

Rak-43.3415 Building physical design 2 - Acoustical design

Autumn 2015

Exercise 3. Solutions.

1.

Asut kerrostalossa, jossa naapurihuoneistojen olohuoneiden välillä on betoniseinä, jonka mitat ovat 6,5 m x 2,8 m ja ilmaääneneristysluku $R_w = 60$ dB. Mikä on melutaso naapurisi olohuoneessa, kun soitat stereoa niin, että olohuoneessasi vallitsee keskiäänitaso 90 dB? Olohuoneen koko on 6,5 m x 4 m x 2,8 m. Huomioi ainoastaan äänen kulku suoraan betoniseinän läpi. Oletetaan, että naapurisi olohuoneessa on paljon kovia pintoja ja jälkikaiunta-aika kaikilla taajuuksilla on 1,3 s. *You live in an apartment building in which there's a concrete wall 6,5x2,8 m $R_w=60$ dB between neighbouring living rooms. What is the sound level in the neighbouring living room when you play the stereo at such a volume that the equivalent SPL in your living room is 95 dB? Living room dimensions 6,5x4x2,8m. Only consider the direct sound path through the separating wall. The reverberation time in the neighbouring living room is constant 1,3 s.*

Solution.

Ilmaääneneristysluvun määritelmä:

$$R = L_{p,1} - L_{p,2} + 10 \log \frac{S}{A_2}$$

Ilmaääneneristysluvun määritelmästä saadaan:

$$L_{p,2} = L_{p,1} - R + 10 \log \frac{S}{A_2}$$

nyt

$L_{p,1} =$	90	dB	
$R =$	60	dB	
$S =$	18,2	m ²	
$V_2 =$	72,8	m ²	olohuone
$T_2 =$	1,3	s	olohuone
$A_2 =$	9,0	m ² -Sab	

saadaan siis äänitasoksi naapurihuoneistossa:

$$L_{p,2} = 90 - 60 + 10 \log \frac{18,2}{9} = 33 \text{ dB}$$

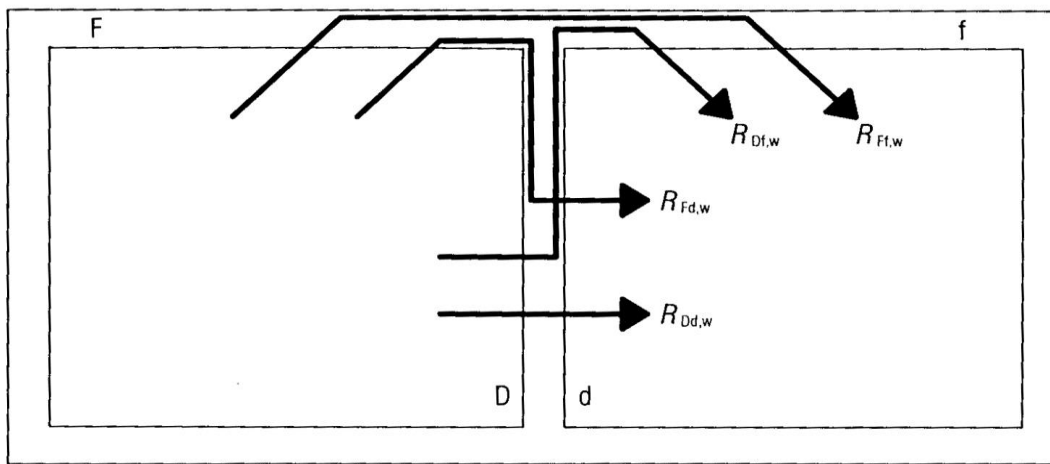
Äänitaso tulee tällä tarkastelulla aliarvioitua, koska sivutiesiirtymää ympäröivien rakenteiden kautta ei huomioitu. Todellisuudessa olohuoneiden välinen ilmaääneneristävyyys olisi pienempi kuin väliseinän R_w -arvo antaa ymmärtää.

2.

