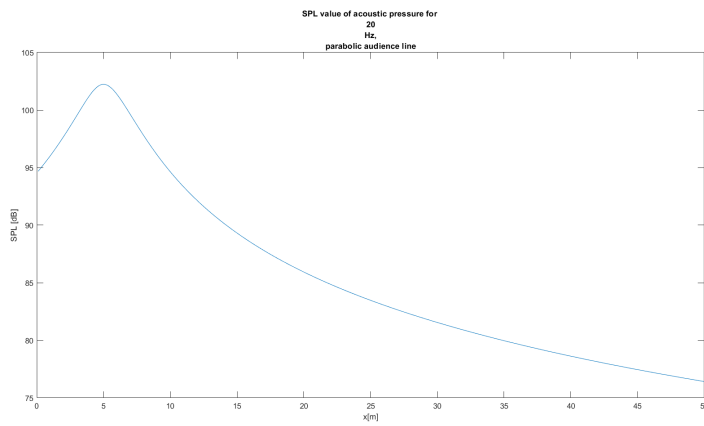
Obrázek 2.30: Šíření zvuku nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 200 Hz



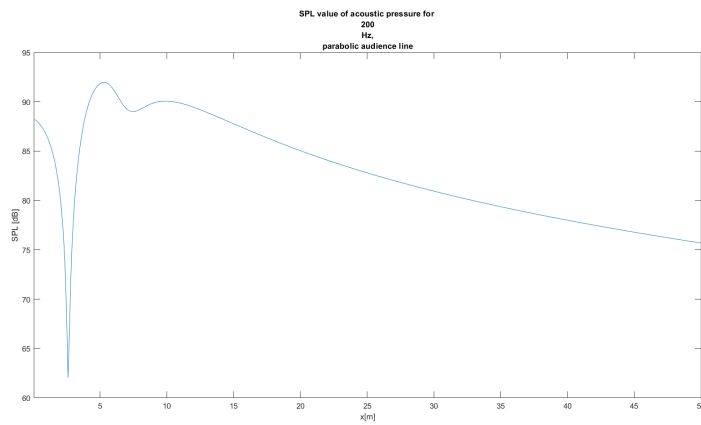
Obrázek 2.31: Šíření zvuku nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 2 kHz



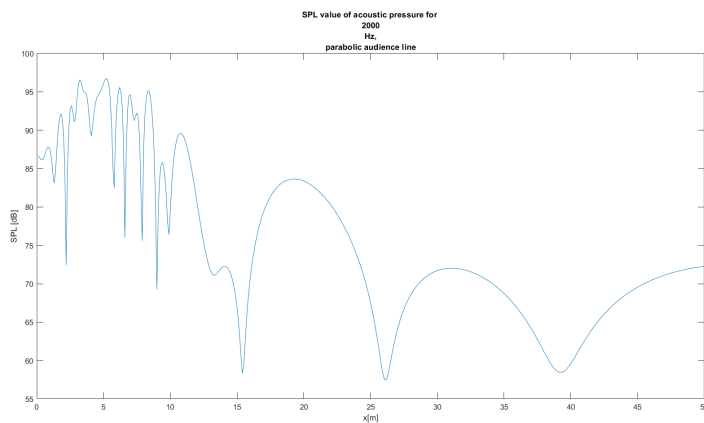
Obrázek 2.32: Šíření zvuku nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 kHz



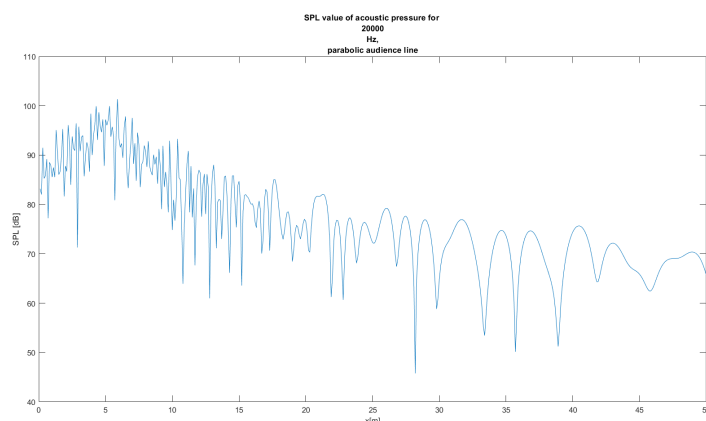
Obrázek 2.33: Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 Hz



Obrázek 2.34: Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 200 Hz



Obrázek 2.35: Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 2 kHz



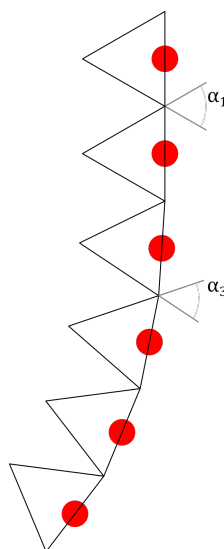
Obrázek 2.36: Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí sloupu, 20 kHz

2.2.2 Progresivní prohnutí

Progresivní prohnutí je podle [4] použito pro utlumení L_p o 3 dB při zdvojnásobení vzdálenosti a řídí se vztahem

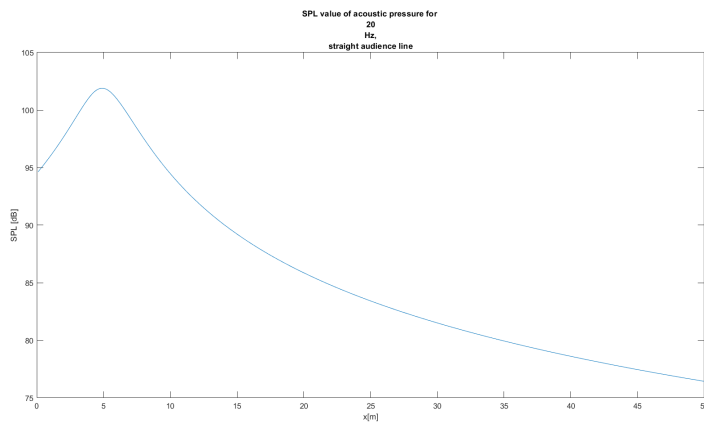
$$\alpha_n \Delta_n = konst. \quad (2.3)$$

uvedeným v [4], kde Δ_n je vzdálenost středů příslušných zdrojů od přijímačů. V obrázku 2.37 je zobrazen sloup reproduktorů při takovém tvarování.

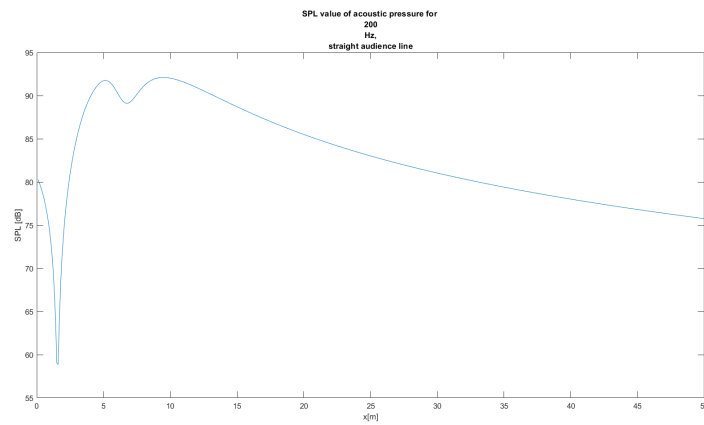


Obrázek 2.37: Sloup reproduktorů při progresivním prohnutí

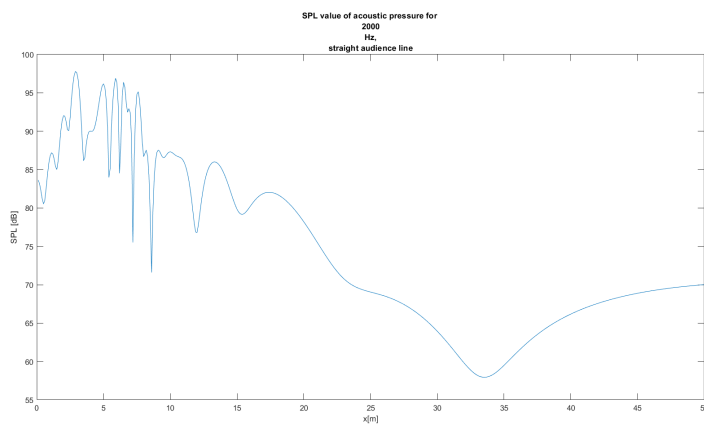
Chování zvuku při progresivním tvarování je vyneseno do grafů v obrázcích 2.38, 2.39, 2.40 a 2.41 pro rovný povrch, 2.42, 2.43, 2.44 a 2.45 pro rovný nakloněný povrch, 2.46, 2.47, 2.48 a 2.49 pro rovný povrch se zlomem a 2.50, 2.51, 2.52 a 2.53 pro parabolicky prohnutý povrch.



Obrázek 2.38: Šíření zvuku nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz

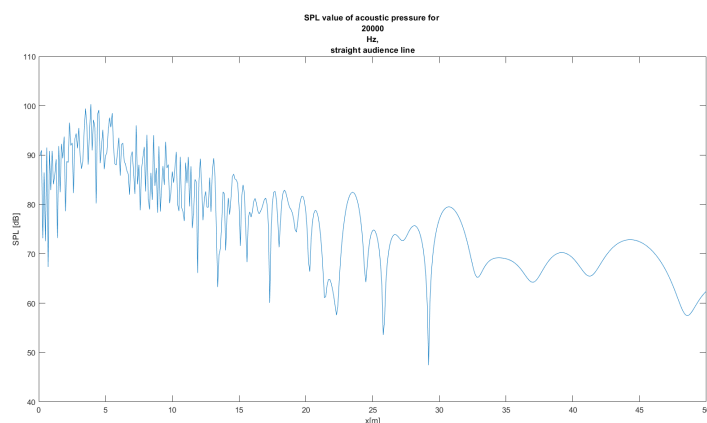


Obrázek 2.39: Šíření zvuku nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz

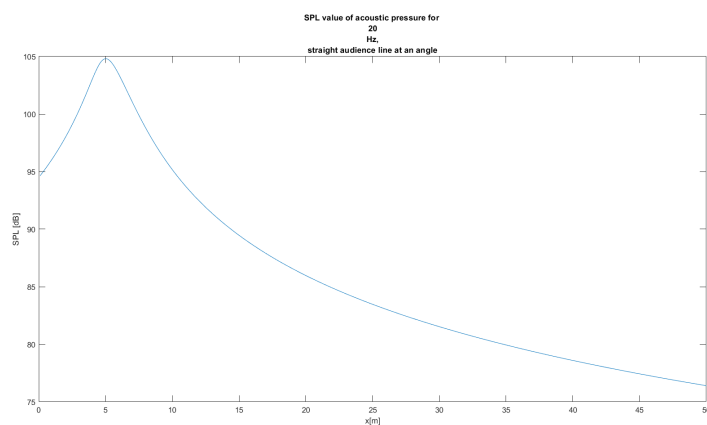


Obrázek 2.40: Šíření zvuku nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz

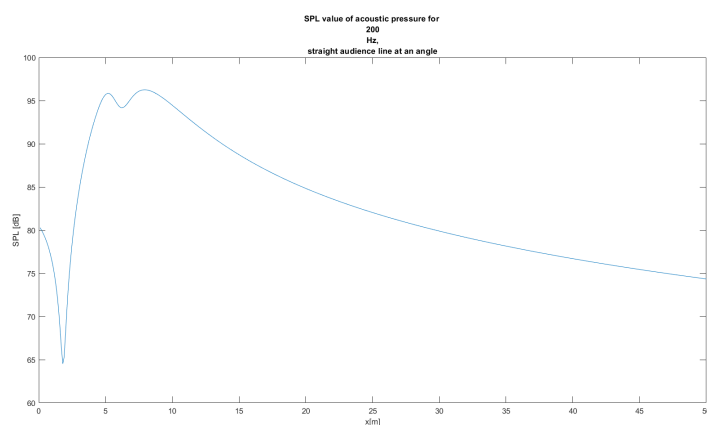
2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem



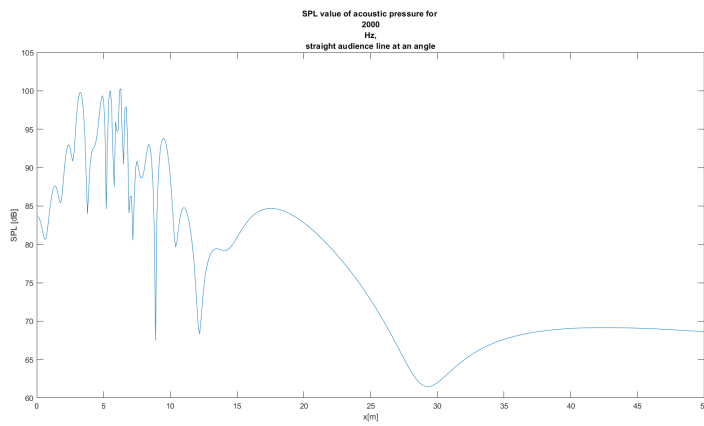
Obrázek 2.41: Šíření zvuku nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz



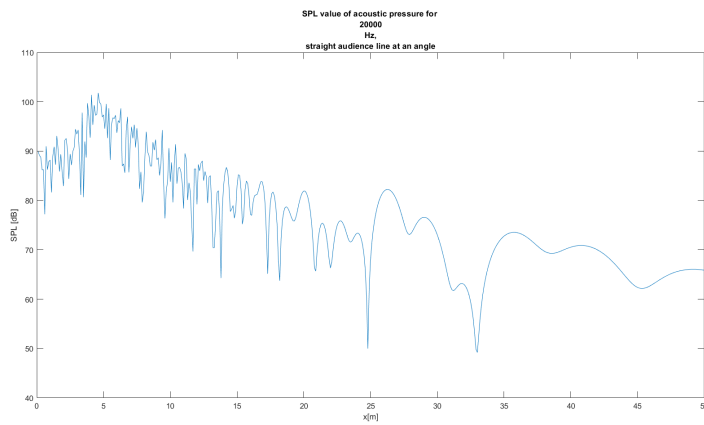
Obrázek 2.42: Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz



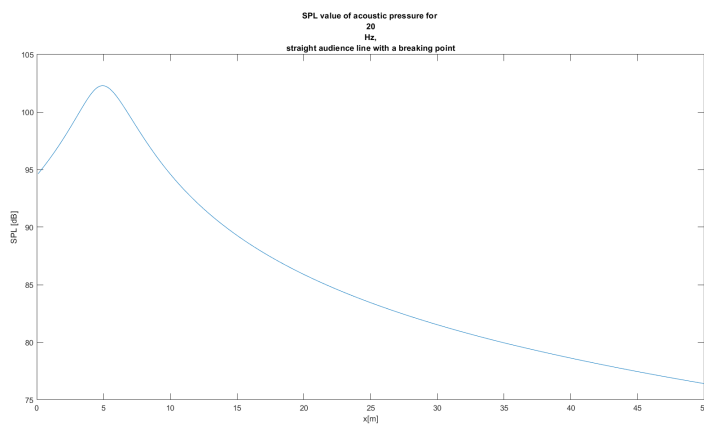
Obrázek 2.43: Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz



Obrázek 2.44: Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz

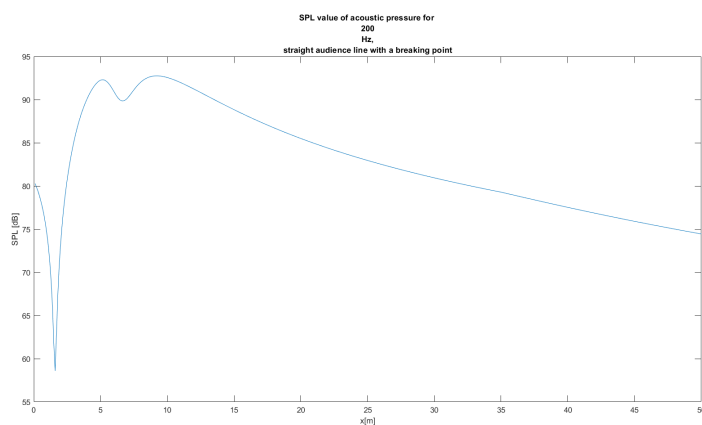


Obrázek 2.45: Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz

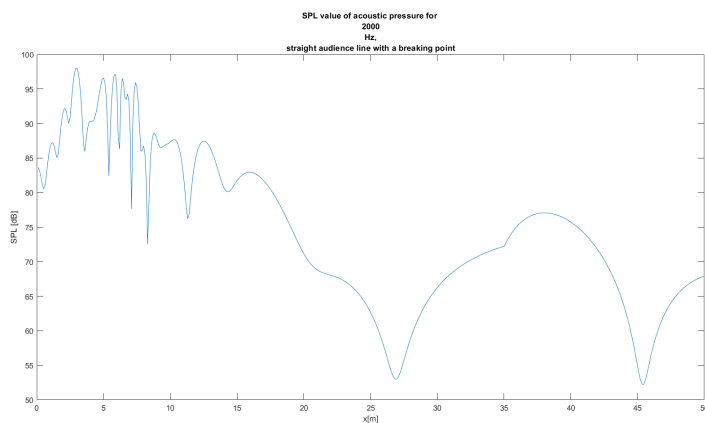


Obrázek 2.46: Šíření zvuku nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz

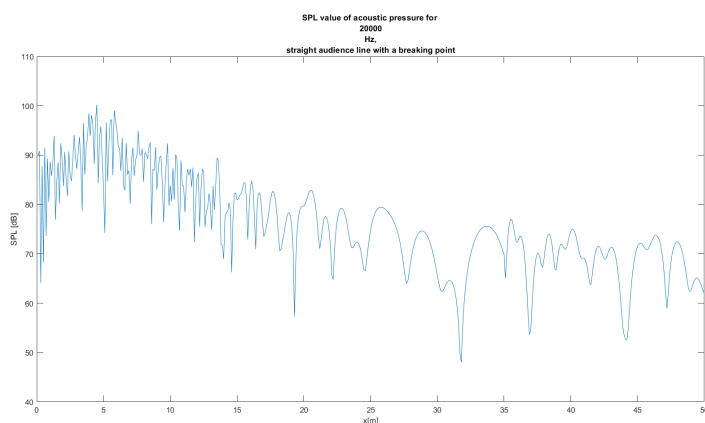
2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem



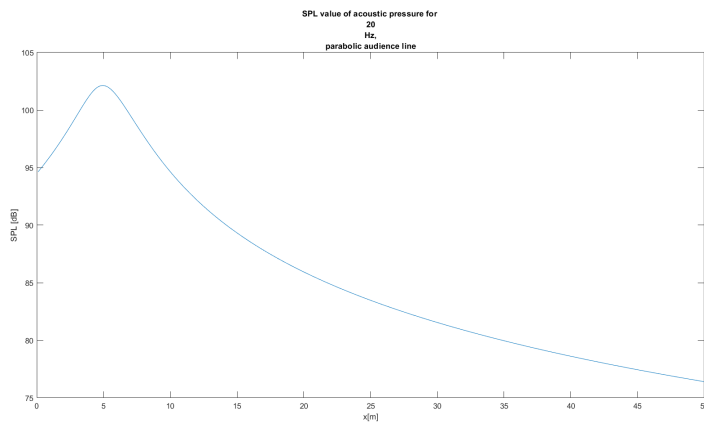
Obrázek 2.47: Šíření zvuku nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz



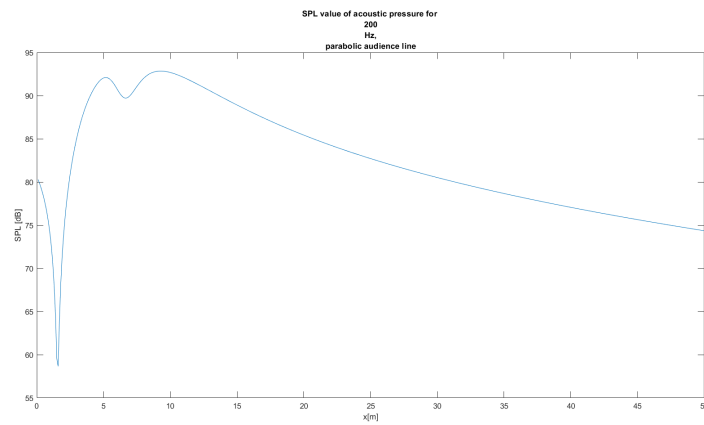
Obrázek 2.48: Šíření zvuku nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz



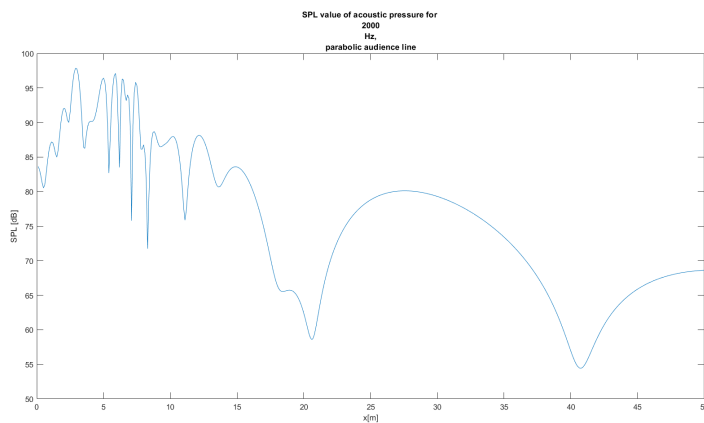
Obrázek 2.49: Šíření zvuku nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz



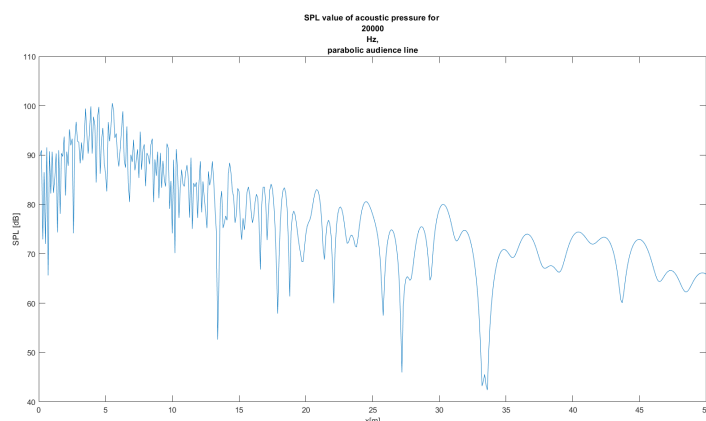
Obrázek 2.50: Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz



Obrázek 2.51: Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz



Obrázek 2.52: Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz



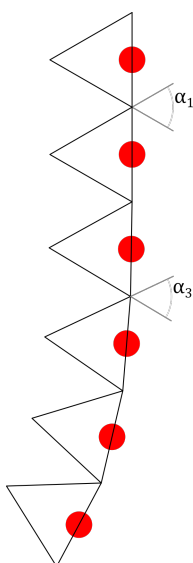
Obrázek 2.53: Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz

2.2.3 Prohnutí tvaru J

Tvar J by měl podle [4] situaci přiblížit ke konstantnímu L_p pro celé publikum a řídí se dle [4] vztahem

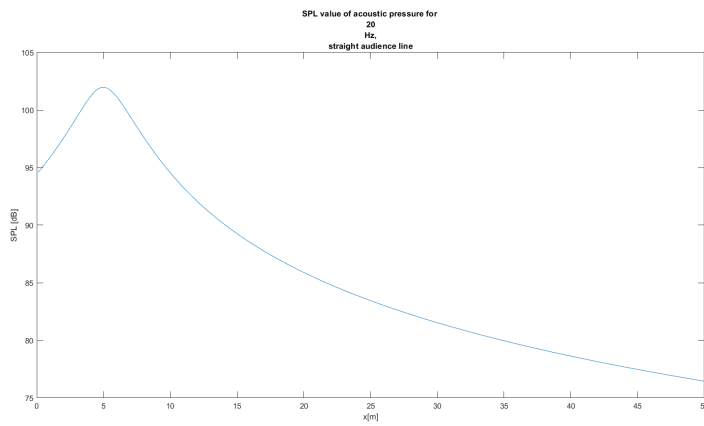
$$\alpha_n \Delta_n^2 = konst.. \quad (2.4)$$

Modelovaný sloup tvaru J je naznačen v obrázku 2.54.

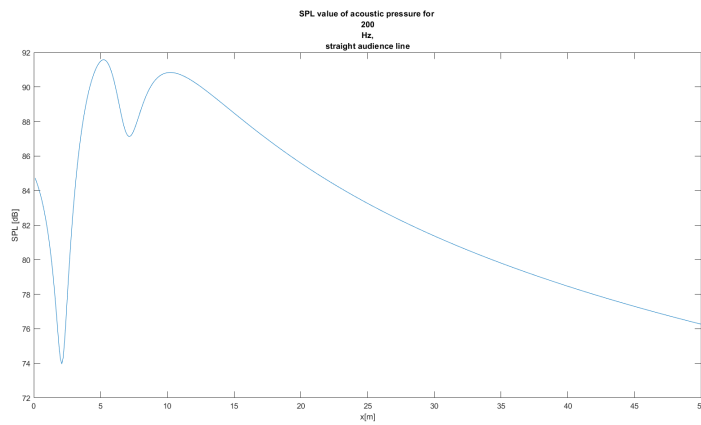


Obrázek 2.54: Sloup reproduktorů při prohnutí do tvaru J

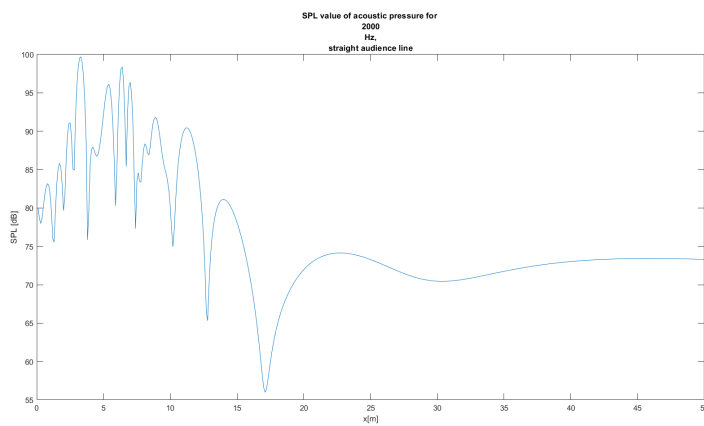
V obrázcích 2.55, 2.56, 2.57 a 2.58 pro rovný povrch, 2.59, 2.60, 2.61 a 2.62 pro rovný nakloněný povrch, 2.63, 2.64, 2.65 a 2.66 pro rovný povrch se zlomem a 2.67, 2.68, 2.69 a 2.70 pro parabolicky prohnutý povrch jsou vyneseny grafy hladiny akustického tlaku při tvarování sloupu reproduktorů do J.



