

Rak-43.3415 Building physical design 2 - Acoustical design

Autumn 2015

Exercise 4. Solutions.

1.

Laske jälkikaiunta-aika Sabinein kaavalla oktaavikaistoittain välillä 125 - 4000 Hz seuraavissa tiloissa: a) 500-paikkainen elokuvateatteri, b) toimiston neuvotteluhuone. Esitä tulos myös graafisesti. Tilojen koot ja pintamateriaalit on annettu alla. Hyödynnä laskennassa kurssikirjassa ja luentokalvoissa annettuja absorptiosuhteita. Kalusteiden ja ihmisten vaikutusta ei oteta huomioon. *Calculate and present graphically the reverberation time in octave bands 125-4000Hz in a) cinema with 500 seats, b) office meeting room. Sizes and materials given below. Use absorption coefficients given in lecture slides and course book.*

Elokuvateatteri (koko 30 x 45 x 5 m³)

lattia / matto: kokolattiamatto, paksuus 8 mm (30 % alasta)

lattia / penkit: pehmustettu istuin (70 % alasta)

katto: mineraavillalevy 100 mm (liimattu taustaan)

seinät: reikälevy, reikäala 17 %, ilmaväli 200 mm, villa 50 mm

Neuvotteluhuone (koko 10 x 12 x 3 m³)

lattia: maalattu betoni

katto: reikälevy, reikäala 24 %, ilmaväli 200 mm

ikkunaseinä: paljas lasi (70 % alasta)

ikkunaseinä: betoni (30 % alasta)

muut seinät: kipsilevyseinä

Solution.

Elokuvateatteri

$$V = 6750 \text{ m}^3$$

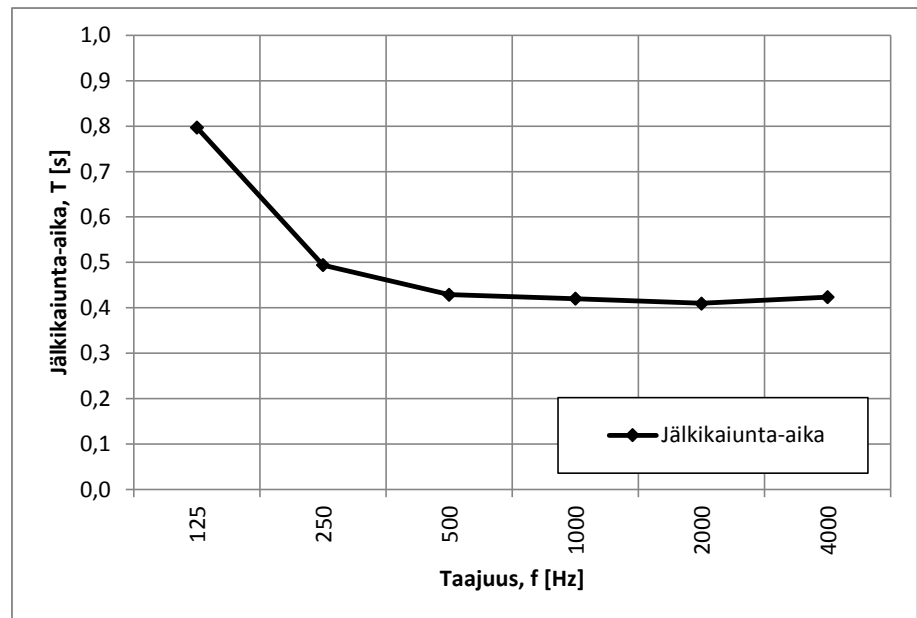
Kaavat:

$$A_i = \alpha_i S_i \quad T = 0,16 \frac{V}{A}$$

		$\alpha_i [-]$					
		125	250	500	1000	2000	4000
lattia / matto:	kokolattiamatto, paksuus 8 mm (30 % alasta)	0,03	0,05	0,10	0,20	0,35	0,45
lattia / penkit:	pehmustettu istuin (70 % alasta)	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,75
katto:	mineraavillalevy 100 mm (liimattu taustaan)	0,55	0,90	0,95	0,95	0,95	0,95
seinät:	reikälevy, reikäala 17 %, ilmaväli 200 mm, jossa villa 50 mm	0,36	0,70	0,90	0,79	0,67	0,50

