

Gyakorló feladatok a „Műszaki akusztika és zajcsökkentés” tantárgyhoz
(a megoldások rövid összefoglalásával)

1. feladatsor:

1. Végtelen hosszú cső belsejében tökéletesen tömören illesztett dugattyú harmonikus rezgő mozgást végez. Határozza meg a dugattyú maximális sebességét, ha a csőben mérhető hangnyomásszint nagysága 107dB. A csövet kitöltő levegő egyensúlyi nyomása 1bar, hőmérséklete 30°C. (3 pont)

$$p_{\text{eff}} = p_0 \sqrt{10^{0,1 \cdot L}} = 2 \cdot 10^{-5} \sqrt{10^{10,7}} \approx 4,48 \text{ Pa}, \quad \hat{p} = p_{\text{eff}} \sqrt{2} \approx 4,48 \sqrt{2} \approx 6,33 \text{ Pa}, \quad \rho_0 = p_0 / RT_0 = 10^5 / 287 \cdot 303 \approx 1,15 \text{ kg/m}^3,$$
$$a = \sqrt{\kappa RT_0} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot 303} \approx 348,9 \text{ m/s}, \quad \hat{v} = \hat{p} / \rho_0 a \approx 6,33 / 1,15 \cdot 348,9 \approx 0,0158 \text{ m/s}$$

2. Sorolja fel a hang áramlási, és hullám-természetének legfontosabb jellemzőit. (3 pont)

Ld.: Előadás!

3. Számítsa ki egy 4.5m hosszúságú, mindkét végén nyitott cső belsejében található levegő oszlop első és harmadik akusztikai sajátfrekvenciáját! (A levegő hőmérséklete 35°C.) (3 pont)

$$a = \sqrt{\kappa RT_0} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot 308} \approx 351,8 \text{ m/s}$$

Első sajátfrekvencia: A peremfeltételek alapján a részecskesebesség ábra a maximumtól a szomszédos minimumig tartó fél szinuszos periódus, a hullámhossz: $\lambda_1 = 4 \cdot l / 2 = 2 \cdot 4,5 = 9 \text{ m}$, $f_1 = a / \lambda_1 \approx 351,8 / 9 = 39,1 \text{ Hz}$

Harmadik sajátfrekvencia: A peremfeltételek alapján a részecskesebesség ábra a maximumtól a második minimumig tartó másfél szinuszos periódus, a hullámhossz: $\lambda_3 = 4 \cdot l / 6 = 4 \cdot 4,5 / 6 = 3 \text{ m}$, $f_3 = a / \lambda_3 \approx 351,8 / 3 = 117,3 \text{ Hz}$

4. Hangelnyelő síkkal határolt fél-térben működő pontszerű hangforrást hangvisszaverő síkok merőleges sarkába helyezünk, miközben a hangforrástól mért távolságot a négyszeresére növeljük és a hangforrás teljesítményét megduplázzuk. Adja meg az eredő hangnyomásszint változást! (3 pont)

$$\Delta L = L_2 - L_1 = L_{w_2} - L_{w_1} - 10 \lg r_2^2 + 10 \lg r_1^2 + 10 \lg D_2 - 10 \lg D_1 - 11 + 11 = 3 - 10 \lg(4r_1)^2 + 10 \lg r_1^2 + 10 \lg 8 - 10 \lg 1 = 0 \text{ dB}$$

5. Egy adott zaj hangszínképére vonatkozóan mire lehet következtetni abból, ha a lineáris és az A-súlyozott hangnyomásszintje között nagy a különbség? (3 pont)

Ld.: Előadás! (A zajspektrum meghatározó összetevői az emberi hallás számára kevésbé érzékelhető kisebb (kb.: 20-500Hz), illetve nagyobb (kb.: 5k-20kHz) frekvencia tartományokban találhatóak.)

6. Szabad térben elhelyezett dugattyús kompresszor löketét a kétszeresére növeltük. Adja meg az eredő hangnyomásszint változást, ha a sugárzás egyéb körülményei változatlanok maradtak! (5 pont)

A szabad térre dolgozó (pl.: vákuum előállításánál) dugattyús kompresszor meghatározó zajforrása a nyomócsonton kilépő időben ingadozó térfogatáramú levegő, ezért a modell-törvények alkalmazásánál a zajforrás monopólusnak tekinthető. A löket kétszeresítése a zajt keltő áramlás jellemző sebességének duplázását okozza.