Obrázek 2.55: Šíření zvuku nad rovným povrchem, prohnutí J, 20 Hz

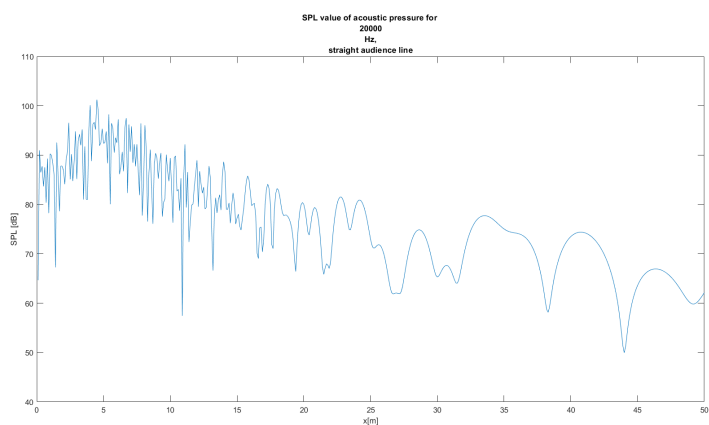


Obrázek 2.56: Šíření zvuku nad rovným povrchem, prohnutí J, 200 Hz

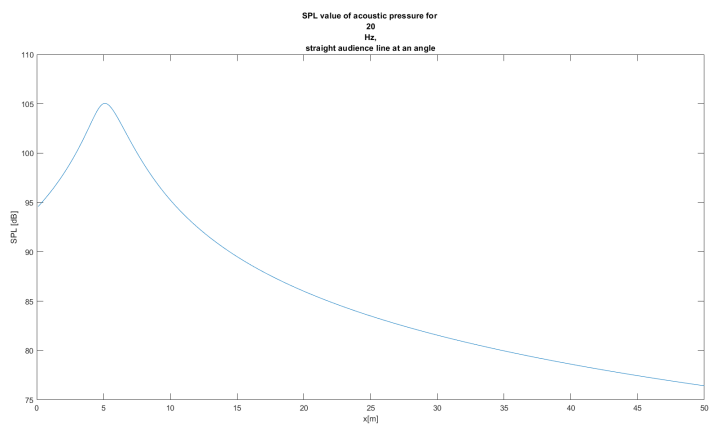


Obrázek 2.57: Šíření zvuku nad rovným povrchem, prohnutí J, 2 kHz

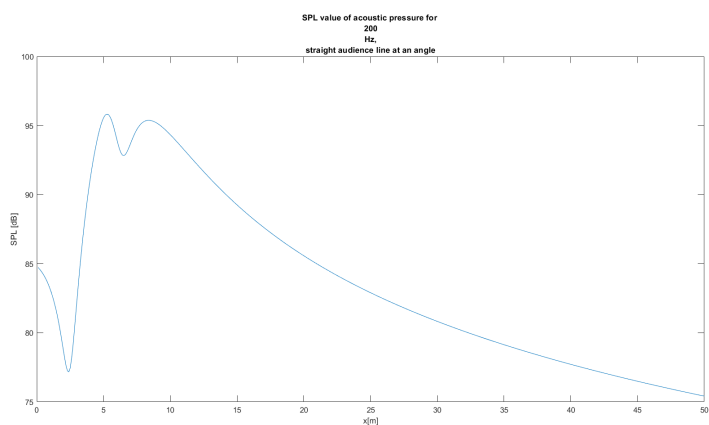
2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem



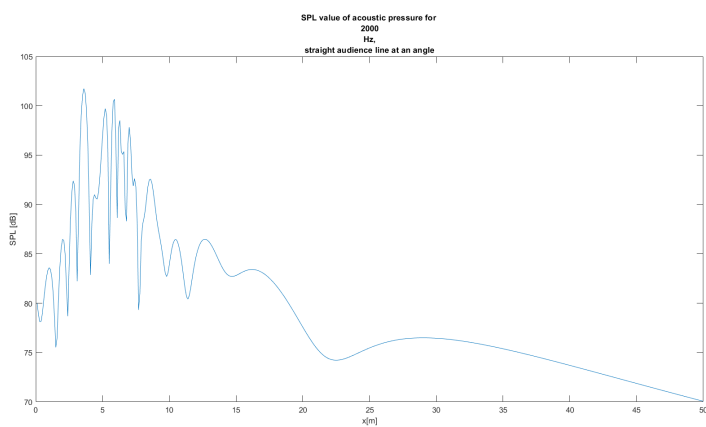
Obrázek 2.58: Šíření zvuku nad rovným povrchem, prohnutí J, 20 kHz



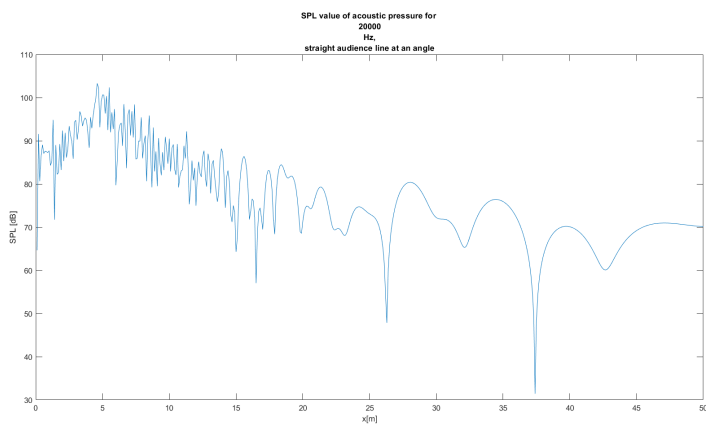
Obrázek 2.59: Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 20 Hz



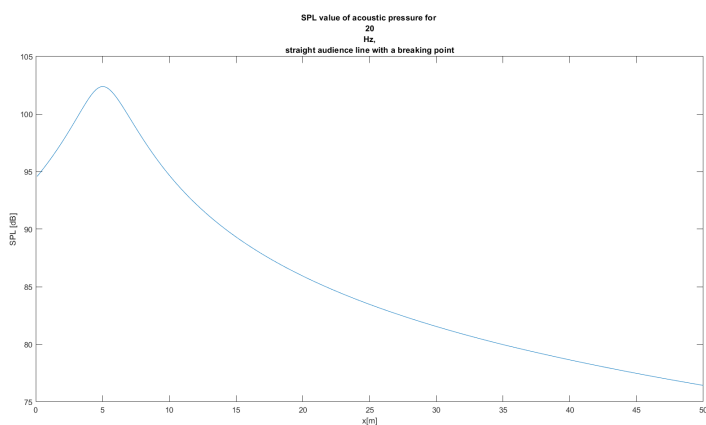
Obrázek 2.60: Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 200 Hz



Obrázek 2.61: Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 2 kHz

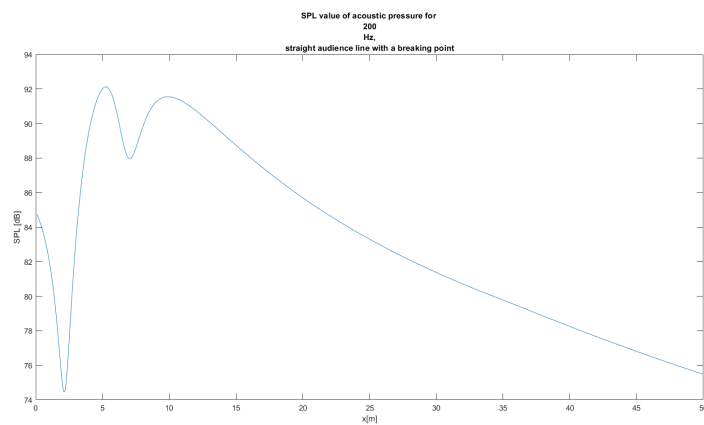


Obrázek 2.62: Šíření zvuku nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 20 kHz

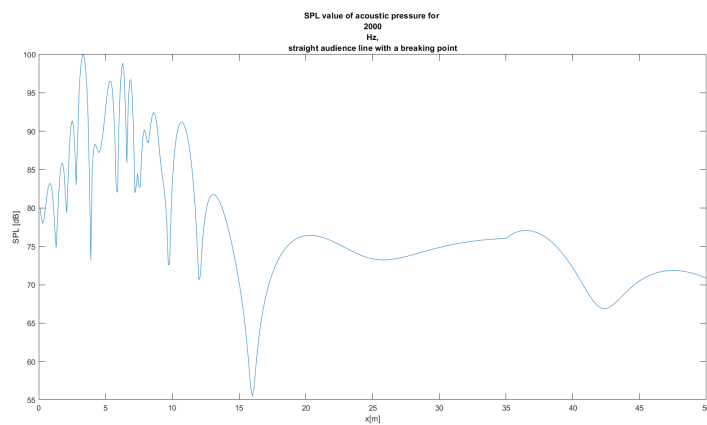


Obrázek 2.63: Šíření zvuku nad lomeným povrchem, prohnutí J, 20 Hz

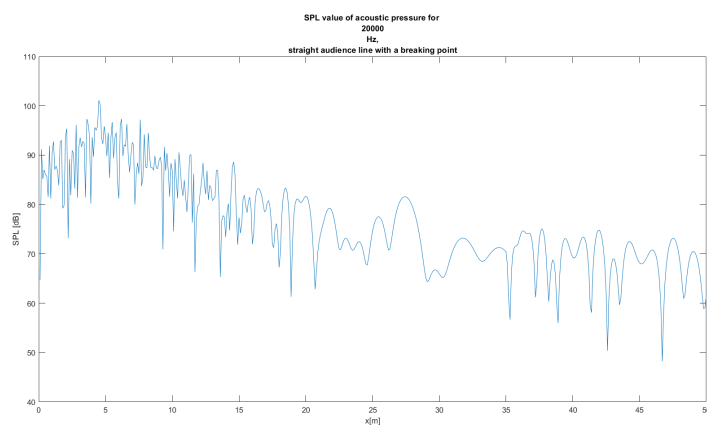
2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem



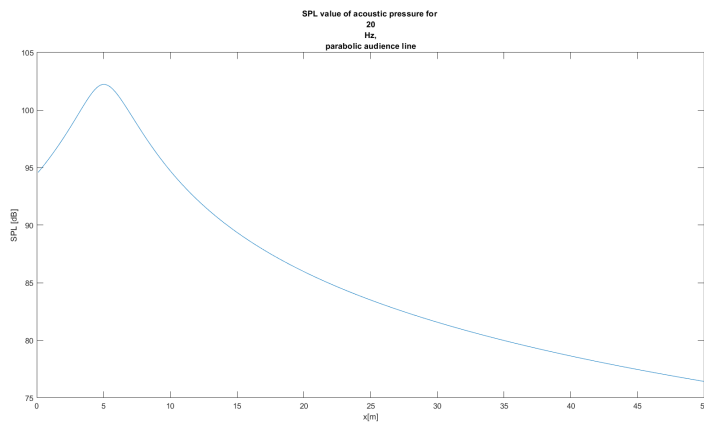
Obrázek 2.64: Šíření zvuku nad lomeným povrchem, prohnutí J, 200 Hz



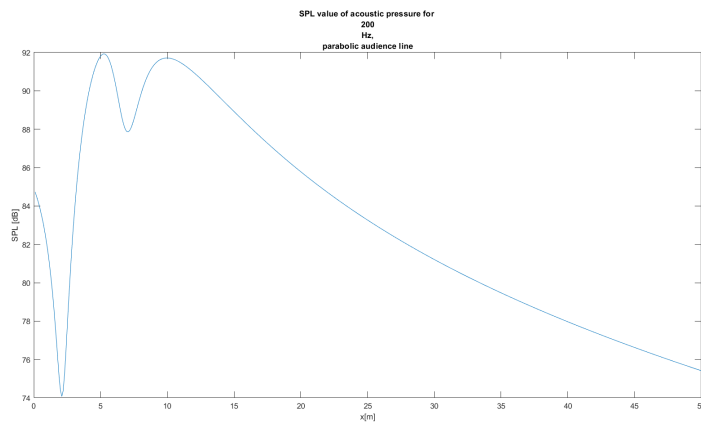
Obrázek 2.65: Šíření zvuku nad lomeným povrchem, prohnutí J, 20 kHz



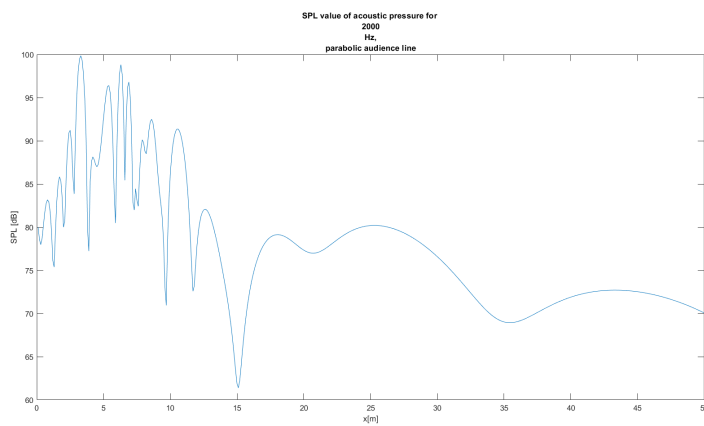
Obrázek 2.66: Šíření zvuku nad lomeným povrchem, prohnutí J, 20 kHz



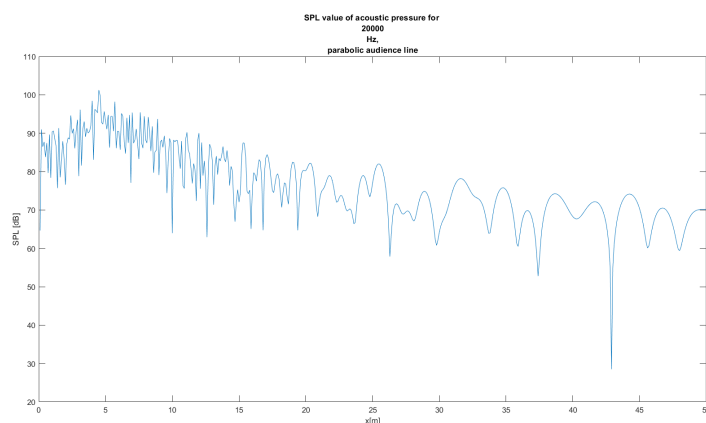
Obrázek 2.67: Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 20 Hz



Obrázek 2.68: Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 200 Hz



Obrázek 2.69: Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 2 kHz



Obrázek 2.70: Šíření zvuku nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 20 kHz

2.3 Započítání odrazů od stěn

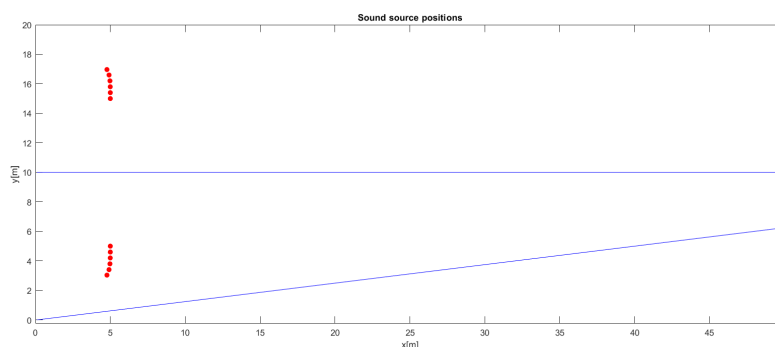
Pro vytvoření přesnějšího modelu lze vztah 2.1 doplnit o vlivy odrazů. První odrazy od stěn lze nasimulovat metodou zrcadlení zdrojů vůči stěnám místnosti. Vztah 2.1 se tedy upraví do nové podoby

$$p(\vec{r}, t) = \sum_{i=1}^n \left(p_i(\vec{r}, t) + \sum_{j=1}^m \beta_j p_{ij}^{\text{ref}}(\vec{r}, t) \right), \quad (2.5)$$

kde m je počet stěn místnosti, $p_{ij}^{\text{ref}}(\vec{r})$ je akustický tlak vzniklý zrcadlením i -tého zdroje podle j -té stěny místnosti a β_j je součinitel zvukové odrazivosti j -té stěny.

V prvních modelech šíření jsou uvažovány odrazy pouze od stropu místnosti a β_j je tak pro všechny ostatní stěny rovna nule. Strop je uvažován v $y = 10$ m a situace je i se zrcadlenými zdroji naznačena v obrázku 2.71, kde je modře vykreslena podlaha a strop a červeně zdroje a jejich zrcadlové obrazy.

Vlny odražené od stropu jsou modelovány za předpokladu, že pro strop platí $\beta = 0.5$ nezávisle na frekvenci. Pro reálné materiály je β typicky frekvenčně závislá.

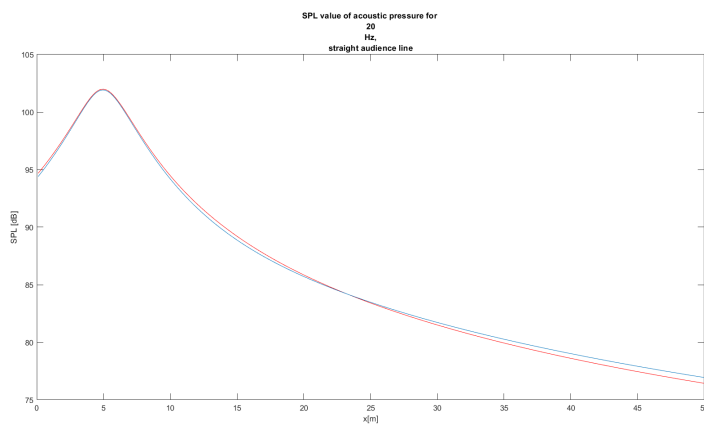


Obrázek 2.71: Zasazení sloupu do prostoru s rovným nakloněným hledištem

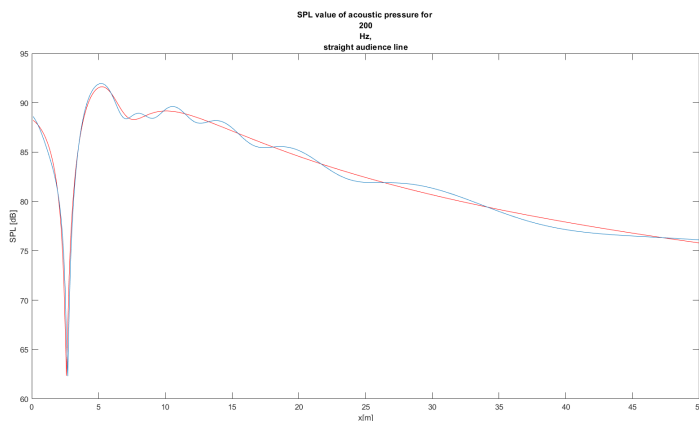
2.3.1 Konstantní prohnutí

V obrázcích 2.72, 2.73, 2.74 a 2.75 pro rovný povrch, 2.76, 2.77, 2.78 a 2.79 pro rovný nakloněný povrch, 2.80, 2.81, 2.82 a 2.83 pro rovný povrch se zlomem a 2.84, 2.85, 2.86 a 2.87 pro parabolicky prohnutý povrch je znázorněno šíření zvuku při započítání odrazů od stropu a konstantním prohnutím sloupu.

V grafech jsou červeně vykreslena šíření bez započítání odrazů pro zvýraznění vlivu odrazů na šíření.

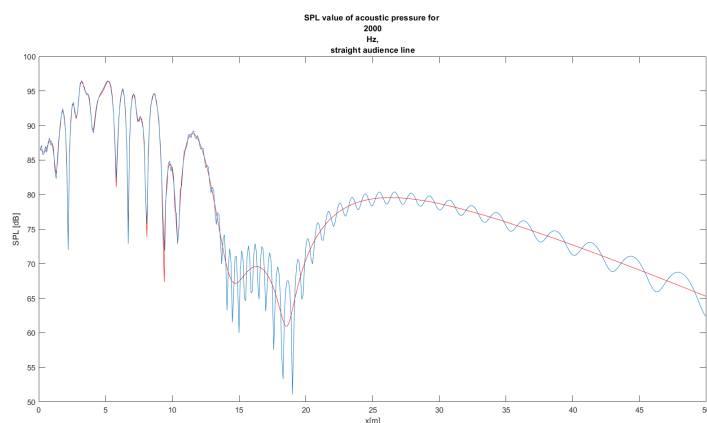


Obrázek 2.72: Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz

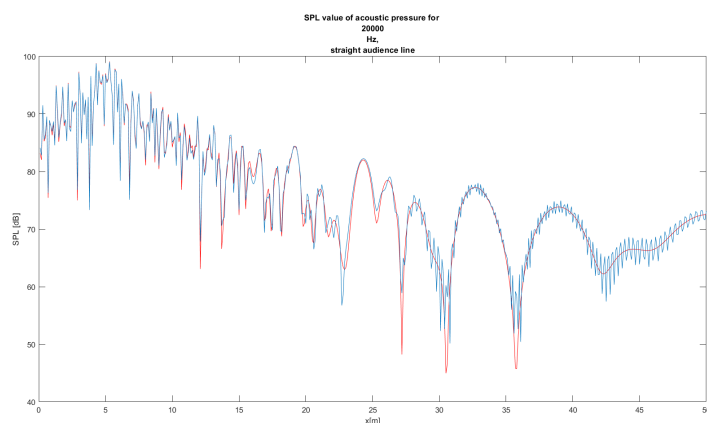


Obrázek 2.73: Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz

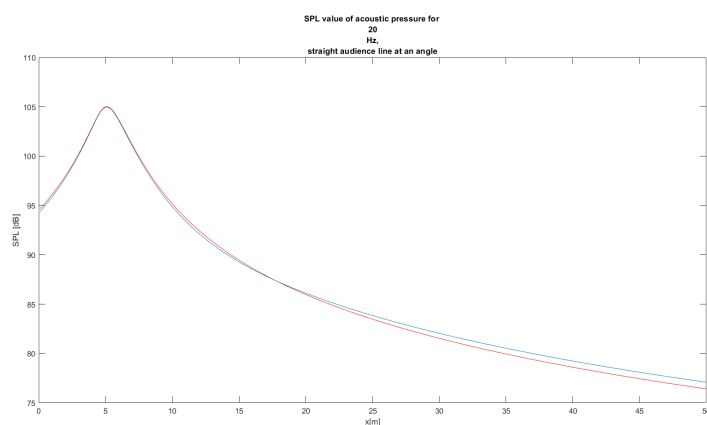
2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem



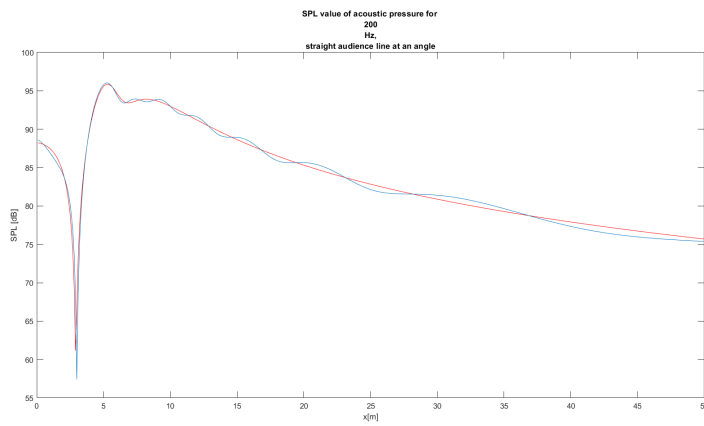
Obrázek 2.74: Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz



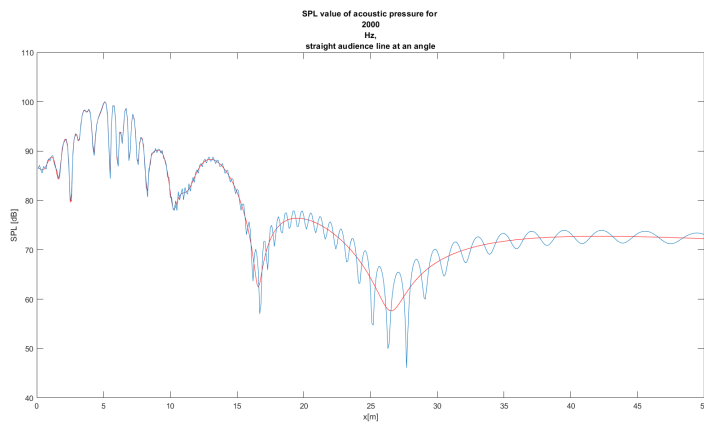
Obrázek 2.75: Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz



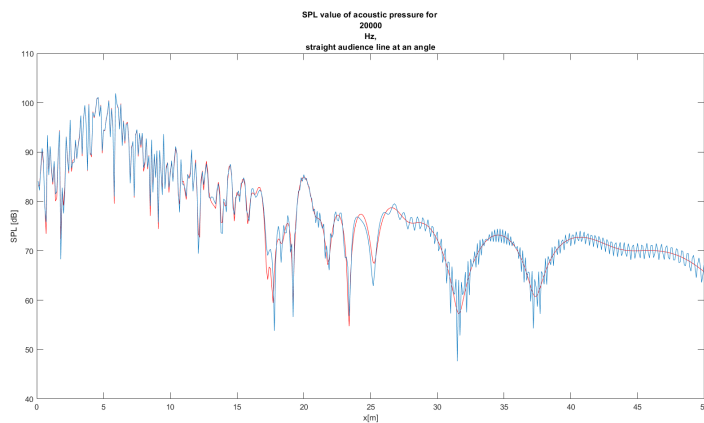
Obrázek 2.76: Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz



Obrázek 2.77: Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz

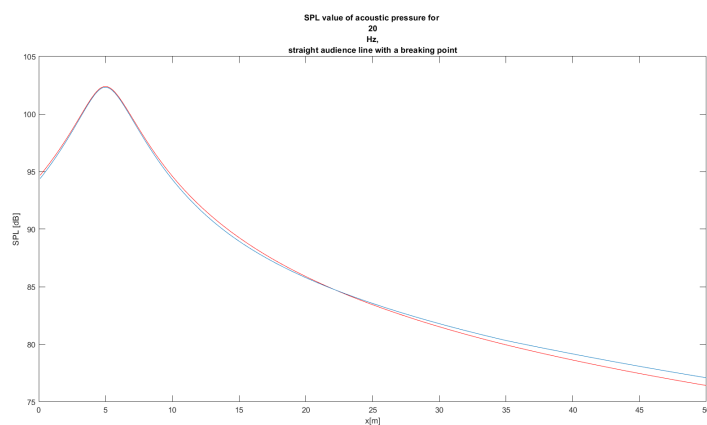


Obrázek 2.78: Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz

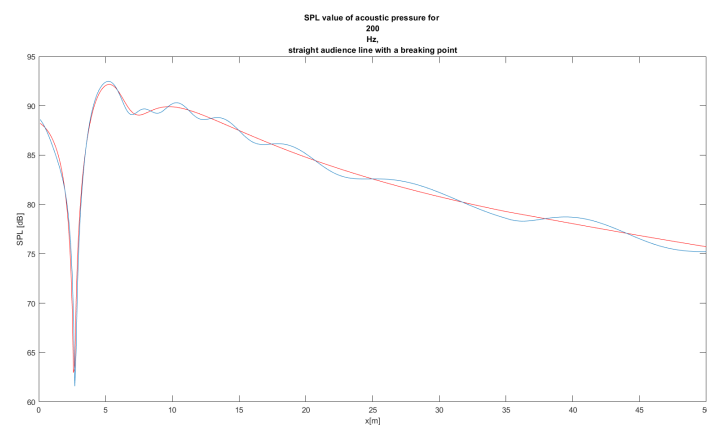


Obrázek 2.79: Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz

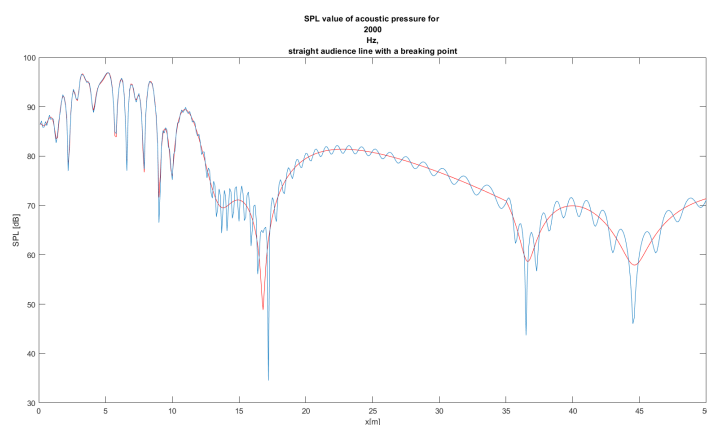
2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem



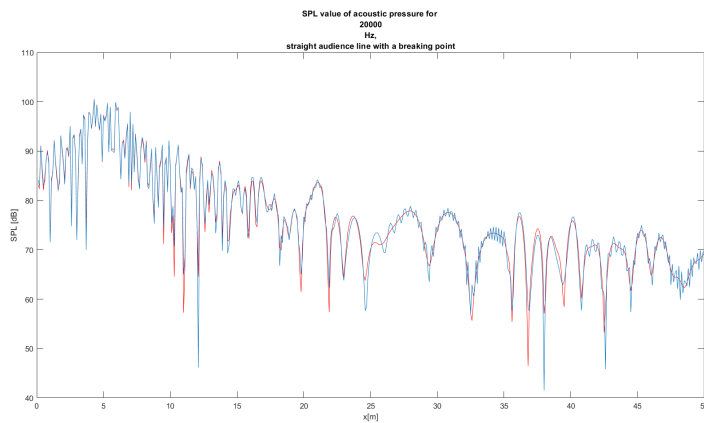
Obrázek 2.80: Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, konstantní pro-
hnutí, 20 Hz



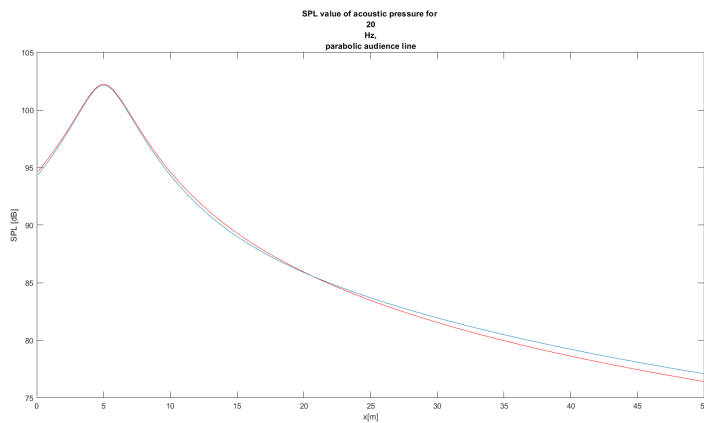
Obrázek 2.81: Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, konstantní pro-
hnutí, 200 Hz



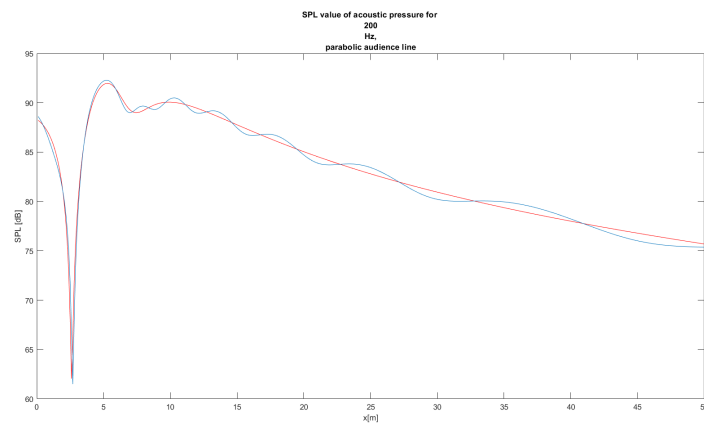
Obrázek 2.82: Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, konstantní pro-
hnutí, 2 kHz



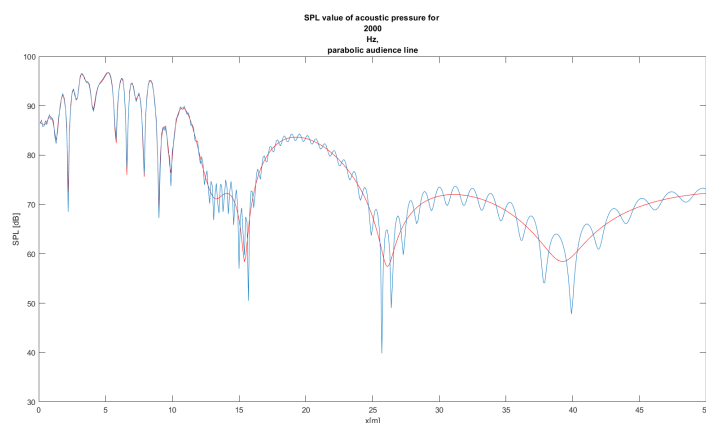
Obrázek 2.83: Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz



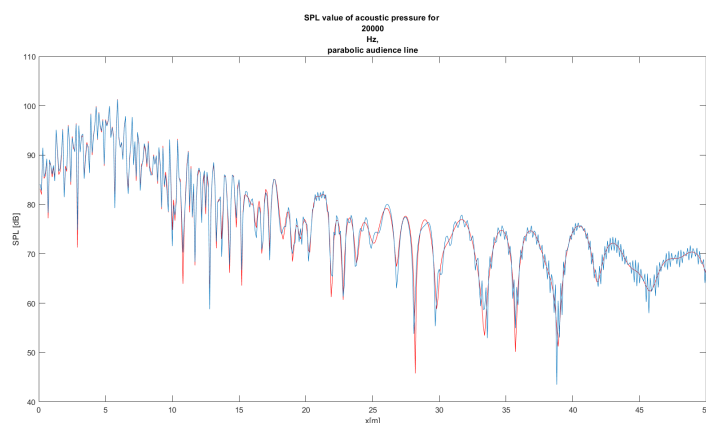
Obrázek 2.84: Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz



Obrázek 2.85: Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz



Obrázek 2.86: Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz

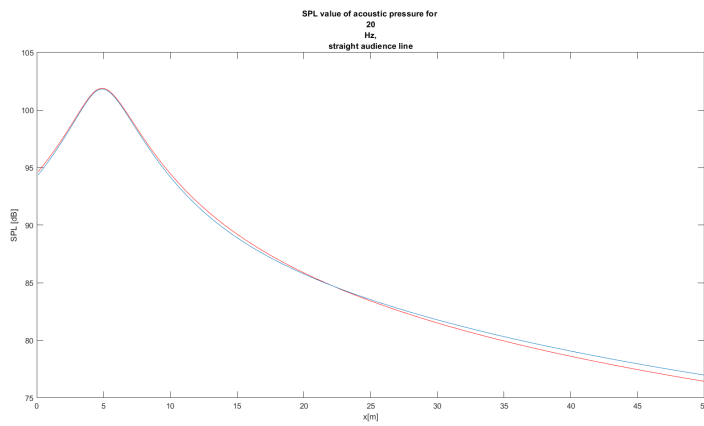


Obrázek 2.87: Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz

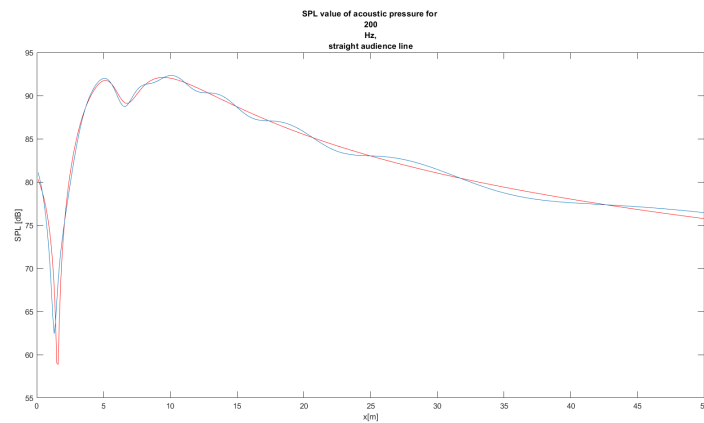
2.3.2 Progresivní prohnutí

V obrázcích 2.88, 2.89, 2.90 a 2.91 pro rovný povrch, 2.92, 2.93, 2.94 a 2.95 pro rovný nakloněný povrch, 2.96, 2.97, 2.98 a 2.99 pro rovný povrch se zlomem a 2.100, 2.101, 2.102 a 2.103 pro parabolicky prohnutý povrch je znázorněno šíření zvuku při započítání odrazů od stropu pro případ progresivního prohnutí sloupu.