Pintojen pinta-alat S_i ja absorptioalat A_i

Indeksi i	Pinta	S_i [m ²]	A_i [m ²]					
			125	250	500	1000	2000	4000
1	Lattia / matto	405,0	12,2	20,3	40,5	81,0	141,8	182,3
2	Lattia / penkit	945,0	330,8	425,3	519,8	614,3	708,8	708,8
3	Katto	1350,0	742,5	1215,0	1282,5	1282,5	1282,5	1282,5
4	Seinät	750,0	270,0	525,0	675,0	592,5	502,5	375,0
Kokonaisabsorptioala			1355,4	2185,5	2517,8	2570,3	2635,5	2548,5
Jälkikaiunta-aika, T [s]			0,8	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4



Neuvotteluhuone

$V = 360 \text{ m}^3$

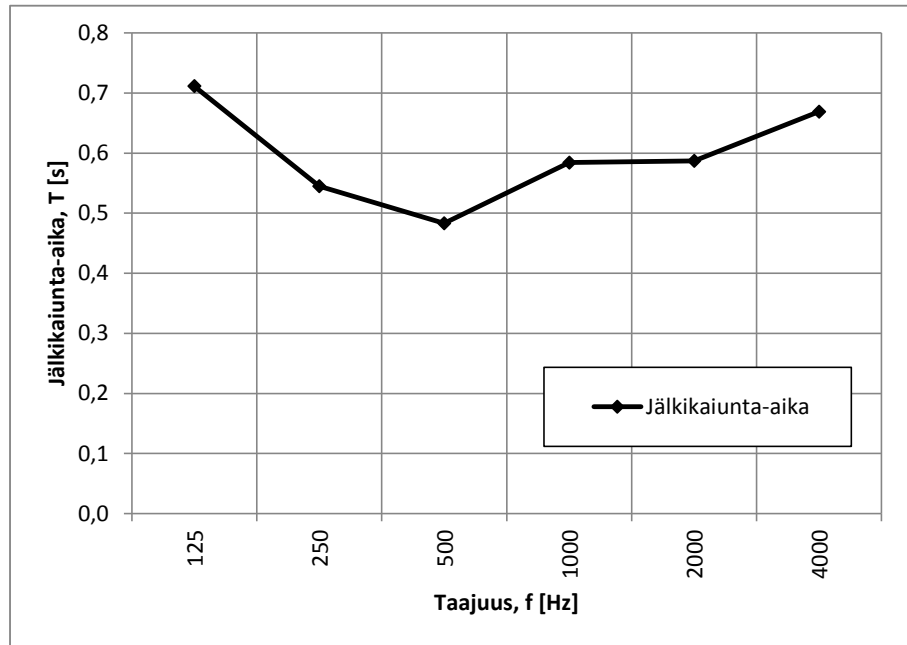
		α_i [-]					
		125	250	500	1000	2000	4000
lattia:	maalattu betoni	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
katto:	reikälevy, reikäala 24 %, ilmaväli 200	0,35	0,70	0,85	0,70	0,70	0,60
ikkunaseinä:	paljas lasi (70 % alasta)	0,30	0,30	0,20	0,17	0,10	0,10
ikkunaseinä:	betoni (30 % alasta)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
muut seinät:	kipsilevyseinä	0,30	0,12	0,10	0,08	0,08	0,08

Pintojen pinta-alat S_i ja absorptioalat A_i

Indeksi i	Pinta	S_i [m ²]	A_i [m ²]					
			125	250	500	1000	2000	4000
1	Lattia	120,0	2,4	2,4	2,4	2,4	3,6	3,6
2	Katto	120,0	42,0	84,0	102,0	84,0	84,0	72,0
3	Ikkunaseinä / lasi	25,2	7,6	7,6	5,0	4,3	2,5	2,5
5	Ikkunaseinä / betoni	10,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
4	Muut seinät	96,0	28,8	11,5	9,6	7,7	7,7	7,7

Kokonaisabsorptioala
Jälkikaiunta-aika, T [s]

81,0	105,7	119,3	98,6	98,1	86,1
0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7



2.

Tarkastellaan puheen vaimenemista tehtävän 1 tiloissa. Laske puheen äänenpainetaso oktaavikaistoittain välillä 250 - 4000 Hz elokuvateatterissa etäisyydellä 20 m salin etuosasta keskellä salia ja neuvotteluhuoneessa vastaavasti etäisyydellä 6 m. Ilmoita äänenpainetasot sekä lineaarisena että A-painotettuna. Puhuja seisoo tilan etuosassa kaukana seinäpinnoista. Standardin ANSI S3.5 mukainen puheen äänenpainetaso (lineaarinen) metrin etäisyydellä puhujasta on annettu alla. Calculate the SPL of speech in the spaces in Ex. 1 in 250-4000Hz octave bands at a 20 m distance from the speaker in the middle of the space and in the meeting room at a distance of 6 m. Present the result as both linear and A-weighted sound level. Speaker is standing in the front part of the space from away from room surfaces. The linear SPL of speech according to ANSI S3.5 is given below.

