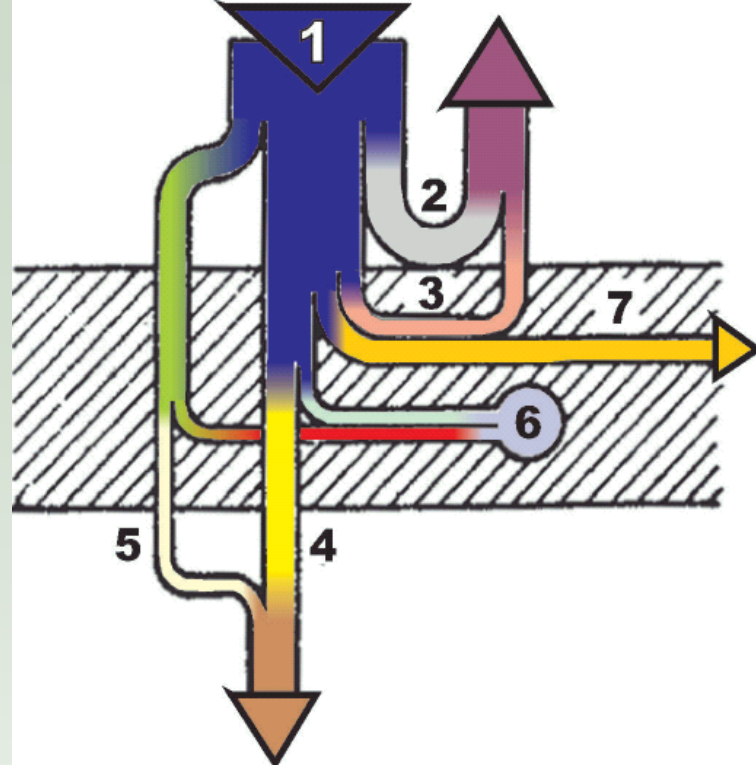


Izolaciona moć pregrade (1)

➤ Proces koji nastaju kada zvučni talas naiđe na neku pregradu prikazani su na slici. Oznake na slici:

1. Ukupna zvučna energija koja padne na pregradu.
2. Deo zvučne energije koja se reflektuje usled diskontinuiteta sredine.
3. Deo zvučne energije koja se reflektuje zbog vibriranja pregrade ka strani nailaska zvučnih talasa.
4. Deo zvučne energije koja se prenosi na drugu stranu u obliku longitudinalnih i fleksionih talasa usled vibriranja pregrade.
5. Deo zvučne energije koja se direktno prenosi na drugu stranu zbog porozne strukture pregrade.
6. Deo zvučne energije koja se apsorbuje pregradom usled prostiranja talasa kroz poroznu strukturu pregrade i vibriranja pregrade.
7. Deo zvučne energije koja se vibriranjem prenosi na druge elemente konstrukcije.



Izolaciona moć pregrade (2)

- Posledica zakona o održanju energije:

$$1. = 2. + 3. + 4. + 5. + 6. + 7.$$

- Energija koja se reflektuje određena je koeficijentom refleksije:

$$r = \frac{P_2 + P_3}{P_1} \quad 0 \leq r \leq 1$$

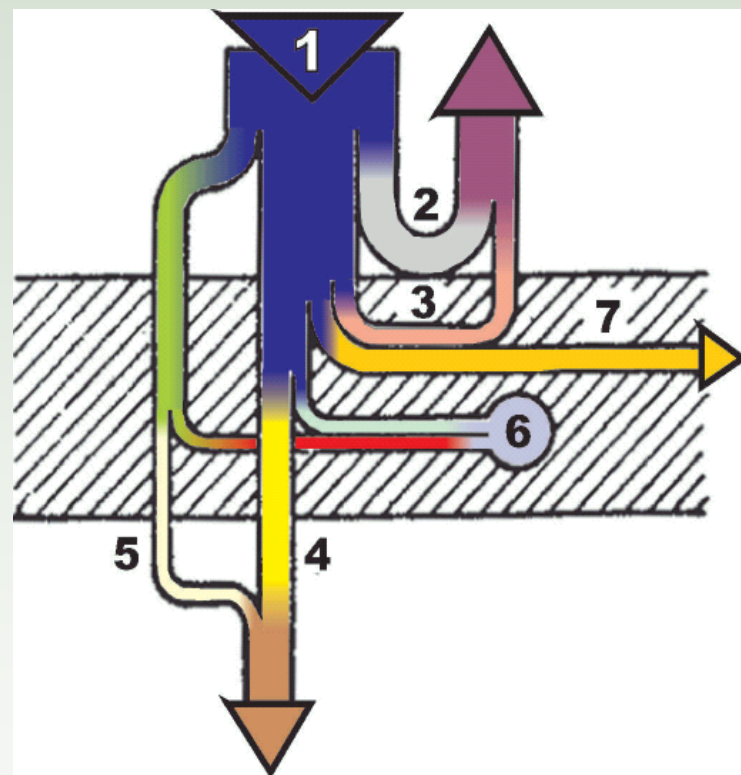
- Energija koja se apsorbuje određena je koeficijentom apsorpcije:

$$\alpha = \frac{P_6 + P_7}{P_1} \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

- Energija koja se prenese na drugu stranu pregrade određena je koeficijentom transmisije:

$$\tau = \frac{P_4 + P_5}{P_1} \quad 0 \leq \tau \leq 1$$

$$P_1 = P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 \Rightarrow r + \alpha + \tau = 1$$



Izolaciona moć pregrade (3)

- Koeficijent transmisije je bezdimenzionalna frekvencijski zavisna veličina koja definiše propustljivost pregrade u odnosu na zvučnu energiju.
- Za uobičajne pregrade koeficijent transmisije ima vrednosti znatno manje od jedinice ($10^{-2} \div 10^{-6}$). $\tau = 10^{-5}$
- Za definisanje izolacije pregrade u odnosu na zvučnu energiju, a ne propustljivosti, koristi se recipročna vrednost koeficijenta transmisije. $1/\tau = 100\,000$
- Recipročna vrednost koeficijenta transmisije daje vrednosti mnogo veće od jedinice, tako da bi se sistem velikih brojeva zamenio sistemom malih brojeva (recimo u opsegu od $0 \div 100$) uvodi se logaritamska veličina za izražavanje izolacije pregrade – izolaciona moć pregrade. $10 \log(1/\tau) = 50$
- Izolaciona moć pregrade, $R[\text{dB}]$, definiše se kao: $R[\text{dB}]$

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} = 10 \log \frac{P_1}{P_4 + P_5}$$

- Izolaciona moć pregrade je frekvencijski zavisna veličina.