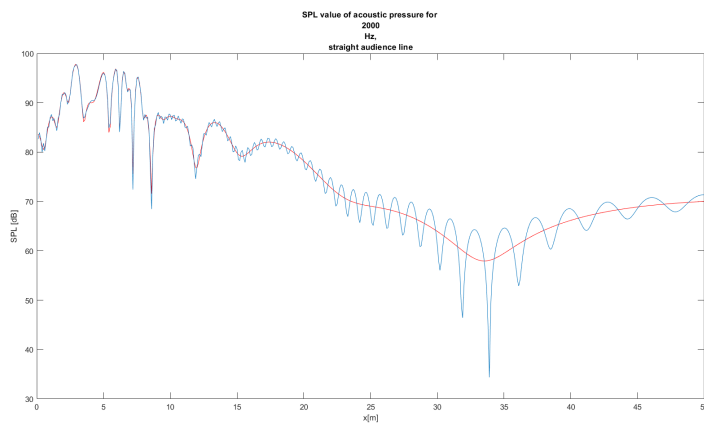
V grafech jsou stejně jako v předchozím případě červeně vykreslena šíření bez započítání odrazů pro zvýraznění vlivu odrazů na šíření.



Obrázek 2.88: Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz

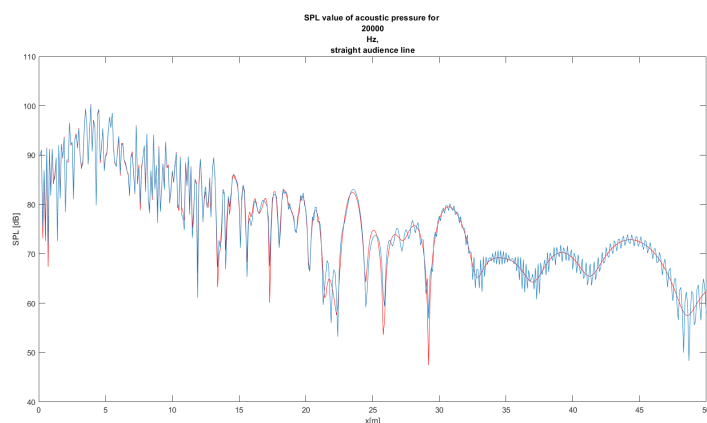


Obrázek 2.89: Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz

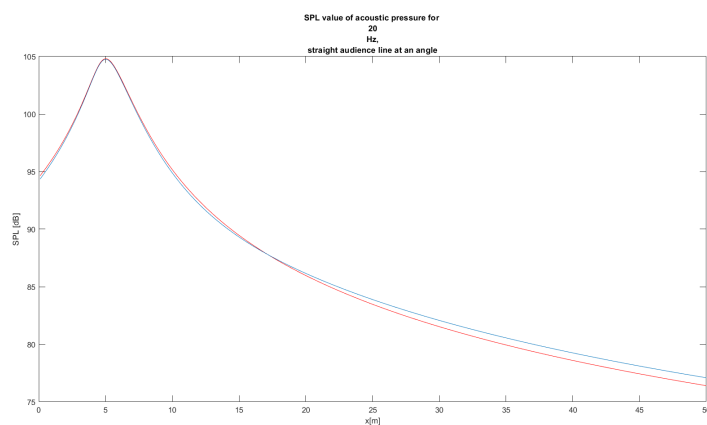


Obrázek 2.90: Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz

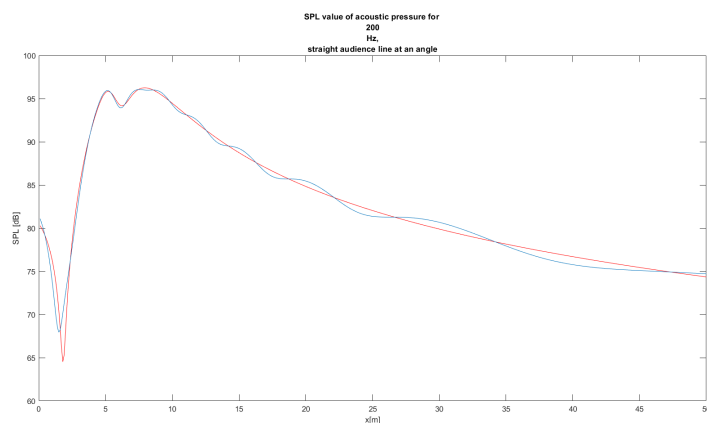
2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem



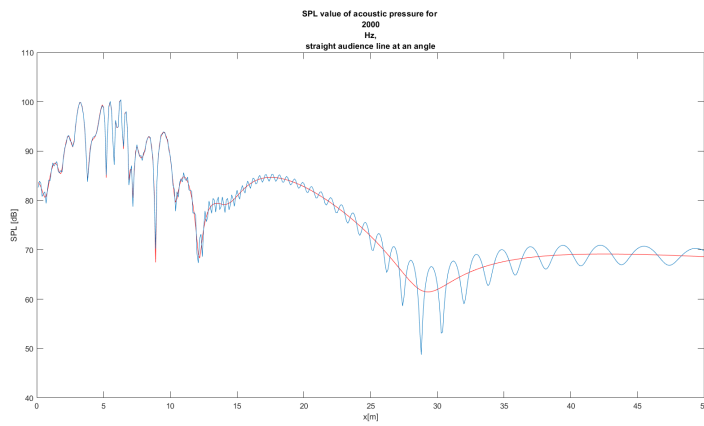
Obrázek 2.91: Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz



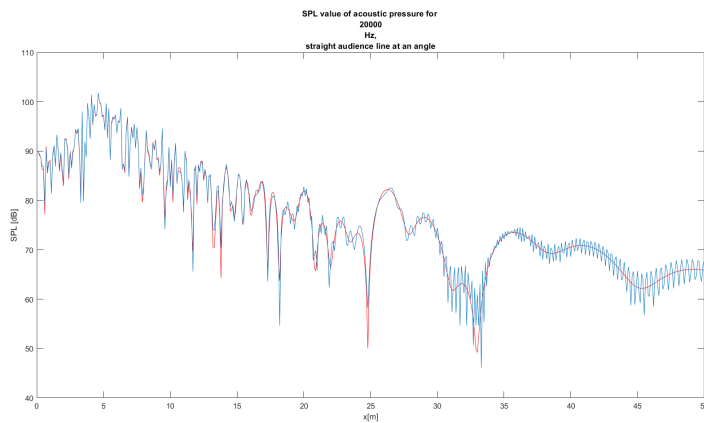
Obrázek 2.92: Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz



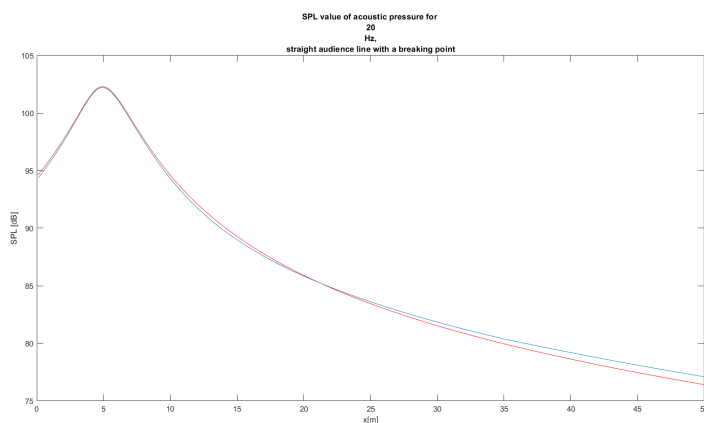
Obrázek 2.93: Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz



Obrázek 2.94: Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz

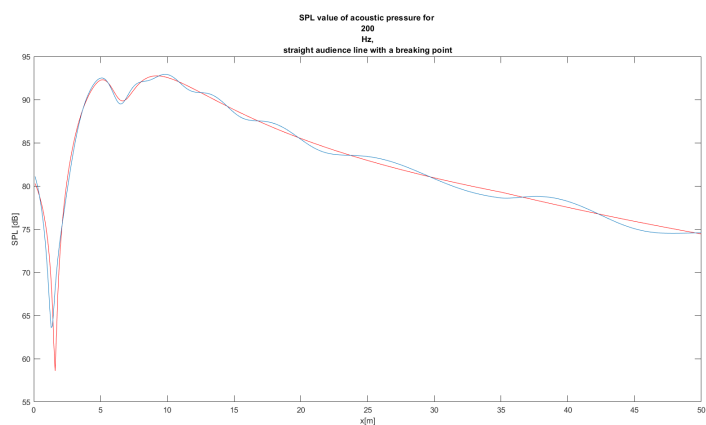


Obrázek 2.95: Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz

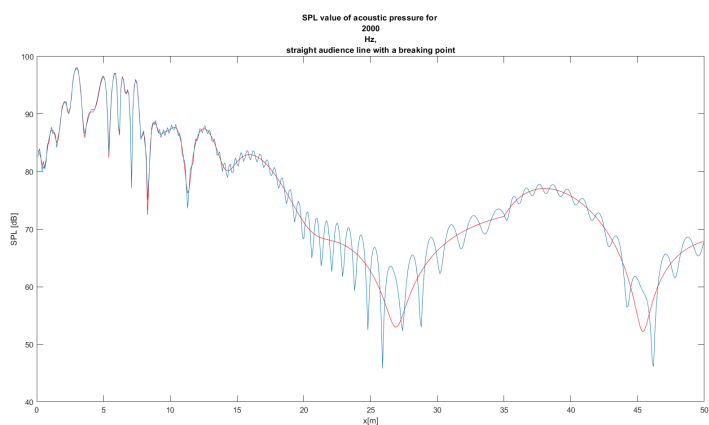


Obrázek 2.96: Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz

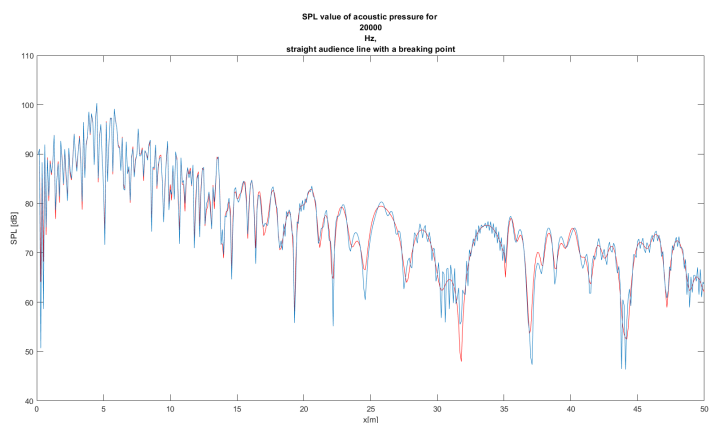
2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem



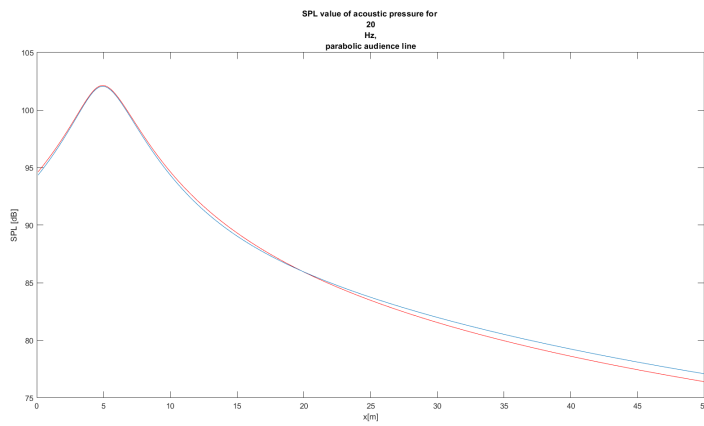
Obrázek 2.97: Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, progresivní prohmутí, 200 Hz



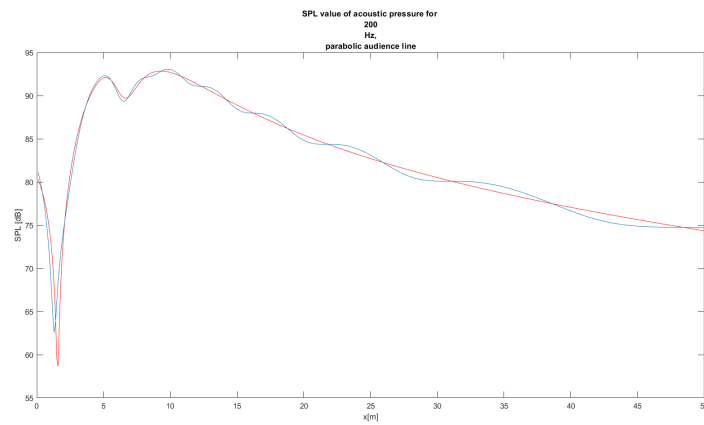
Obrázek 2.98: Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, progresivní prohmутí, 2 kHz



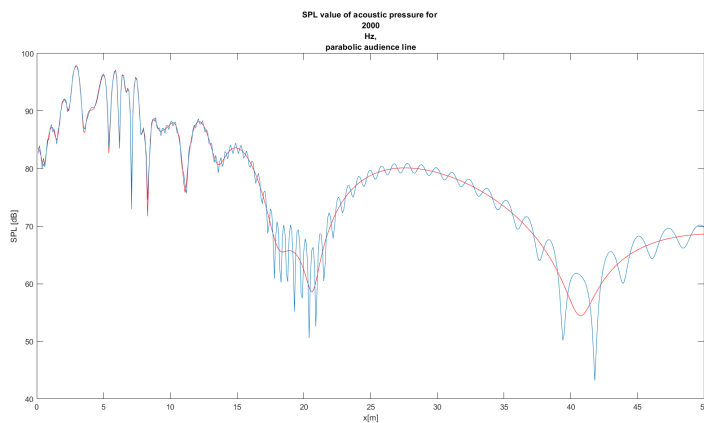
Obrázek 2.99: Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, progresivní prohmутí, 20 kHz



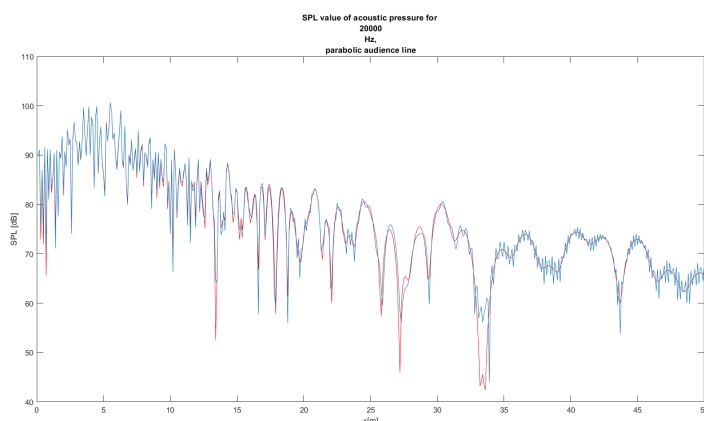
Obrázek 2.100: Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz



Obrázek 2.101: Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz



Obrázek 2.102: Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz

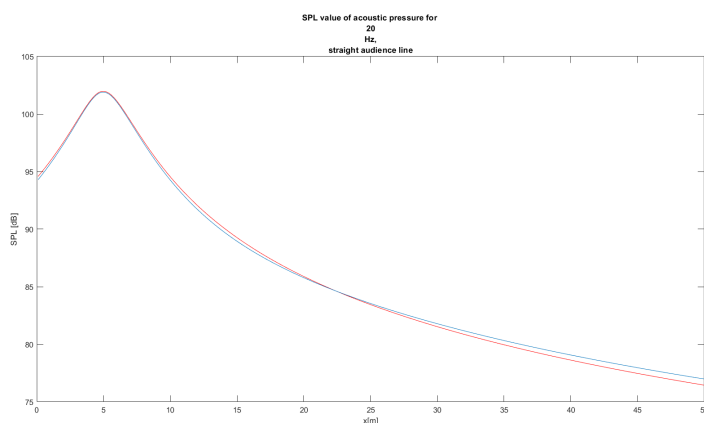


Obrázek 2.103: Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz

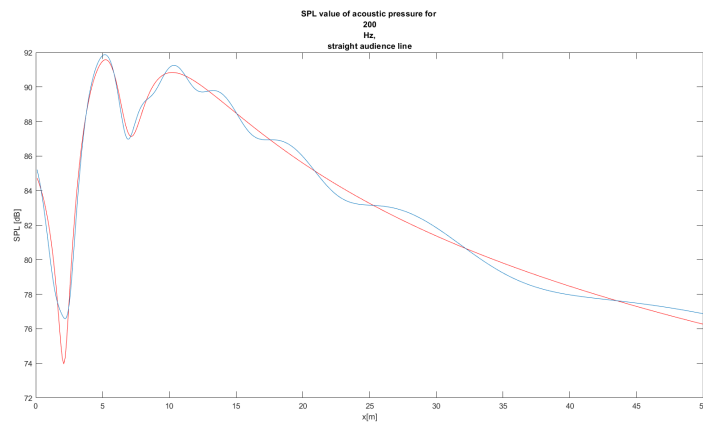
2.3.3 Prohnutí J

Šíření zvuku při započítání odrazů od stropu pro případ prohnutí sloupu do tvaru J je znázorněno v obrázcích 2.104, 2.105, 2.106 a 2.107 pro rovný povrch, 2.108, 2.109, 2.110 a 2.111 pro rovný nakloněný povrch, 2.112, 2.113, 2.114 a 2.115 pro rovný povrch se zlomem a 2.116, 2.117, 2.118 a 2.119 pro parabolicky prohnutý povrch.

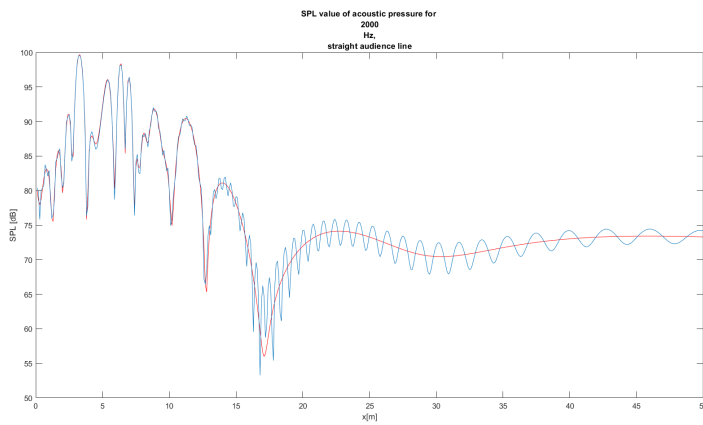
Stejně jako v předchozích případech jsou červeně vykreslena šíření bez započítání odrazů pro zvýraznění vlivu odrazů na šíření.



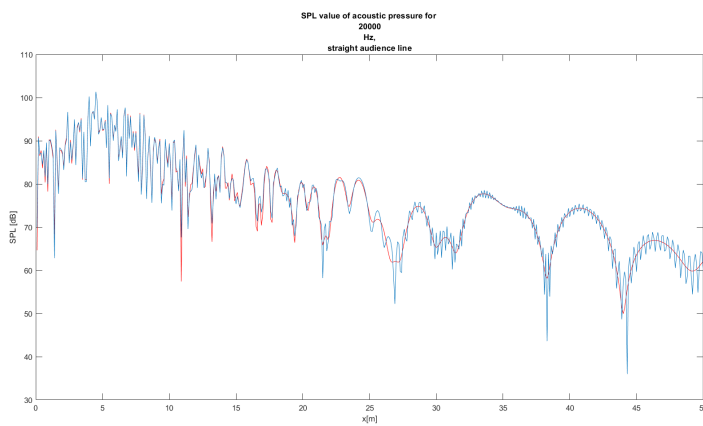
Obrázek 2.104: Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, prohnutí J, 20 Hz



Obrázek 2.105: Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, prohnutí J, 200 Hz

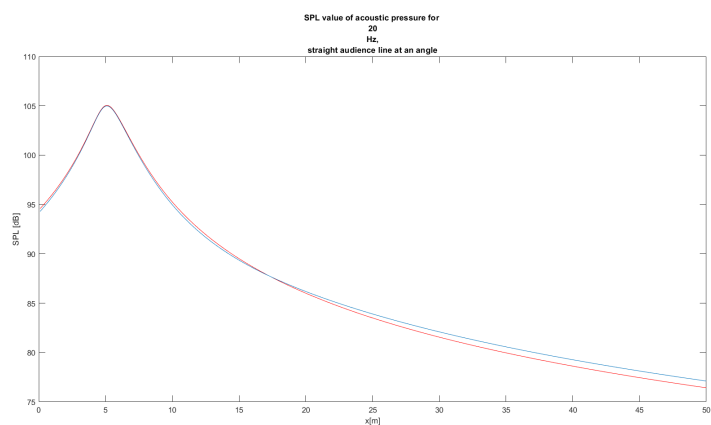


Obrázek 2.106: Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, prohnutí J, 2 kHz

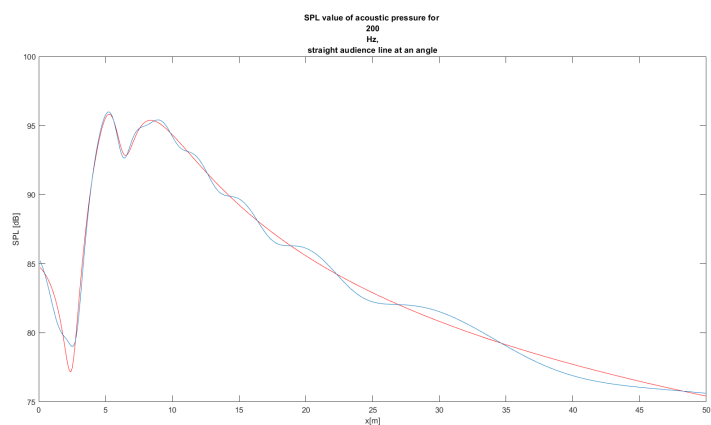


Obrázek 2.107: Šíření zvuku s odrazy nad rovným povrchem, prohnutí J, 20 kHz

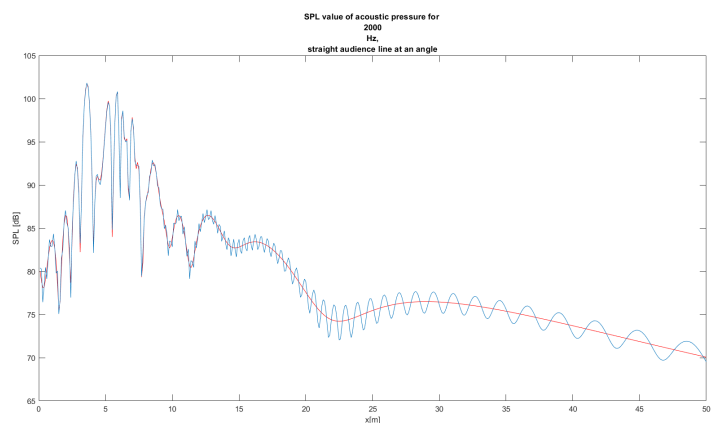
2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem



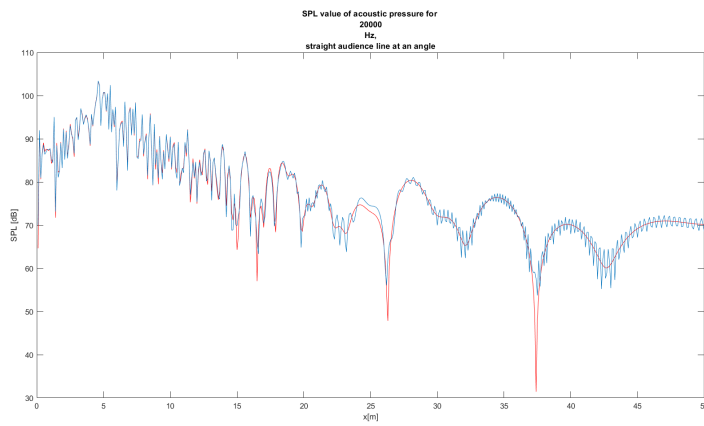
Obrázek 2.108: Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 20 Hz



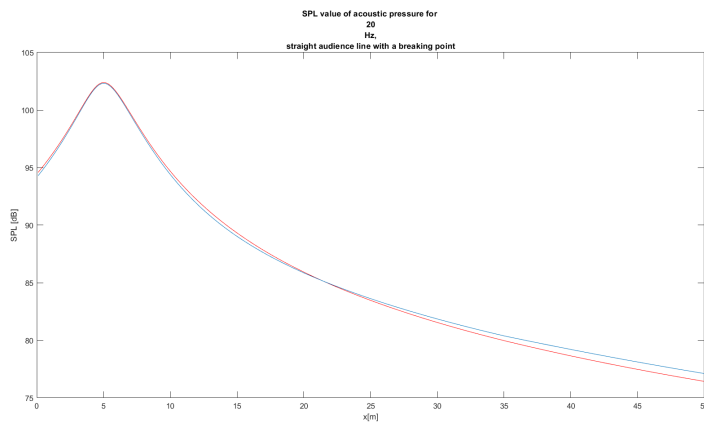
Obrázek 2.109: Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 200 Hz



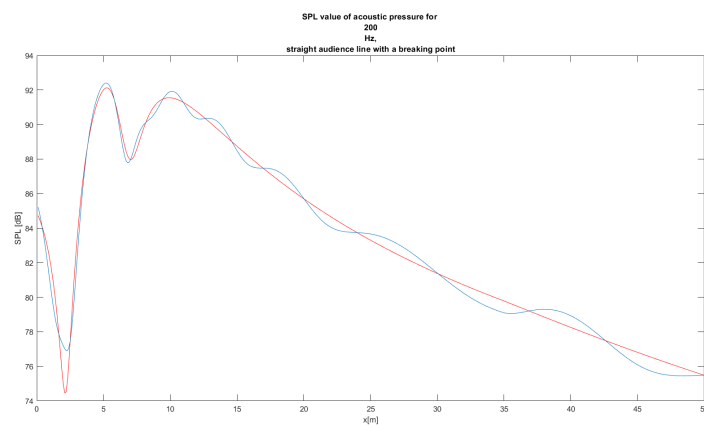
Obrázek 2.110: Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 2 kHz



Obrázek 2.111: Šíření zvuku s odrazy nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 20 kHz

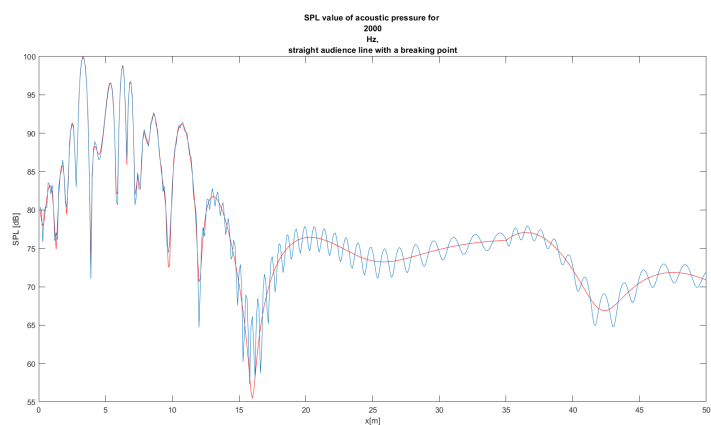


Obrázek 2.112: Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, prohnutí J, 20 Hz