Taajuus [Hz]	250	500	1000	2000	4000
Puheen äänitaso [dB]	57,2	59,8	53,5	48,8	43,8

Solution.

Äänenpainetaso etäisyydellä r äänilähteestä:

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{k}{\Omega r^2} + \frac{4}{A} \right)$$

jossa

k = äänilähteen suuntakerroin (pistemäiselle äänilähteelle k = 1)

Ω = avaruuskulma ($\pi/2 \dots 4\pi$)

r = etäisyys äänilähteestä

A = tilan absorptioala

Ensi pitää selvittää puheen äänitehotaso.

Vapaassa kentässä (ei heijastuksia) äänenpainetason ja -tehotason välillä on yhteys:

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{k}{\Omega r^2} \right)$$

Kun avaruuskulma on 4π , suuntakerroin on 1 ja etäisyys äänilähteestä on 1 m, saadaan

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi} \right) \approx L_w - 11 \Leftrightarrow L_w = L_p + 11$$

Puheen äänitehotasoksi saadaan siis

f [Hz]	250	500	1000	2000	4000
L_w [dB]	68,2	70,8	64,5	59,8	54,8

Lasketaan seuraavaksi äänenpainetaso etäisyydellä 20 m elokuvateatterissa.

Lähtötiedot:

k =	1	
Ω =	12,6	(=4 π)
r =	20	m
A =	ks. tehtävä 1	

f [Hz]	250	500	1000	2000	4000
L_w [dB]	68,2	70,8	64,5	59,8	54,8
A [m ² -Sab]	2271,9	2567,7	2896,4	2729,3	2468,9
log-termi [dB]	-27,1	-27,6	-28,0	-27,8	-27,4
L_p [dB] (lin.)	41,1	43,2	36,5	32,0	27,4
A-painotus	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
L_{pA} [dB]	32,5	40,0	36,5	33,2	28,4
$L_p =$	46	dB	(lineaarinen)		
$L_{pA} =$	43	dB	(A-painotettu)		

Lasketaan sitten äänenpainetaso etäisyydellä 6 m neuvotteluhuoneessa.

Lähtötiedot:

k =	1	
$\Omega =$	12,6	(=4 π)
r =	6	m
A =	ks. tehtävä 1	

f [Hz]	250	500	1000	2000	4000
L_w [dB]	68,2	70,8	64,5	59,8	54,8
A [m ² -Sab]	115,9	108,6	87,4	77,2	67,8
log-termi [dB]	-14,6	-14,3	-13,4	-12,8	-12,3
L_p [dB] (lin.)	53,6	56,5	51,1	47,0	42,5
A-painotus	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
L_{pA} [dB]	45,0	53,3	51,1	48,2	43,5
$L_p =$	59	dB	(lineaarinen)		
$L_{pA} =$	57	dB	(A-painotettu)		

3.

Vanhaan teollisuusrakennukseen on tehty loft-asuinhuoneisto, jossa on kahden kerroksen korkuinen olohuone. Asukas on valitellut, että olohuoneessa on vaikea keskustella häiritsevän kaikuisuuden vuoksi. Suunnittele olohuoneeseen sopiva huonevaimennus, jolla jälkikaiunta-aika saadaan lyhennettyä 0,5 sekuntiin (vastaa tyypillistä kalustettua asuinhuonetta). Tee laskelmat oktaavikaistoilla 125 - 4000 Hz. Oktaavikaistalla 125 Hz sallitaan 100 % ylitys ja oktaavikaistalla 250 Hz 50 % ylitys jälkikaiunta-ajan tavoitearvosta. Olohuoneen pohjamitat ovat 7 x 5 m ja huonekorkeus on 4,5 m. Huoneen kaikki pinnat ovat betonia. Lattiamateriaalina on betoniin liimattu lautaparketti. Olohuoneen toisen pitkän seinän pinta-alasta 80 % on ikkunaa. Huoneessa ei ole pehmustettuja kalusteita. *A double-floor-height living room has been constructed in an old industrial building. The living room is disturbingly reverberant. Design appropriate room attenuation so that reverberation time decreases to 0.5 s. Do the calculations in octaves 125-4000Hz. An increase in RT of 100% is allowed at octave band 125Hz and an increase of 50% at 250Hz. Dimensions of the living room are 7x5x4,5m. All the surfaces are concrete, the floor material is wooden parquett glued to concrete. The other of the long walls in the room has windows 80% of the wall area. There are no soft furnishings in the room.*

Solution.