Tee sama arviointi kuin tehtävässä 1, mutta ota äänen sivutiesiirtymä ympäröivien rakenteiden kautta huomioon käyttäen RIL 243-1-2007 luvussa 6 esitettyä laskentamallia. Huoneita erottava seinä on betoniseinä, $R_w = 60$ dB. Lattia- ja kattorakenne ovat ontelolattaaja joiden ilmasteneristävyyden luku on 60 dB. Olohuoneita sivuava sisäseinä on 120 mm betoniseinä, jonka ilmasteneristysluku on 55 dB. Olohuoneita erottava betoniseinä liittyy T-liitoksella ulkoseinään, jonka ilmasteneristysluku R_w on 48 dB. *Do the same analysis as in Exercise 1 but take account of flanking transmission using the calculation model in RIL Section 6 (EN ISO 12354-1). The wall separating the spaces is concrete wall, $R_w = 60$ dB. Floor and roof are hollow core slabs with $R_w=60$ dB and the interior wall flanking the living rooms is a concrete wall 120 mm with $R_w=55$ dB. The separating wall connects to the facade structure via a T-junction. The SRI of the facade is 48dB.*

Solution.

Standardin EN 12354-1 mukaiset sivutiesiirtymäreitit:



Tässä 2-ulotteisessa tilanteessa ensimmäisen kertaluvun sivutiesiirtymäreittejä on 3 kpl. Yhteensä tällaisia sivutiesiirtymäreittejä on näin ollen rakennuksessa 12 kpl (4 kpl jokaista reittityyppiä).

Jos tiloja erottava seinä on massiivinen rakenne, suoraan erottavan rakenteen läpi kulkevan reitin R_{Dd} ilmasteneristysluku on sama kuin erottavan rakenteen ilmasteneristysluku:

$$R_{Dd,w} = R_{s,w}$$

Sivutiesiirtymäreittejä F_d , D_f ja F_f vastaavat ilmasteneristysluvut saadaan yhtälöistä:

$$R_{Ff,w} = \frac{R_{F,w} + R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Ff,w} + K_{Ff} + 10 \log_{10} \left(\frac{S_s}{I_f} \right)$$

$$R_{Fd,w} = \frac{R_{F,w} + R_{s,w}}{2} + \Delta R_{Fd,w} + K_{Fd} + 10 \log_{10} \left(\frac{S_s}{I_f} \right)$$

$$R_{Df,w} = \frac{R_{s,w} + R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Df,w} + K_{Df} + 10 \log_{10} \left(\frac{S_s}{I_f} \right)$$

jossa

$R_{F,w}$	on lähetyshuoneessa rakenteen F ilmaääneneristysluku [dB]
$R_{f,w}$	on vastaanottohuoneessa rakenteen f ilmaääneneristysluku [dB]
$\Delta R_{Ff,w}$	on lähetys- ja/tai vastaanottohuoneen sivuavan rakenteen pinnalle rakennetun lisäkerroksen tuottama parannus ilmaääneneristyslukuun [dB]
$\Delta R_{Fd,w}$	on lähetyshuoneen sivuavan rakenteen ja/tai erottavan seinän vastaanottohuoneen puolelle rakennetun lisäkerroksen tuottama parannus ilmaääneneristyslukuun [dB]
$\Delta R_{Df,w}$	on erottavan seinän lähetyshuoneen puolelle ja/tai vastaanottohuoneen sivuavan rakenteen pinnalle rakennetun lisäkerroksen tuottama parannus ilmaääneneristyslukuun [dB]
K_{Ff}	on liitoksen värähtelyeristävyys reitille Ff [dB]
K_{Fd}	on liitoksen värähtelyeristävyys reitille Fd [dB]
K_{Df}	on liitoksen värähtelyeristävyys reitille Df [dB]
S_s	on erottavan väliseinän pinta-ala [m ²]
l_f	on erottavan väliseinän ja liittyvän rakenteen yhteinen liitospituus [m]

nyt

$R_{s,w} =$	60	dB
$S_s =$	18,2	m ²
$l_{f1} =$	6,5	m
$l_{f2} =$	2,8	m

jossa

l_{f1}	on olohuoneita erottavan seinän ja lattia-/kattorakenteen yhteinen liitospituus
l_{f2}	on olohuoneita erottavan seinän ja sisä-/ulkoseinärakenteen yhteinen liitospituus

Parannustermit ΔR_w ovat nollia, koska kaikki rakenteet ovat paljaita massiivisia rakenteita (ei sivutiesiirtymää vähentäviä levyverhouksia). Massiivisten rakenteiden liitoksissa pätee tässä tapauksessa $m_1/m_2 = 1$, joten ristiliitoksen värähtelyeristävyydelle käytetään arvoa $K = 9$ dB ja T-liitokselle vastaavasti (VS-US) $K = 6$ dB.