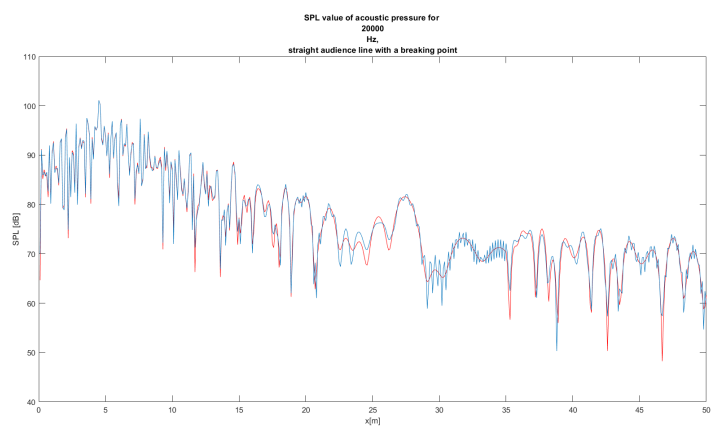


Obrázek 2.113: Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, prohnutí J, 200 Hz

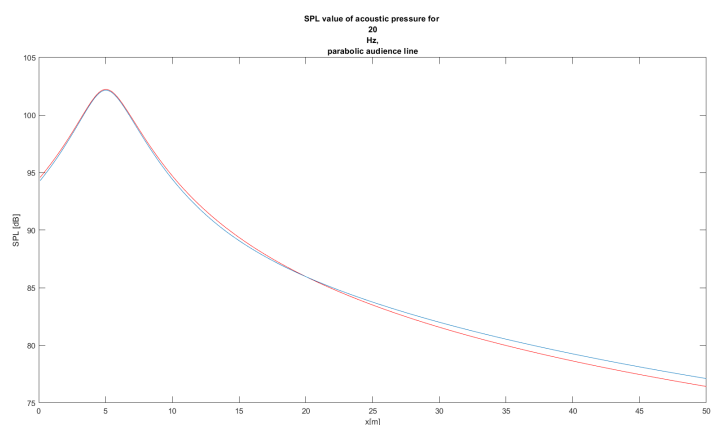
2. Vytváření modelu prostoru s jedním reproduktorovým sloupem



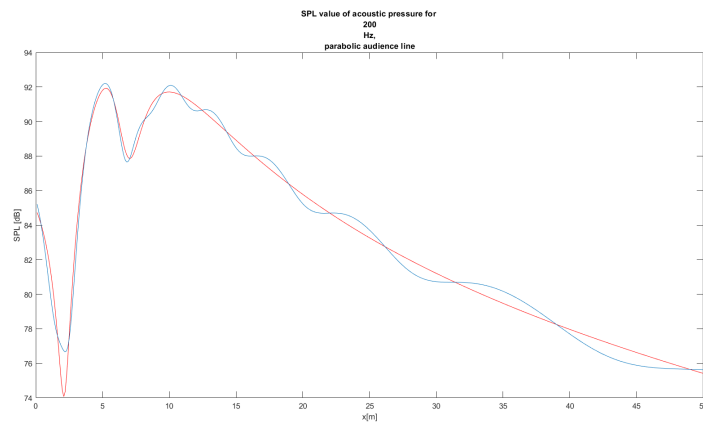
Obrázek 2.114: Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, prohnutí J, 2 kHz



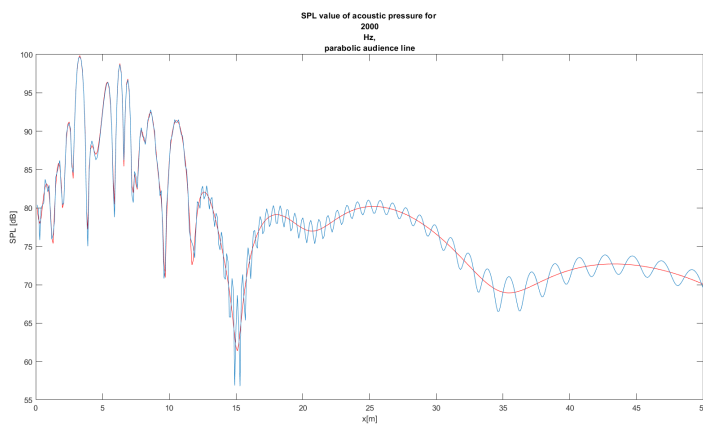
Obrázek 2.115: Šíření zvuku s odrazy nad lomeným povrchem, prohnutí J, 20 kHz



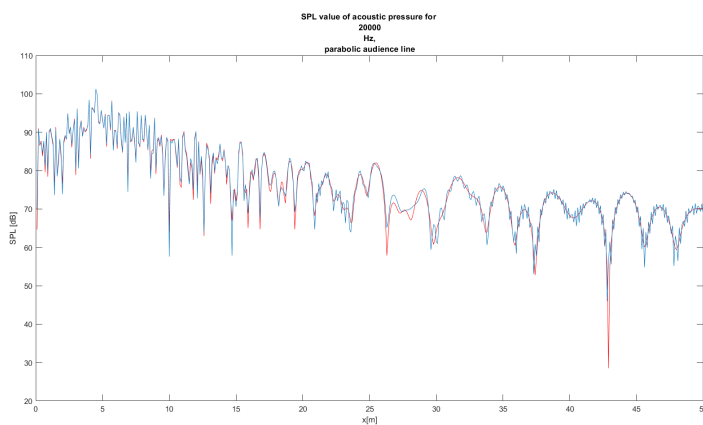
Obrázek 2.116: Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 20 Hz



Obrázek 2.117: Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 200 Hz



Obrázek 2.118: Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 2 kHz

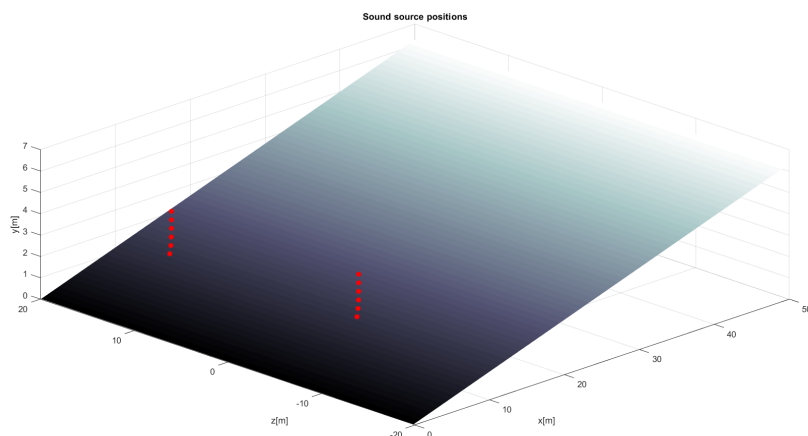


Obrázek 2.119: Šíření zvuku s odrazy nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 20 kHz

Kapitola 3

Model prostoru se dvěma reproduktorovými sloupky

V reálných aplikacích jsou typicky umístěny dva reproduktorové sloupky po stranách jeviště. Model je tedy dále realizován pro dva reproduktorové sloupky umístěné symetricky kolem řezu středem místnosti do vzájemné vzdálenosti 20 m. Umístění sloupů je znázorněno v obrázku 3.1.



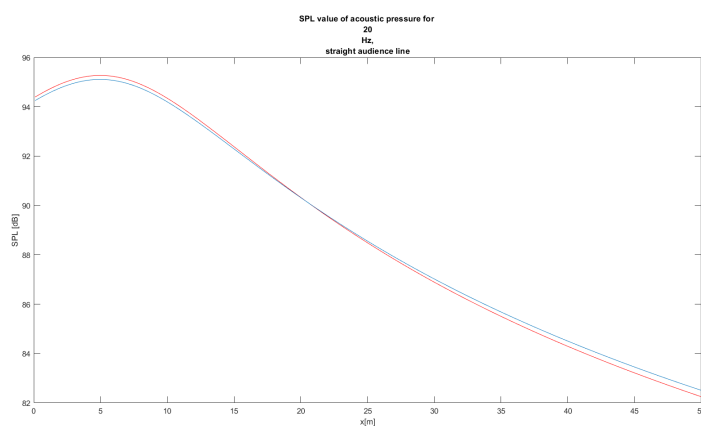
Obrázek 3.1: Zasazení sloupů do prostoru s nakloněným rovinným hledištěm

Grafy hladin akustického tlaku jsou dále vykreslovány stejně jako v předchozích v případech v řezu rovinou $z = 0$. Pro výpočet akustického tlaku v libovolném bodě \vec{r} platí stejně jako v situaci s jedním sloupem vztah 2.1 pro přímé vlny a vztah 2.5 při započítání odrazů od stěn.

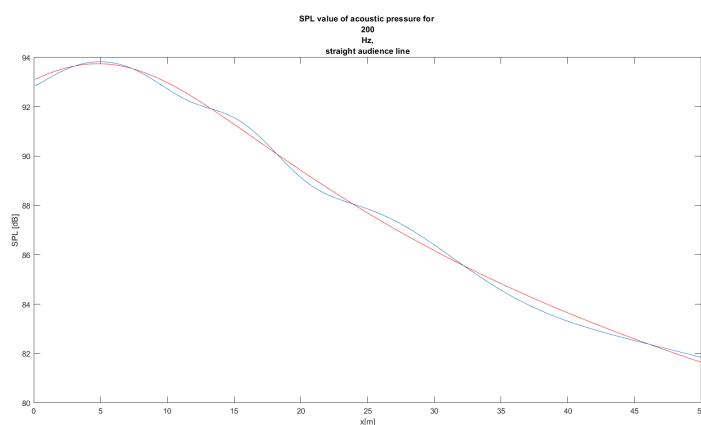
V podkapitolách 3.0.1, 3.0.2 a 3.0.3 jsou vykreslena šíření zvuku ze dvou reproduktorových sloupů. V každém grafu je červeně vykresleno šíření přímo od zdrojů a modře vykresleno šíření při započítání odrazů od stropu při $\beta = 0.5$ pro všechny frekvence a výšce stropu 10 m.

3.0.1 Konstantní prohnutí

V obrázcích 3.2, 3.3, 3.4 a 3.5 pro rovný povrch, 3.6, 3.7, 3.8 a 3.9 pro rovný nakloněný povrch, 3.10, 3.11, 3.12 a 3.13 pro rovný povrch se zlomem a 3.14, 3.15, 3.16 a 3.17 pro parabolicky prohnutý povrch je znázorněno šíření zvuku při konstantním prohnutí sloupů.

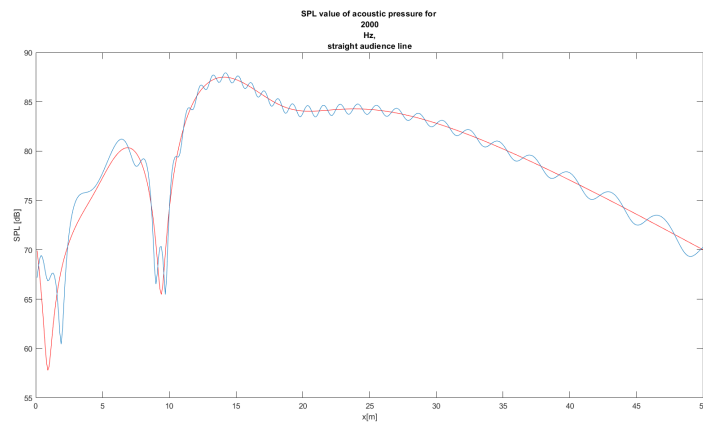


Obrázek 3.2: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz

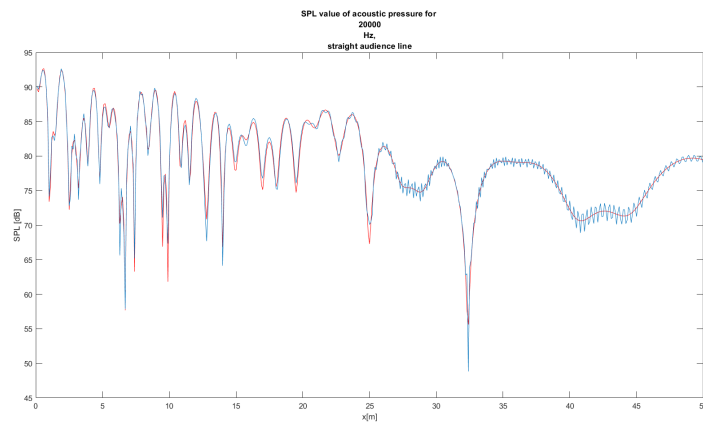


Obrázek 3.3: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz

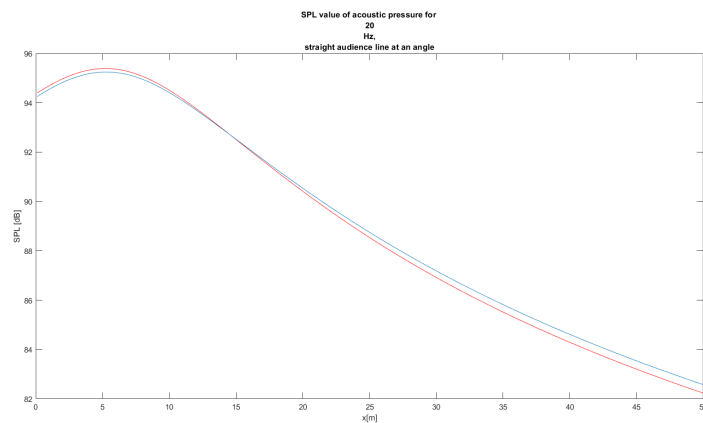
3. Model prostoru se dvěma reproduktorovými sloupky



Obrázek 3.4: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz

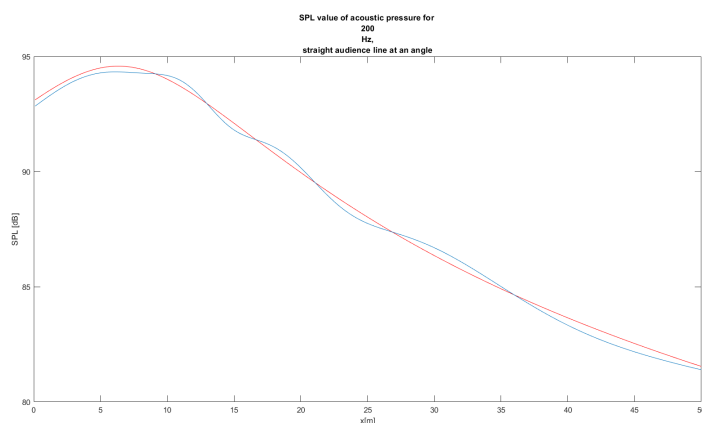


Obrázek 3.5: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz

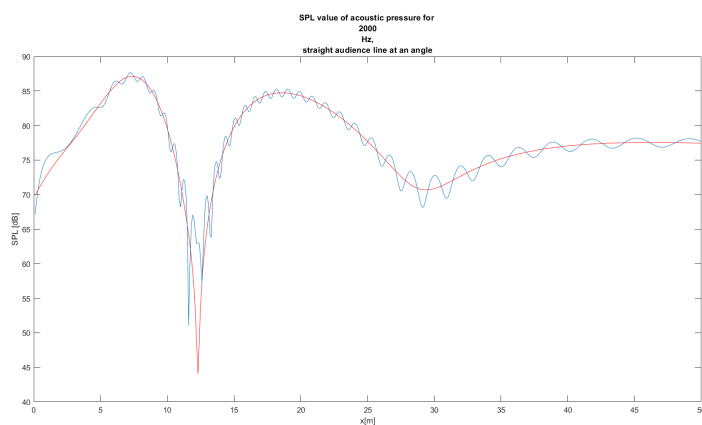


Obrázek 3.6: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz

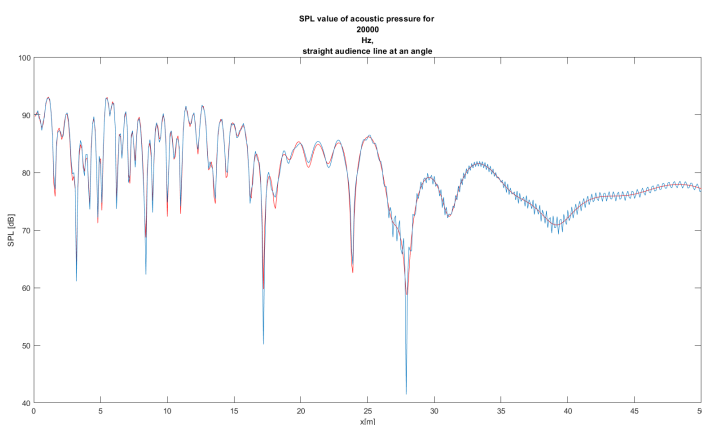
3. Model prostoru se dvěma reproduktorovými sloupý



Obrázek 3.7: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz

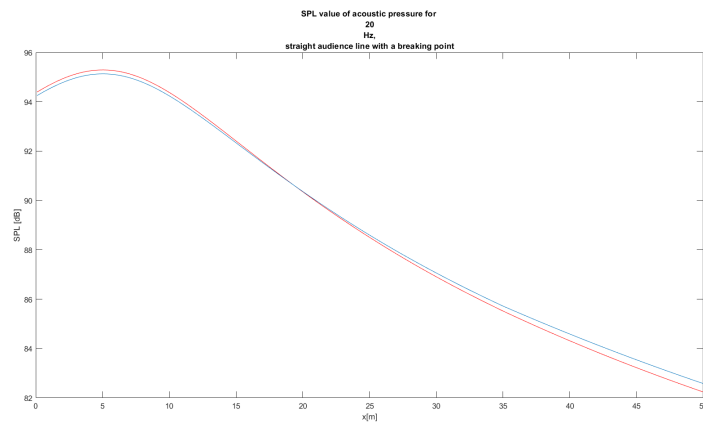


Obrázek 3.8: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz

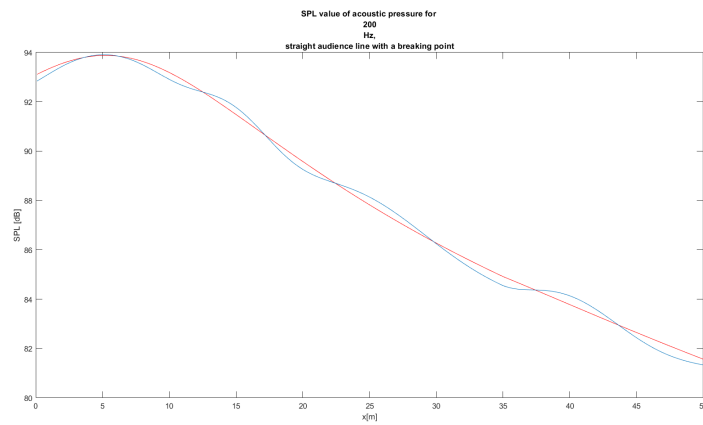


Obrázek 3.9: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz

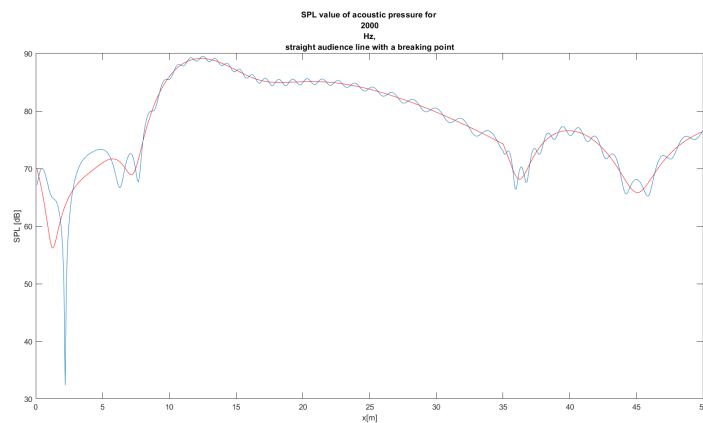
3. Model prostoru se dvěma reproduktorovými sloupky



Obrázek 3.10: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz

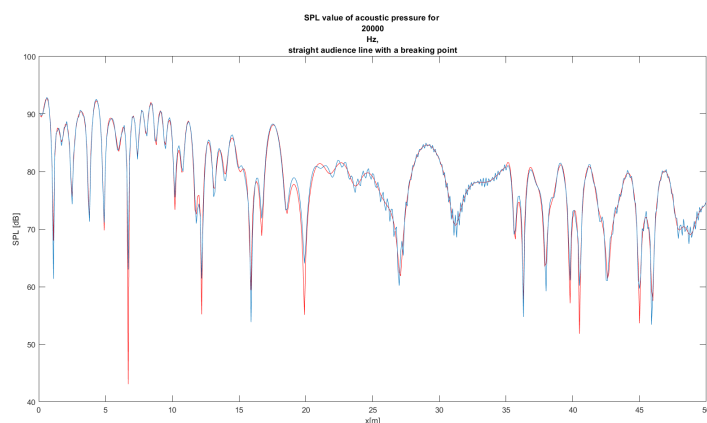


Obrázek 3.11: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz

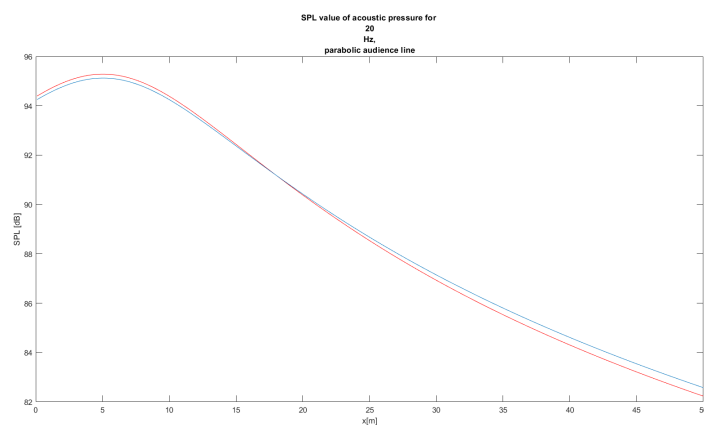


Obrázek 3.12: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz

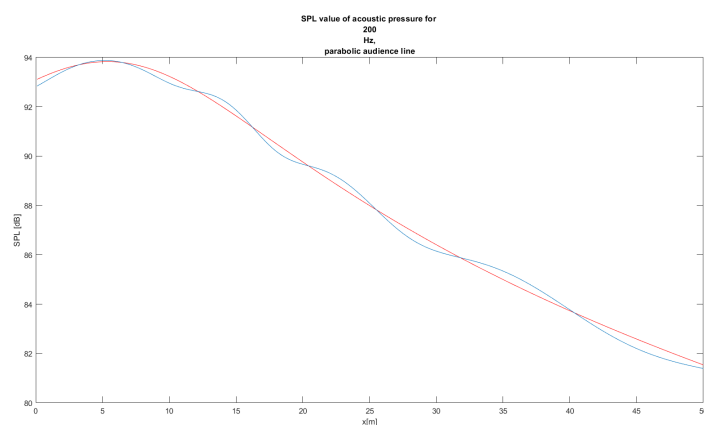
3. Model prostoru se dvěma reproduktory sloupy



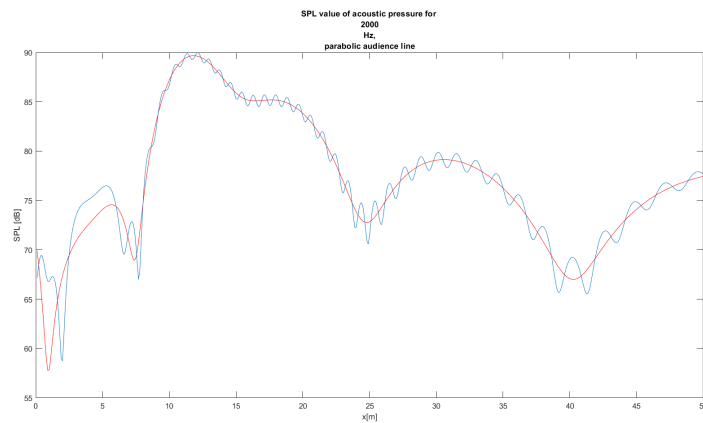
Obrázek 3.13: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz



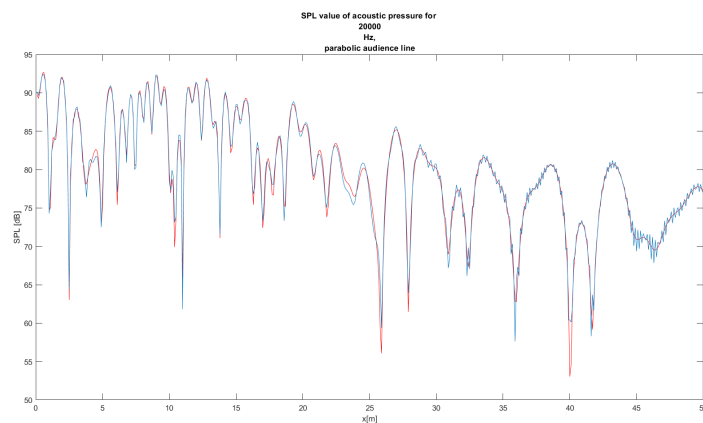
Obrázek 3.14: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 20 Hz



Obrázek 3.15: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 200 Hz



Obrázek 3.16: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 2 kHz

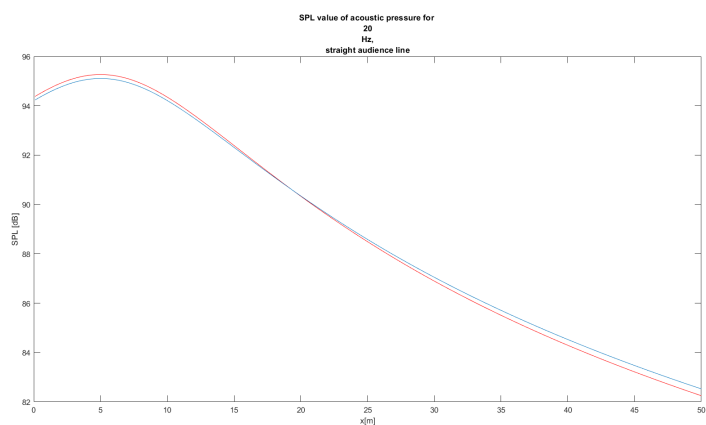


Obrázek 3.17: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, konstantní prohnutí, 20 kHz

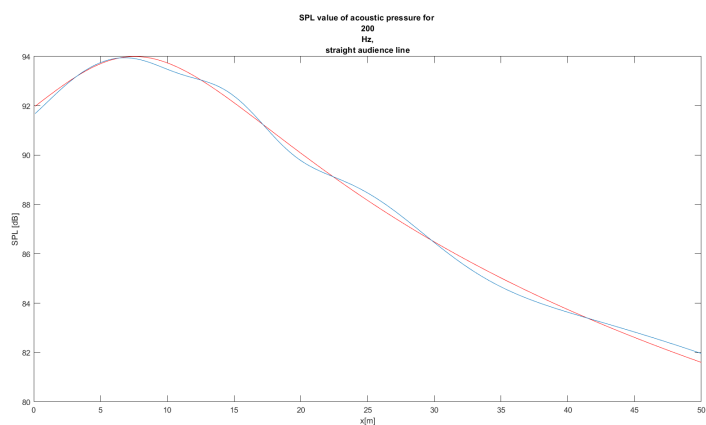
3.0.2 Progresivní prohnutí

V obrázcích 3.18, 3.19, 3.20 a 3.21 pro rovný povrch, 3.22, 3.23, 3.24 a 3.25 pro rovný nakloněný povrch, 3.26, 3.27, 3.28 a 3.29 pro rovný povrch se zlomem a 3.30, 3.31, 3.32 a 3.33 pro parabolicky prohnutý povrch je znázorněno šíření zvuku pro případ progresivního prohnutí sloupů.