Olohuone

$$V = 157,5 \text{ m}^3$$

Kaavat:

$$A_i = \alpha_i S_i \quad T = 0,16 \frac{V}{A}$$

Lasketaan ensin olohuoneen jälkikaiunta-aika tyhjänä.

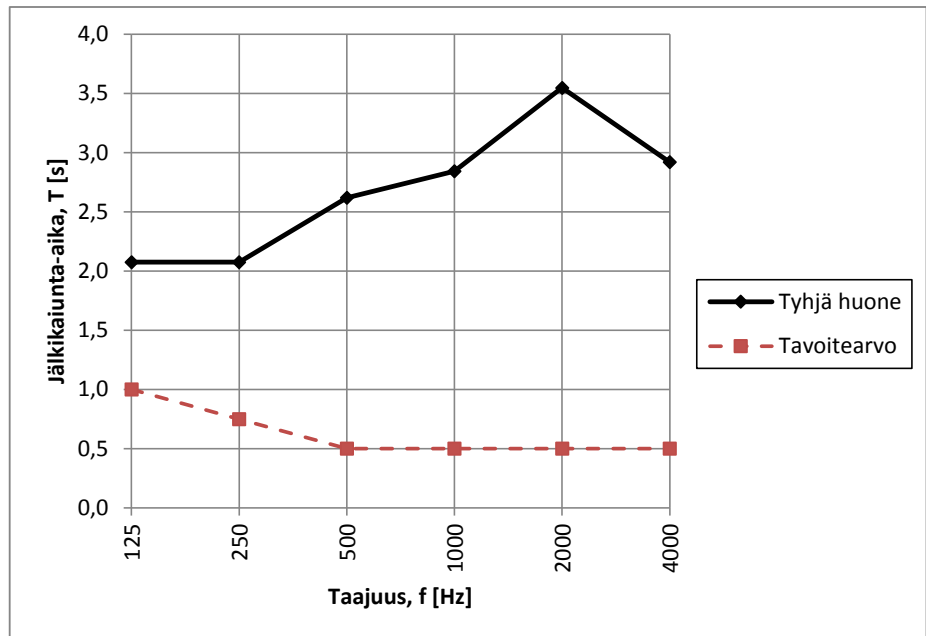
Absorptiokertoimet:

Indeksi <i>i</i>	Pinta	Materiaali	α_i [-]					
			125	250	500	1000	2000	4000
1	Lattia	betoni	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
2	Katto	betoni	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
3	Seinät	betoni	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
4	Ikkuna	lasi	0,30	0,30	0,20	0,17	0,10	0,10

Huom. Lattian absorptiosuhteena käytetty betonin arvoa koska taustaan liimattu parketti ei käytännössä juurikaan paranna absorptiota.

Absorptioalat:

Indeksi <i>i</i>	Pinta	S_i [m ²]	A_i [m ²]					
			125	250	500	1000	2000	4000
1	Lattia (betoni)	35,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4
2	Katto (betoni)	35,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4
3	Seinät (betoni)	82,8	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,3
4	Ikkuna	25,2	7,6	7,6	5,0	4,3	2,5	2,5
Kokonaisabsorptioala			12,1	12,1	9,6	8,9	7,1	8,6
Jälkikaiunta-aika, T [s]			2,1	2,1	2,6	2,8	3,5	2,9
Jälkikaiunta-ajan tavoitearvo, T [s]			1,0	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5



Lisätään huokoisia vaimennuslevyjä kattoon ja seinille.