Izolaciona moć jednostruke pregrade (1)

- Zvučni talas koji padne na pregradu prolazi kroz njene pore i prenosi se na drugu stranu.
- Zatvaranjem pora može se znatno smanjiti prenošenje zvučne energije.
- Međutim, najveći deo zvučne energije se prenosi na drugu stranu pregrade njenim vibriranjem pod dejstvom zvučnih talasa.
- Kada zvučni talas naiđe na jednostruku pregradu, zvučni pritisak p_1 koji postoji ispred pregrade, deluje na pregradu silom F , koja masi pregrade saopštava ubrzanje, a , tako da je:

$$F = p_1 \cdot S$$

$$p_1 = M_s \cdot a$$

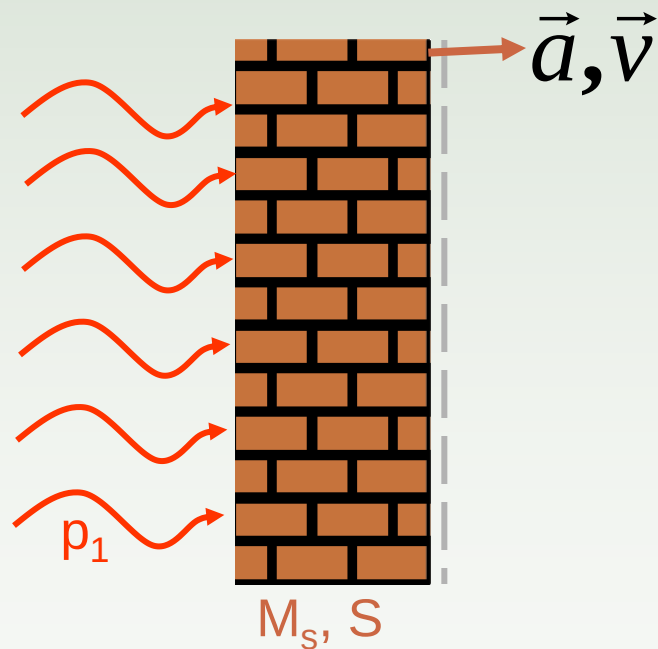
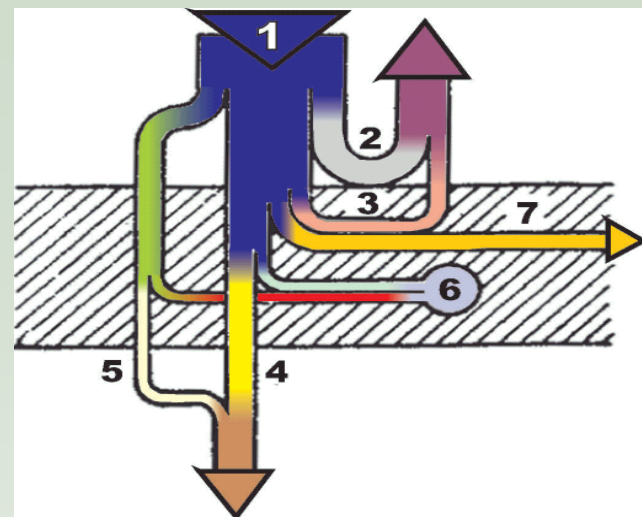
II Njutnov zakon

$$F = m \cdot a = M_s \cdot S \cdot a$$

- Za harmonijski karakter zvučnog polja, brzina vibriranja pregrade, v , povezana sa ubrzanjem pregrade kao:

$$v = a / \omega = a / (2\pi f)$$

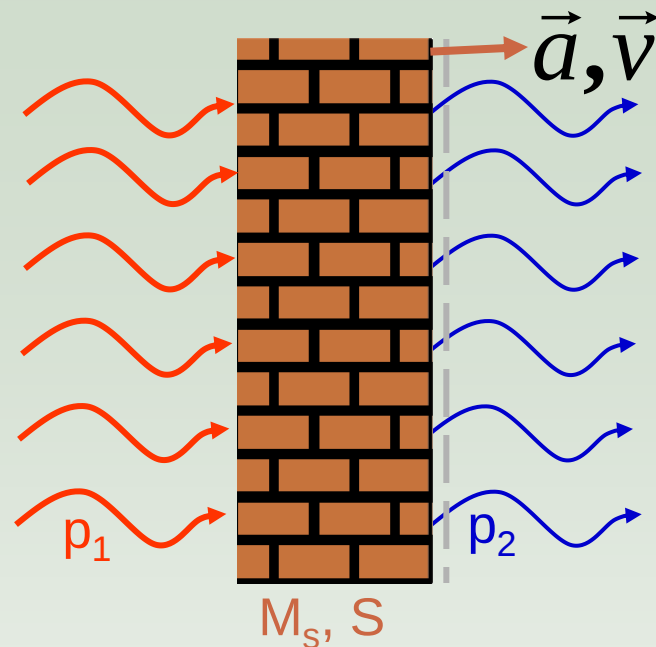
$$\frac{a}{v} = 2\pi f$$



Izolaciona moć jednostruke pregrade (2)

- Pregrada koja vibrira postaje zvučni izvor koji formira zvučno polje s druge strane pregrade.
- Pod pretpostavkom da je pregrada kruta vibriraće po celoj površini na isti način, tako da je zvučni pritisak koji se generiše s druge strane pregrade srazmeran brzini vibriranja pregrade:

$$p_2 \sim v$$



- Kako je zvučna snaga srazmerna intenzitetu zvuka, odnosno kvadratu zvučnog pritiska, odnos upadne i prenete zvučne energije s druge strane pregrade u jedinici vremena iznosi:

$$\frac{P_1}{P_2} \sim \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^2 \sim \left(M_s \frac{a}{v}\right)^2 = (2\pi f \cdot M_s)^2 \sim (f \cdot M_s)^2$$

$$p_1 = M_s \cdot a$$

$$\frac{a}{v} = 2\pi f$$

$$R = 10 \log \frac{P_1}{P_2}$$

Zakon mase

$$R \sim 20 \log(f \cdot M_s)$$

M_s – površinska masa pregrade, [kg(m²)]

f – frekvencija zvučnih talasa, [Hz]

Izolaciona moć jednostruke pregrade (3)

⊕ Izolaciona moć pregrade srazmerna je površinskoj masi pregrade i frekvenciji

Zakon mase

⊕ Udvostručavanjem mase pregrade izolaciona moć se povećava za 6dB

$$R \sim 20\log(f \cdot M_s)$$

$$R' \sim 20\log(f \cdot 2 \cdot M_s) = 20\log(f \cdot M_s) + 20\log 2 = R + 6\text{dB}$$