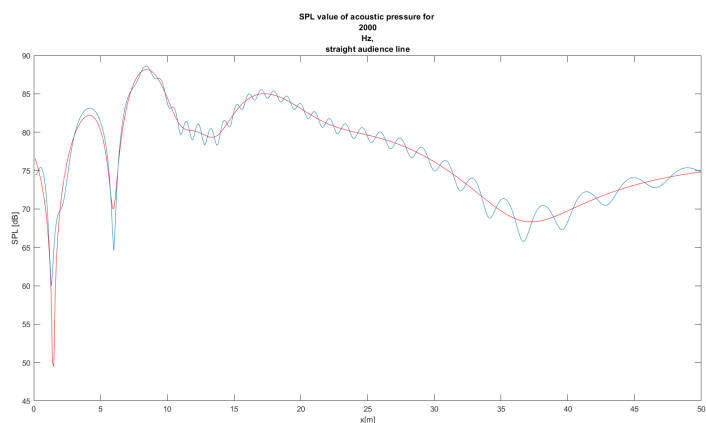
3. Model prostoru se dvěma reproduktorovými sloupy



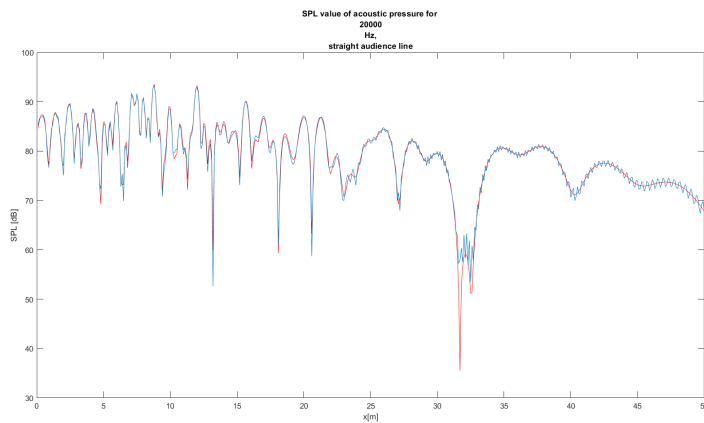
Obrázek 3.18: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz



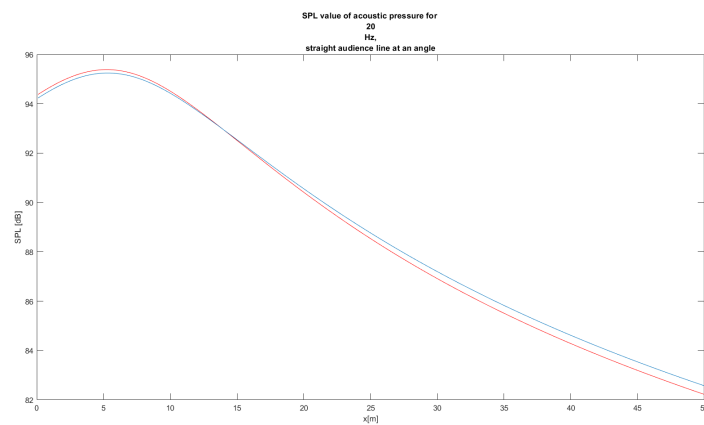
Obrázek 3.19: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz



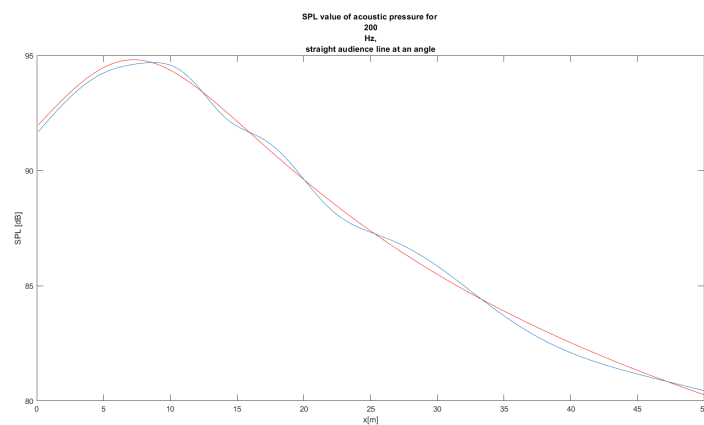
Obrázek 3.20: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz



Obrázek 3.21: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz

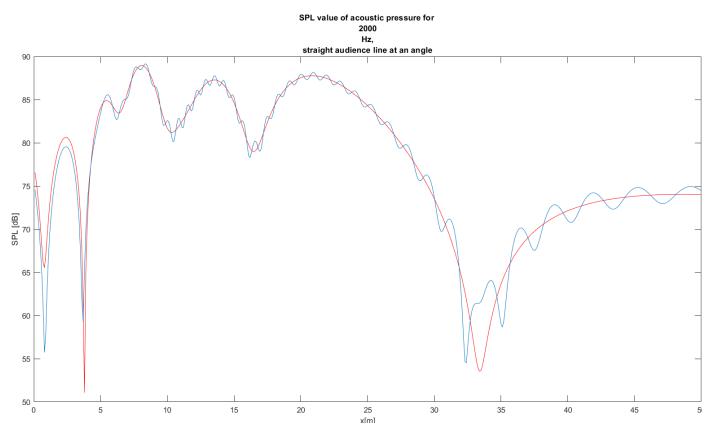


Obrázek 3.22: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz

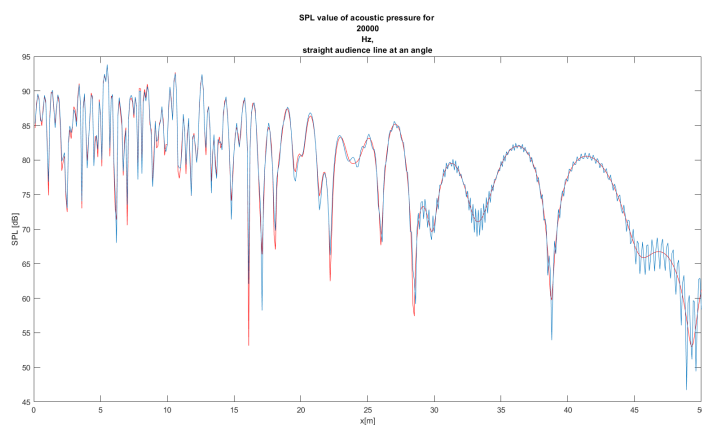


Obrázek 3.23: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz

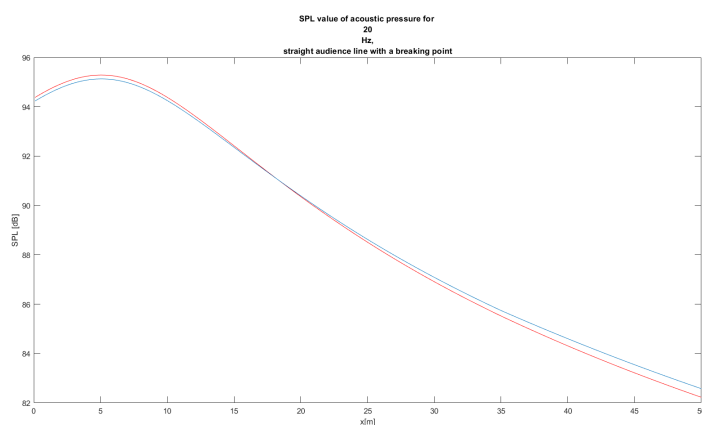
3. Model prostoru se dvěma reproduktrovými sloupy



Obrázek 3.24: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz

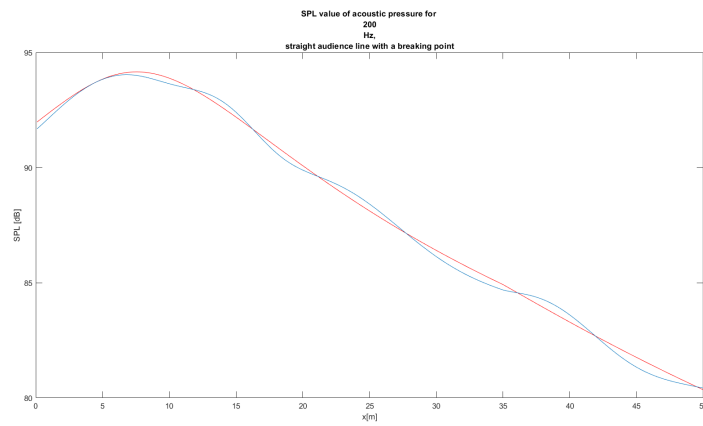


Obrázek 3.25: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz

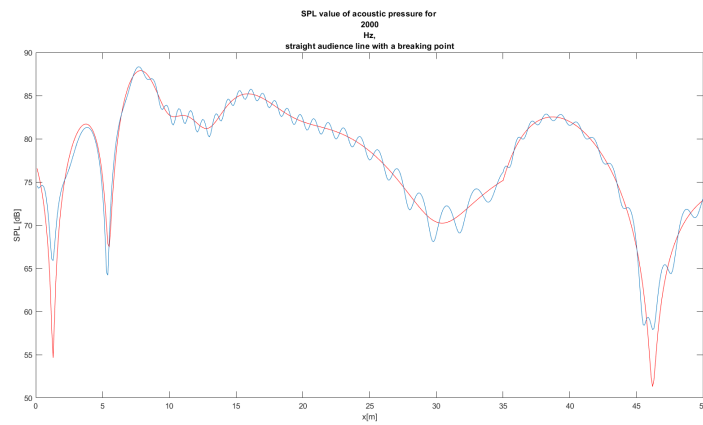


Obrázek 3.26: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz

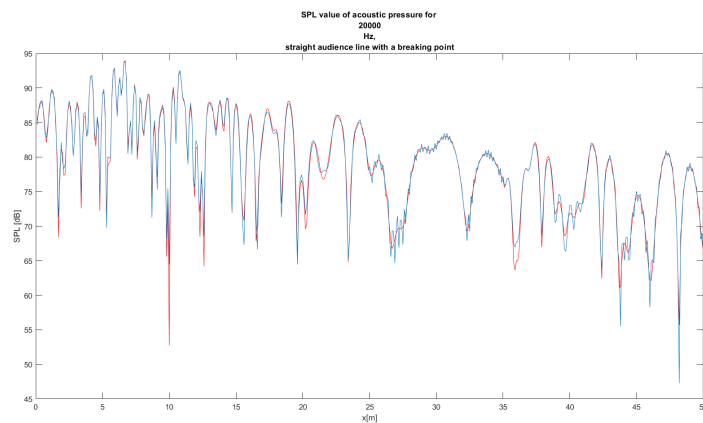
3. Model prostoru se dvěma reproduktorovými sloupky



Obrázek 3.27: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz

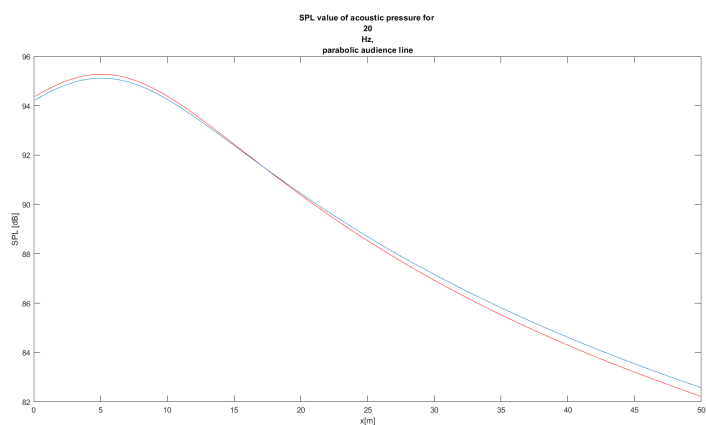


Obrázek 3.28: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz

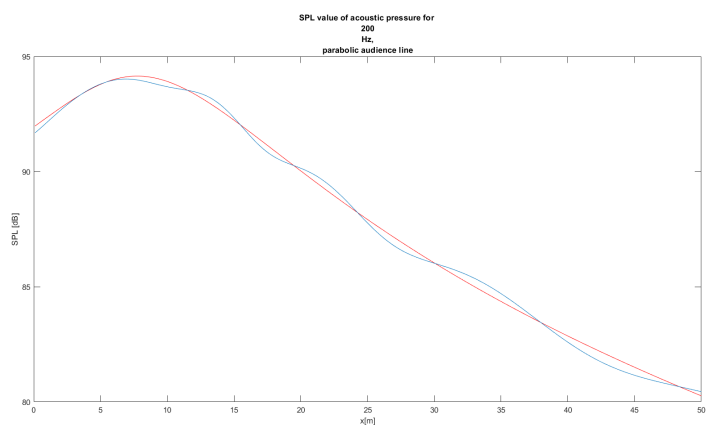


Obrázek 3.29: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz

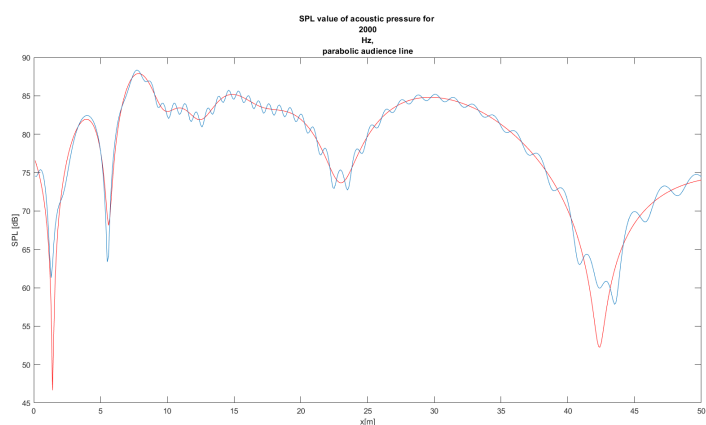
3. Model prostoru se dvěma reproduktorovými sloupy



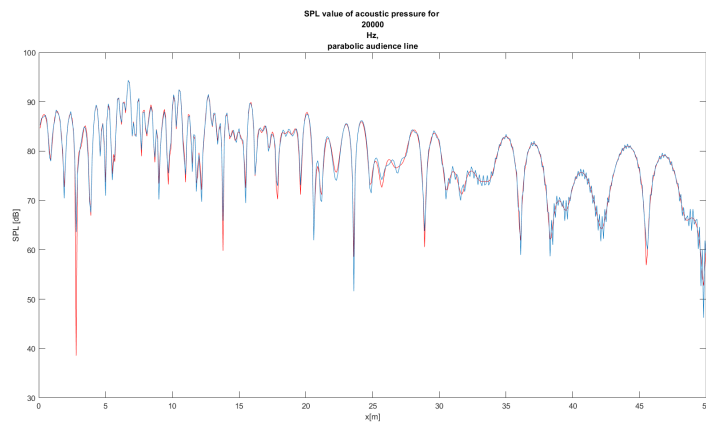
Obrázek 3.30: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 20 Hz



Obrázek 3.31: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 200 Hz



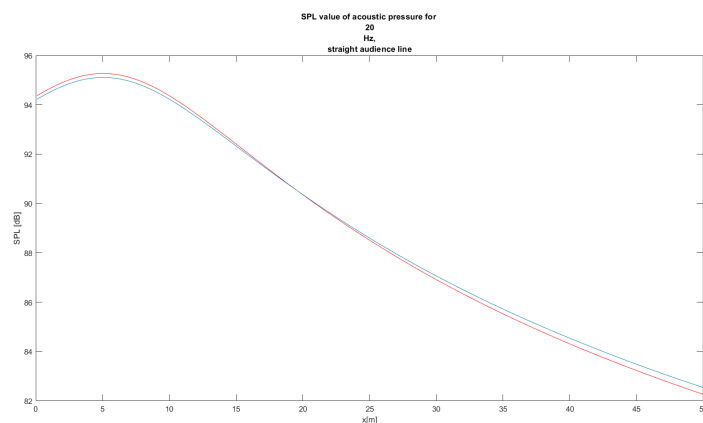
Obrázek 3.32: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 2 kHz



Obrázek 3.33: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, progresivní prohnutí, 20 kHz

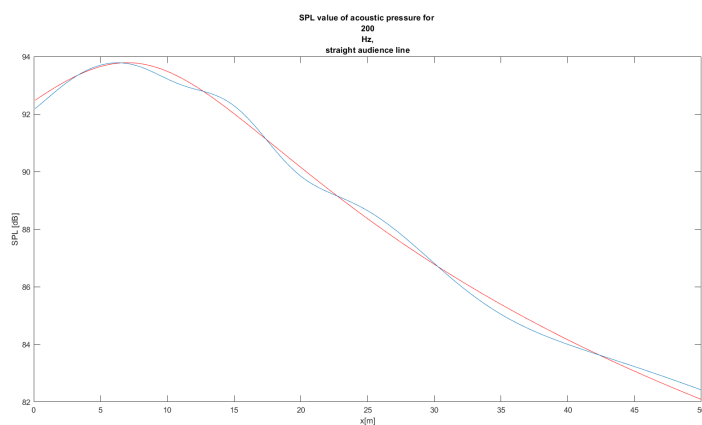
3.0.3 Prohnutí J

Šíření zvuku pro případ sloupů prohnutých do tvaru J je znázorněno v obrázcích 3.34, 3.35, 3.36 a 3.37 pro rovný povrch, 3.38, 3.39, 3.40 a 3.41 pro rovný nakloněný povrch, 3.42, 3.43, 3.44 a 3.45 pro rovný povrch se zlomem a 3.46, 3.47, 3.48 a 3.49 pro parabolicky prohnutý povrch.

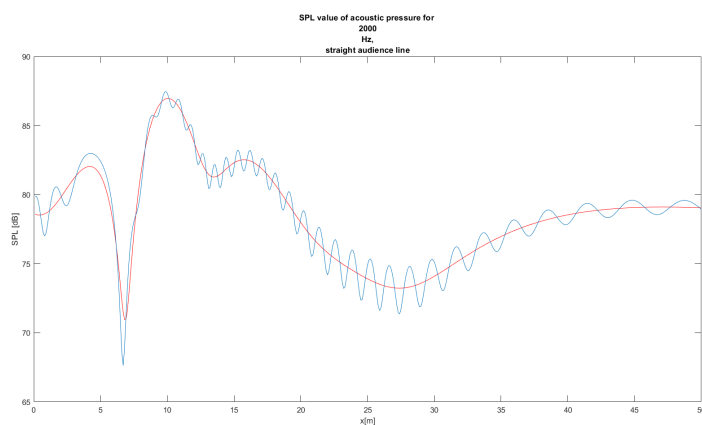


Obrázek 3.34: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, prohnutí J, 20 Hz

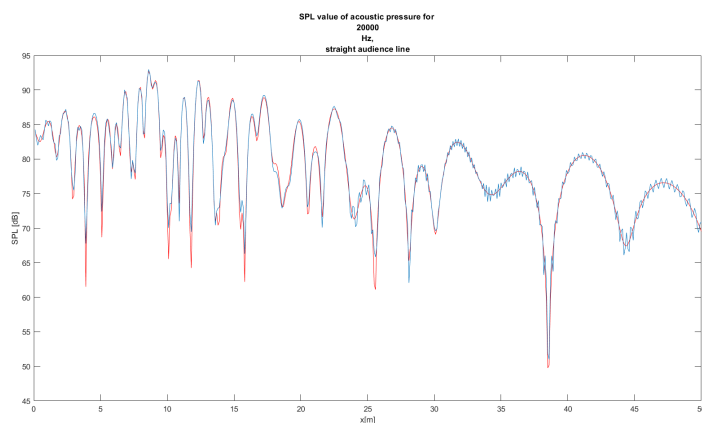
3. Model prostoru se dvěma reproduktorovými sloupy



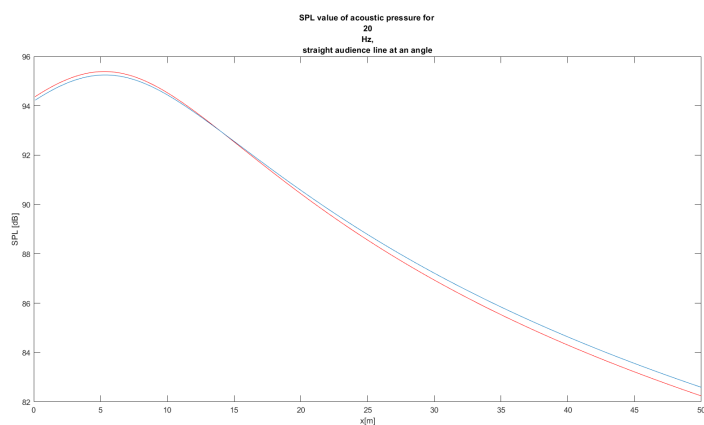
Obrázek 3.35: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, prohnutí J, 200 Hz



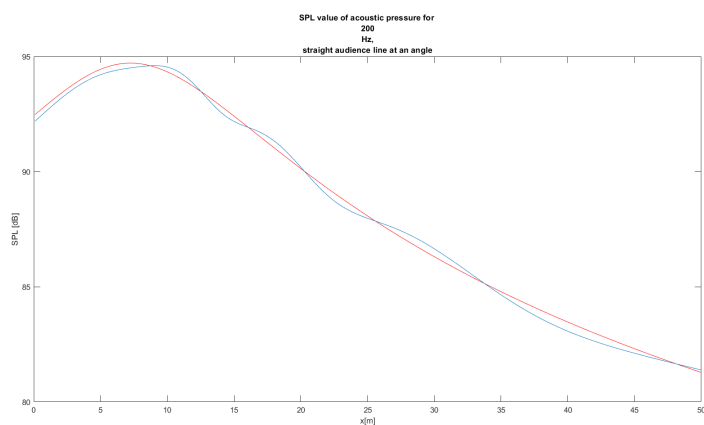
Obrázek 3.36: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, prohnutí J, 2 kHz



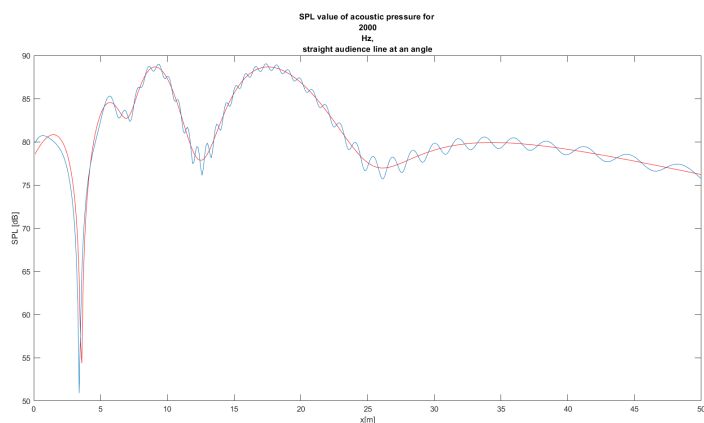
Obrázek 3.37: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad rovným povrchem, prohnutí J, 20 kHz



Obrázek 3.38: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 20 Hz

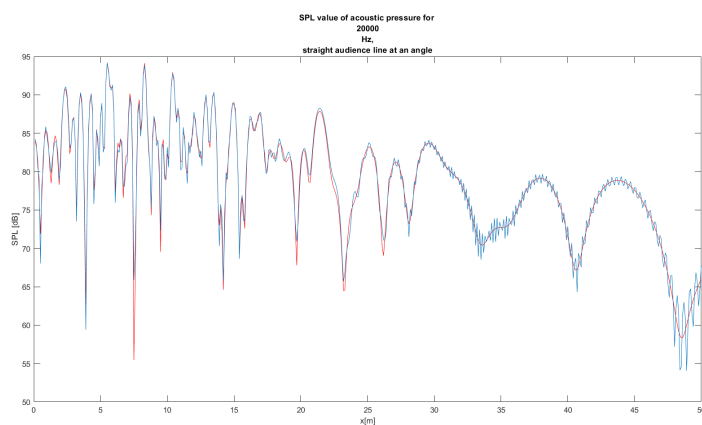


Obrázek 3.39: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 200 Hz

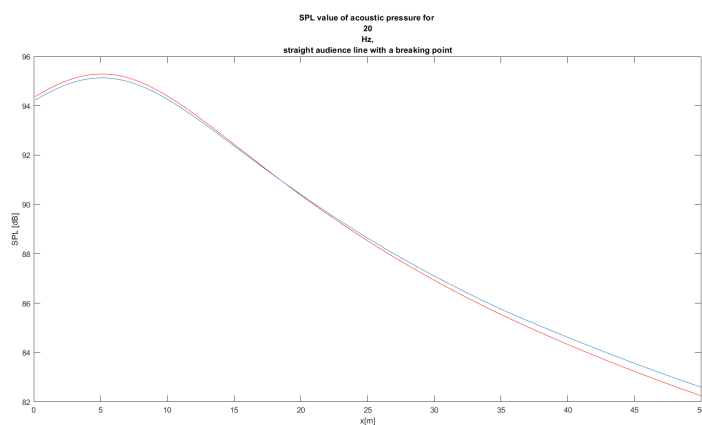


Obrázek 3.40: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 2 kHz

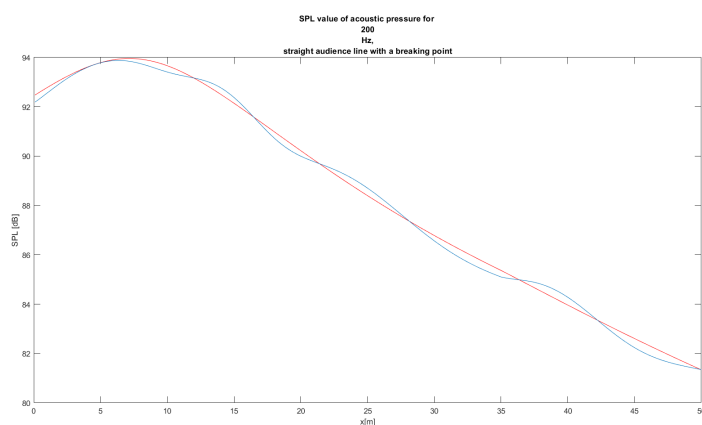
3. Model prostoru se dvěma reproduktorovými sloupů



Obrázek 3.41: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad nakloněným povrchem, prohnutí J, 20 kHz

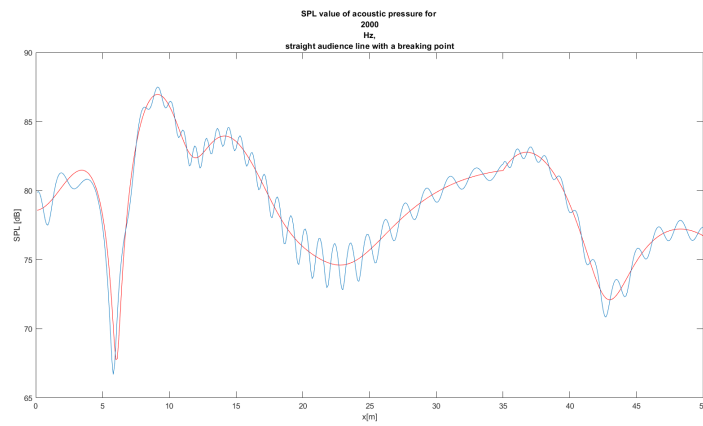


Obrázek 3.42: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, prohnutí J, 20 Hz

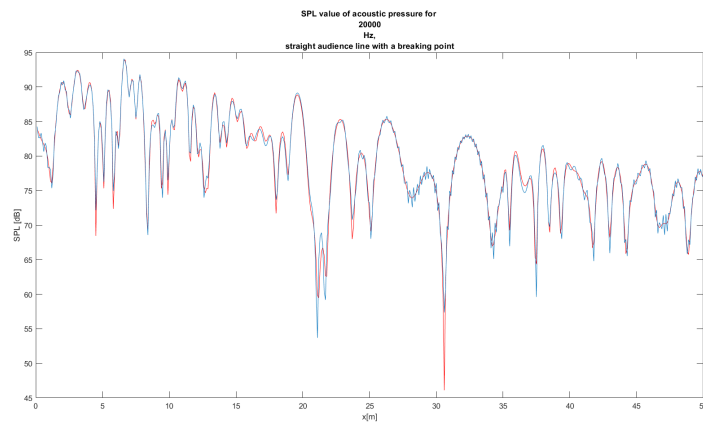


Obrázek 3.43: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, prohnutí J, 200 Hz

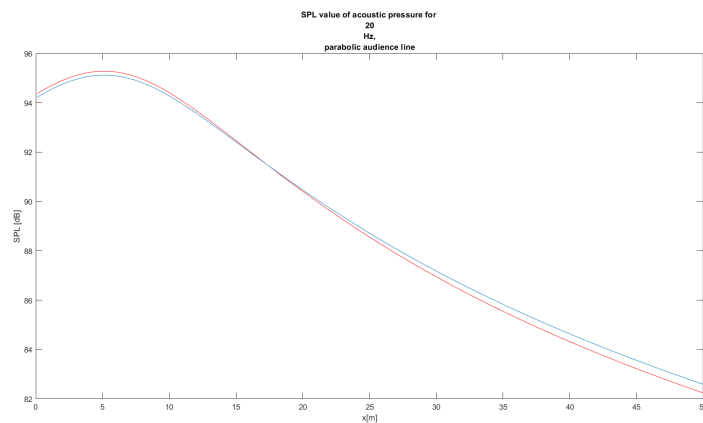
3. Model prostoru se dvěma reproduktorovými sloupky



Obrázek 3.44: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, prohnutí J, 2 kHz

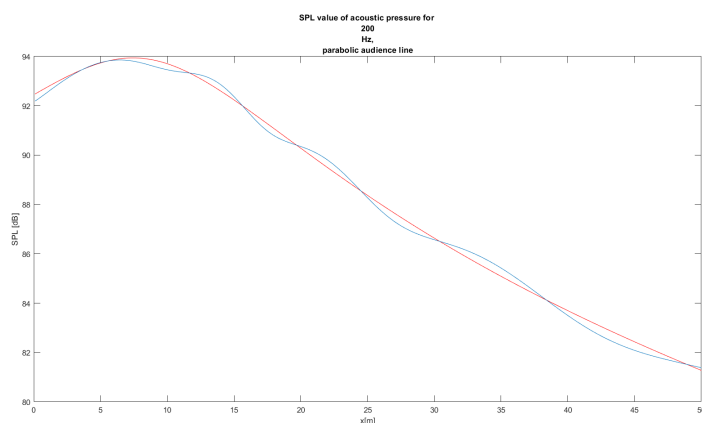


Obrázek 3.45: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad lomeným povrchem, prohnutí J, 20 kHz

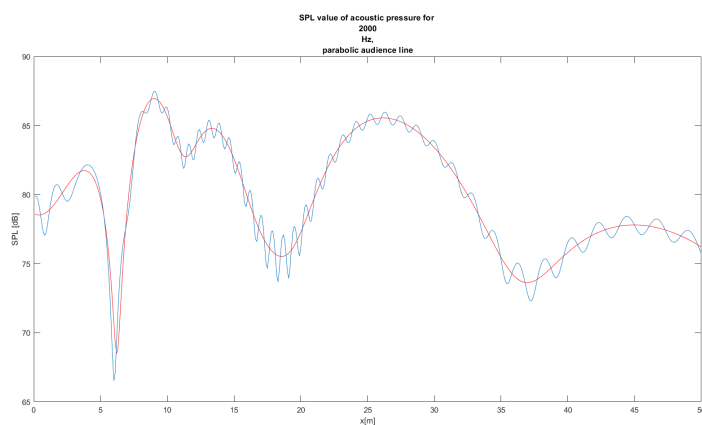


Obrázek 3.46: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, prohnutí J, 20 Hz

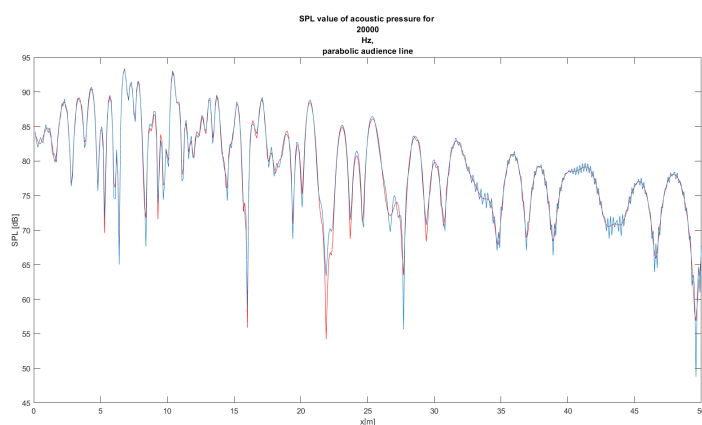
3. Model prostoru se dvěma reproduktory sloupy



Obrázek 3.47: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, prohmutí J, 200 Hz



Obrázek 3.48: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, prohmutí J, 2 kHz



Obrázek 3.49: Šíření zvuku ze dvou sloupů nad parabolickým povrchem, prohmutí J, 20 kHz

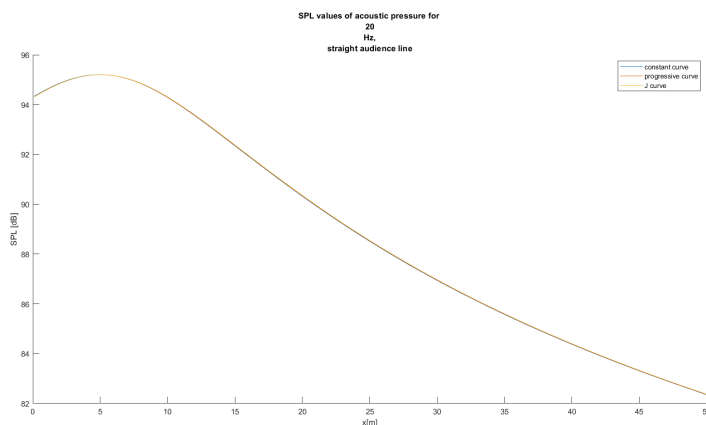
3.1 Srovnání výsledků

Všechny výsledky jsou pro lepší srovnání pro každou zkoumanou frekvenci a tvar prostoru vykresleny do grafů v podkapitolách 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3 a 3.1.4 tak, že jsou v každém grafu společně výsledky pro všechny tvary reproduktorových sloupů pro jednoduché porovnání vlivů tvarování. Modelovány jsou dva reproduktorové sloupy ve stejných polohách jako v předchozích případech.