$$\Delta L = L_2 - L_1 = L_{w_2} - L_{w_1} = 10 \lg(P_2/P_0) - 10 \lg(P_1/P_0) = 10 \lg(P_2/P_1) = 10 \lg(\text{konst} \cdot v_2^4 l^2 \rho_2 a_1 / \text{konst} \cdot v_1^4 l^2 \rho_1 a_2) =$$
$$= 10 \lg(v_2^4 / v_1^4) = 40 \lg(2v_1 / v_1) = 12 \text{ dB}$$

7. Az áramlástan alapegyenleteiből kiindulva vezesse le a hangnyomásra vonatkozó homogén akusztikai hullámgyenlet 1D síkhullámokat leíró alakját! A levezetés minden lépését írja le, az egyszerűsítő feltételeket, illetve az elhanyagolásokat indokolja! Adja meg az egyenlet alkalmazási területét és írja fel a kapott egyenlet általános megoldását szabad térben! (20 pont)

Ld.: Előadás!

8. Bizonyítsa be, hogy különböző frekvenciájú hangok összegzése esetén az eredő hangnyomás effektív értékének négyzete, az összetevő hangnyomás effektív érték négyzetek összegével egyenlő! (5 pont)

Ld.: Előadás!

9. Visszavert hangtérben állandó teljesítményű hangforrás működésekor mérhető hangnyomásszint 84 dB. Ezt követően a helyiség belső felületének egyharmadát hangelnyelő anyaggal borítjuk be, amelynek hatására a hangnyomásszint 78 dB-re csökken. Határozza meg a hangelnyelő anyag hangelnyelési tényezőjét, ha a helyiség eredeti felületének hangelnyelési tényezője, $\alpha=0,05$. (20 pont)

$$\Delta L = 6 = L_1 - L_2 = 10 \lg(4/R_{T1}) - 10 \lg(4/R_{T2}) = 10 \lg(R_{T2}/R_{T1}) = 10 \lg(\alpha_2 A(1 - \alpha_1) / \alpha_1 A(1 - \alpha_2)) =$$

$$= 10 \lg(\alpha_2(1 - 0,05) / 0,05(1 - \alpha_2)), \text{ amelyből } \alpha_2 \approx 0,1732$$

$$\text{illetve } \alpha_2 = \alpha_{\text{eredeti}}^{2/3} + \alpha_{\text{hangelnyel\H{o}}}^{1/3} = 0,05^{2/3} + \alpha_{\text{hangelnyel\H{o}}}^{1/3} = 0,1732 \text{ amelyb\H{o}l } \alpha_{\text{hangelnyel\H{o}}} = \mathbf{0,42}$$

10. Egy 320m hosszú, 10 emelet magas épületomb középső részén elhelyezkedő földszinti helyiségből két közvetlenül egymás mellett elhelyezett szellőztető ventilátor levegőt szállít az utcára. Határozza meg a ventilátoroktól 55m távolságban, azokkal pontosan szemben a hangelnyelő talaj felszínén elhelyezkedő megfigyelési pontban az A-hangnyomásszint értékét, ha zajforrások és a megfigyelési pont között egy, a frekvenciától függetlenül 14dB beiktatási veszteségű garázsépület helyezkedik el. Az „1”-es és „2”-es ventilátor nyomócsőnkjából kisugárzott hangteljesítmény, illetve az "A" súlyozás relatív szintjei az oktáv-sáv-középfrekvenciák függvényében az alábbi táblázatban találhatóak. Megoldásához készítsen vázlatrajzot.

f_{okt} [Hz]	250	500	1k	2k	4k
$P_{1\text{okt}}$ [W]	0.1	0.5	0.1	0.01	0.001
$P_{2\text{okt}}$ [W]	0.5	0.1	0.05	0.01	0.005
$\Delta L_{A\text{okt}}$ [dB]	-8,6	-3,2	0	1,2	1

(15 pont)

Megoldás:

f_{okt} [Hz]	250	500	1k	2k	4k
$P_{1+2\text{okt}} = P_{1\text{okt}} + P_{2\text{okt}}$ [W]	0,6	0,6	0,15	0,02	0,006
$L_{W1+2\text{okt}} = 10 \lg(P_{1+2\text{okt}}/P_0)$ [dB]	117,8	117,8	111,8	103	97,8
$L_{\text{okt}} = L_{W1+2\text{okt}} - 10 \lg r^2 + 10 \lg D - 11 = L_{W1+2\text{okt}} - 10 \lg 55^2 + 10 \lg 2 - 11 =$ [dB]	75	75	69	60,2	55
$L_{\text{okt}} - \Delta L_{\text{b garázs}} = L_{\text{okt}} - 14$ [dB]	61	61	55	46,2	41
$L_{\text{okt}} - 14 + \Delta L_{A\text{okt}}$ [dB]	52,4	57,8	55	47,4	42

$$L_A = 10 \lg(10^{5,24} + 10^{5,78} + 10^{5,5} + 10^{4,74} + 10^{4,2}) \approx \mathbf{60,7} \text{ [dB(A)]}$$

2. feladatsor:

1. Írja fel a homogén akusztikai hullám egyenlet síkhullámokra vonatkozó általános megoldását! Válassza ki a jobbra (+x irányban) haladó hullámokat leíró összetevőt, és mutassa be, hogy az miért alkalmas a hullám haladó jellegének leírására. (3 pont)

Ld.: Előadás!