⊕ Povećanjem frekvencije za jednu oktavu izolaciona moć se povećava za 6dB

$$R' \sim 20\log(2 \cdot f \cdot M_s) = 20\log(f \cdot M_s) + 20\log 2 = R + 6\text{dB}$$

➤ Izolaciona moć jednostruke pregrade zavisi i od upadnog ugla zvučnih talasa, θ :

$$R_\theta \approx 20\log \frac{\pi f M_s \cos \theta}{\rho c}$$

➤ Pri normalnoj incidenciji ($\theta=0^\circ$):

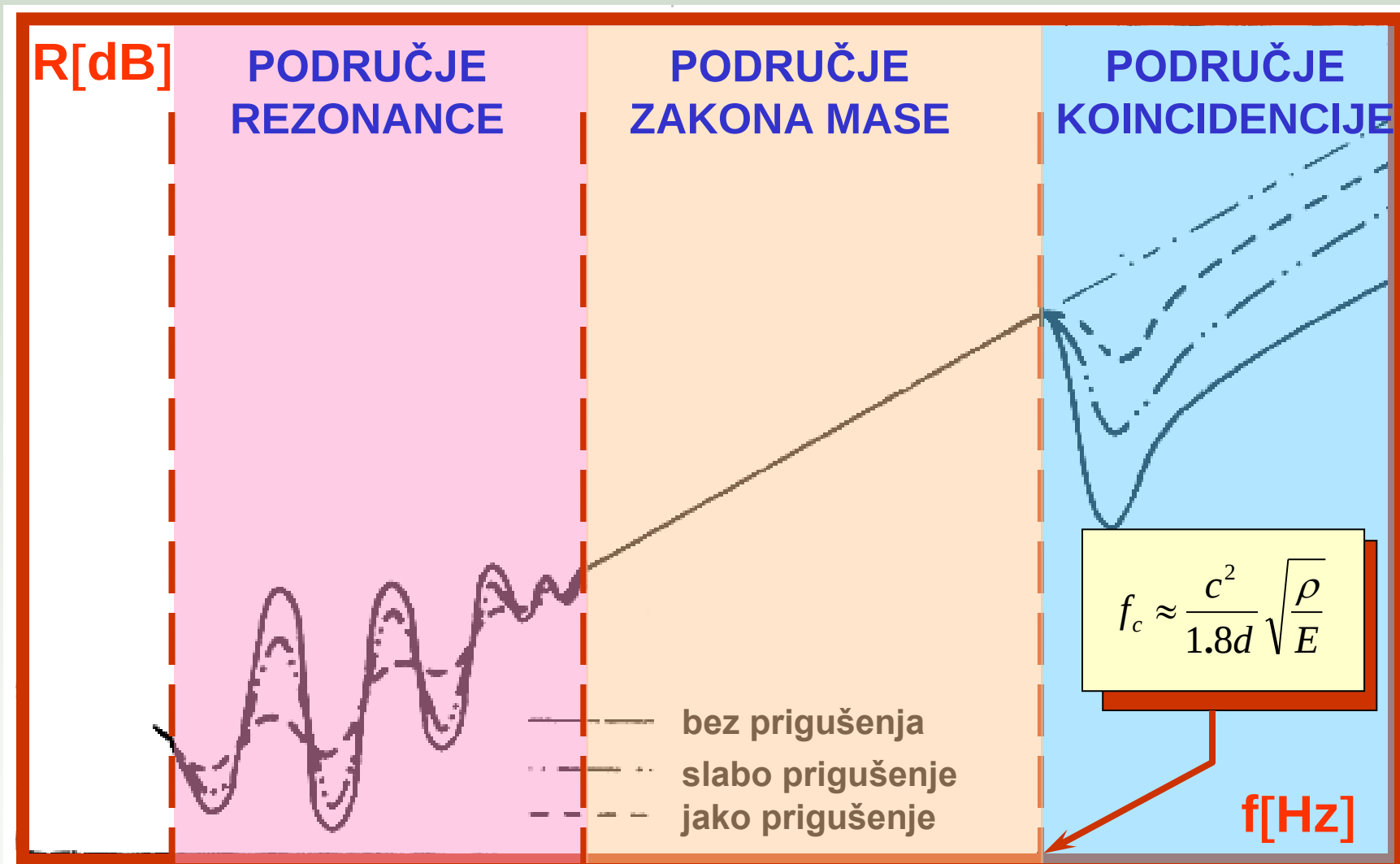
➤ Za difuzno zvučno polje

$$R_0 \approx 20\log \frac{\pi f M_s}{\rho c}$$

$$\bar{R} = R_0 - \Delta R(M_s, f, \theta) \approx 20\log f \cdot M_s - 47\text{dB}$$

Kriva izolacione moći jednodruke pregrade (1)

- Krivu izolacione moći jednodruke pregrade karakterišu tri područja:



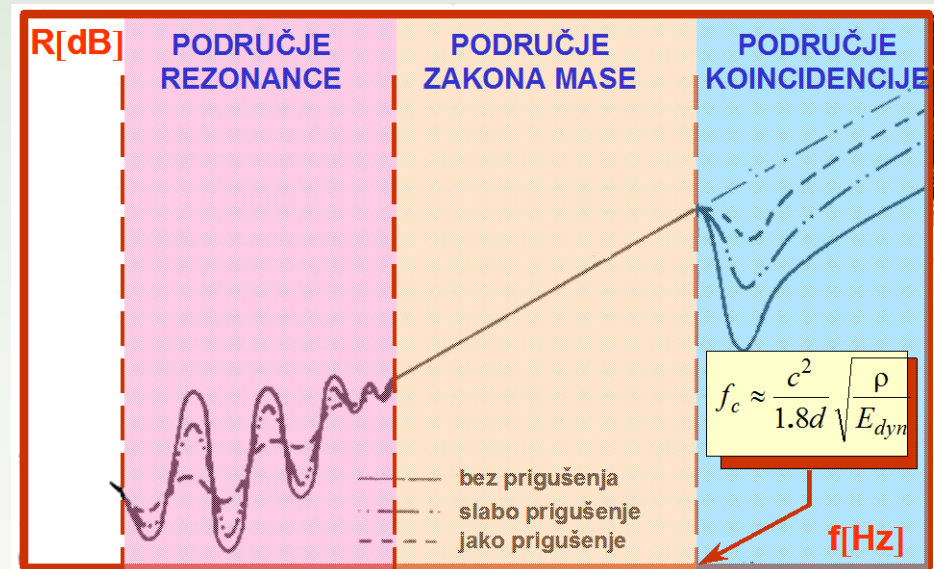
Kriva izolacione moći jednostruke pregrade (2)

PODRUČJE REZONANCE

- Izolaciona moć jednostruke pregrade odstupa od zakona mase.
- Izolaciona moć zavisi od odnosa pobudne frekvencije i sopstvene (rezonantne) frekvencije pregrade.
- Kada se pobudna frekvencija poklopi sa sopstvenom frekvencijom pregrade dolazi do pojačanog oscilatornog kretanja pregrade što može dovesti do povećanja ili slabljenja izolacione moći pregrade.
- Krutost i prigušenje pregrade utiču na profil oscilovanja pregrade u rezonantnom području.
- Pregrada se projektuje da područje rezonance bude ispod 100Hz.