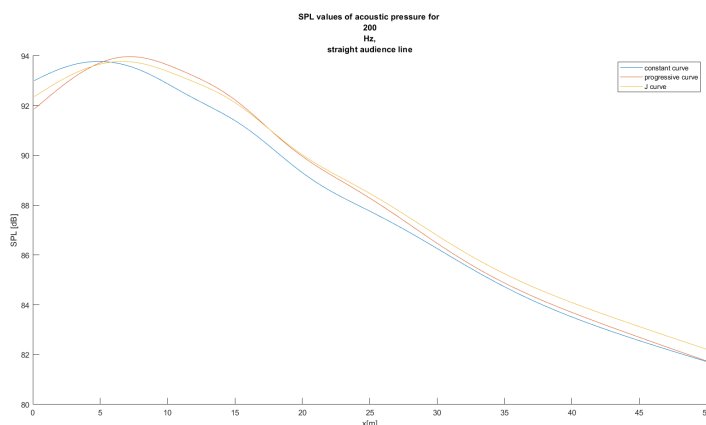
Pro zpřesnění oproti předchozím modelům je nyní upřesněna β stropu tak, aby odpovídala použití dobře pohltivého materiálu stropu. Nová hodnota β je tedy 0.2 pro všechny frekvence.

3.1.1 Vodorovné hlediště

V obrázcích 3.50, 3.51, 3.52 a 3.53 jsou vykresleny grafy šíření pro rovný povrch. Z grafů v obrázcích 3.50 a 3.51 vyplývá, že pro nižší frekvence je při uvažované aproximaci vliv tvarování sloupů nižší a pro 20 Hz je vliv dokonce zanedbatelný.

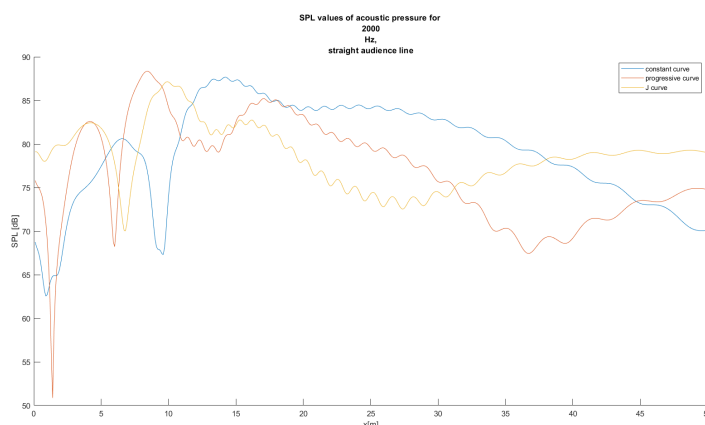


Obrázek 3.50: Vliv tvarování sloupů, vodorovné hlediště, 20 Hz



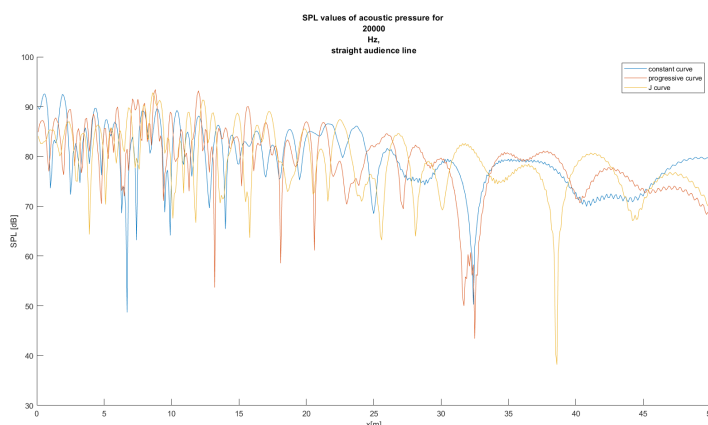
Obrázek 3.51: Vliv tvarování sloupů, vodorovné hlediště, 200 Hz

V situaci pro 2 kHz vykreslené v obrázku 3.52 jsou rozdíly ze všech frekvenčních pásem nejpráhlednější. Nejvyrovnanější průběh je dle očekávání pozorován při tvaru sloupů J. Progresivní zahnutí sloupů se zdá na zkoumaném úseku způsobovat více oblastí s propadem hladiny akustického tlaku než konstantní zahnutí. Hladina akustického tlaku se zdá celkově klesat pomaleji v případě progresivního prohnutí než v případě konstantního prohnutí, což odpovídá očekávání.



Obrázek 3.52: Vliv tvarování sloupů, vodorovné hlediště, 2 kHz

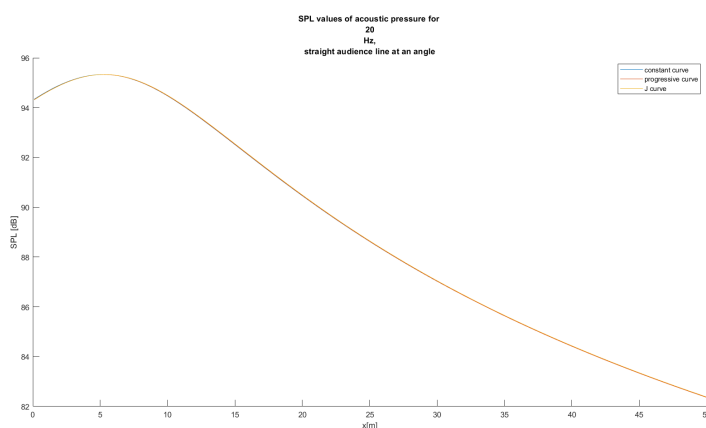
Graf pro 20 kHz vykreslený v obrázku 3.53 je výrazně méně přehledný než grafy pro nižší frekvence. Vliv tvaru sloupu na šíření zvuku je výrazný, ale pro všechny frekvence je pokrytí přibližně stejně rovnoměrné. Při konstantním prohnutí sloupů se zdá být nejmenší množství velkých propadů hladiny akustického tlaku. Při tvarování sloupů do J se pak propady zdají být menší ve smyslu propadu o méně dB. Progresivní prohnutí sloupů se pak zdá způsobovat propady na menším prostoru s výjimkou širší oblasti propadu mezi $x = 30$ m a $x = 35$ m.



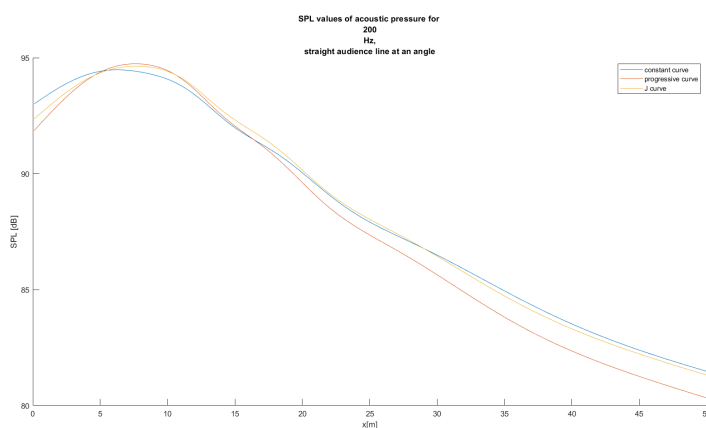
Obrázek 3.53: Vliv tvarování sloupů, vodorovné hlediště, 20 kHz

3.1.2 Nakloněné rovné hlediště

Grafy šíření v prostoru s nakloněnou rovnou podlahou jsou vykresleny v obrázcích 3.54, 3.55, 3.56 a 3.57. I zde je vliv tvarování na šíření nižších frekvencí méně patrný, jak je zobrazeno v obrázcích 3.54 a 3.55.

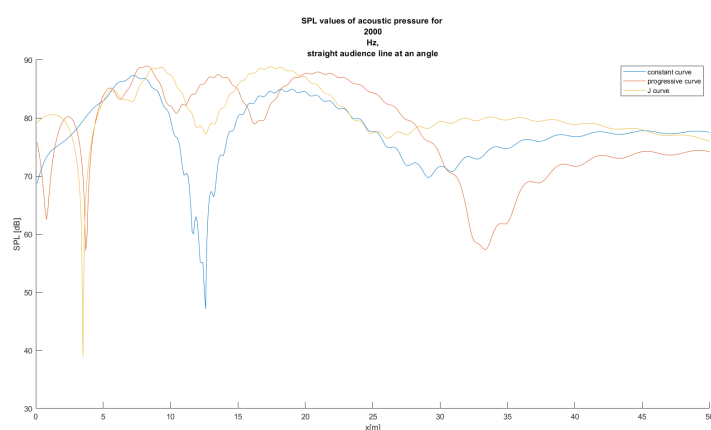


Obrázek 3.54: Vliv tvarování sloupů, nakloněné rovné hlediště, 20 Hz



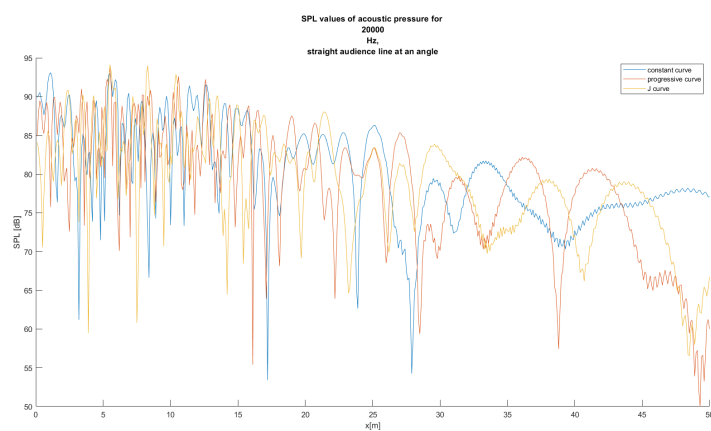
Obrázek 3.55: Vliv tvarování sloupů, nakloněné rovné hlediště, 200 Hz

V obrázku 3.56 je vykreslen graf šíření zvuku pro 2 kHz. Je v něm patrné, že pro potřeby rovnoměrného rozložení je nejméně vhodné progresivní prohnutí sloupů, které zjevně způsobuje největší rozptyl hodnot. Prohnutí J znovu vykazuje nejrovnoměrnější pokrytí zkoumaného prostoru. Konstantní prohnutí se s výjimkou výrazného propadu kolem $x = 15$ m jeví jako vhodná možnost pro nejmírnější pokles hladiny akustického tlaku, což neodpovídá očekávání.



Obrázek 3.56: Vliv tvarování sloupů, nakloněné rovné hlediště, 2 kHz

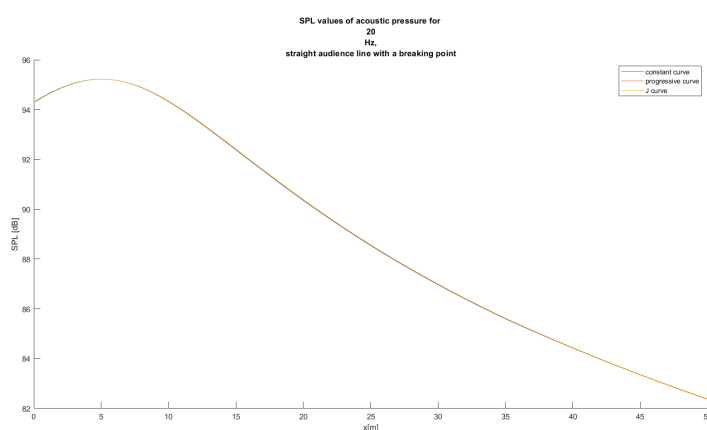
V grafu šíření zvuku při 20 kHz vykresleném v obrázku 3.57 je i zde situace méně přehledná. Přibližně mezi $x = 15$ m a $x = 30$ m se zdá být pokrytí srovnatelně nerovnoměrné pro všechny tvary sloupů. Pro vyšší vzdálenosti od zdrojů až po maximální vzdálenost $x = 50$ m se pak šíření srovnává při konstantním zahnutí sloupů, zatímco při progresivním zahnutí, či zahnutí J úrovně akustického tlaku výrazněji kolísají i nadále výrazně.



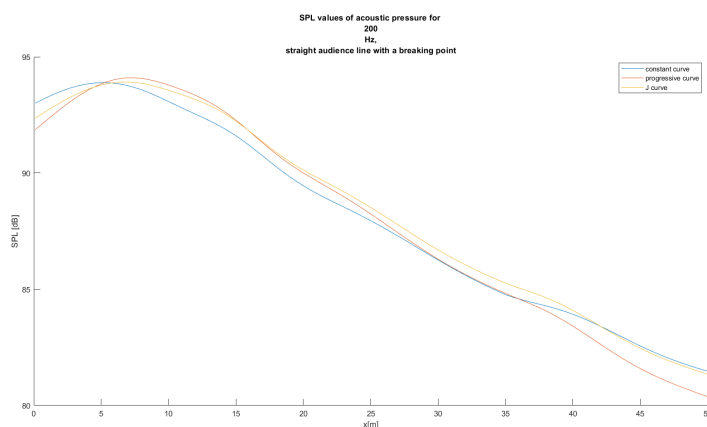
Obrázek 3.57: Vliv tvarování sloupů, nakloněné rovné hlediště, 20 kHz

3.1.3 Rovné hlediště se zlomem

Grafy šíření v prostoru s lomenou podlahou jsou vykresleny v obrázcích 3.58, 3.59, 3.60 a 3.61. Vliv tvarování na šíření nižších frekvencí je znovu méně patrný, jak je zobrazeno v obrázcích 3.58 a 3.59.

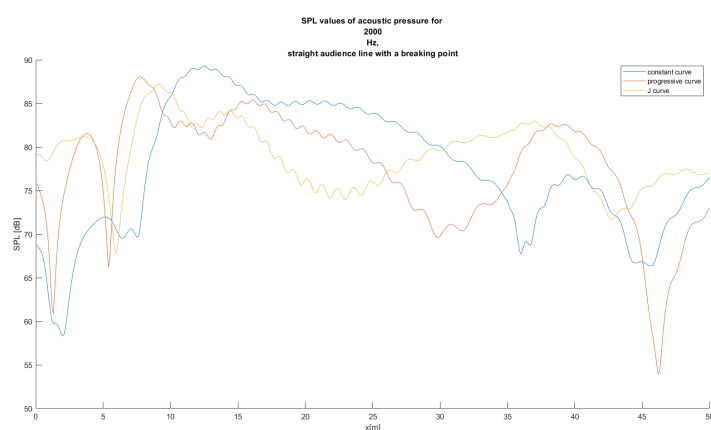


Obrázek 3.58: Vliv tvarování sloupů, hlediště se zlomem, 20 Hz



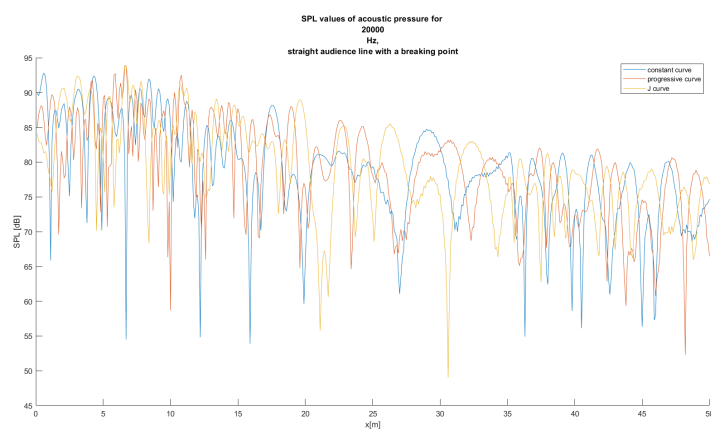
Obrázek 3.59: Vliv tvarování sloupů, hlediště se zlomem, 200 Hz

Z obrázku 3.60, kde je vykreslena situace pro 2 kHz je zjevné, že progresivní prohnutí způsobuje pro 2 kHz v prostoru s lomenou podlahou nejméně rovnoměrné pokrytí. Nejrovnoměrnější pokrytí pak vzniká při prohnutí do tvaru J, při němž zároveň zdánlivě dochází k nejmenšímu poklesu hladiny akustického tlaku se vzdáleností. Oproti očekávání se zdá, že při konstantním prohnutí sloupů dochází k mírnějšímu klesání hladiny akustického tlaku než při progresivním zahnutí.



Obrázek 3.60: Vliv tvarování sloupů, hlediště se zlomem, 2 kHz

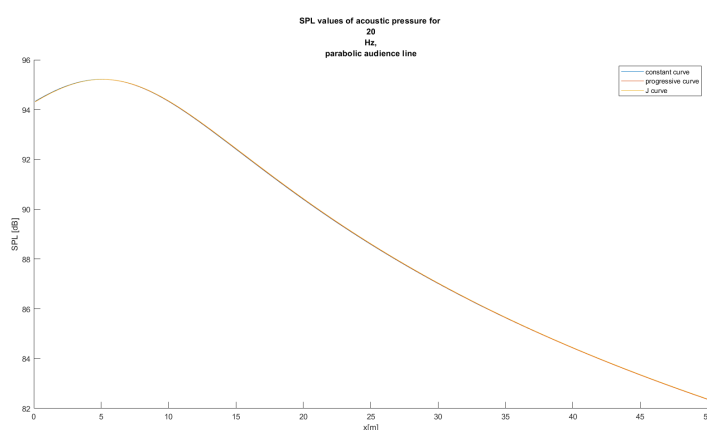
Pro 20 kHz v obrázku 3.61 se znovu situace stává nepřehlednou. Celkově hladina akustického tlaku klesá pro všechny tvary sloupů obdobně s několika rozdíly. Progresivní prohnutí se zde zdá být vhodnější než konstantní prohnutí pro jeho mírnější propady hodnot. Nejméně výrazné propady hladiny akustického tlaku se zdá způsobovat použití tvaru J s výjimkou dvou větších propadů přibližně kolem $x = 21$ m a $x = 30$ m.



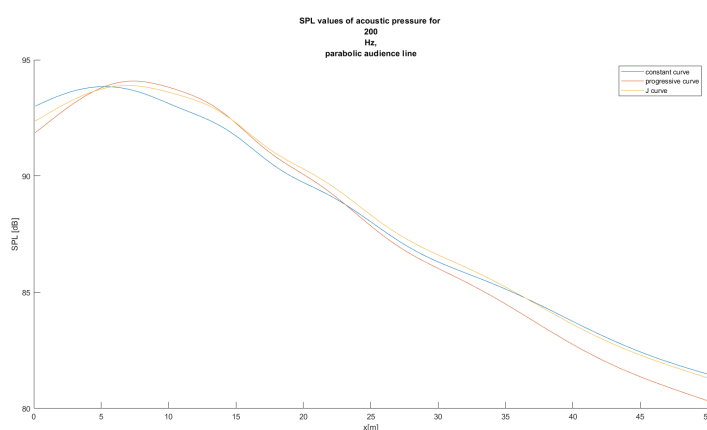
Obrázek 3.61: Vliv tvarování sloupů, hlediště se zlomem, 20 kHz

3.1.4 Parabolické hlediště

V obrázcích 3.62, 3.63, 3.64 a 3.65 jsou vykresleny grafy šíření zvuku v prostoru s parabolicky prohnutým hledištěm. Stejně jako v ostatních prostorech i zde je vliv tvarování sloupů na šíření zvuku o nižších frekvencích velmi mírný, jak je zobrazeno v obrázcích 3.62 a 3.63.

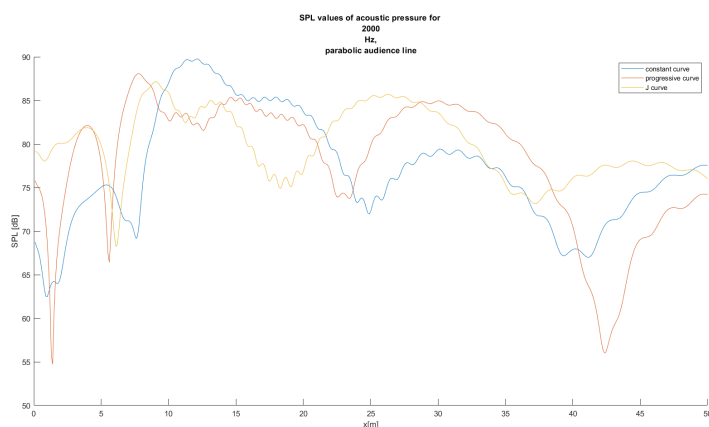


Obrázek 3.62: Vliv tvarování sloupů, parabolické hlediště, 20 Hz



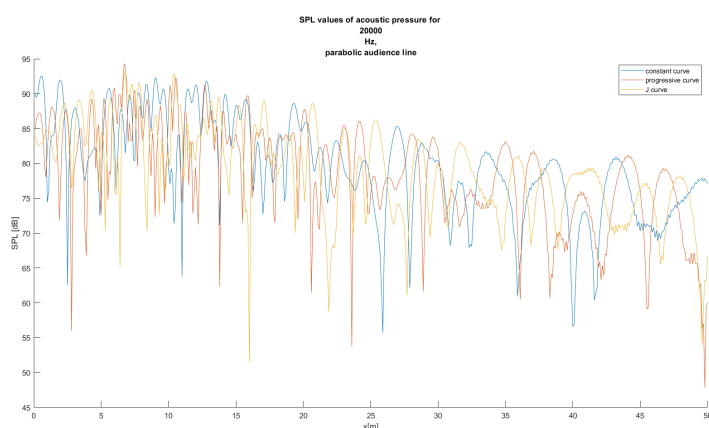
Obrázek 3.63: Vliv tvarování sloupů, parabolické hlediště, 200 Hz

V grafu v obrázku 3.64 je vykresleno šíření zvuku pro 2 kHz. Oproti předchozím prostorům jsou si zde šíření zvuku pro různé tvary sloupů bližší. I přesto už na první pohled vykazuje progresivní zahnutí sloupu nejméně rovnoměrné pokrytí. Nejrovnoměrnější pokrytí a zároveň nejmírnější pokles hladiny akustického tlaku zde vykazuje tvar sloupů J. Konstantní prohnutí způsobuje rovnoměrnější pokrytí než progresivní prohnutí, zároveň se však zdá mírně rychleji klesat.



Obrázek 3.64: Vliv tvarování sloupů, parabolické hlediště, 2 kHz

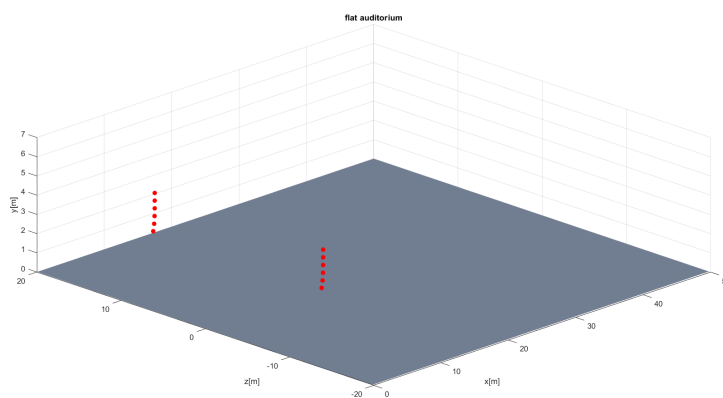
Šíření zvuku v prostoru při 20 kHz je vykresleno do grafu v obrázku 3.65. I pro parabolickou podlahu se zde graf stává poměrně nepřehledným. Oproti ostatním prostorům se však pro parabolický povrch nejeví být žádný z tvarů sloupů v žádném ohledu vhodnějším než ostatní.



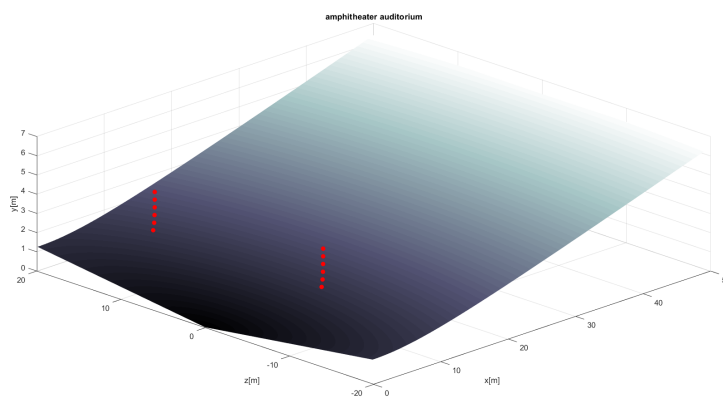
Obrázek 3.65: Vliv tvarování sloupů, parabolické hlediště, 20 kHz

3.2 Vykreslení šíření zvuku v rovině

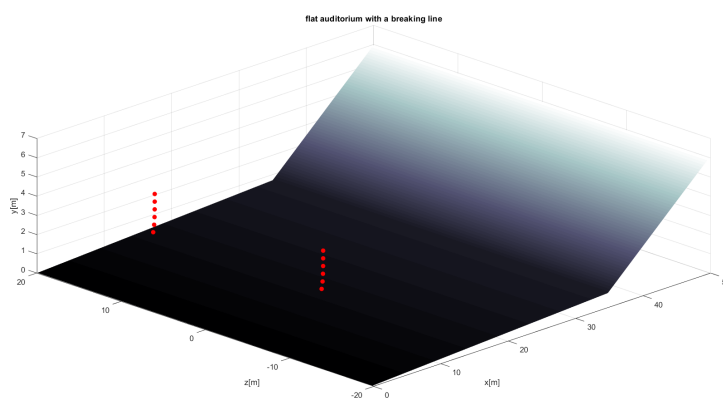
Pro lepší náhled do popisovaného problému jsou dále grafy vykresleny v celé ploše hlediště místo řezu středem. Doposud uvažované tvary hlediště tedy musí být rozšířeny z křivek na plochy. Pro rovinný a parabolický případ bylo zvoleno takové rozšíření, aby bylo výsledné hlediště symetrické kolem svislé osy procházející počátkem, zatímco pro lomený případ bylo rozšíření provedeno ponecháním funkčního předpisu z předchozích případů nezávisle na nově přidaném rozměru. V obrázcích 3.66, 3.67, 3.68 a 3.69 jsou vykreslena výsledná rozšíření a naznačeny polohy zdrojů.



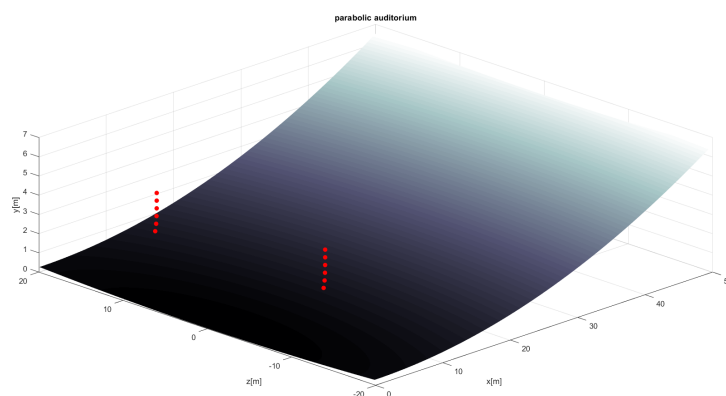
Obrázek 3.66: Vodorovné hlediště



Obrázek 3.67: Hlediště tvaru amfiteátru



Obrázek 3.68: Rovinné hlediště se zlomem

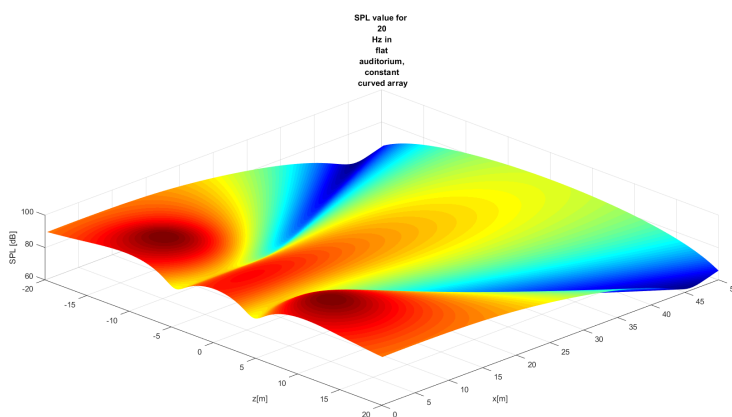


Obrázek 3.69: Parabolické hlediště

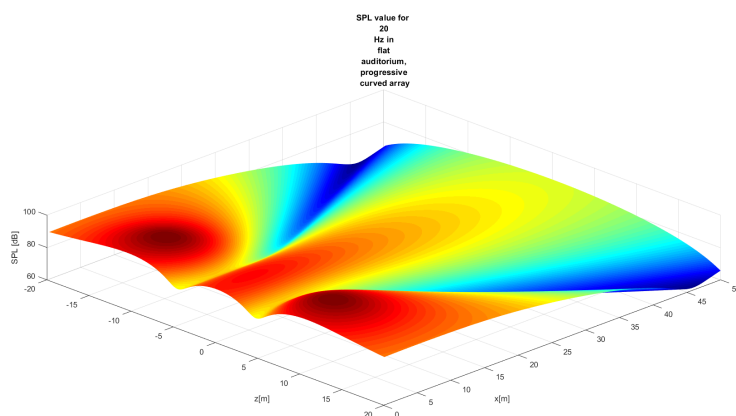
V podkapitolách 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3 a 3.2.4 jsou pro srovnání vykresleny grafy šíření zvuku v různých situacích. Model počítá s odrazy od stropu s hodnotou $\beta = 0.2$. Protože se jedná o vícerozměrné grafy, je zde upuštěno od vykreslování více situací do jednoho grafu.