Tehdään laskennan avuksi taulukko:

Reitti	Reitin indeksi	Pinta	Huone 1 (lähetys-huone) R _w [dB]	Huone 2 (vast.otto-huone) R _w [dB]	Liitoksen eristävyys K [dB]	Logaritmitermi 10log(S _s /I _f) [dB]	Koko reitti R _w [dB]
R _{Dd}	1	väliseinä	60	-	-	-	60
R _{Ff}	1	lattia	60	60	9	4,5	73,5
	2	ulkoseinä	48	48	6	8,1	62,1
	3	katto	60	60	9	4,5	73,5
	4	sisäseinä	55	55	9	8,1	72,1
R _{Df}	1	lattia	60	60	9	4,5	73,5
	2	ulkoseinä	60	48	6	8,1	68,1
	3	katto	60	60	9	4,5	73,5
	4	sisäseinä	60	55	9	8,1	74,6
R _{Fd}	1	lattia	60	60	9	4,5	73,5
	2	ulkoseinä	48	60	6	8,1	68,1
	3	katto	60	60	9	4,5	73,5
	4	sisäseinä	55	60	9	8,1	74,6

Huoneiden välinen ilmasteneristysluku saadaan kaavasta:

$$R_w = -10 \log \left[10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{F=f=1}^4 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum_{F=1}^4 10^{-R_{Fd,w}/10} + \sum_{f=1}^4 10^{-R_{Df,w}/10} \right]$$

$$= \mathbf{56,3 \quad dB}$$

Ero väliseinän R_w -arvon ja huoneiden välisen R_w -arvon välillä on tässä tapauksessa noin 4 dB.

Nyt äänitasoksi naapurihuoneistossa saadaan:

$$L_{p,2} = L_{p,1} - R + 10 \log \frac{S}{A_2}$$

$$L_{p,2} = 90 - 56,3 + 10 \log \frac{18,2}{9} = \mathbf{36,7 \quad dB}$$

3.

Kerrostalossa käytetään välipohjarakenteena 265 mm ontelolaattaa (320 kg/m^2), jonka päälle on asennettu lautaparketti joustavalle alusmateriaalille. Laske välipohjan askeläänitasoluku RIL 243-1-2007 Luvussa 7.6 esitetyllä mallilla. Lähtötietoina tunnetaan standardoidun päällystämättömän välipohjan askeläänitaso sekä parketin aiheuttama askeläänitaso alenema terssikaistoittain välillä 100 - 3150 Hz (ks. taulukko alla). *The floor structure in an apartment building is a hollow core slab 320 kg/m^2 with a wooden parquett and flexible underlay on top. Calculate the normalised weighted impact sound pressure level of the floor using the model in RIL Section 7.6. The impact sound pressure level of the heavyweight standard floor and the reduction of impact sound level of the floor covering in 1/3 bands are given below.*

f [Hz]	L_n [dB]	ΔL [dB]
100	50	0
125	55	0
160	56	0
200	58	0
250	58	0
315	58	0
400	59	3
500	60	6
630	61	8
800	60	12
1000	62	16
1250	62	21
1600	62	26
2000	62	30
2500	63	35
3150	62	39

Solution.