ZAKON MASE

- Izolaciona moć jednostruke pregrade menja se prema zakonu mase: **izolaciona moć raste 6dB po oktavi.**

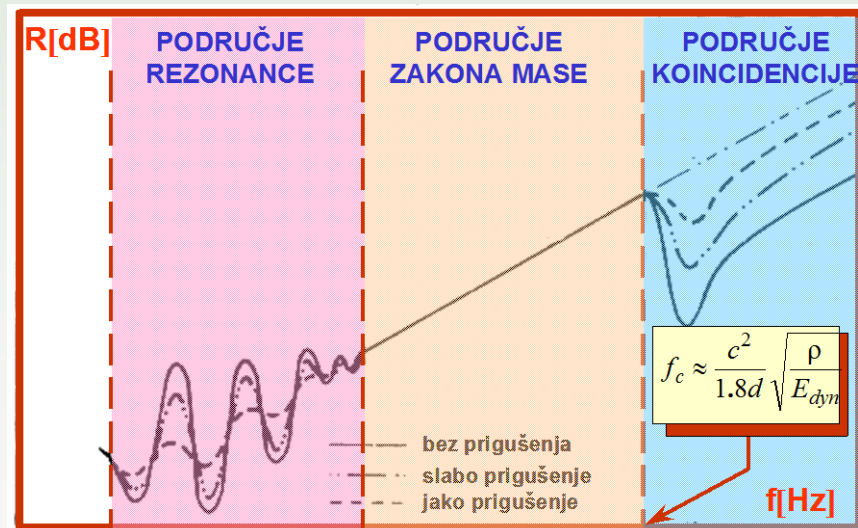
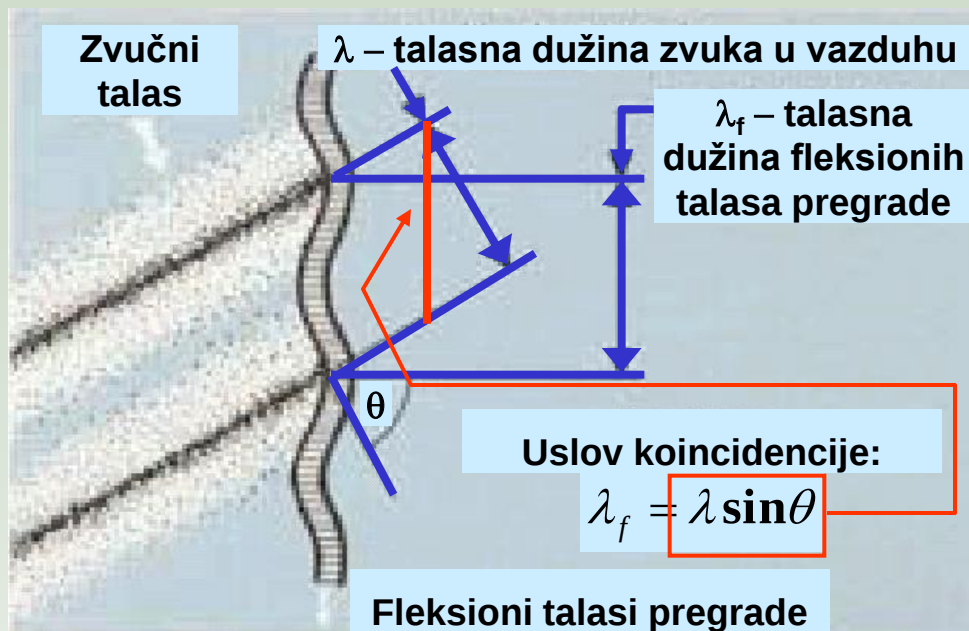


Kriva izolacione moći jednostruke pregrade (3)

PODRUČJE KOINCIDENCIJE

- Izolaciona moć jednostruke pregrade odstupa od zakona mase zbog pojave **efekta koincidencije**.
- Usled dejstva zvučnih talasa na pregradu javljaju se fleksioni talasi jer realna pregrada nije idealno kruta.
- Efekat koincidencije se javlja kada se talasna dužina fleksionih talasa poklopi sa komponentom talasne dužine zvučnih talasa u vazduhu u pravcu pregrade.

$$\lambda_f = \lambda \sin \theta$$

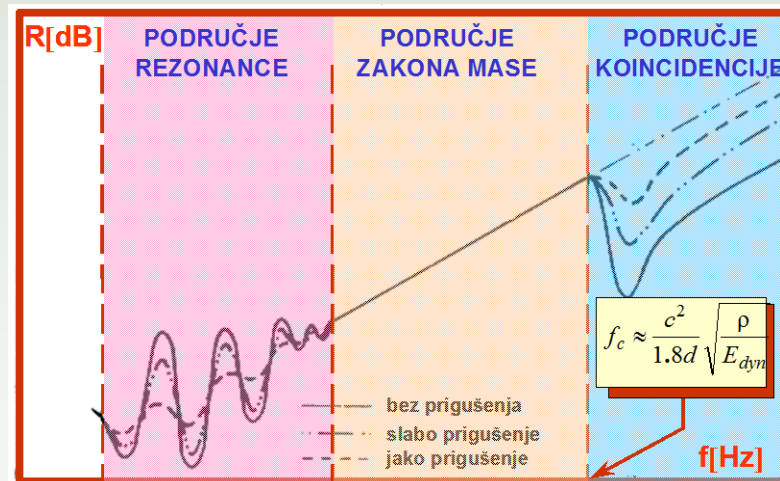


Kriva izolacione moći jednostruke pregrade (4)

- Za određenu frekvenciju i upadni ugao zvučnih talasa nastupa jedna vrsta rezonanse tako da se zvučna energija prenosi na drugu stranu pregrade gotovo bez gubitaka čime da se smanjuje izolaciona moć pregrade.
- Najniža frekvencija koincidencije na kojoj može doći do efekta koincidencije naziva se **kritična frekvencija**.
- Kritična frekvencija koincidencije se dobija za uslov kada zvučni talasi padaju na pregradu pod uglom od $\theta=90^\circ$ (paralelno pregradi).
- Kritična frekvencija koincidencije zavisi od debljine pregrade, **d**, i karakteristika materijala (Jungov modul eleastičnosti, **E**, i gustina materijala, ρ).
- Za manje upadne uglove frekvencija koincidencije je veća ali je i zračenje pregrade manje.
- Krutost i prigušenje pregrade utiču na profil oscilovanja pregrade u području koincidencije.