3.2.1 Vodorné hlediště

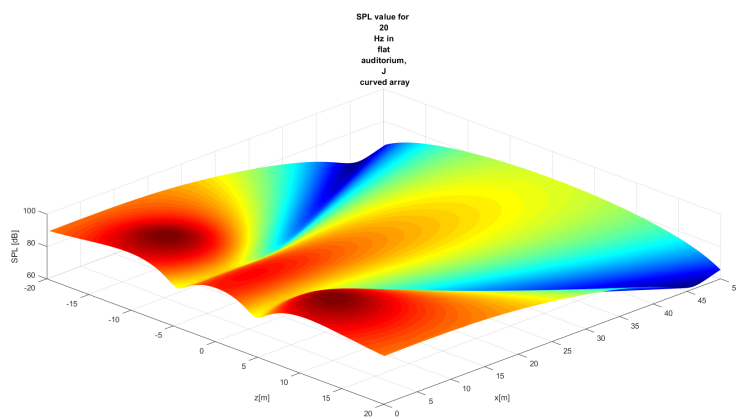
V obrázcích 3.70, 3.71 a 3.72 jsou vykreslena šíření z různých tvarů sloupů nad vodorovným hledištěm při 20 Hz. V obrázcích 3.73, 3.74 a 3.75 jsou pak vykreslena šíření při 200 Hz. Stejně jako při zkoumání v řezu prostorem je i zde pro obě nižší frekvence vliv tvarování sloupu na šíření minimální.



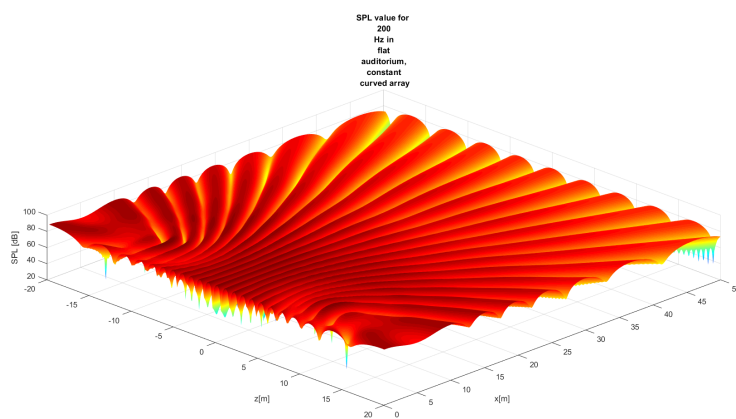
Obrázek 3.70: Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 20 Hz, konstantní prohnutí



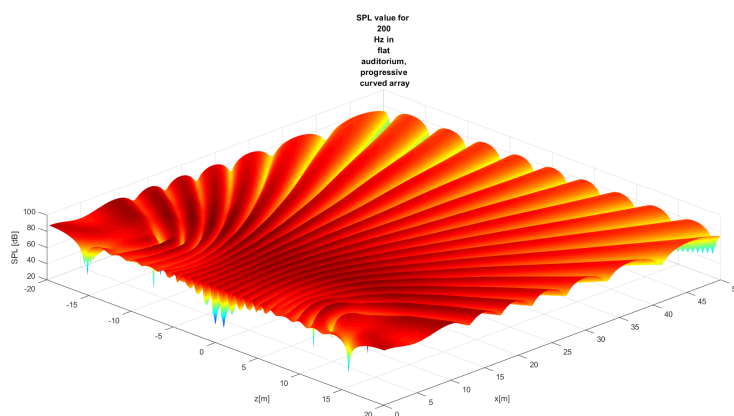
Obrázek 3.71: Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 20 Hz, progresivní prohnutí



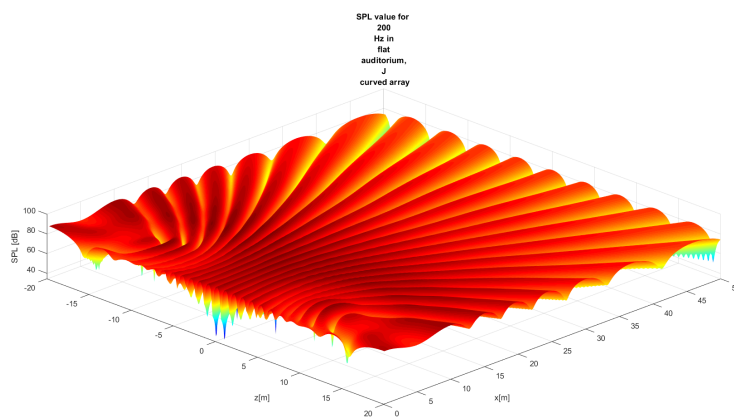
Obrázek 3.72: Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 20 Hz, prohnutí J



Obrázek 3.73: Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 200 Hz, konstantní prohnutí

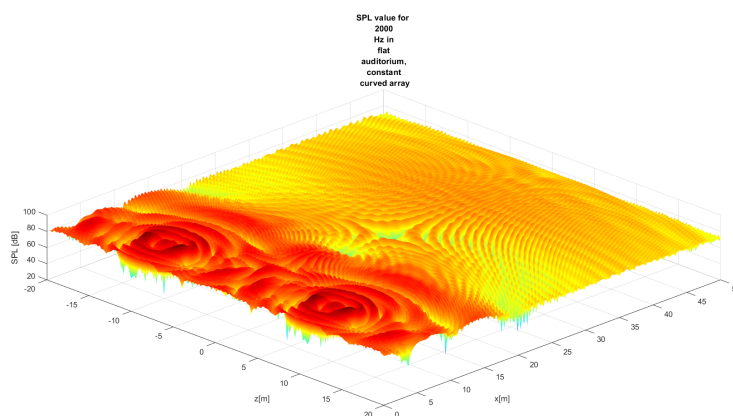


Obrázek 3.74: Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 200 Hz, progresivní prohnutí

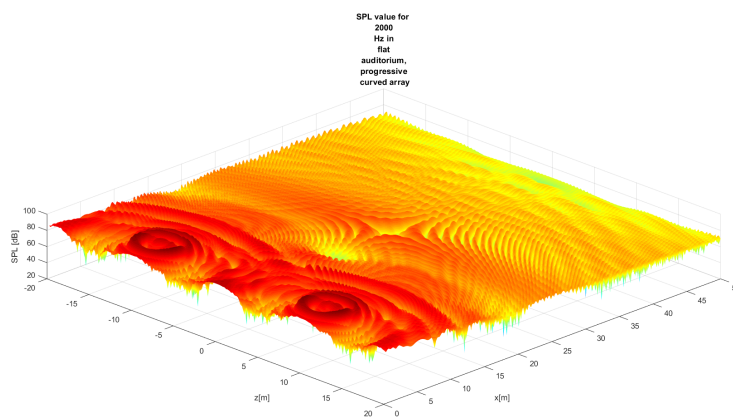


Obrázek 3.75: Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 200 Hz, prohnutí J

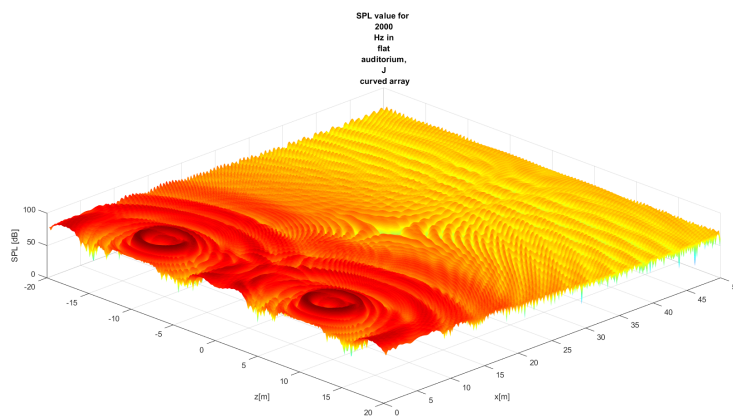
Šíření zvuku při 2 kHz je vykresleno v obrázcích 3.76, 3.77 a 3.78. Je zde pozorovatelné, že k nejvýraznějším poklesům hladiny akustického tlaku dochází při ose $z = 0$ prostoru. Konstantní prohnutí způsobuje poklesy hladiny akustického tlaku ve vzdálenějších rozích místnosti a při bočních stěnách místnosti blíže ke zdrojům. Progresivní prohnutí sloupů zde vykazuje nejvýraznější pokles u vzdálené stěny místnosti. Prohnutí J se zdá pokrývat prostor poměrně rovnoměrně.



Obrázek 3.76: Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 2 kHz, konstantní prohnutí

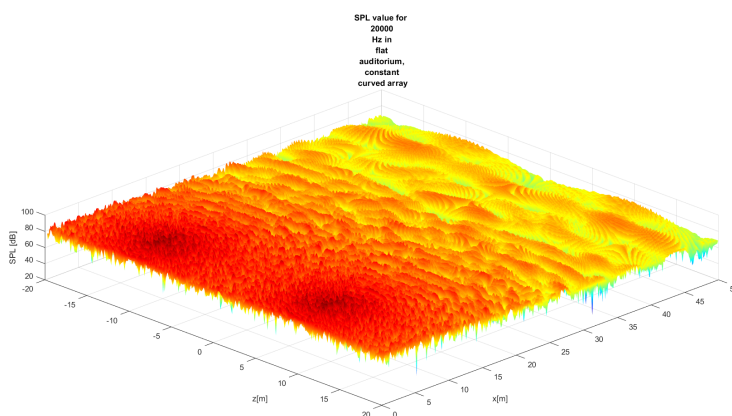


Obrázek 3.77: Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 2 kHz, progresivní prohnutí

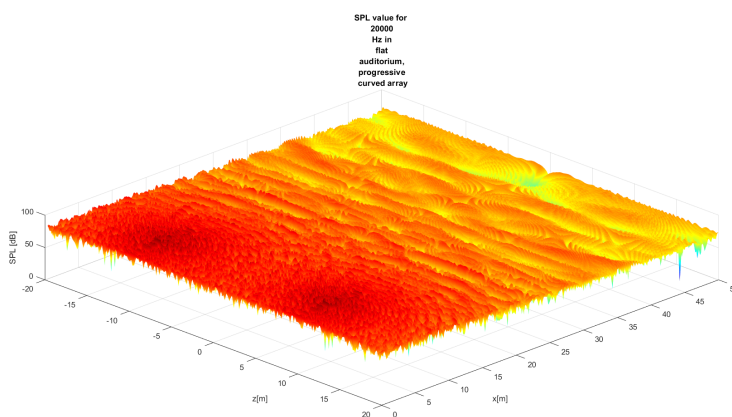


Obrázek 3.78: Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 2 kHz, prohnutí J

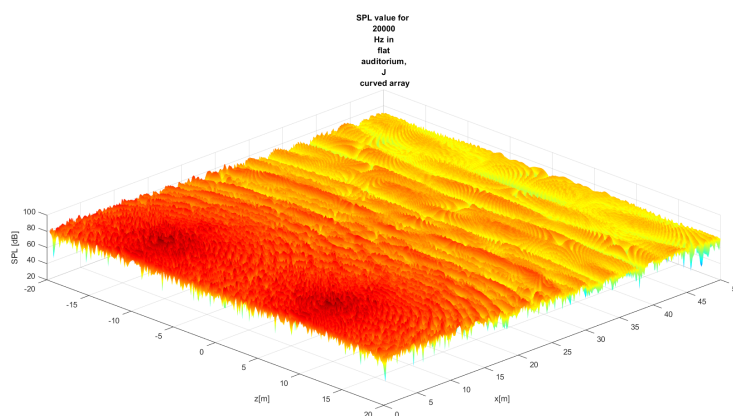
Obrázky 3.79, 3.80 a 3.81 zobrazují šíření při 20 kHz. Situace při konstantním prohnutí sloupů vykazuje zejména ve větší vzdálenosti od zdrojů výrazné oblasti se vzájemně rozdílnými hladinami akustického tlaku. Progressivní prohnutí se jeví pro potřeby rovnoměrného pokrytí jako vhodnější možnost, ačkoliv v blízkosti středu vzdálené stěny se objevuje výrazný propad úrovně akustického tlaku. Nejméně výrazná maxima a minima se objevují při tvarování sloupů do J, kde sice vznikají oblasti nižší či vyšší úrovně akustického tlaku než v okolí, ale rozdíl hodnot se zdá být méně výrazný než při ostatních metodách tvarování.



Obrázek 3.79: Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 20 kHz, konstantní prohnutí



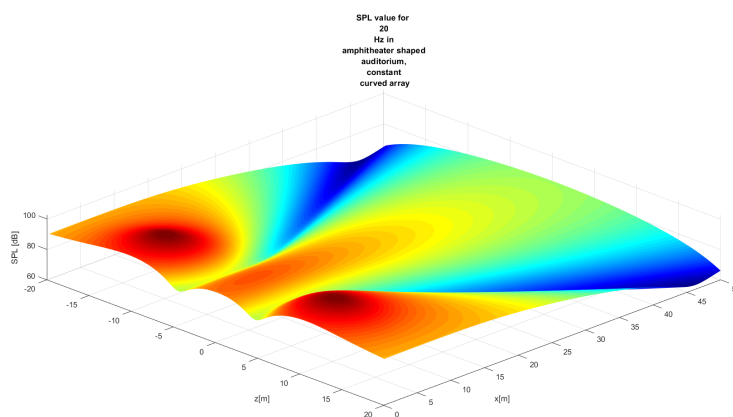
Obrázek 3.80: Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 20 kHz, progresivní prohnutí



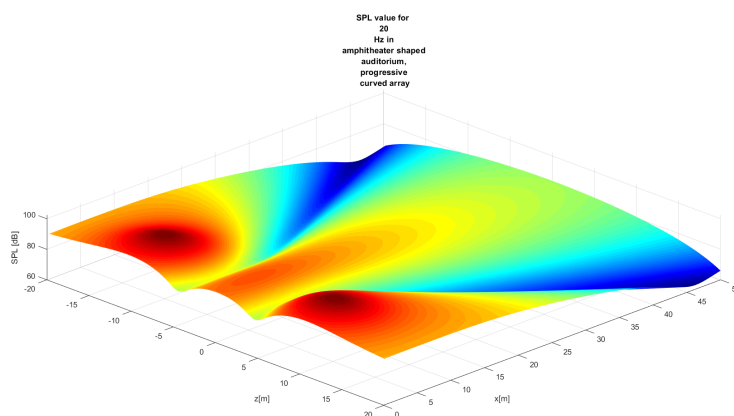
Obrázek 3.81: Šíření zvuku nad vodorovným hledištěm pro 20 kHz, prohnutí J

3.2.2 Hlediště tvaru amfiteátru

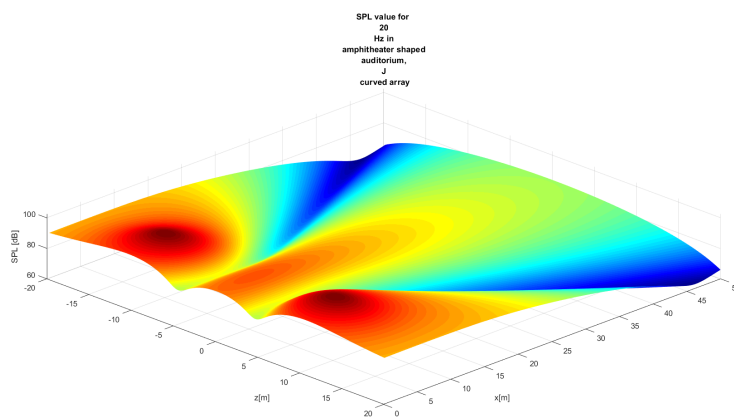
Z obrázků 3.82, 3.83 a 3.84 pro 20 Hz a 3.85, 3.86 a 3.87 pro 200 Hz zobrazujících šíření zvuku příslušných frekvencí nad hledištěm tvaru amfiteátru je zjevné, že ani zde nemá tvarování sloupů na šíření zvuku nízkých frekvencí výrazný vliv.



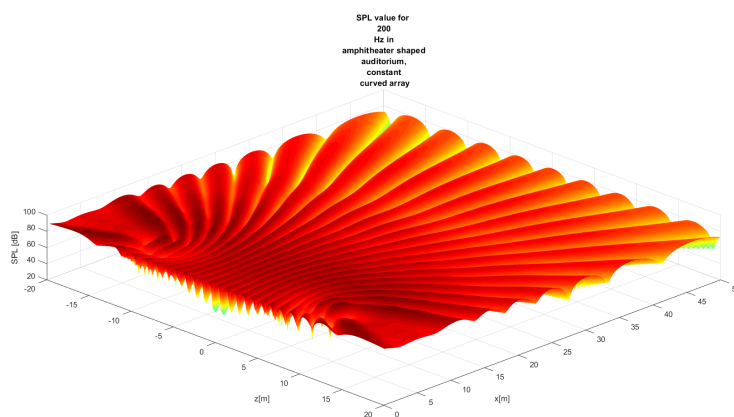
Obrázek 3.82: Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 20 Hz, konstantní prohnutí



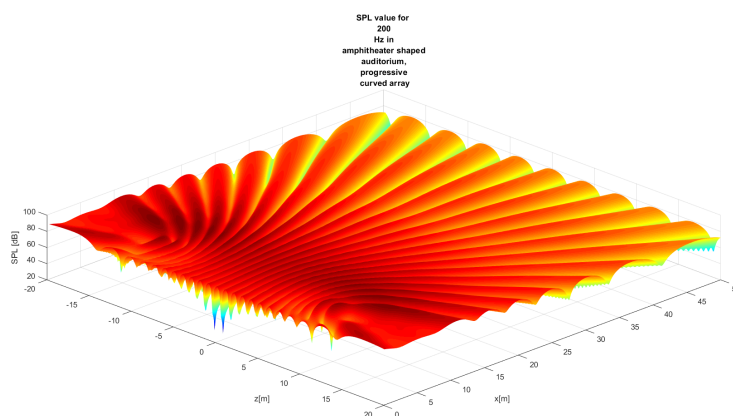
Obrázek 3.83: Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 20 Hz, progresivní prohnutí



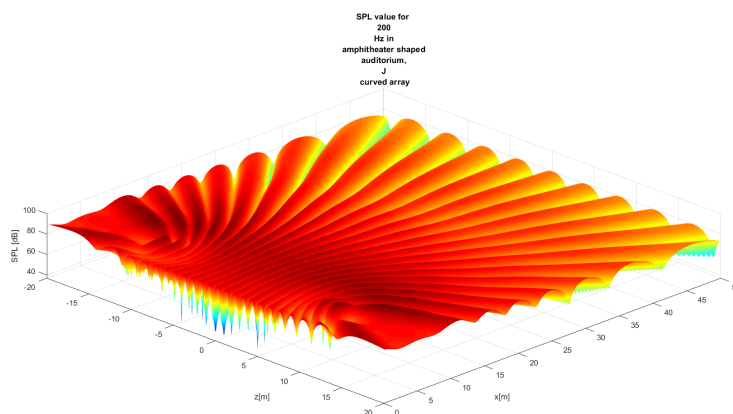
Obrázek 3.84: Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 20 Hz, prohnutí J



Obrázek 3.85: Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 200 Hz, konstantní prohnutí

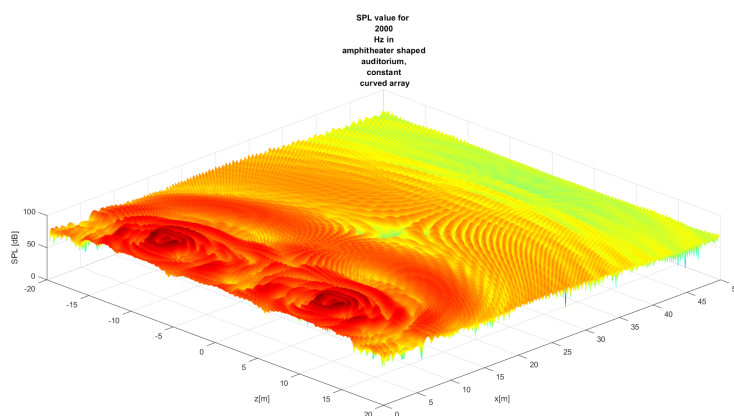


Obrázek 3.86: Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 200 Hz, progresivní prohnutí

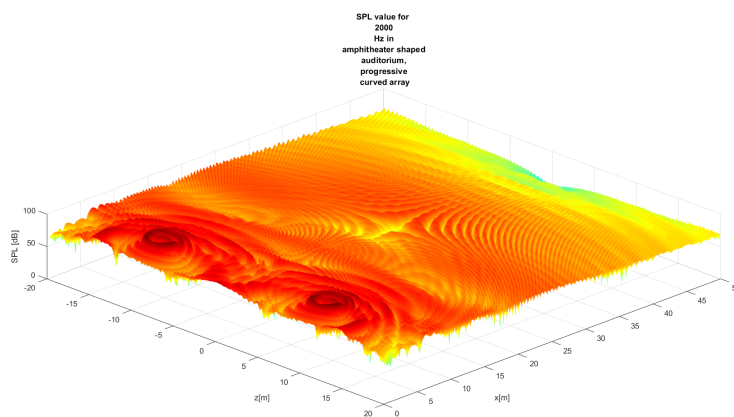


Obrázek 3.87: Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 200 Hz, prohnutí J

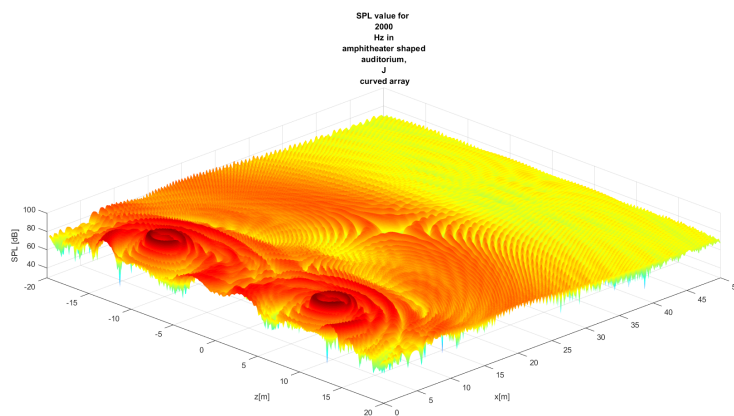
Šíření zvuku pro 2 kHz je zobrazeno v obrázcích 3.88, 3.89 a 3.90. Konstantní prohnutí sloupů zde vykazuje výrazný pokles v vzdálenosti od sloupů větší než přibližně 30 m a výrazný propad na ose $z = 0$ kolem $x = 25$ m. Progresivní prohnutí se zde jeví jako nevhodnější možnost pro rovnoměrné pokrytí které je výrazně narušeno pouze u vzdálené stěny místnosti. Ze sloupů tvarovaných do J se šíření zdá rovnoměrné po přibližně $x = 30$ m a za touto hranicí výrazně klesá, i když méně strmě než v situaci s konstantně prohnutými sloupky.



Obrázek 3.88: Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 2 kHz, konstantní prohnutí

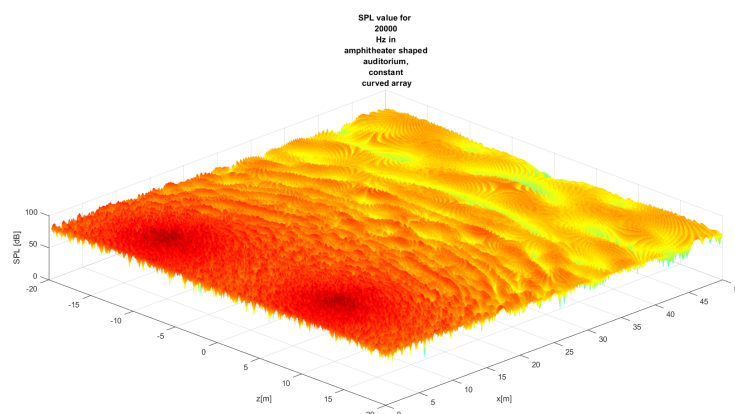


Obrázek 3.89: Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 2 kHz, progresivní prohnutí

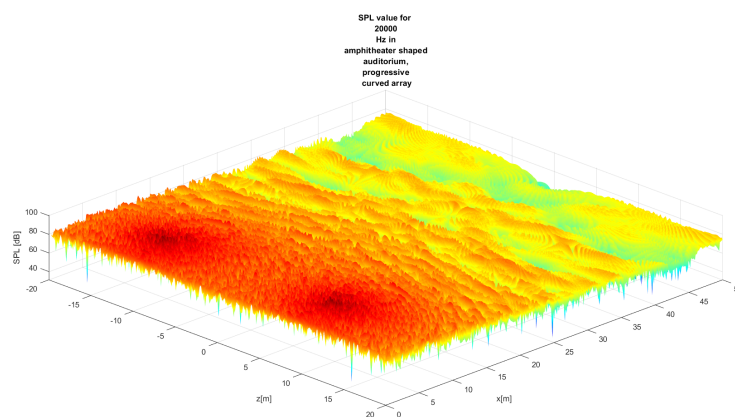


Obrázek 3.90: Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 2 kHz, prohnutí J

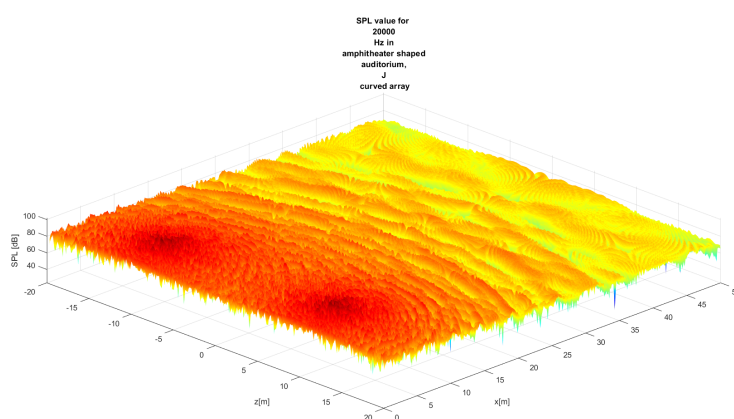
V obrázcích 3.91, 3.92 a 3.93 je vykresleno šíření zvuku pro 20 kHz. Nejméně rovnoměrné pokrytí zde bezesporu vykazuje progresivní prohnutí sloupů. Konstantní prohnutí i tvar J pak vykazují podobně četné oblasti výkyvů hodnot přičemž tvar J se zdá pro použití vhodnější, protože rozdíly mezi výkyvy hodnot se zdají být menší, než v případě konstantního prohnutí.



Obrázek 3.91: Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 20 kHz, konstantní prohnutí



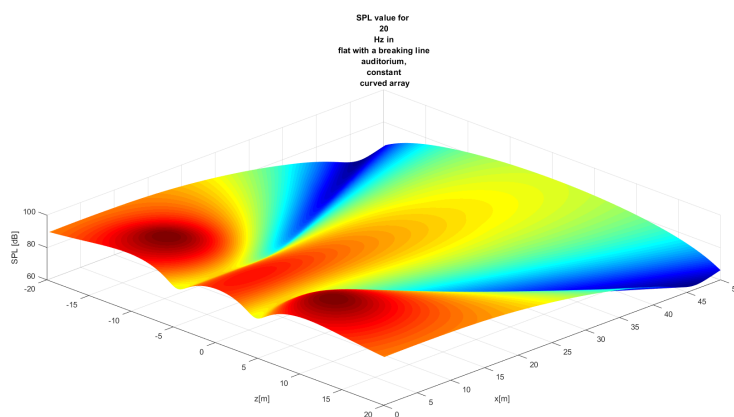
Obrázek 3.92: Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 20 kHz, progresivní prohnutí



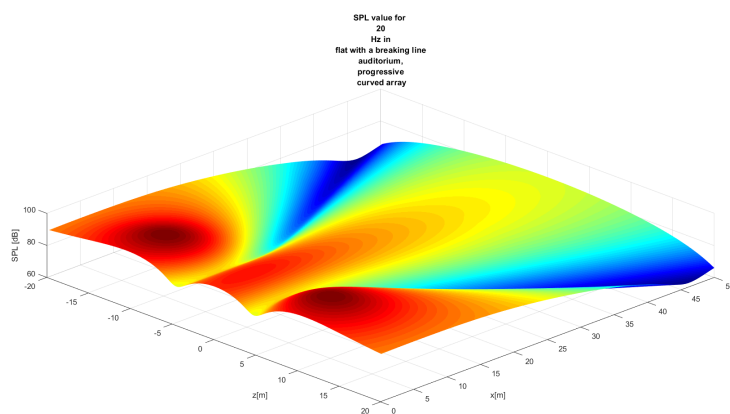
Obrázek 3.93: Šíření zvuku nad hledištěm tvaru amfiteátru pro 20 kHz, prohmутí J

3.2.3 Rovinné hlediště se zlomem

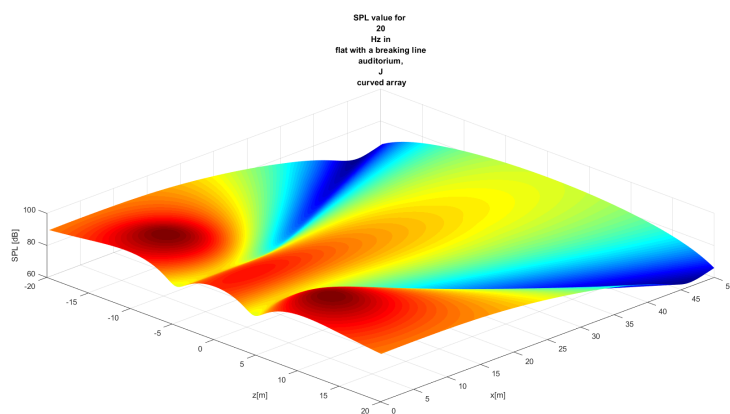
Ani v případě rovinného hlediště se zlomem se situace pro nižší frekvence nemění a tvarování sloupů nemá na šíření zvuku výrazný vliv. Pro 20 Hz je tato skutečnost zobrazena v obrázcích 3.94, 3.95 a 3.96, pro 200 Hz pak v obrázcích 3.97, 3.98 a 3.99.