Välipohjan askeläänitasoluku, $L_{n,w}$, voidaan laskea seuraavilla yhtälöillä:

$$\hat{L}_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K$$

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \log_{10} \left(\frac{m'}{1 \text{ kg/m}^2} \right)$$

$$\Delta L_w = L_{n,eq,0,w} - L_{n,w}$$

missä

$L_{n,w,eq}$ = päällystämättömän välipohjan ekvivalentti askeläänitasoluku

ΔL_w = askelääneneristävyyden parannusluku

K = sivutiesiirtymän huomioon ottava korjaustermi (tässä tehtävässä K=0)

m' = päällystämättömän välipohjan pintamassa [kg/m²]

$L_{n,eq,0,w}$ = standardoidun päällystämättömän välipohjan askeläänitasoluku

$L_{n,w}$ =

askeläänitasoluku, joka saadaan vähentämällä standardoidun päällystämättömän välipohjan askeläänitasoista taajuuskaistoittain mitatut askeläänitaso alenemat ΔL [dB]

Määritetään ensin standardoidun päällystämättömän välipohjan askeläänitasoluku $L_{n,eq,0,w}$.

f [Hz]	L_n [dB]	ISO 717-2 vertailukäyrä [dB]	Ei-toivotut poikkeamat [dB]		
100	50	53	0		
125	55	53	2		
160	56	53	3		
200	58	53	5		
250	58	53	5		
315	58	53	5		
400	59	52	7		
500	60	51	9		
630	61	50	11		
800	60	49	11		
1000	62	48	14		
1250	62	45	17		
1600	62	42	20		
2000	62	39	23		
2500	63	36	27	summa:	
3150	62	33	29	188	dB < 32,0 dB

Ei-toivottujen poikkeamien summa ylittää 32,0 dB, joten vertailukäyrää on siirrettävä. Huom. Askeläänitasojen tapauksessa ei-toivottu poikkeama tapahtuu, kun mitattu askeläänitaso on vertailukäyrän arvoa suurempi jollain taajuudella (vrt. ilmaääneneristysluvun määrittäminen).

Siirretään vertailukäyrää:

f [Hz]	L_n [dB]	ISO 717-2 vertailukäyrä [dB]	Ei-toivotut poikkeamat [dB]		
100	50	71	0		
125	55	71	0		
160	56	71	0		
200	58	71	0		
250	58	71	0		
315	58	71	0		
400	59	70	0		
500	60	69	0		
630	61	68	0		
800	60	67	0		
1000	62	66	0		
1250	62	63	0		
1600	62	60	2		
2000	62	57	5		
2500	63	54	9	summa:	
3150	62	51	11	27	dB < 32,0 dB

Standardoidun päällystämättömän välipohjan askeläänitasoluksi saadaan:

$$L_{n,eq,0,w} = 69 \text{ dB}$$

Vähennetään sitten standardoidun päällystämättömän VPn askeläänitasoista askeläänitason alenemat ja lasketaan vastaava askeläänitasoluku.

f [Hz]	L _n [dB]	ΔL [dB]	L _n - ΔL	ISO 717-2	ei-toivotut poikkeamat		
100	50	0	50	53	0		
125	55	0	55	53	2		
160	56	0	56	53	3		
200	58	0	58	53	5		
250	58	0	58	53	5		
315	58	0	58	53	5		
400	59	3	56	52	4		
500	60	6	54	51	3		
630	61	8	53	50	3		
800	60	12	48	49	0		
1000	62	16	46	48	0		
1250	62	21	41	45	0		
1600	62	26	36	42	0		
2000	62	30	32	39	0		
2500	63	35	28	36	0	summa:	
3150	62	39	23	33	0	30	dB < 32,0 dB

Päällystetyn välipohjan askeläänitasoluvuksi saadaan:

$$L_{n,w} = 51 \text{ dB}$$

Askelääneneristävyyden parannusluku saadaan edellä laskettujen askeläänitasolukujen erotuksena:

$$\Delta L_w = L_{n,eq,0,w} - L_{n,w} = 18 \text{ dB}$$

Kun joustavan alusmateriaalin päälle asennetun parketin askeläänitason parannusluku tunnetaan, voidaan tällä materiaalilla päällystetyn ontelolaatan askeläänitasoluku laskea:

$$L_{n,w} = L_{n,eq,w} - \Delta L_w - K$$

jossa K = 0 ja

$$L_{n,eq,w} = 164 - 35 \log \left(\frac{m'}{1 \text{ kg/m}^2} \right)$$

Ontelolaatan pintamassan m' = 320 kg/m² arvolla saadaan

$$L_{n,eq,w} = 76 \text{ dB}$$

Parketilla + joustavalla alusmateriaalilla päällystetyn ontelolaatan askeläänitasoluvuksi saadaan siis

$$L_{n,w} = 76 - 18 - 0 = 58 \text{ dB}$$

4.

