

Zadaci za 2. ciklus iz predmeta Ozvučenje

1a. U kazalištu izgrađenom na otvorenom prostoru potrebno je postići razinu zvučnog tlaka od 85 dB na udaljenosti 20 m od zvučnika u osi zvučnika. Osjetljivost zvučnika je 97 dB/1W/1m. Kolika je potrebna električna snaga pojačala?

$$L_d = 85 \text{ dB}$$

$$r_{LH} = 20 \text{ m}$$

$$L_k = 97 \text{ dB}$$

Osnovna jednadžba za širenje zvuka na otvorenom prostoru:

$$L_d = L_k + 10 \log P_{el} + 20 \log \Gamma_L(\vartheta_H) - 20 \log r_{LH} - D_{LH}$$

Budući da se slušatelj nalazi na udaljenosti manjoj od 40 m od zvučnika, zanemaruje se korekcija radi atmosferskih prilika.

$$D_{LH} = 0 \text{ dB}$$

Isto tako, slušatelj se nalazi u osi zvučnika, dakle

$$\vartheta_H = 0^\circ \Rightarrow 20 \log \Gamma_L(\vartheta_H) = 0 \text{ dB}$$

Ostaje:

$$L_d = L_k + 10 \log P_{el} - 20 \log r_{LH}$$

Iz toga slijedi:

$$10 \log P_{el} = L_d + 20 \log r_{LH} - L_k = 85 + 20 \log 20 - 97 = 14 \text{ dB}$$

Dakle,

$$P_{el} = 10^{\frac{14}{10}} = 25,24 \text{ W}$$

1b. Ako istim zvučnikom na istom mjestu slušatelja želimo postići razinu zvučnog tlaka od 95 dB, potrebna električna snaga bit će:

$$P_{el} = 252,4 \text{ W}$$

1c. Ako želimo da takav sustav ima rezervu od $H = 6$ dB, odnosno, da je maksimalna razina koju može dati na mjestu slušatelja 101 dB, za to potrebna električna snaga iznosi:

$$P_{el} = 1000 \text{ W}$$

1d. Ako upotrijebimo zvučnik osjetljivosti 100 dB/1W/1m i želimo postići razinu od 101 dB, potrebna električna snaga bit će:

$$P_{el} = 500 \text{ W}$$

Zaključak: postizanje više razine zvučnog tlaka na određenoj udaljenosti zahtijeva i više snage, što najčešće rezultira uporabom više zvučnika. Pri tome je osjetljivijem zvučniku potrebno manje snage za postizanje određene razine zvučnog tlaka.

2a. Za dvoranu volumena $10\,000\text{ m}^3$ i vremena odjeka 1 s treba odrediti potrebnu instaliranu električnu snagu da bi se dobila razina zvučnog tlaka od 101 dB . Na raspolaganju su usmjereni zvučnički sustavi osjetljivosti 104 dB i dobitkom u osi $\gamma_L = 8$.

$$V = 10\,000\text{ m}^3$$

$$RT_{60} = 1\text{ s}$$

$$L_r = 101\text{ dB}$$

$$L_k = 104\text{ dB}$$

$$\gamma_L = 8$$

Osnovna jednadžba za širenje zvuka u zatvorenom prostoru:

$$L_r = L_k + 10 \log P_{el} - 10 \log A - 10 \log \gamma_L \gamma_{PL} + 17$$

A je ukupna apsorpcija u prostoriji i računa se iz:

$$RT_{60} = \frac{0,163 \cdot V}{A} \Rightarrow A = \frac{0,163 \cdot V}{RT_{60}} = 1630\text{ m}^2$$

γ_{PL} je korekcija koja se primjenjuje ako je eksplicitno zadano da zvučnik pokriva plohu s publikom koja ima bitno veći koeficijent apsorpcije od srednjeg koeficijenta apsorpcije dvorane. Ovdje to nije slučaj pa je

$$\gamma_{PL} = 1$$

Sada je:

$$101 = 104 + 10 \log P_{el} - 10 \log 1630 - 10 \log (8 \cdot 1) + 17$$

iz čega slijedi:

$$10 \log P_{el} = 101 - 104 + 10 \log 1630 + 10 \log 8 - 17 = 21,15\text{ dB}$$

Tada je:

$$P_{el} = 10^{\frac{21,15}{10}} = 130\text{ W}$$

2b. Ako je vrijeme odjeka dvorane 3 s uz uvjete i zahtjeve opisane u 2a, izračunajte potrebnu električnu snagu.

$$RT_{60} = \frac{0,163 \cdot V}{A} \Rightarrow A = \frac{0,163 \cdot V}{RT_{60}} = 543 \text{ m}^2$$

$$10 \log P_{el} = 101 - 104 + 10 \log 543 + 10 \log 8 - 17 = 16,38 \text{ dB}$$

$$P_{el} = 10^{\frac{16,38}{10}} = 43,5 \text{ W}$$

Zaključak: U ječnijem prostoru potrebna je manja snaga za postizanje iste razine zvučnog tlaka.