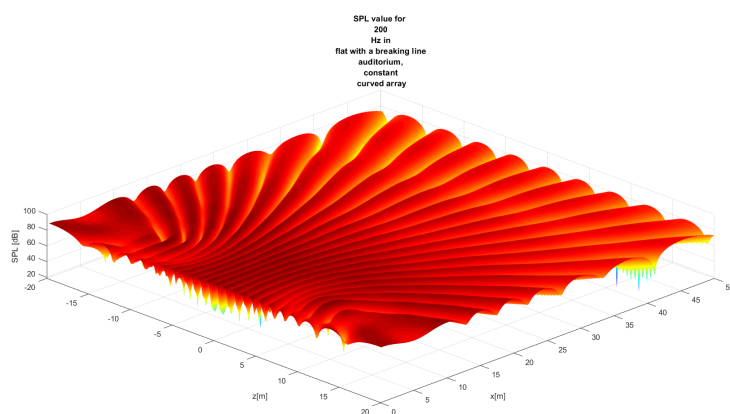
Obrázek 3.94: Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 20 Hz, konstantní prohmутí



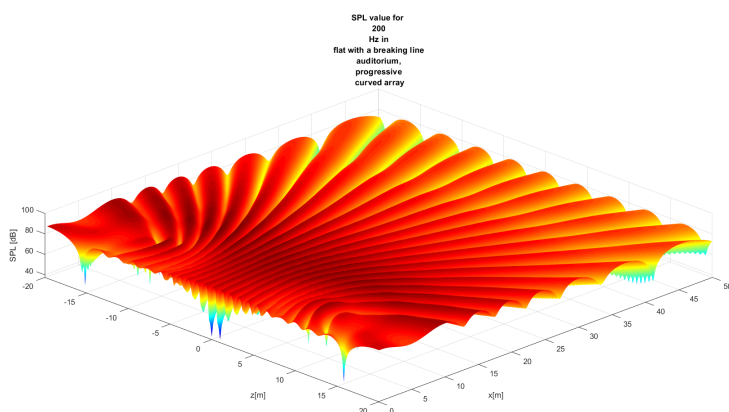
Obrázek 3.95: Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 20 Hz, progresivní prohnutí



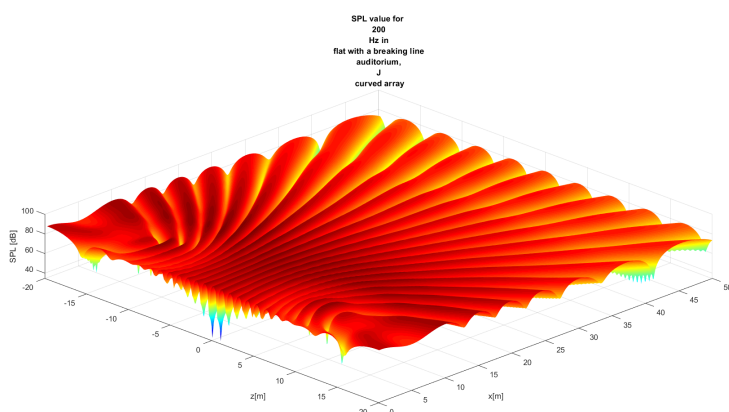
Obrázek 3.96: Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 20 Hz, prohnutí J



Obrázek 3.97: Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 200 Hz, konstantní prohnutí

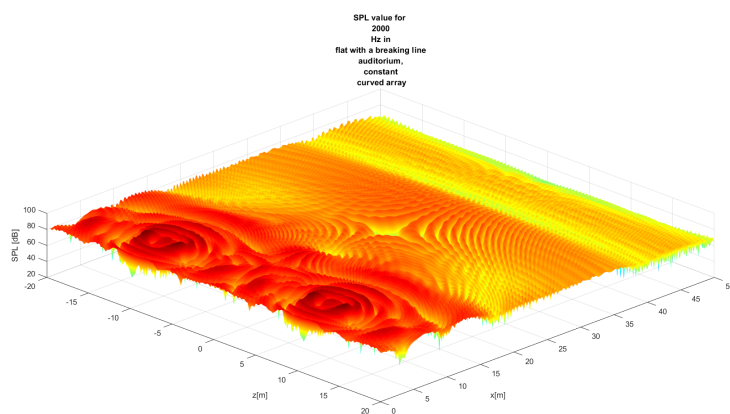


Obrázek 3.98: Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 200 Hz, progresivní prohnutí

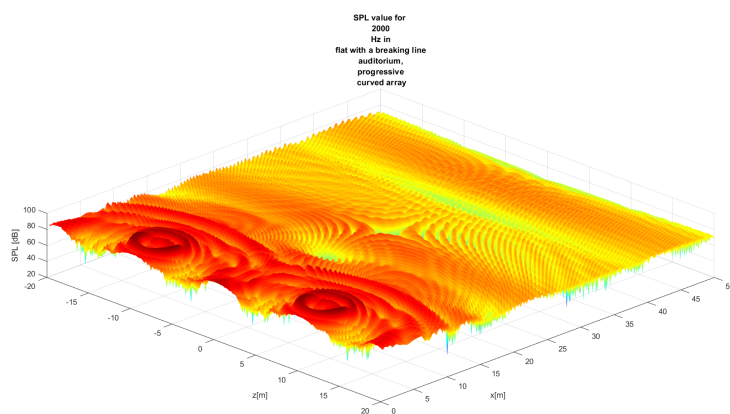


Obrázek 3.99: Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 200 Hz, prohnutí J

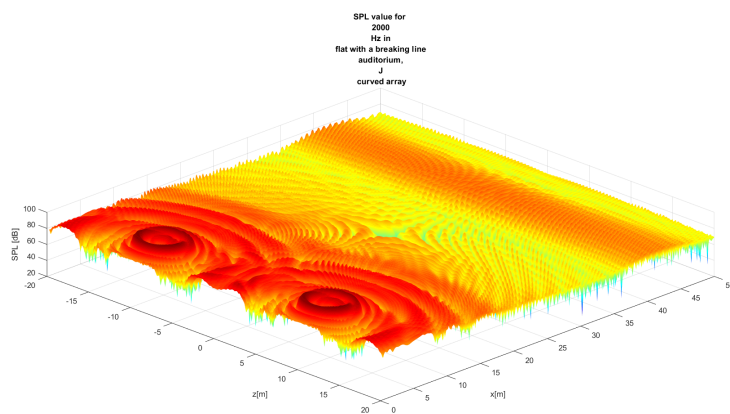
Šíření zvuku nad lomeným hledištěm při 2 kHz je vykreslena v obrázcích 3.100, 3.101 a 3.102. Je patrné, že pro všechny testované tvary sloupů vytváří linie zlomu hlediště problematickou oblast náhlého propadu hodnot u konstantního a progresivního prohnutí a nárůstu hodnot u tvaru J. Jako nejvhodnější tvarování pro rovnoměrné pokrytí se zde jeví konstantní prohnutí, které se zdá mít menší propady hodnot než progresivní prohnutí a mírnější pokles hladiny akustického tlaku se vzdáleností než oba další tvary sloupů.



Obrázek 3.100: Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 2 kHz, konstantní prohnutí

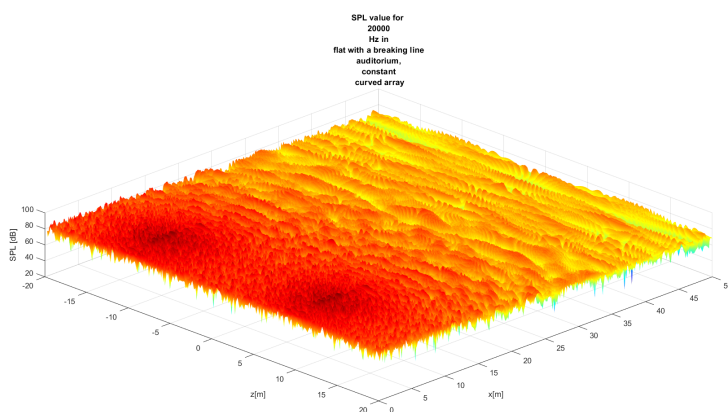


Obrázek 3.101: Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 2 kHz, progresivní prohnutí

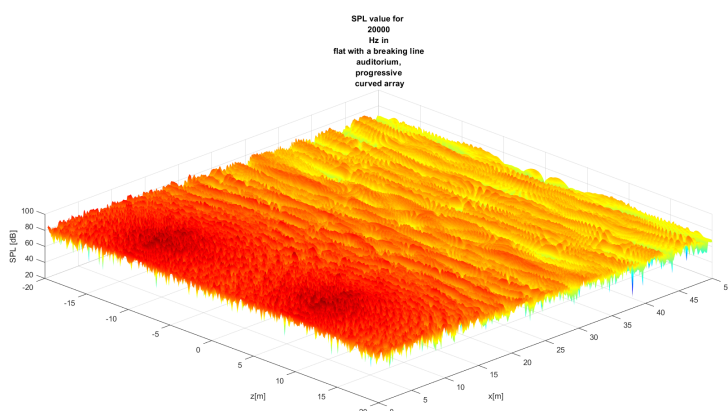


Obrázek 3.102: Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 2 kHz, prohnutí J

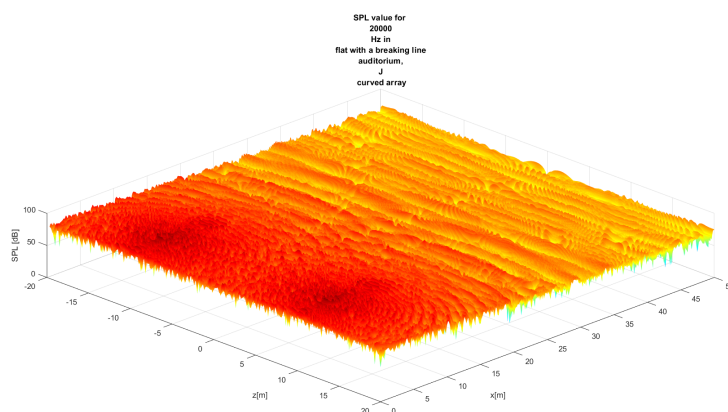
Obrázky 3.103, 3.104 a 3.105 zobrazují šíření zvuku o frekvenci 20 kHz. Oproti šíření při 2 kHz se zde zdá vykazovat nejmírnější pokles i nejméně výrazné poklesy hodnot tvarování sloupů do J. Konstantní i progresivní prohnutí sloupů se zdá způsobovat četnější výkyvy hodnot, přičemž při konstantním prohnutí se výkyvy zdají zabírat nepatrně větší oblasti než při progresivním prohnutí.



Obrázek 3.103: Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 20 kHz, konstantní prohnutí



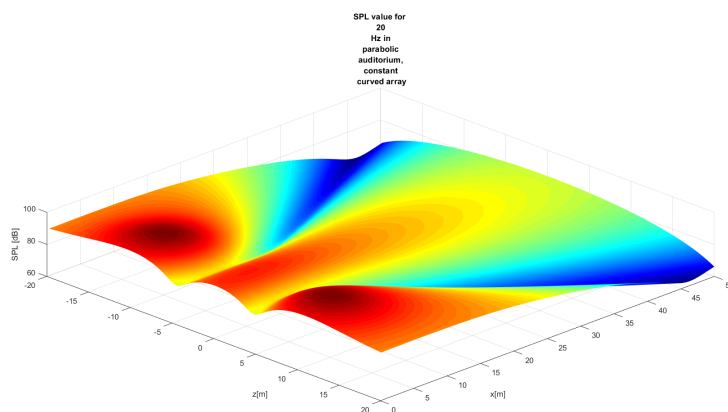
Obrázek 3.104: Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 20 kHz, progresivní prohnutí



Obrázek 3.105: Šíření zvuku nad rovinným hledištěm se zlomem pro 20 kHz, prohnutí J

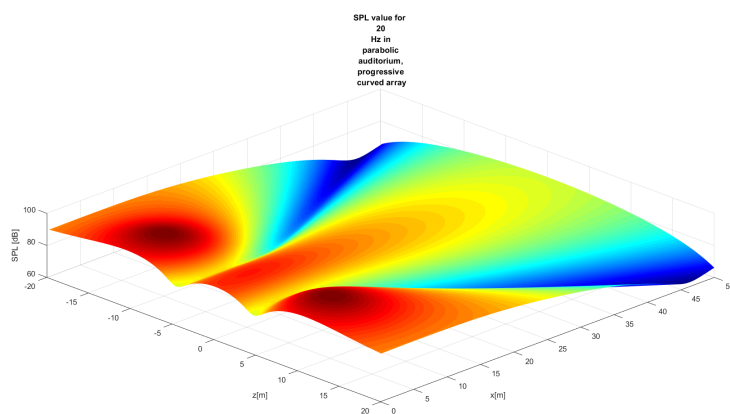
3.2.4 Parabolické hlediště

Z obrázků 3.106, 3.107, 3.108, 3.109, 3.110 a 3.111 je zřejmé, že při uvažování parabolického hlediště má tvarování sloupů na šíření zvuku o nízkých kmitočtech velice nepatrný vliv. Pro šíření zvuku o 200 Hz se při progresivním a J prohnutí objevují o něco mírnější propady než při konstantním prohnutí, ovšem ve stejných místech. Pokrytí je tak mírně rovnoměrnější při konstantním prohnutí. Progresivní prohnutí i prohnutí do J vykazují vzájemně téměř totožné pokrytí.

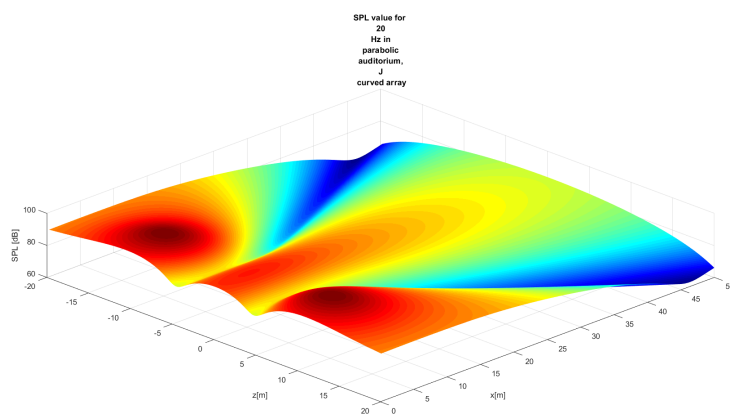


Obrázek 3.106: Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 20 Hz, konstantní prohnutí

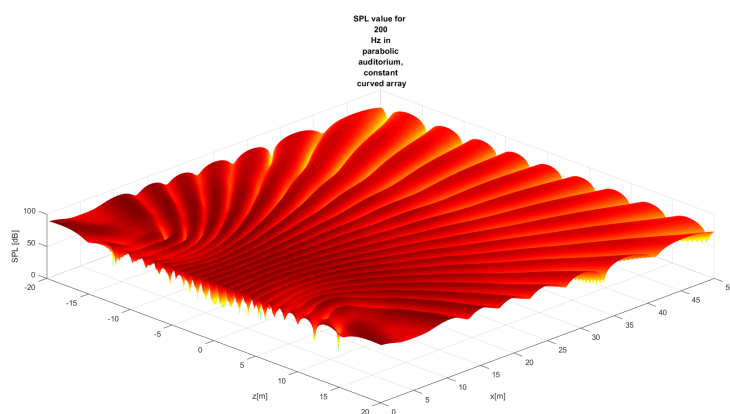
3. Model prostoru se dvěma reproduktrovými sloupy



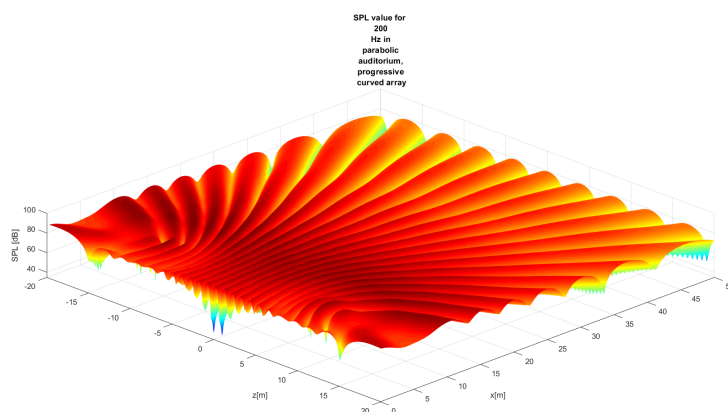
Obrázek 3.107: Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 20 Hz, progresivní prohnutí



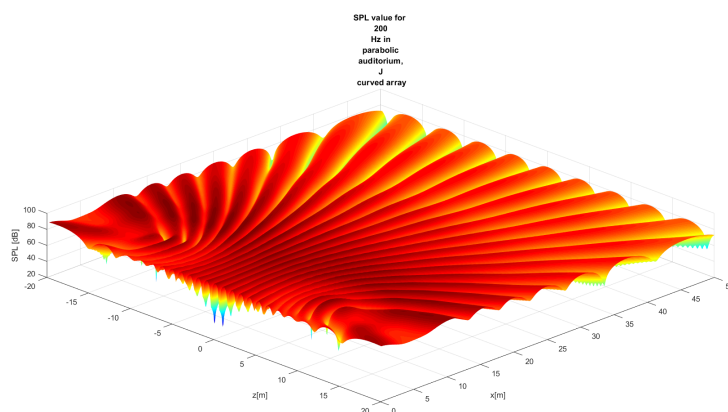
Obrázek 3.108: Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 20 Hz, prohnutí J



Obrázek 3.109: Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 200 Hz, konstantní prohnutí



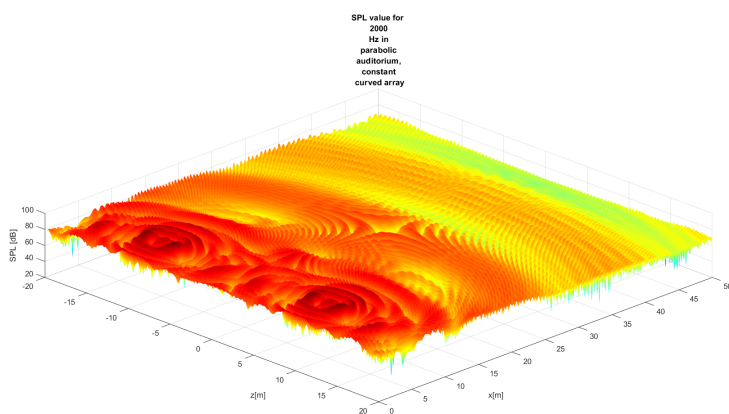
Obrázek 3.110: Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 200 Hz, progresivní prohnutí



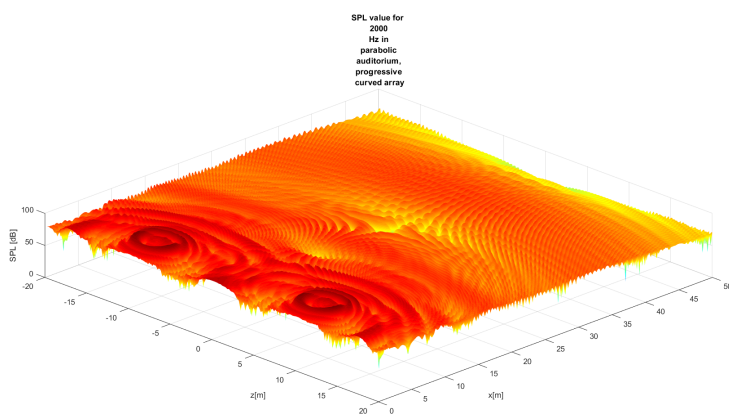
Obrázek 3.111: Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 200 Hz, prohnutí J

V obrázcích 3.112, 3.113 a 3.114 jsou vykreslena šíření zvuku o kmitočtu 2 kHz. Konstantní prohnutí zde vykazuje nejméně rovnoměrné pokrytí s velmi výraznými propady hodnot u středu místnosti kolem $x = 30$ m a v přibližně 5 m širokém pásu podél vzdálenější stěny. Progresivní prohnutí se zdá být pro rovnoměrné pokrytí v dané situaci nejvhodnější s jediným výraznějším poklesem hodnot těsně u vzdálené stěny. Prohnutí do J vykazuje ze všech tvarů nejvýraznější propad u středu kolem $x = 20$ m. Podobně jako při konstantním prohnutí se zde objevuje výrazný propad hodnot v širokém pásu podél vzdálené stěny.

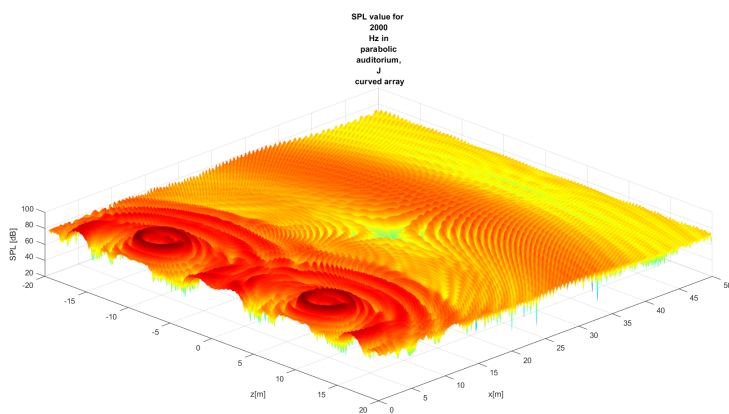
3. Model prostoru se dvěma reproduktorovými sloupy



Obrázek 3.112: Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 2 kHz, konstantní prohnutí

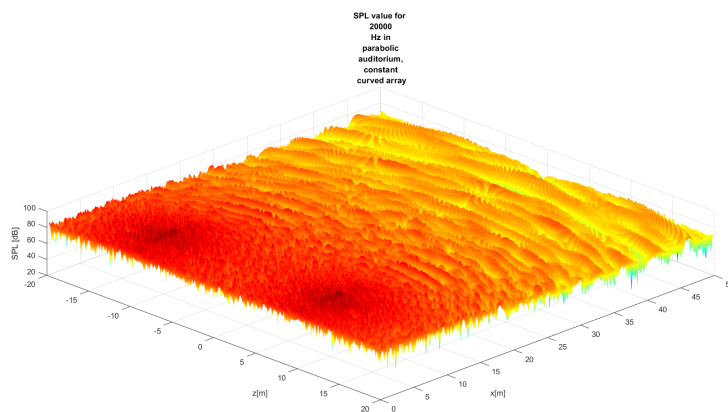


Obrázek 3.113: Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 2 kHz, progresivní prohnutí

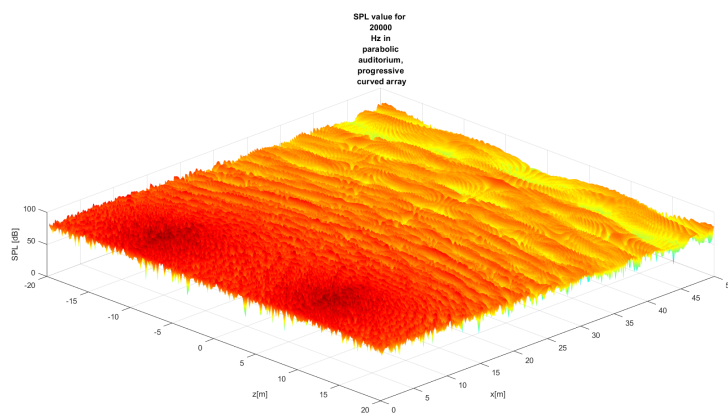


Obrázek 3.114: Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 2 kHz, prohnutí J

Šíření zvuku o kmitočtu 20 kHz je zobrazeno v obrázcích 3.115, 3.116 a 3.117. Jako nejméně vhodné pro rovnoměrné pokrytí se zde zdá být použití prohnutí J. Konstantní i progresivní prohnutí se zdají být pro potřeby rovnoměrného pokrytí srovnatelné, přičemž progresivní prohnutí se zdá vykazovat o něco méně výrazné výkyvy blíže ke zdrojům a výraznější propady mezi $x = 40$ m a $x = 45$ m.

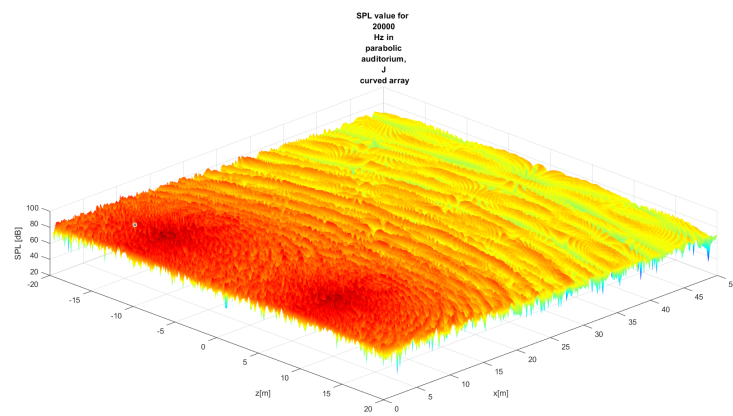


Obrázek 3.115: Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 20 kHz, konstantní prohnutí



Obrázek 3.116: Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomem pro 20 kHz, progresivní prohnutí

3. Model prostoru se dvěma reproduktorovými sloupy



Obrázek 3.117: Šíření zvuku nad parabolickým hledištěm se zlomenem pro 20 kHz, prohnutí J

Závěr

V práci byl aproximován model šíření zvuku ze sloupové soustavy reproduktorů ve čtyřech různých prostorech pro tři různé tvary reproduktorových sloupů.

Pro jednotlivé tvary sloupů nenastalo očekávané vyrovnané klesání hladiny akustického tlaku v celém prostoru. Tato skutečnost může být způsobena vlivem aproximace bodovými zdroji nultého řádu a tedy zanedbáním směrové charakteristiky reálných reproduktorů, nebo také nezapočítáním odrazů od bočních stěn místnosti, volbou počtu či vzdálenosti zdrojů, nebo volbou konstant ve vztazích 2.3 a 2.4 při určování poloh zdrojů.

V případě, že by byl vytvořený model považován za dostatečně přesný, se pro optimalizaci rovnoměrného pokrytí poslechového prostoru zdá být při zkoumání řezů středy prostor nejvhodnější tvarování sloupu do tvaru J. K závěrům vede zejména zkoumání šíření zvuku při 2 kHz, kde je vliv tvarování na šíření zvuku po vykreslení grafů nejpřehlednější.

Po rozšíření situace na celou plochu se ukazuje, že situace je o něco složitější. Pro vodorovné ploché hlediště i hlediště tvaru amfiteátru se znovu jako celkově nejvhodnější jeví tvarování sloupů do J. V prostoru s lomeným rovinným hledištěm při zkoumání 2 kHz vykazují všechny tvary sloupů velmi nerovnoměrné pokrytí, které by s velkou pravděpodobností mohlo optimalizovat přehodnocení zvolených poloh zdrojů. Po zhodnocení šíření při kmitočtu 20 kHz se však i zde zdá jako nejvhodnější tvarování do J. Výjimku tvoří parabolické hlediště, které se sice při zkoumání řezu středem hlediště zdálo vést ke stejnému závěru jako ostatní prostory, ale při rozšíření situace na celou plochu se ukázalo, že jako nejvhodnější možnost se jeví progresivní prohnutí sloupů.

Je však důležité zmínit, že pro nižší frekvence je vliv tvarování sloupů na šíření bez ohledu na zkoumaný prostor minimální a pro velmi nízké frekvence dochází k výraznému klesání hladiny akustického tlaku v některých oblastech. To znamená, že ačkoliv lze pro vyšší frekvence pokles výrazně zmírnit, reálně vysílaná zvuková produkce by nejspíš pro vzdálenější posluchače ztrácela basové frekvence.

Literatura

- [1] MERHAUT Josef. *Teoretické základy elektroakustiky*. Praha, Academia, 1976.
- [2] ŠKVOR, Zdeněk. *Elektroakustika a akustika*. Praha, Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2012.
ISBN 978-80-01-025034-7.
- [3] HEIL, Christian a Marcel URBAN. *Sound Fields Radiated by Arrayed Multiple Sound Sources*. Vienna, Presented at 92nd Convention, 1992.
- [4] STRAUBE, Florian, Frank SCHULTZ, David BONILLO a Stefan WEINZERL. *An Analytical Approach for Optimizing the Curving of Line Source Arrays*. Journal of the Audio Engineering Society [online]. 2018, 66(1/2), 4-20 [cit. 2020-02-10].
DOI: 10.17743/jaes.2017.0043. ISSN 15494950.
Dostupné z: <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=19372>
- [5] URBAN, Marcel, Christian HEIL a Paul BAUMAN. *Wavefront Sculpture Technology*. New York, NY, USA, Presented at 111nd Convention, 2001.