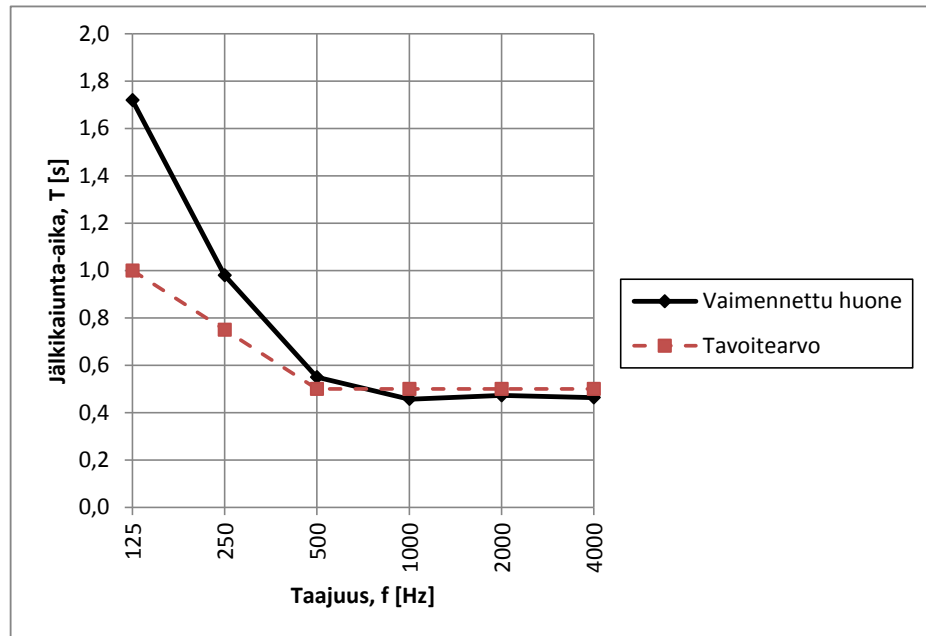
Katto: mineraalivillalevy 20 mm, 100 % katon alasta

Seinät: mineraalivillalevy 20 mm, 20 % betoniseinien alasta (ikkunaseinä jätetään vaimentamatta)

Indeksi <i>i</i>	Pinta	Materiaali	α_i [-]					
			125	250	500	1000	2000	4000
1	Lattia	betoni	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
2	Katto	villa 20mm	0,08	0,30	0,75	0,95	0,95	0,95
3	Seinät	betoni	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
4	Seinät	villa 20mm	0,08	0,30	0,75	0,95	0,95	0,95
5	Ikkuna	lasi	0,30	0,30	0,20	0,17	0,10	0,10

Indeksi <i>i</i>	Pinta	S_i [m ²]	A_i [m ²]					
			125	250	500	1000	2000	4000
1	Lattia (betoni)	35,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4
2	Katto (villa)	35,0	2,8	10,5	26,3	33,3	33,3	33,3
3	Seinät (betoni)	67,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,7
3	Seinät (villa)	15,3	1,2	4,6	11,5	14,5	14,5	14,5
4	Ikkuna	25,2	7,6	7,6	5,0	4,3	2,5	2,5

Kokonaisabsorptioala	14,7	25,7	45,8	55,1	53,4	54,4
Jälkikaiunta-aika, T [s]	1,7	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5



Jälkikaiunta-ajan tavoitearvo saavutetaan oktaavikaistoilla 500 - 4000 Hz, mutta matalilla taajuuksilla on edelleen turhan paljon kaiuntaa. Ratkaisu: tarvitaan lisää absorptiomateriaalia, joka absorboi matalia taajuuksia (korkeiden taajuuksien absorptio lisääminen ei ole tarpeen).

Jätetään huokoiset absorptiolevyt kattoon ja korvataan seinien mineraalivillalevyt reikälevytyksellä, jonka absorptiosuhde matalilla taajuuksilla on korkeampi. Samalla kasvatetaan seinien absorptiomateriaalin määrää.

Katto: mineraalivillalevy 20 mm, 100 % katon alasta

Seinät: reikäkipsilevy 13 mm (reikäala 24 %, ilmaväli 50 mm), 40 % seinäpinoista (ei ikkunaseinälle)

Indeksi <i>i</i>	Pinta	Materiaali	$\alpha_i [-]$					
			125	250	500	1000	2000	4000
1	Lattia	betoni	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
2	Katto	min.villa	0,08	0,30	0,75	0,95	0,95	0,95
3	Seinät	betoni	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
4	Seinät	reikälevy	0,43	0,60	0,63	0,50	0,43	0,37
5	Ikkuna	lasi	0,30	0,30	0,20	0,17	0,10	0,10

Indeksi <i>i</i>	Pinta	$S_i [m^2]$	$A_i [m^2]$					
			125	250	500	1000	2000	4000
1	Lattia (betoni)	35,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4
2	Katto (villa)	35,0	2,8	10,5	26,3	33,3	33,3	33,3
3	Seinät (betoni)	52,2	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,1
3	Seinät (reikälevy)	30,6	13,2	18,4	19,3	15,3	13,2	11,3
4	Ikkuna	25,2	7,6	7,6	5,0	4,3	2,5	2,5
Kokonaisabsorptioala			26,1	39,0	53,2	55,5	51,5	50,6
Jälkikaiunta-aika, T [s]			1,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5