Asuinkerrostalon välipohjana halutaan käyttää kelluvaa lattiarakennetta. Jotta kelluvan rakenteen askelääneneristävyys olisi subjektiivisesti hyvä, kelluvan rakenteen ominaistajuus ei saisi asuinrakennuksissa ylittää 100 Hz, ja mieluiten ominaistajuus tulisi olla alle 50 Hz. Tutki, minkälaisella kelluvalla rakenteella ja eristemateriaalilla ehto voidaan täyttää. *The client wishes to use a floating floor as the floor structure in an apartment building. In order to achieve subjectively satisfactory impact sound insulation, the resonance frequency of the floating floor should not exceed 100 Hz and preferably it should lie below 50 Hz. Investigate the different structural combinations with which the demand can be satisfied.*

Solution.

Kelluvan lattian ominaistajuus voidaan laskea yhtälöstä

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

jossa

s' = eristemateriaalin dynaaminen jäykkyys [MN/m³]

m' = kelluvan rakenteen pintamassa [kg/m²]

Kelluvan lattiarakenteen ominaistajuutta voidaan laskea kelluvan rakenteen pintamassa lisäämällä ja/tai eristekerroksen dynaamista jäykkyyttä pienentämällä. Eristekerrosten dynaaminen jäykkyys asuinrakentamisessa käytetyillä materiaaleilla on noin 8 - 50 MN/m³.

Esimerkkilaskelma, kun kelluvana rakenteena käytetään rakennuslevyjä:

$m' = 15 \text{ kg/m}^2$ esim. tyyppillinen lattiakipsilevy 15 mm

levyjen lkm	m' [kg/m ²]	s' [MN/m ³]	f_0 [Hz]	levyjen lkm	m' [kg/m ²]	s' [MN/m ³]	f_0 [Hz]
1	15	8	117	1	15	50	292
2	30	8	83	2	30	50	207
3	45	8	67	3	45	50	169
4	60	8	58	4	60	50	146
5	75	8	52	5	75	50	131

Kelluvan rakenteen pintamassan tulee olla luokkaa $m' > 30 \text{ kg/m}^2$ ja eristemateriaalin dynaamisen jäykkyyden luokkaa $s' < 10 \text{ MN/m}^3$ jotta ominaistajuus olisi alle 100 Hz. Levyrakenteisella kelluvalla lattialla ominaistajuutta on vaikeaa saada alle 50 Hz vaikka eristemateriaalin dyn. jäykkyys olisi pieni.

Esimerkkilaskelma, kun kelluvana rakenteena käytetään massiivista betonilaattaa:

$\delta = 2500 \text{ kg/m}^3$ betoni

h [m]	$m' = \delta \times h$			h [m]	$m' = \delta \times h$		
	[kg/m ²]	s' [MN/m ³]	f_0 [Hz]		[kg/m ²]	s' [MN/m ³]	f_0 [Hz]
0,040	100	8	45	0,040	100	50	113
0,050	125	8	40	0,050	125	50	101
0,060	150	8	37	0,060	150	50	92
0,070	175	8	34	0,070	175	50	86
0,080	200	8	32	0,080	200	50	80
0,090	225	8	30	0,090	225	50	75
0,100	250	8	29	0,100	250	50	72

Ohutkin betonilaatta riittää ehtoon $f_0 < 100 \text{ Hz}$ kunhan eristemateriaalin dynaaminen jäykkyys on alhainen.

Betonilaatalla päästään helposti alle 50 Hz ominaistajuuteen käyttämällä hyvin joustavaa eristemateriaalia $s' < 10 \text{ MN/m}^3$.