2c. Ako je zvučnički sustav neusmjeren, uz ostale uvjete i zahtjeve opisane u 2a, izračunajte potrebnu električnu snagu.

$$\text{neusmjereni zvučnički sustav} \rightarrow \gamma_L = 1$$

$$10 \log P_{el} = 101 - 104 + 10 \log 1630 + 10 \log 1 - 17 = 12,12 \text{ dB}$$

$$P_{el} = 10^{\frac{12,12}{10}} = 16,3 \text{ W}$$

Zaključak: Zvučničkom sustavu manje usmjerenosti potrebna je manja snaga za postizanje određene razine zvučnog tlaka u nekoj dvorani nego zvučničkom sustavu veće usmjerenosti, uz jednake osjetljivosti tih sustava.

2d. Izračunajte najveću udaljenost između zvučnika i slušatelja u dvorani pri kojoj je razumljivost još uvijek vrlo dobra, uz uvjete opisane u 2a.

Najjednostavnije se računa iz izraza za AL_{cons} :

$$AL_{\text{cons}} \approx 0,652 \left(\frac{r_{LH}}{r_R} \right)^2 RT_{60} [\%] , \text{ pri čemu je}$$

AL_{cons}	$\leq 3 \%$ odlično
	3 - 7 % vrlo dobro
	7 - 12 % dobro
	12 - 25 % jedva dovoljno
	$> 25 \%$ loše

r_R je kritična udaljenost koju računamo kao:

$$r_R \approx \sqrt{\gamma_L} \cdot r_H$$

gdje je r_H radijus dvorane kojeg računamo kao:

$$r_H = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{S\bar{\alpha}}{\pi}} = 0,057 \sqrt{\frac{V}{RT_{60}}}$$

U našem slučaju:

$$r_H = 0,057 \sqrt{\frac{V}{RT_{60}}} = 0,057 \sqrt{\frac{10000}{1}} = 5,7 \text{ m}$$

$$r_R \approx \sqrt{\gamma_L} \cdot r_H = \sqrt{8} \cdot 5,7 = 16,1 \text{ m}$$

Za još uvijek vrlo dobru razumljivost $AL_{\text{cons}} \leq 7 \%$, dakle:

$$7 \approx 0,652 \left(\frac{r_{LH}}{16,1} \right)^2 \cdot 1 \Rightarrow r_{LH} = 52,7 \text{ m}$$

2e. Izračunajte najveću udaljenost između zvučnika i slušatelja u dvorani pri kojoj je razumljivost još uvijek vrlo dobra ako je vrijeme odjeka dvorane 3 s, uz ostale uvjete kao u 2a.

$$r_H = 0,057 \sqrt{\frac{V}{RT_{60}}} = 0,057 \sqrt{\frac{10000}{3}} = 3,3 \text{ m}$$

$$r_R \approx \sqrt{\gamma_L} \cdot r_H = \sqrt{8} \cdot 3,3 = 9,3 \text{ m}$$

Za još uvijek vrlo dobru razumljivost $AL_{\text{cons}} \leq 7 \%$, dakle:

$$7 \approx 0,652 \left(\frac{r_{LH}}{9,3} \right)^2 \cdot 3 \Rightarrow r_{LH} = 17,6 \text{ m}$$

Zaključak: U ječnom prostoru razumljivost je lošija nego u prigušenom prostoru iste veličine, ako su oba prostora ozvučena jednakim sustavima ozvučenja.

2f. Izračunajte najveću udaljenost između zvučnika i slušatelja u dvorani pri kojoj je razumljivost još uvijek vrlo dobra ako je zvučnički sustav neusmjeren, uz ostale uvjete kao u 2a.

$$r_H = 0,057 \sqrt{\frac{V}{RT_{60}}} = 0,057 \sqrt{\frac{10000}{1}} = 5,7 \text{ m}$$

$$r_R \approx \sqrt{\gamma_L} \cdot r_H = r_H = 5,7 \text{ m jer je } \gamma_L = 1 \text{ (neusmjereni sustav)}$$

Za još uvijek vrlo dobru razumljivost $AL_{\text{cons}} \leq 7 \%$, dakle:

$$7 \approx 0,652 \left(\frac{r_{LH}}{5,7} \right)^2 \cdot 1 \Rightarrow r_{LH} = 18,7 \text{ m (usporedi s 2d!!!)}$$

Zaključak: Usmjereniji zvučnički sustav omogućit će bolju razumljivost u određenom prostoru.