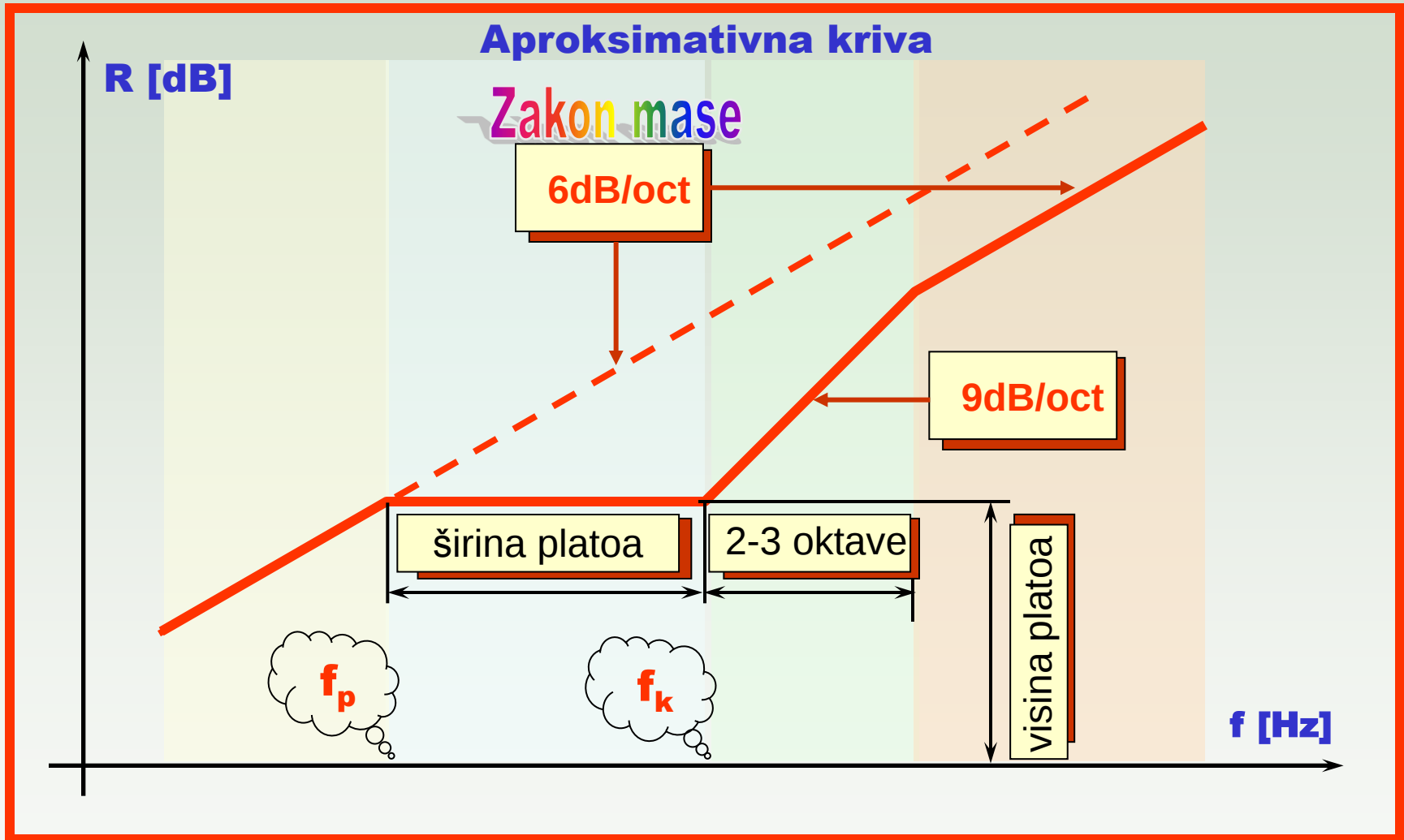
$$\lambda_f = \lambda$$

$$f_c \approx \frac{c^2}{1.8d} \sqrt{\frac{\rho}{E}}$$



Proračun izolacione moći jednostruke pregrade (1)

- Proračun izolacione moći jednostrukih pregrada zasniva se na aproksimativnom toku krive izolacione moći u funkciji frekvencije.



Proračun izolacione moći jednostruke pregrade (2)

► Aproksimativna kriva se može podeliti na četiri područja:

⊕ Na niskim frekvencijama, ispod frekvencije početka platoa f_p , važi zakon mase – izolaciona moć raste 6dB po oktavi.

$$f_p \approx 230 \frac{1}{M_s} 10^{L_p/20}$$

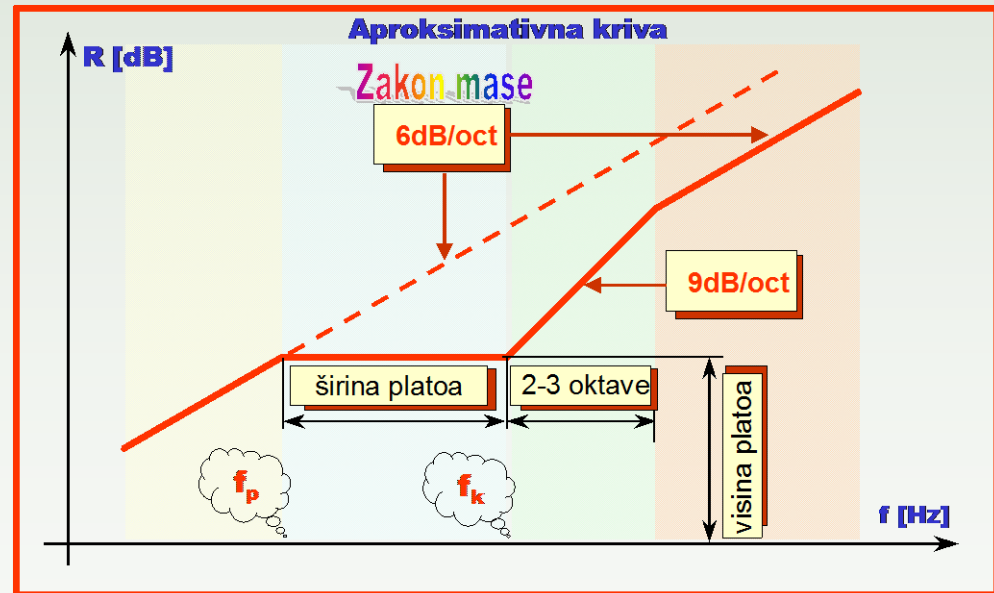
Frekvencije početka platoa zavisi od površinske mase pregrade M_s i visine platoa L_p .