2. Egy 0,001 sec periódusidejű, 0,5 Pa hangnyomás amplitúdójú harmonikus hullám tökéletesen visszaverődik az útjában merőlegesen elhelyezett sík falról. Nevezze meg a kialakuló hangtani jelenséget, határozza meg két szomszédos csomópont közti távolságot és a duzzadó helyen a hangnyomásszint értékét, ha a levegő hőmérséklete 10°C! (3 pont)

A kialakuló akusztikai jelenség neve állóhullám, amelynél két szomszédos duzzadó hely között a távolság fél hullámhossz. $a = \sqrt{\kappa R T_0} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot 283} \approx 337,2 \text{ m/s}$, $\lambda = aT \approx 337,2 \cdot 0,001 \approx 0,3372 \text{ m}$, $\lambda/2 \approx 0,1686 \text{ m}$

A duzzadó helyen mérhető hangnyomás amplitúdó a beeső és visszavert összetevők amplitúdóinak az összege, 1Pa. Az effektív érték figyelembe vételével a duzzadó helyen mérhető hangnyomásszint:

$$L = 10 \lg(p_{\text{eff}}^2 / p_0^2) = 10 \lg(1/\sqrt{2} / 2 \cdot 10^{-5})^2 = 91 \text{ dB}$$

3. Színházterem 1:10 méretarányban elkészített modelljén végzett vizsgálattal szándékozunk megállapítani az eredeti teremben a 250, 500 és 1000 Hz frekvenciájú tisztahang gerjesztés hatására kialakuló hangterek tulajdonságait. Határozza meg a modellnél alkalmazandó mérőhangok frekvenciáit! (3 pont)

$$H_{e_m} = H_{e_0}, \quad l_m / \lambda_m = l_0 / \lambda_0, \quad l_m f_m / a_m = l_0 f_0 / a_0, \quad \text{de } (a_m = a_0) \text{ ezért, } f_m = f_0 l_0 / l_m, \text{ amelyek rendre 2,5k, 5k és 10kHz}$$

4. Hangvisszaverő síkkal határolt fél-térben működő vonalszerű hangforrást hangvisszaverő síkok merőleges élébe helyezünk, miközben a hangforrástól mért távolságot a négyszeresére növeljük és a hosszegységre jutó kibocsátott hangteljesítményt a felére csökkentjük. Adja meg az eredő hangnyomásszint változást! (3 pont)

$$\Delta L = L_2 - L_1 = L'_{w2} - L'_{w1} - 10 \lg r_2^2 + 10 \lg r_1^2 + 10 \lg D_2 - 10 \lg D_1 - 6 + 6 = -3 - 10 \lg(4r_1) + 10 \lg r_1 + 10 \lg 4 - 10 \lg 2 = -6 \text{ dB}$$

5. Írja le a megítélési A-hangnyomásszint összefüggését, nevezze meg a benne szereplő változókat! (3 pont)

Ld.: Előadás! (L_{Aeq} , K_a , K_b , K_i és K_t összetevők részletes magyarázata.)

6. Egy ventilátor a szabadból szív levegőt, amelyet a szellőztetett helyiség felé szállít tovább. A légmennyiség növelése érdekében a járókerék fordulatszámát a másfélszeresére növeltük. A ventilátor szívónyílásától megadott távolságban határozza meg az eredő hangnyomásszint változást, ha a hangkibocsátás és terjedés egyéb körülményei változatlanok maradtak! (3 pont)

A ventilátor meghatározó zajkeltési mechanizmusa az időben változó áramlásba helyezett szilárd test felületén kialakuló nyomásingadozásra, illetve reakció erők miatt a folyadékrezecskékre ható ingadozó erőhatásra vezethető vissza, ezért a modell-törvények alkalmazásához a ventilátor szívócsonkja dipólus jellegű hangforrás. A fordulatszám másfélszeres növelése a zajt keltő áramlás jellemző sebességének hozzávetőleg másfélszeres növekedését okozza.