3a. Koliko je ostvarivo pojačanje VE za sustav ozvučenja instaliran u prostoriji čiji je radijus dvorane $r_H = 5,7$ m? Površina zidova prostorije je $S = 7400$ m², a ekvivalentna apsorpcijska površina $A = 1630$ m². Podaci za sustav ozvučenja su slijedeći: dobitak zvučnika $\gamma_L = 7$, dobitak mikrofona $\gamma_M = 3$, udaljenost od zvučnika do slušatelja $r_{LH} = 10$ m, udaljenost od izvora do mikrofona $r_{SM} = 0,5$ m.

U zadatku nije ništa rečeno pa se pretpostavlja da su izvor i slušatelj neusmjereni, tj.

$$\gamma_S = \gamma_H = 1$$

Iz istog razloga uzima se da je $L_R = -9$ dB

Ostvarivo pojačanje računa se kao:

$$VE = L_R + L_{SM} + L_{LH}$$

pri čemu je:

$$L_{SM} = 10 \log \gamma_S \gamma_M + 20 \log \frac{r_H}{r_{SM}} = 10 \log(1 \cdot 3) + 20 \log \frac{5,7}{0,5} = 4,7 + 21,1 = 25,8 \text{ dB}$$

$$L_{LH} = 10 \log \gamma_L \gamma_H + 20 \log \frac{r_H}{r_{LH}} = 10 \log(7 \cdot 1) + 20 \log \frac{5,7}{10} = 8,4 - 4,9 = 3,5 \text{ dB}$$

Dakle,

$$VE = -9 + 25,8 + 3,5$$

$$VE = 20,3 \text{ dB}$$

3b. Zvučnik je usmjeren tako da pokriva površinu plohe za slušateljstvo od 1000 m^2 uz koeficijent apsorpcije $\alpha_p = 0,75$. Ostali uvjeti zadani su u 3a.

Naputak: u ovom se slučaju primjenjuje **korekcija zbog usmjerenosti zvučničkog sustava baš na plohu predviđenu za smještaj publike**. Ova korekcija manifestira se kao **dodatni dobitak**, jer zvučnički sustav ne emitira energiju u cijeli prostor, time je rasipajući, već samo u omeđeno područje čiji je koeficijent apsorpcije bitno veći od srednjeg koeficijenta apsorpcije cijele dvorane.

Dodatni dobitak računa se kao:

$$\gamma_{PL} = \frac{1 - \bar{\alpha}}{1 - \alpha_p}$$

pri čemu je $A = S\bar{\alpha}$, odnosno $\bar{\alpha} = \frac{A}{S} = \frac{1630}{7400} = 0,22$

Sada je $\gamma_{PL} = \frac{1 - \bar{\alpha}}{1 - \alpha_p} = \frac{1 - 0,22}{1 - 0,75} = 3,12$

Korekcija se koristi tako da se γ_L u izračunima zamijeni s $\gamma_L \cdot \gamma_{PL}$.

U našem slučaju mijenja se L_{LH} :

$$L_{LH} = 10 \log \gamma_L \gamma_{PL} \gamma_H + 20 \log \frac{r_H}{r_{LH}} = 10 \log(7 \cdot 3,12 \cdot 1) + 20 \log \frac{5,7}{10} = 13,4 - 4,9 = 8,5 \text{ dB}$$

a time i VE :

$$VE = -9 + 25,8 + 8,5$$

$$VE = 25,3 \text{ dB}$$

Zaključak: Usmjeravanjem zvučnika prema plohi ispunjenoj publikom moguće je postići veće ostvarivo pojačanje jer korisna energija dolazi upravo na mjesto na kojem je potrebna i tamo se

uglavnom apsorbira. Samim time ona se ne rasipa u prostoru te ne pogoršava akustičke uvjete u dvorani. Zbog toga će i razina zvučnog tlaka u nekoj dvorani u ovakvim slučajevima biti manja, a razumljivost bolja. Provjerite!

Naputak: ova korekcija može se koristiti pri izračunu razine zvučnog tlaka u zatvorenom prostoru L_r , odnosno kritične udaljenosti r_R . Općenito, valja je koristiti u svim izračunima u kojima se kao parametar pojavljuje dobitak zvučnika u osi γ_L , kojeg treba **zamijeniti s $\gamma_L \cdot \gamma_{PL}$** .