⊕ U okolini frekvencije koinkidencije dolazi do smanjenja izolacione moći pregrade. Izolaciona moć se aproksimira konstantnom vrednošću (L_p) u oblasti platoa čija je širina $f_k - f_p$.

Frekvencija kraja platoa f_k srazmerna je frekvenciji početka platoa:

$$f_k = w f_p$$

Parametri širine platoa, w , i visine platoa L_p zavise od karakteristika materijala.



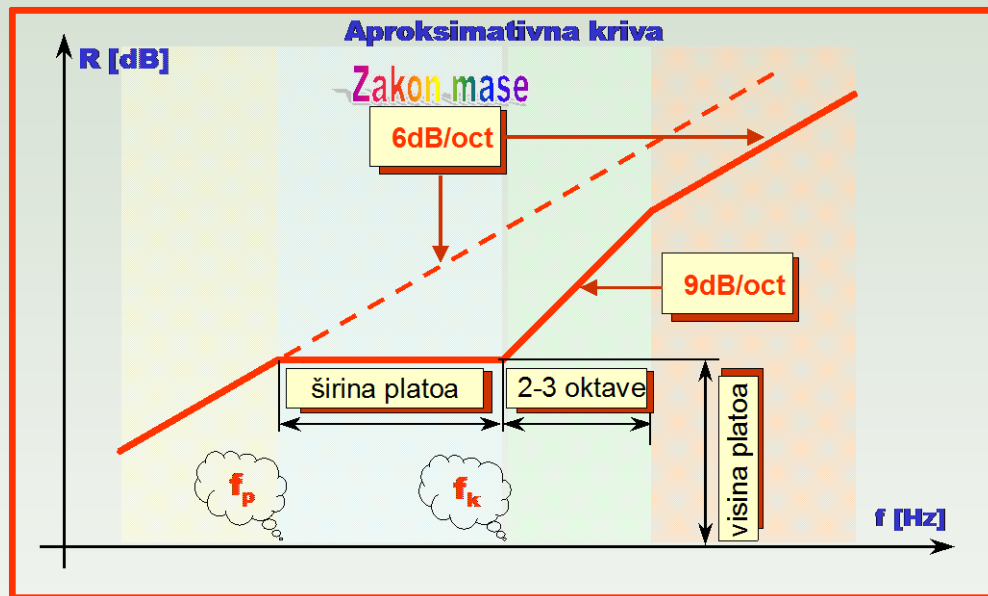
Proračun izolacione moći jednostruke pregrade (3)

- ⊕ Iznad frekvencije kraja platoa izolaciona moć raste 9dB po oktavi u oblasti čija je širina 2-3 oktave.
- ⊕ Nakon toga izolaciona moć se ponovo menja u skladu sa zakonom mase - raste 6dB po oktavi ali je izolaciona moć pregrade ispod izolacione moći koju bi pregrada imala da u celom frekventnom opsegu važi zakon mase.

U III i IV oblasti izolaciona moć jednostruke pregrade se računa u funkciji broja x koji označava redni broj terce.

Frekvencija kraja platoa u tercama.

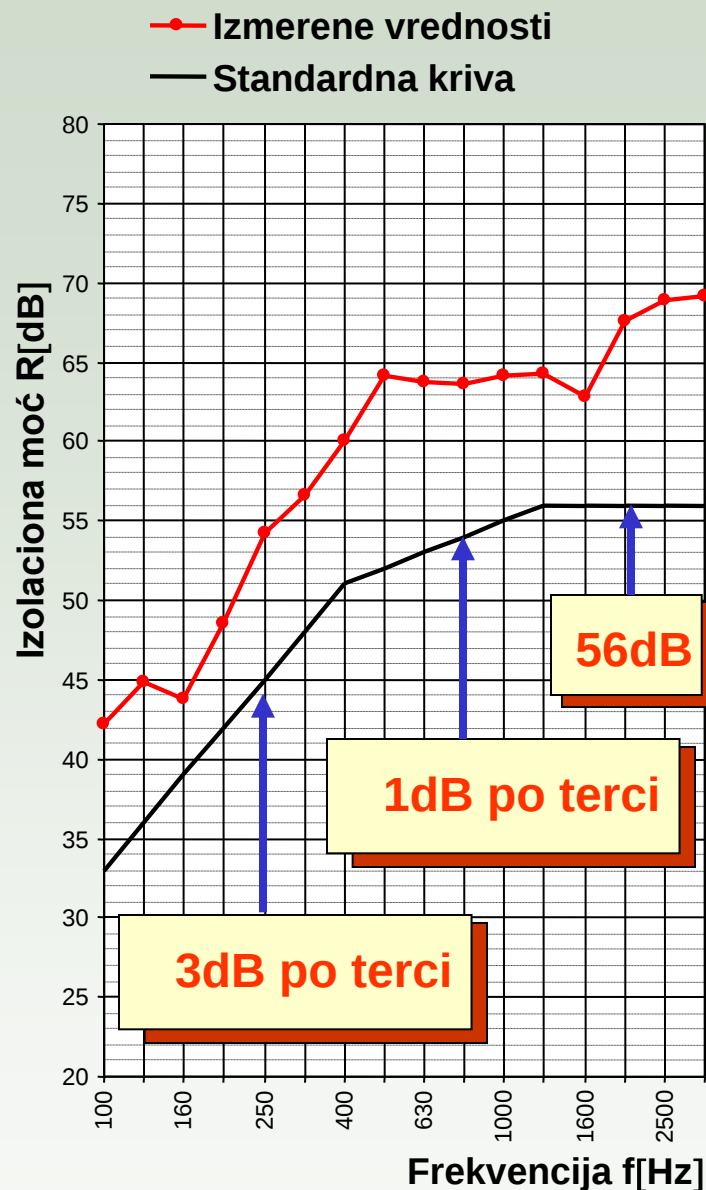
$$F_k = 10 + \frac{3(\log f_k - 3)}{\log 2}$$



$$R = \frac{8}{3} [x - (F_k + 4.5)] - \sqrt{\left\{ \frac{2}{3} [x - (F_k + 4.5)] \right\}^2 + 1 + (L_p + 15.162)} \text{ [dB]}$$