$$\Delta L = L_2 - L_1 = L_{w2} - L_{w1} = 10 \lg(P_2/P_0) - 10 \lg(P_1/P_0) = 10 \lg(P_2/P_1) = 10 \lg(\text{konst} \cdot v_2^6 / \text{konst} \cdot v_1^6) = 10 \lg(v_2^6 / v_1^6) = 60 \lg(1,5 v_1 / v_1) \approx 10,6 \text{ dB}$$

7. Vezesse le a harmonikus gerjesztés hatására a Helmholtz-rezonátor nyakában kialakuló mozgást leíró differenciál egyenletet. Írja le a levezetés minden lépését és az egyszerűsítő feltételeket, illetve az elhanyagolásokat indokolja! Sorolja fel és magyarázza a Helmholtz-rezonátorok gyakorlati alkalmazási lehetőségeit. (20 pont)

Ld.: Előadás!

8. Vezesse le az inkoherens vonalszerű hangforrás távolféltéri közelítése alapján a forrás által kisugárzott hosszegységre jutó hangteljesítményszint és az ennek hatására a környezetében kialakuló hangtér hangnyomásszintje közötti összefüggést! (15 pont)

Ld.: Előadás!

9. Egy 100kHz frekvenciájú, 20 W hangteljesítményű szonár (víz alatti hang-lokátor) pásztázó sugarának átmérője 0,1m. Határozza meg a vízben terjedő mérőhang részecskesebesség, hangnyomás és részecskekitérés amplitúdóját, ha a víz sűrűsége 1000 kg/m³ illetve a benne érvényes hangsebesség 1500 m/s. (12 pont)

$$I = P/A = 4 \cdot 20 / (\pi \cdot 0,1^2) \approx 2546,5 \text{ W/m}^2, \quad I = p_{\text{eff}}^2 / \rho_0 a, \quad \text{amelyből a hangnyomás amplitúdó:}$$

$$\hat{p} = \sqrt{2I\rho_0 a} \approx \sqrt{2 \cdot 2546,5 \cdot 1000 \cdot 1500} \approx 87404 \text{ Pa}, \quad \hat{v} = \hat{p} / \rho_0 a \approx 87404 / (1000 \cdot 1500) \approx 0,0583 \text{ m/s}$$

A részecskekitérés a sebességfüggvény idő szerinti integrálásával határozható meg, ahol az amplitúdó a szinuszos tag együtthatója: $\hat{x} = \hat{v} / \omega = \hat{v} / 2\pi f \approx 0,0583 / (2\pi \cdot 10^5) \approx 9,3 \cdot 10^{-8} \text{ m}$

10. Határozza meg egy 13m x 20m alapterületű, 8m belmagasságú csarnokban a hangvisszaverő padozatra helyezett hangforrástól 1,5m távolságban kialakuló A-hangnyomásszint értékét! A hangforrás által kisugárzott hangteljesítmény, a terem belső felületére vonatkozó átlagos hangelnyelési tényező, illetve az A-súlyozás relatív szintjei az oktáv-sáv-középfrekvenciák függvényében az alábbi táblázatban találhatóak.

f_{okt} [Hz]	250	500	1k	2k	4k
P_{okt} [W]	0.1	1	0,1	0.01	0.001
α_{okt} [-]	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02
$\Delta L_{A\text{okt}}$ [dB]	-8,6	-3,2	0	1,2	1

(20 pont)

Megoldás:

f_{okt} [Hz]	250	500	1k	2k	4k
$L_{W\text{okt}} = 10 \lg(P_{\text{okt}}/P_0)$ [dB]	110	120	110	100	90
$R_{T\text{okt}} = A\alpha_{\text{okt}} / (1 - \alpha_{\text{okt}}) = 1048 \cdot \alpha_{\text{okt}} / (1 - \alpha_{\text{okt}})$ [m ²]	55,2	32,4	21,4	21,4	21,4
$L_{\text{okt}} = L_{W\text{okt}} + 10 \lg(D/4\pi r^2 + 4/R_{T\text{okt}}) = L_{W\text{okt}} + 10 \lg(2/4\pi 1,5^2 + 4/R_{T\text{okt}})$ [dB]	101,6	112,9	104,1	94,1	84,1
$L_{\text{okt}} + \Delta L_{A\text{okt}}$ [dB]	93	109,7	104,1	95,3	85,1

$$L_A = 10 \lg(10^{9,3} + 10^{10,97} + 10^{10,41} + 10^{9,53} + 10^{8,51}) \approx 111 \text{ [dB(A)]}$$