Izražavanje izolacione moći jednim brojem (1)

- Izolaciona moć pregrade je frekvencijski zavisna veličina. Merenjem ili proračunom dobija se kriva izolacione moći u funkciji frekvencije.
- Postupak ocene izolacione moći jednim brojem je međunarodno standardizovan (SRPS ISO 717-1) i zasnovan je na upoređivanjem izolacione moći pregrade sa standardnom krivom.
- Standardna kriva ima oblik A – popnderacione krive.
- Mogu se uočiti tri oblasti sa različitim nagibima:
 - ⊕ 100÷400Hz: porast 3dB po terci.
 - ⊕ 400÷1250Hz: porast 1dB po terci.
 - ⊕ 1250÷3150Hz: konstantna vrednost – 56dB



Izražavanje izolacione moći jednim brojem (2)

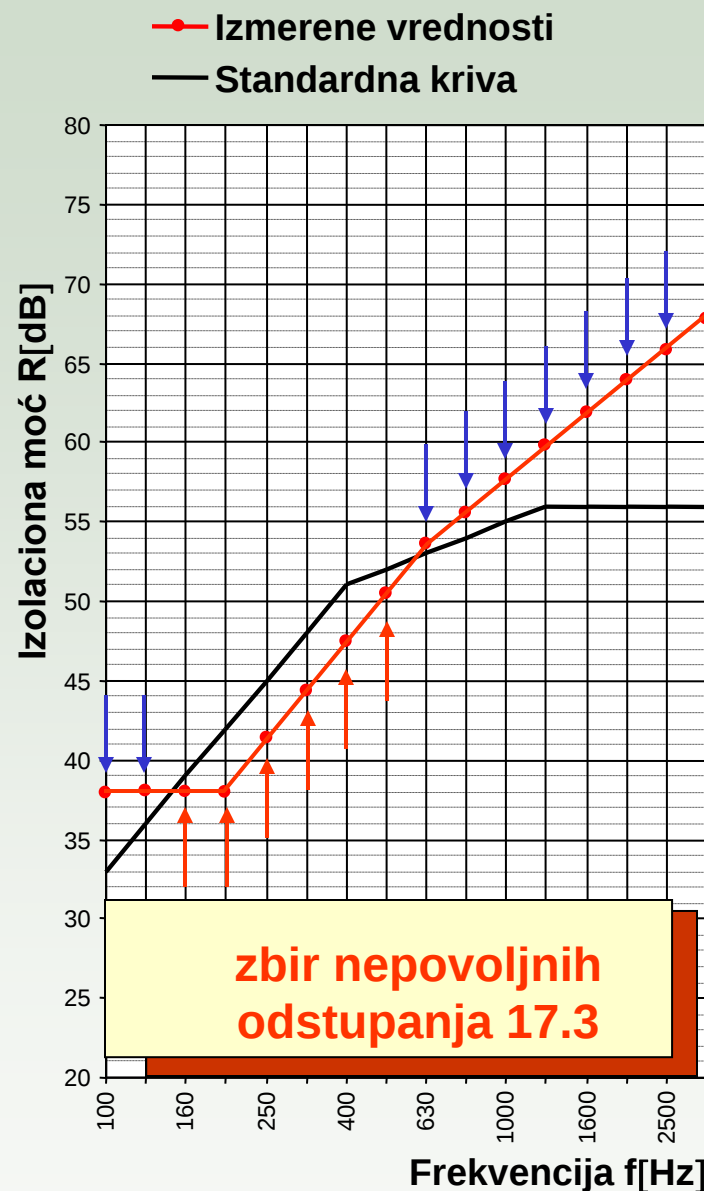
- ▶ Posmatra se odstupanje krive izmernih vrednosti izolacione moći od standardne krive.
- ▶ Mogu se uočiti dve oblasti:

⊕ Oblast povoljnih odstupanja - vrednosti izmerene (ili proračunate) izolacione moći iznad standardne krive.

⊕ Oblast nepovoljnih odstupanja - vrednosti izmerene (ili proračunate) izolacione moći ispod standardne krive.

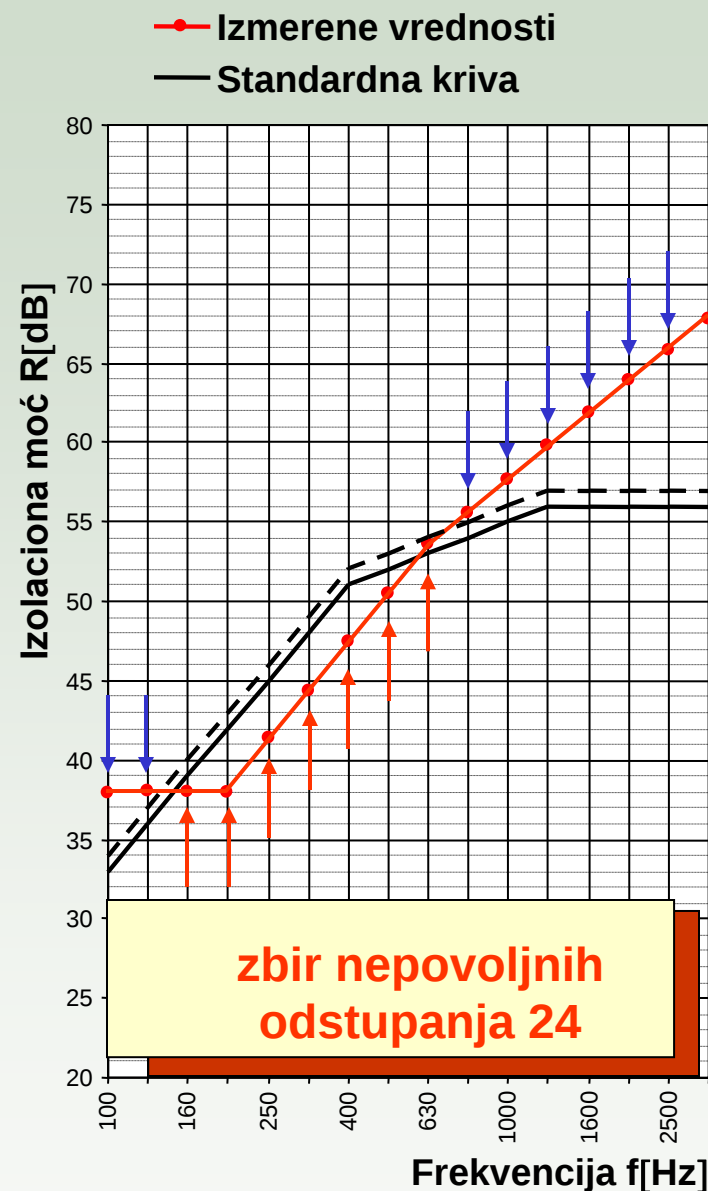
Zbir svih nepovoljnih odstupanja treba da bude manji od 32dB ali takođe treba da bude što je moguće bliži ovoj vrednosti.

Ako je zbir nepovoljnih odstupanja manji od 32dB standardna kriva se pomera naviše za 1dB.



Izražavanje izolacione moći jednim brojem (3)

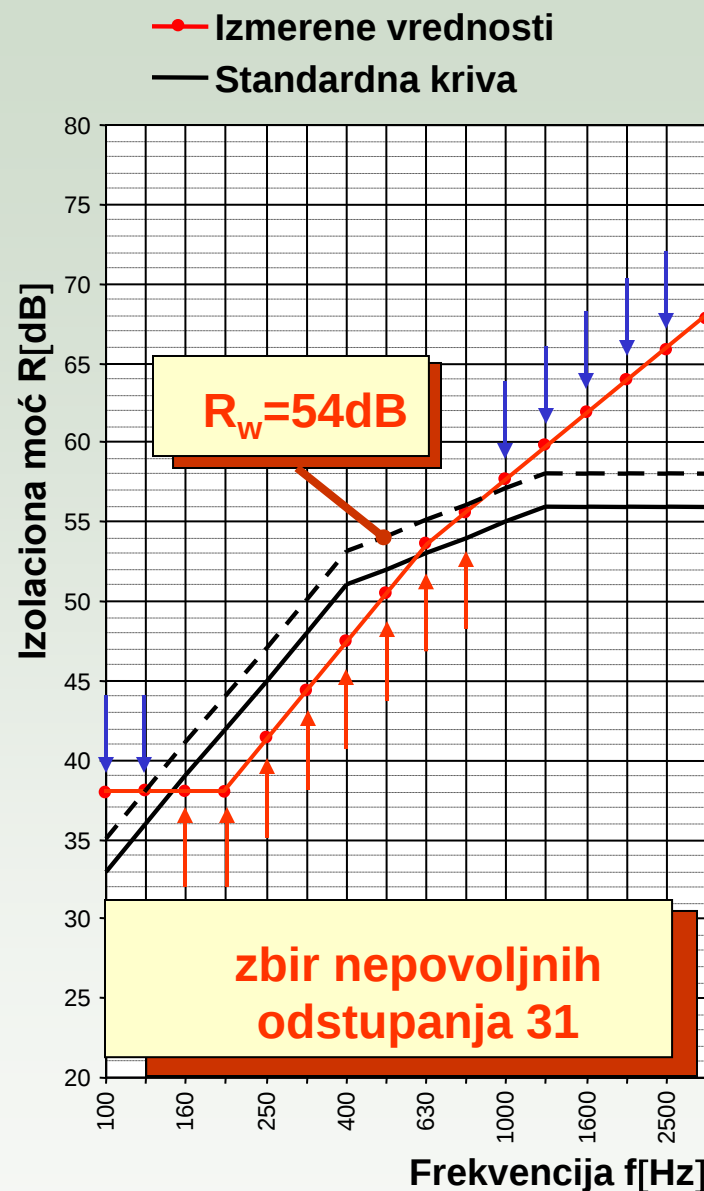
- Pomeranjem standarde krive naviše – dodavanjem vrednostima standardne krive na svim frekvencijama po 1dB dobija se zbir nepovoljnih odstupanja 24dB.
- Kako je zbir svih nepovoljnih odstupanja još uvek manji od 32dB standardna kriva se pomera za još 1dB naviše.



Izražavanje izolacione moći jednim brojem (4)

- Pomeranjem standarde krive naviše – dodavanjem vrednostima standardne krive na svim frekvencijama po 2dB dobija se zbir nepovoljnih odstupanja 31dB.
- Dalje pomeranje bi dalo zbir nepovoljnih odstupanja veći od 32dB.
- Za izražavanje izolacione moći jednim brojem definiše se ponderisana izolaciona moć R_w . Ima vrednost pomerene standardne krive (koja zadovoljava definisani uslov za zbir nepovoljnih odstupanja) na 500Hz.

Ukoliko je zbir nepovoljnih odstupanja veći od 32dB, standardna kriva se pomera naniže u koracima od 1dB dok se ne zadovolji traženi uslov.



Izražavanje izolacione moći jednim brojem (6)

Tabelarni proračun

f [Hz]	R [dB]	S [dB]	$R-S$ [dB]	$S'=S+1$ [dB]	$R-S'$ [dB]	$S''=S+2$ [dB]	$R-S''$ [dB]	$S''' = S + 3$ [dB]	$R - S'''$ [dB]
100	38.0	33.0	+5.0	34.0	+4.0	35.0	+3.0	36.0	+2.0
125	38.0	36.0	+2.0	37.0	+1.0	38.0	+0.0	39.0	-1.0
160	38.0	39.0	-1.0	40.0	-2.0	41.0	-3.0	42.0	-4.0
200	38.0	42.0	-4.0	43.0	-5.0	44.0	-6.0	45.0	-7.0
250	41.1	45.0	-3.9	46.0	-4.9	47.0	-5.9	48.0	-6.9
315	44.4	48.0	-3.6	49.0	-4.6	50.0	-5.6	51.0	-6.6
400	47.6	51.0	-3.4	52.0	-4.4	53.0	-5.4	54.0	-6.4
500	50.6	52.0	-1.4	53.0	-2.4	54.0	-3.4	55.0	-4.4
630	53.3	53.0	+0.3	54.0	-0.7	55.0	-1.7	56.0	-2.7
800	55.6	54.0	+1.6	55.0	+0.6	56.0	-0.4	57.0	-1.4
1000	57.8	55.0	+2.8	56.0	+1.8	57.0	+0.8	58.0	-0.2
1250	59.8	56.0	+3.8	57.0	+2.8	58.0	+1.8	59.0	+0.8
1600	61.8	56.0	+5.8	57.0	+4.8	58.0	+3.8	59.0	+2.8
2000	63.9	56.0	+7.9	57.0	+6.9	58.0	+5.9	59.0	+4.9
2500	65.9	56.0	+9.9	57.0	+8.9	58.0	+7.9	59.0	+6.9
3150	67.9	56.0	+11.9	57.0	+10.9	58.0	+9.9	59.0	+8.9
		$z = -17.3$		$z' = -24.0$		$z'' = -31.4$		$z''' = 40.6$	